

**UNIVERZITET U BEOGRADU
FAKULTET VETERINARSKE MEDICINE
KATEDRA ZA ZOOHIGIJENU**

**SRPSKO VETERINARSKO DRUŠTVO
SEKCIJA ZA DDD**



**ZBORNIK RADOVA
37. SAVETOVANJE
DEZINFEKCIJA, DEZINSEKCIJA
I DERATIZACIJA**

JEDAN SVET – JEDNO ZDRAVLJE

**NACIONALNI STRUČNO-NAUČNI SKUP
SA MEĐUNARODNIM UČEŠĆEM**

**VRNJAČKA BANJA, Hotel „Vrnjačke Terme”
27 – 30. maj 2026. godine**

37. SAVETOVANJE DEZINFEKCIJA, DEZINSEKCIJA I DERATIZACIJA
NACIONALNI STRUČNO-NAUČNI SKUP SA MEĐUNARODNIM UČEŠĆEM

ORGANIZATORI:

UNIVERZITET U BEOGRADU
FAKULTET VETERINARSKE MEDICINE
KATEDRA ZA ZOOHIGIJENU
SRPSKO VETERINARSKO DRUŠTVO
SEKCIJA ZA DDD

POKROVITELJI:

MINISTARSTVO NAUKE, TEHNOLOŠKOG RAZVOJA I INOVACIJA
VETERINARSKA KOMORA SRBIJE
NAUČNI INSTITUT ZA VETERINARSTVO „NOVI SAD“
VETERINARSKI SPECIJALISTIČKI INSTITUT „KRALJEVO“
VETERINARSKI SPECIJALISTIČKI INSTITUT „ŠABAC“
VETERINARSKI SPECIJALISTIČKI INSTITUT „NIŠ“

GENERALNI SPONZOR:

VISAN

ZLATNI SPONZOR:

EKOSAN

SREBRNI SPONZOR:

SANUS-M

MEDIJSKI SPONZOR:

AGROPRESS

ORGANIZACIONI ODBOR:

Katedra za zoohigijenu, Fakulteta veterinarske medicine, Univerzitet u Beogradu

Predsednik: prof. dr Milutin Đorđević

Potpredsednici: prof. dr Ljiljana Janković
prof. dr Radislava Teodorović

Sekretar: doc. dr Vladimir Drašković

Tehnički sekretar: spec. sanit. ekol. inž. Tamara Petrović

PROGRAMSKI ODBOR:

prof. dr Milutin Đorđević – Katedra za zoohigijenu, Fakultet veterinarske medicine, Univerzitet u Beogradu; prof. dr Milorad Mirilović – Katedra za ekonomiku i statistiku, Fakultet veterinarske medicine, Univerzitet u Beogradu; prof. dr Ljiljana Janković – Katedra za zoohigijenu, Fakultet veterinarske medicine, Univerzitet u Beogradu; prof. dr Radislava Teodorović – Katedra za zoohigijenu, Fakultet veterinarske medicine, Univerzitet u Beogradu; prof. dr Marijana Vučinić – Katedra za zoohigijenu, Fakultet veterinarske medicine, Univerzitet u Beogradu; prof. dr Katarina Nenadović – Katedra za zoohigijenu, Fakultet veterinarske medicine, Univerzitet u Beogradu; doc. dr Vladimir Drašković – Katedra za zoohigijenu, Fakultet veterinarske medicine, Univerzitet u Beogradu; Nikola Milutinović – Veterinarski specijalistički institut „ŠABAC”; doc. dr Miloš Petrović – Veterinarski specijalistički institut „NIŠ”; dr vet. med. Budimir Višić – Veterinarski centar „VALJEVO”; prof. dr Radoslava Savić-Radovanović – Katedra za higijenu i tehnologiju namirnica animalnog porekla, Fakultet veterinarske medicine, Univerzitet u Beogradu; prof. dr Renata Relić – Katedra za odgajivanje i reprodukciju domaćih i gajenih životinja, Poljoprivredni fakultet, Univerzitet u Beogradu; doc. dr Štefan Pintarić – Institute of Environmental and Animal Hygiene with Animal Behaviour, Veterinarski fakultet, Univerzitet u Ljubljani; Assoc. Prof. Miroslav Kjosevski – Animal Welfare Center, Faculty of Veterinary Medicine – Skopje, University Ss. Cyril and Methodius – Skopje, Macedonia; Dr sci. vet. med. Branislav Kureljušić – Naučni institut za veterinarstvo Srbije; dr vet. med. Nenad Budimović – Veterinarska komora Srbije; dr sci. vet. med. Nemanja Zdravković – Naučni institut za veterinarstvo Srbije; mr vet. med. Oliver Radanović – Naučni institut za veterinarstvo Srbije; dr sci. vet. med. Jasna Kureljušić – Naučni institut za veterinarstvo Srbije; dr Olivera Vukićević Radić – Sektor ekologije i unapređenja životne sredine, JKP „Gradska čistoća”; doc. dr Đorđe Marjanović – Katedra za farmakologiju i toksikologiju, Fakultet veterinarske medicine, Univerzitet u Beogradu; dipl. inž. Aleksandra Vidić – Zavod za javno zdravlje Vranje; spec. sanit. ekol. inž. Tanja Kovačević – Ministarstvo zdravlja Republike Srbije; Nenad Stevanović – AVENIJA MBNS1; Biserka Milunović – AVENIJA MBNS1; Cvjijo Mrđen – SANUS-M; Predrag Ćurčić – VISAN; Miodrag Ćurčić – VISAN; Marko Nadaškić – VISAN; Zoran Dunđerski – EKOSAN; Jovan Ivačković – EKOSAN; Svetozar Milošević – EKOSAN; Dragan Dakić – DELCO; Branislav Mauković – SVS ERDEVİK; prof. dr Mario Ostović – Veterinarski fakultet, Sveučilište u Zagrebu, R. Hrvatska; Milan Rogošić – Uprava za bezbjednost hrane, veterine i fitosanitarne poslove R. Crne Gore; Miroslav Malbaša – EKOS DDD; Saša Lazić – EKOS DDD; Vlada Ilić – DDD SINITRA; Borko Ristić – EKOZAŠTITA; Uroš Radivojević – EKOSISTEM; Goran Đaković – AGROPRESS; Filip Marković – PANAGRO; dr vet. med. Darja Fjodorov – Katedra za zoohigijenu, Fakultet veterinarske medicine, Univerzitet u Beogradu; dr vet. med. Radovan Marčetić – Katedra za zoohigijenu, Fakultet veterinarske medicine, Univerzitet u Beogradu; spec. sanit. ekol. inž. Tamara Petrović – Katedra za zoohigijenu, Fakultet veterinarske medicine, Univerzitet u Beogradu; dr sci. vet. med. Branislav Pešić – Kmetijski inštitut Slovenije, Ljubljana, Slovenija; spec. dr med. Vasilije Korugić – Zavod za biocide i medicinsku ekologiju.

NAUČNI ODBOR:

prof. dr Milutin Đorđević – Katedra za zoohigijenu, Fakultet veterinarske medicine, Univerzitet u Beogradu; prof. dr Ljiljana Janković – Katedra za zoohigijenu, Fakultet veterinarske medicine, Univerzitet u Beogradu; prof. dr Radislava Teodorović – Katedra za zoohigijenu, Fakultet veterinarske medicine, Univerzitet u Beogradu; prof. dr Marijana Vučinić – Katedra za zoohigijenu, Fakultet veterinarske medicine, Univerzitet u Beogradu; prof. dr Katarina Nenadović – Katedra za zoohigijenu, Fakultet veterinarske medicine, Univerzitet u Beogradu; doc. dr Vladimir Drašković – Katedra za zoohigijenu, Fakultet veterinarske medicine, Univerzitet u Beogradu; prof. dr Radoslava Savić-Radovanović – Katedra za higijenu i tehnologiju namirnica životinjskog porekla, Fakultet veterinarske medicine, Univerzitet u Beogradu; prof. dr Saša Trailović – Katedra za farmakologiju i toksikologiju, Fakultet veterinarske medicine, Univerzitet u Beogradu; prof. dr Renata Relić – Katedra za odgajivanje i reprodukciju domaćih i gajenih životinja, Poljoprivredni fakultet, Univerzitet u Beogradu; doc. dr Štefan Pintarić – Institute of Environmental and Animal Hygiene with Animal Behaviour, Veterinarski fakultet, Univerzitet u Ljubljani; Assoc. Prof. Miroslav Kjosevski – Animal Welfare Center, Faculty of Veterinary Medicine – University Ss. Cyril and Methodius Skopje, Macedonia; spec. dr vet. Mišo Kolarević – Veterinarski specijalistički Institut „Kraljevo”; dr sci. vet. med. Nemanja Zdravković – Naučni institut za veterinarstvo Srbije; mr vet. med. Oliver Radanović – Naučni institut za veterinarstvo Srbije; dr sci. vet. med. Jasna Kureljušić – Naučni institut za veterinarstvo Srbije; dr sci. vet. med. Branislav Pešić – Kmetijski inštitut Slovenije, Ljubljana, Slovenija; prof. dr Tanja Jovanović – Zavod za biocide i medicinsku ekologiju; dr sci. vet. med. Ivan Pavlović – Naučni institut za veterinarstvo Srbije; dr sci. vet. med. Aleksandra Tasić – Naučni institut za veterinarstvo Srbije; prof. dr Mario Ostović – Veterinarski fakultet, Sveučilište u Zagrebu, R. Hrvatska; dr sci. vet. med. Branislav Kureljušić – Naučni institut za veterinarstvo Srbije; doc. dr Đorđe Marjanović – Katedra za farmakologiju i toksikologiju, Fakultet veterinarske medicine, Univerzitet u Beogradu; dr sci. vet. med. Marko Pajić – Naučni institut za veterinarstvo „NOVI SAD”; dr sci. vet. med. Siniša Grubač – Naučni institut za veterinarstvo „NOVI SAD”; dr sci. vet. med. Vladimir Radosavljević – Naučni institut za veterinarstvo Srbije; dr sci. vet. med. Ana Vasić – Naučni institut za veterinarstvo Srbije.

IZDAVAČ:

SRPSKO VETERINARSKO DRUŠTVO, BEOGRAD

UREDNIK:

prof. dr Milutin Đorđević

Katedra za zoohigijenu, Fakultet veterinarske medicine, Univerzitet u Beogradu

RECEZENT:

prof. dr Radislava Teodorović

Katedra za zoohigijenu, Fakultet veterinarske medicine, Univerzitet u Beogradu

TEHNIČKI UREDNICI:

Katedra za zoohigijenu, Fakultet veterinarske medicine, Univerzitet u Beogradu

doc. dr Vladimir Drašković

dr vet. med. Radovan Marčetić

dr vet. med. Darja Fjodorov

spec. sanit. ekol. inž. Tamara Petrović

Štampa: NAUČNA KMD, Beograd

Tiraž: 200 primeraka

ISBN 978-86-83115-59-4

Ovaj zbornik radova distribuiran je pod uslovima licence Creative Commons Imenovanje 4.0
Međunarodna (CC BY 4.0).

Dozvoljeno je korišćenje, distribucija i reprodukcija u drugim medijima, pod uslovom da se
navedu originalni autor(i) i vlasnik autorskih prava, kao i da se pravilno citira originalna
publikacija iz ovog zbornika, u skladu sa prihvaćenim akademskim standardima. Nije
dozvoljeno korišćenje, distribucija ili reprodukcija koja nije u skladu sa ovim uslovima.

Publikacija je sufinansirana sredstvima Ministarstva nauke, tehnološkog razvoja i inovacija
Republike Srbije

SADRŽAJ

I TEMATSKO ZASEDANJE: DEZINFEKCIJA	1
❖ Radoslava Savić Radovanović, Marija Pajić, Katarina Pajić, Milijana Sindić: Higijena muže	3
❖ Jasna Kureljušić, Ana Vasić, Jelena Maletić: Savremene tehnologije dezinfekcije kontaktnih površina u industriji suve hrane: Mehanizmi delovanja, tehnološki izazovi i industrijska primena	12
❖ Nemanja Zdravković, Milan Ninković, Ivan Pavlović, Zorica Zdravković, Biljana Aleksić, Teodora Grujović, Oliver Radanović: Morfološke promene bakterija pri dezinfekciji	25
❖ Marijana Mačužić, Vasilije Korugić: Efikasnost primene vodonik-peroksida u redukciji aerogenih patogena i spora gljivica u stambenim objektima – studija slučaja	30
❖ Zorica Zdravković, Nemanja Zdravković, Biljana Aleksić: Uticaj rezidua dezinfekcionih sredstava na aktivnost starter kultura u fermentaciji jogurta	38
❖ Biljana Aleksić, Zorica Zdravković, Nemanja Zdravković, Ivana Pejanović, Nada Šmigić: Čišćenje i dezinfekcija u mlekarstvu kao ključni faktori kontrole <i>Listeria monocytogenes</i> u proizvodnji sireva	44
II TEMATSKO ZASEDANJE: DEZINSEKCIJA	55
❖ Milutin Đorđević, Darja Fjodorov, Radovan Marčetić, Vladimir Drašković, Radoslava Teodorović, Marijana Vučinić, Katarina Nenadović, Ljiljana Janković: Integrirani pristup u suzbijanju žutih (faraonskih) mrava (<i>Monomorium pharaonis</i> L.)	57
❖ Ljiljana Janković, Milutin Đorđević, Radoslava Teodorović, Vladimir Drašković, Marijana Vučinić, Katarina Nenadović, Radovan Marčetić, Darja Fjodorov: Dezinsekcija putničkih aviona	70

❖ Đorđe S. Marjanović, Dragana Medić, Nemanja Zdravković, Tihomir Marić, Saša M. Trailović: Kad insekti postanu jači: Rezistencija na insekticide kao globalni problem	80
❖ Tihomir Marić, Đorđe S. Marjanović, Dragana Medić, Nemanja Zdravković, Saša M. Trailović: Efikasnost spinosada u kontroli rezistentnih populacija insekata	87
❖ Ivana Đurić Maslovara, Jelena Mitrović, Sanja Martinović, Olivera Vukićević Radić, Marko Popadić: Detekcija larvi invazivne vrste <i>Aedes albopictus</i> u crkvama na području Beograda	93
❖ Branislav Pešić: Biolarvicidi sledeće generacije sa održivim i unapređenim sistemima UV zaštite	100
❖ Branislav Pešić: Larvicidni potencijal zemljišnih izolata <i>Bacillus thuringiensis</i> protiv komaraca <i>Culex pipiens</i>	113
❖ Ivan Pavlović, Vladimir Terzin, Aleksandra Tasić, Nemanja Zdravković: Parazitska kontaminiranost pet zona u centralnim opštinama Beograda i mere za njihovu sanaciju	123
❖ Vitomir Čupić, Saša Ivanović, Indira Mujezinović, Andreja Prevendar Crnić, Saša Vasilev, Romel Velez, Dejana Čupić Miladinović: Primena insekticida i njihovi ekotoksični efekti	130
III TEMATSKO ZASEDANJE: DERATIZACIJA I SLOBODNE TEME	
❖ Vladimir Drašković, Milica Glišić, Radovan Marčetić, Darja Fjodorov, Radislava Teodorović, Katarina Nenadović, Marijana Vučinić, Milutin Đorđević: Sinergija etoloških, hemijskih i prehrambenih atraktanata u efikasnosti mehaničkih metoda kontrole glodara	147
❖ Siniša Grubač, Ivan Pušić, Mira Majkić, Slobodan Knežević, Vladimir Polaček, Milenko Rikić, Jasna Prodanov-Radulović: Savremeni pristupi u kontroli glodara u prehrambenoj industriji ...	154
❖ Marko Stojiljković, Ilija Jovanović, Miloš Arsić, Vladimir Marjanović, Marija Stojiljković, Miloš Petrović: Procena rizika od infestacije glodarima na farmama – predlog modela i njegova primena u planiranju deratizacije	163
❖ Radovan Marčetić, Darja Fjodorov, Vladimir Drašković, Radislava Teodorović, Marijana Vučinić, Katarina Nenadović, Ljiljana Janković, Milutin Đorđević: Uticaj dezinfekcionih sredstava na vodene ekosisteme	173

- ❖ Marko Lazić, Vladimir Drašković, Katarina Nenadović, Slobodan Stevanov, Mirko Gajić, Milutin Đorđević:
Prikaz slučaja dirofilarioze kod sivog vuka u Zoološkom vrtu Palić, sa posebnim osvrtom na značaj dezinsekcije i drugih biosigurnosnih mera i dobrobiti životinja182
- ❖ Darja Fjodorov, Radovan Marčetić, Vladimir Drašković, Radislava Teodorović, Marijana Vučinić, Katarina Nenadović, Ljiljana Janković, Milutin Đorđević:
Metode kontrole zaštićenih i strogo zaštićenih vrsta iz reda *Rodentia*.....192
- IV TEMATSKO ZASEDANJE: BIOSIGURNOST I DOBROBIT ŽIVOTINJA**...203
- ❖ Marijana Vučinić, Milutin Đorđević, Vladimir Drašković, Radovan Marčetić, Darja Fjodorov, Radislava Teodorović, Katarina Nenadović:
Uticaj pasa na životnu sredinu205
- ❖ Katarina Nenadović, Marijana Vučinić, Milutin Đorđević, Vladimir Drašković, Radislava Teodorović, Radovan Marčetić, Darja Fjodorov, Dejan Bugarski:
Digitalni sistemi za kontrolu biosigurnosti i dobrobiti farmskih životinja216
- ❖ Renata Relić, Nikola Mileusnić, Aleksandra Ivetić, Željana Prijić, Ivan Pavlović:
Uloga higijene hrane u zaštiti dobrobiti goveda231
- ❖ Vladimir Radosavljević, Milica Kuručki, Dimitrije Glišić, Oliver Radanović, Jelena Maksimović-Zorić, Darko Bošnjak, Jelena Maletić:
Unapređenje biosigurnosti u šaranskoj i pastrmskoj akvakulturi: Integracija DDD mera, digitalnih tehnologija i pristupa zasnovanog na proceni rizika243
- ❖ Jelena Maletić, Jasna Kureljušić, Nemanja Zdravković, Oliver Radanović, Vladimir Radosavljević, Nenad Katanić, Branislav Kureljušić:
Kvantifikacija biosigurnosnog rizika u primarnoj proizvodnji brojlera kao alat za kontrolu *Campylobacter* spp.253
- ❖ Aleksandar Tanacković, Nikola Milutinović, Slobodan Vujinović, Srđan Tomić, Stefan Novaković, Slobodan Maksimović:
Uloga i značaj biosigurnosnih mera u kontroli afričke kuge svinja na individualnim gazdinstvima, iskustva sa terena – prikaz slučaja264
- ❖ Budimir Višić, Radovan Marčetić, Vladimir Drašković, Darja Fjodorov, Milutin Đorđević:
Značaj završne dezinfekcije nakon suzbijanja afričke kuge svinja u Kolubarskom okrugu – prikaz slučaja.....271

I

TEMATSKO ZASEDANJE

DEZINFEKCIJA

Pregledni rad DOI: 10.5937/DDD26003S

HIGIJENA MUŽE

MILKING HYGIENE

**Radoslava Savić Radovanović^{1*}, Marija Pajić², Katarina Pajić³,
Milijana Sindić⁴**

Kratak sadržaj

Higijena muže obuhvata skup zoohigijenskih, tehnoloških i biosigurnosnih mera usmerenih na sprečavanje kontaminacije mleka patogenim i mikroorganizmima kvara tokom muže i manipulacije sirovim mlekom. Mleko, zbog svog hemijskog sastava, predstavlja izuzetno pogodan supstrat za rast mikroorganizama, te kontaminacija može nastati već u vimenu, ali i tokom i nakon muže. Poseban značaj imaju zdravstveni status muznih životinja, pravilna priprema vimena, higijena mužača, kao i adekvatna primena dezinfekcionih sredstava pre i posle muže. U radu su prikazani osnovni fiziološki mehanizmi laktacije, tehnike muže i savremeni principi dezinfekcije u funkciji prevencije mastitisa i obezbeđenja higijenski ispravnog mleka.

Ključne reči: dezinfekcija, higijena, mleko, ručna muža, mašinska muža

Abstract

Milking hygiene comprises a set of zoohygienic, technological and biosafety measures aimed at preventing contamination of milk with pathogenic and spoilage microorganisms. Due to its chemical composition, milk represents an excellent medium for microbial growth; therefore contamination may occur in the udder as well as during and after milking. Special emphasis is placed on animal health status, udder preparation, milker hygiene and the proper application of disinfectants before and after milking. This paper presents physiological mechanisms of lactation, milking techniques and modern disinfection principles in the prevention of mastitis and production of hygienically safe milk.

Keywords: disinfection, hygiene, milk, manual milking, mechanical milking

¹ Dr sci. vet. med. Radoslava Savić Radovanović, spec. vet. mikrobiologije, vanredni profesor; dr sci. vet. med. Milijana Sindić, spec. vet. med, naučni saradnik, Univerzitet u Beogradu, Fakultet veterinarske medicine, Katedra za higijenu i tehnologiju namirnica animalnog porekla, Bulevar oslobođenja 18, 11000 Beograd, R. Srbija

² Dr sci. vet. med. Marija Pajić, redovni profesor; dr vet. med. Katarina Pajić, asistent, Univerzitet u Novom Sadu, Poljoprivredni fakultet, Trg Dositeja Obradovića 8, 21000 Novi Sad, R. Srbija

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

UVOD

Muža predstavlja postupak tokom kojeg se mleko izdvaja iz mlečne žlezde, i može se odvijati na dva načina: sisanjem teleta ili mužom krava (Slika 1 i 2).

U zavisnosti od načina izvođenja, muža može biti ručna ili mašinska. Uslovi u kojima se muža obavlja, primenjena tehnika, kao i zdravstveno stanje muznih životinja, imaju značajan uticaj na higijensku ispravnost mleka namenjenog ishrani ljudi.

Uslovi u pogledu zdravlja muznih životinja, higijene na farmama za proizvodnju mleka, kao i posebni zahtevi za sirovo mleko koje se stavlja u promet, propisani su važećom zakonskom regulativom (Pravilnik o veterinarsko-sanitarnim uslovima, odnosno opštim i posebnim uslovima za higijenu hrane životinjskog porekla; „Službeni glasnik RS”, br. 25/11 i 27/14). U procesu muže učestvuju tri osnovna faktora: ambijent u kojem se muža izvodi, mužač i muzna životinja.

Mlečna žlezda predstavlja funkcionalno zatvoren sistem iz kojeg mleko ne može da se izdvoji bez povećanja unutrašnjeg pritiska, koji potiskuje mleko ka otvoru sise. Kada unutrašnji pritisak prevaziđe spoljašnji, dolazi do otvaranja sfinktera papile i isticanja mleka. Kod ručne muže mleko se mehanički potiskuje iz sisnog dela cisterne prema izvodnom mlečnom kanalu i sisnom otvoru, čime se povećava razlika između unutrašnjeg i spoljašnjeg pritiska. Nasuprot tome, kod mašinske muže mleko se iz mlečne žlezde izdvaja delovanjem vakuuma.

Za pravilno izvođenje muže neophodno je poznavanje fiziologije mlečne žlezde. Laktacija se sastoji od dva osnovna procesa: sekrecije i ejakcije mleka. Sekrecija mleka je kontinuiran proces koji traje sve dok se alveole ne ispune mlekom. Ejakcija mleka podrazumeva njegovo premeštanje iz alveola u izvodne mlečne kanale i cisternu, odakle se može izdvojiti sisanjem ili mužom. Ovaj proces, poznat kao spuštanje mleka, nastaje kao odgovor na pripremu za mužu ili prisustvo teleta.

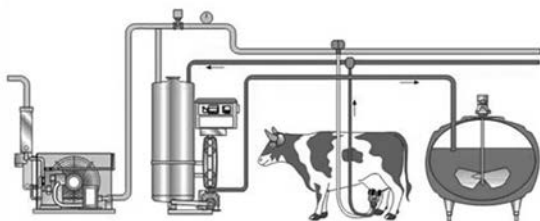
Pražnjenje alveola i prelazak mleka u izvodne kanale odvija se pod dejstvom oksitocina. Oksitocin je hormon koji se sintetiše u hipotalamusu, a oslobađa iz zadnjeg reznja hipofize putem neurohormonalnog refleksa. Njegovo delovanje na mioepitelne ćelije je kratkotrajno i traje približno 6–8 minuta. Pod uticajem oksitocina dolazi do kontrakcije mioepitelnih ćelija i potiskivanja mleka u izvodne mlečne kanale i cisternu vimena. Bez ovog mehanizma kompletno izmuzanje nije moguće.

U stresnim uslovima dolazi do lučenja adrenalina, koji inhibira delovanje oksitocina. Adrenalin izaziva vazokonstrikciju krvnih sudova i sprečava njegov dolazak do mioepitelnih ćelija, čime se onemogućava refleks spuštanja mleka. Ukoliko se adrenalin luči pre početka ejakcije mleka, dolazi do potpunog blokiranja muže, dok se pri njegovom kasnijem lučenju javlja delimična inhibicija. Prisustvo stranih lica, buka ili grubo postupanje mogu izazvati stresnu reakciju kod životinja.

Ako se muža ne obavi u vremenskom intervalu delovanja oksitocina, dolazi do zadržavanja rezidualnog mleka, povećanja intramamarnog pritiska i posledično smanjenja sekrecije i prinosa mleka u narednoj muži (Katić i Bulajić, 2017).



Slika 1. Akt sisanja teleta
(<https://www.agroinfo.rs/govedarstvo/>)



Slika 2. Mašinska muža u mlekovod
(<https://milk-ed.eu/hr/milk-hygiene-hr-2/>)

PRIPREMA ZA MUŽU

Za pravilno izvođenje muže neophodna je adekvatna priprema muzne životinje, mužača i opreme za prihvatanje mleka. Ove mere imaju za cilj smanjenje mikrobiološke kontaminacije mleka i očuvanje zdravlja mlečne žlezde. U pripremi muzne životinje sprovodi se redovno pranje papila i vimena. U tu svrhu koristi se mlaka voda i čisti ubrusi za brisanje, pri čemu je neophodno da vime pre početka muže bude čisto i suvo. Nakon pranja, pristupa se ispitivanju prvih mlazeva mleka izmuzanjem u posudu sa tamnim dnom, što omogućava lakše uočavanje eventualnih promena u boji i konzistenciji mleka. Prvi mlazevi mleka, po pravilu, sadrže najveći broj mikroorganizama, pa se njihovim uklanjanjem značajno smanjuje početna mikrobiološka kontaminacija. Mleko korišćeno za ovu svrhu ne sme se koristiti za ishranu ljudi. Pored toga, pravilna priprema vimena podrazumeva i primenu odgovarajućih higijenskih i dezinfekcionih mera, koje imaju ključnu ulogu u sprečavanju ulaska patogenih mikroorganizama u sisni kanal i razvoju mastitisa.

Priprema mužača za mužu

Mužač mora biti adekvatno obučen i opremljen, bez obzira na način izvođenja muže. Radna odeća (odelo, mantil, kecelja, kapa i čizme) treba da bude izrađena od materijala koji omogućavaju lako održavanje higijene i redovno pranje. Poseban značaj ima lična higijena mužača, kao i poznavanje pravilne tehnike muže. Jedna od najvažnijih mera je održavanje higijene ruku. Preporučuje se upotreba zaštitnih rukavica, koje značajno smanjuju rizik od prenošenja uzročnika mastitisa sa jedne životinje na drugu. Rukavice se moraju redovno prati i dezinfikovati, naročito nakon kontakta sa mlekom ili drugim organskim materijalom. U slučaju oštećenja, rukavice se moraju odmah zameniti novim, kako bi se održao kontinuitet higijenske zaštite (Mihajlović i sar., 2022).

RUČNA MUŽA

Kod ručne muže pražnjenje vimena postiže se istiskivanjem mleka iz mlečne žlezde koordinisanim pokretima ruke (Slika 3). Isticanje mleka nastaje usled povećanja pritiska u cisterni papile, koji se postiže pritiskanjem zidova papile šakom. Ručna muža može se izvoditi na više načina: zatvorenom šakom (muža celom šakom), sa podvijenim palcem ili sa dva prsta. Muža zatvorenom šakom smatra se najpravilnijom tehnikom. Izvodi se tako što se papila obuhvati palcem i kažiprstom, nakon čega se sukcesivnim pritiskanjem prstiju, od kažiprsta ka malom prstu, mleko istiskuje iz cisterne papile. Pri ovom načinu muže papile se ne povlače nadole, već se mleko istiskuje kontrolisanim pritiskom, čime se smanjuje rizik od oštećenja tkiva. Muža sa podvijenim palcem izvodi se savijanjem palca sa jedne strane papile, dok se ostatkom prstiju obuhvata papila i vrši istiskivanje mleka. Ova tehnika može dovesti do oštećenja papila i deformacija vimena, te se preporučuje samo u slučajevima otežane muže.

Muža sa dva prsta podrazumeva hvatanje papile palcem i kažiprstom i povlačenje nadole, pri čemu dolazi do istiskivanja mleka. Ovaj način muže primenjuje se kod životinja sa tankim i kratkim papilama, ali može dovesti do njihovog istezanja i deformacija, te se ne preporučuje za rutinsku primenu. Za izvođenje ručne muže koristi se odgovarajući pomoćni pribor, kao što su muzlice, stolice, posude za pranje vimena i ubrusi. Muzlice se najčešće izrađuju od nerđajućeg čelika, sa glatkim i ispoliranim površinama koje omogućavaju efikasno čišćenje i dezinfekciju. Njihov oblik treba da obezbedi jednostavno rukovanje i održavanje higijene. Upotreba emajliranih posuda nije preporučljiva, jer oštećenja emajla mogu dovesti do kontaminacije mleka i stvaranja mikrobiološki rizičnih površina (Katić i Bulajić, 2017).



Slika 3. Ručna muža u kantu

(<https://biznis.telegraf.rs/agro-biz/3926251>)

MAŠINSKA MUŽA

Sa porastom intenziteta proizvodnje mleka javila se potreba za mehanizacijom muže. Prvi pokušaji zamene ručne mašinskom mužom datiraju sa početka XIX veka, ali su bili praćeni brojnim nedostacima i oštećenjima tkiva vimena. Istorijski zapisi navode primenu slamki ili guščijih pera u sisnom kanalu, što je dovodilo do povreda epitela, kao i pokušaje sa mehaničkim uređajima koji su imitirali pokrete prstiju, ali bez zadovoljavajućih rezultata. Daljim razvojem tehnologije konstruisane su mašine koje funkcionišu na principu vakuuma, čime je omogućeno efikasno i kontrolisano izdvajanje mleka iz mlečne žlezde.

Princip rada mašina za mužu

Savremene mašine za mužu zasnivaju se na oponašanju prirodnog procesa sisanja teleta. Tokom sisanja, tele ustima čvrsto obuhvata osnov papile, sprečavajući ulazak vazduha, dok širenjem vilica stvara vakuum koji omogućava isticanje mleka. Nakon punjenja usne duplje mlekom dolazi do gutanja, pri čemu vakuum opada, a proces se ciklično ponavlja. U toku jedne minute tele može izvesti oko 120 ciklusa sisanja, stvarajući vakuum u rasponu od 27 do 37 kPa.

U procesu muže, sekrecija mleka je kontinuirana, dok je njegovo izdvajanje uslovljeno ejakcijom, odnosno prelaskom mleka iz alveola i sitnih kanalića u cisternu vimena. Ovaj proces zavisi od delovanja oksitocina i povećanja intramamarnog pritiska, koji mora prevazići kapilarne sile i otpor sfinktera papile. Kod mašinske muže, unutar sisne čaše na papilu deluje konstantan vakuum, dok se u prostoru za pulzaciju smenjuju faze vakuuma i atmosferskog pritiska. Ovakva naizmenična promena pritiska omogućava imitaciju prirodnog sisanja, pri čemu dolazi do otvaranja sfinktera papile i isticanja mleka. Mleko se potom, putem vakuuma, transportuje kroz mlekovod do prihvatnog suda.

Kontinuirano delovanje vakuuma može imati nepovoljan efekat na tkivo mlečne žlezde, zbog čega se u savremenim aparatima primenjuje pulsirajući režim rada, kojim se obezbeđuje periodično rasterećenje papile. Sisna čaša, kao osnovni element muznog aparata, funkcionalno zamenjuje usta teleta i sastoji se od unutrašnjeg prostora za mleko i spoljašnjeg prostora za pulzaciju. Naizmenično prekidanje vakuuma omogućava efikasno i bezbedno izvođenje muže (Katić i Bulajić, 2017).

Postupak izvođenja muže

Za dobijanje higijenski ispravnog mleka neophodna je pravilna priprema muzne životinje i primena odgovarajuće tehnike muže, kako bi se omogućilo potpuno i efikasno pražnjenje vimena. (Slika 4)

Kod životinja sa promenjenom sekrecijom mleka preporučuje se dodatno ručno izmuzanje radi potpunog pražnjenja vimena (Katić i Bulajić, 2017).



Slika 4. Mašinska muža u izmuzištu

(<https://www.agroklub.rs/stocarstvo/na-sta-treba-obratiti-paznju-prilikom-masinske-muze-krava/82687/>)

Priprema krave

Pripremom krave za mužu uklanjaju se nečistoće sa kože vimena koje bi mogle da kontaminiraju mleko. Istovremeno, putem taktilnih, auditivnih i vizuelnih nadražaja stimuliše se refleks spuštanja mleka. Priprema obuhvata pranje i brisanje vimena, kao i ispitivanje prvih mlazeva mleka.

Priprema vimena

Čisto i suvo vime, u adekvatnim higijenskim uslovima, predstavlja osnovni preduslov za dobijanje higijenski ispravnog mleka. Ovaj cilj se postiže kombinacijom pravilne zoohigijenske prakse i primene odgovarajućih dezinfekcionih mera. Vime se pere mlakom vodom, a u sistemima vezanog držanja često se koriste kante sa dodatkom dezinfekcionih sredstava. Najčešće primenjivani dezinficijensi su hlorheksidin, jodofori i kvaternerna amonijum jedinjenja, u koncentracijama propisanim od strane proizvođača. U izmuzištima se za pranje koriste sistemi sa tekućom vodom (creva) (Slika 4). Nakon pranja, vime je neophodno osušiti papirnim ubrusima ili krpama, čime se sprečava zadržavanje i slivanje vode sa papila, koja može biti izvor kontaminacije. U savremenoj praksi sve češće se primenjuju metode suvog čišćenja vimena.

Ispitivanje prvih mlazeva mleka

Po završetku pranja i dezinfekcije, pristupa se izmuzanju prvih mlazeva mleka u posudu sa tamnim dnom, radi uočavanja eventualnih promena u boji i konzistenciji mleka. Ovaj postupak ima i značajnu higijensku ulogu, jer prvi mlazevi sadrže najveći broj mikroorganizama, pa se njihovim uklanjanjem smanjuje početna kontaminacija mleka.

Izmuzanje se izvodi u posebnu posudu, a nikako na ruku ili pod, niti se njen sadržaj sme prosipati u stajskom prostoru, kako bi se sprečilo širenje uzročnika bolesti. U slučaju pojave promena, kao što su pahuljice, gromuljice ili prisustvo krvi, životinje se izdvajaju i podvrgavaju dijagnostičkim postupcima u cilju utvrđivanja mastitisa, a njihovo mleko se ne koristi za ishranu ljudi.

Tehnika muže

Nakon adekvatne pripreme i uspostavljanja refleksa spuštanja mleka, pristupa se muži. Muzne jedinice se postavljaju na papile u optimalnom vremenskom intervalu delovanja oksitocina, koji traje približno 6–8 minuta. Ukoliko se muža ne obavi u tom periodu, dolazi do smanjenja prinosa mleka. (Slika 5)



Slika 5. Mašinska muža sa postavljenim sisnim čaićama na papilama vimena
(<https://sano.rs/prodavnica/muzna-oprema/>)

Prilikom mašinske muže, sisna garnitura se postavlja pažljivo, najpre na najudaljeniju papilu, a zatim na ostale, uz prethodno uspostavljen vakuum. Potrebno je voditi računa da ne dođe do usisavanja prostirke ili nečistoća. Po završetku muže, što se prepoznaje po prestanku isticanja mleka, sisna garnitura se pažljivo uklanja.

Dezinfekcija papila pre i posle muže

Dezinfekcija papila pre i posle muže predstavlja jednu od najznačajnijih mera u prevenciji supkliničkih i kontagioznih mastitisa. Primena ovih postupaka ima za cilj smanjenje mikrobiološkog opterećenja površine papila i sprečavanje ulaska patogenih mikroorganizama u sisni kanal.

Dezinfekcija nakon muže ima poseban značaj, jer se sprovodi u trenutku kada je sisni kanal još uvek otvoren. Na taj način omogućava se direktno delovanje dezinfekcionog sredstva na mikroorganizme koji su tokom muže dospeli na

površinu papila ili u početni deo sisnog kanala. Ova mera se smatra jednom od najefikasnijih u kontroli širenja kontagioznih uzročnika mastitisa (Hristov i sar, 1997; Relić i sar, 2006).

U praksi se koriste različita dezinfekciona sredstva za potapanje ili prskanje papila, među kojima su najzastupljeniji jod i jodofori, hlorheksidin, hlor-dioksid, vodonik-peroksid, natrijum-hipohlorit i kvaternerna amonijum jedinjenja. Izbor sredstva i njegova koncentracija moraju biti usklađeni sa preporukama proizvođača, kako bi se obezbedila optimalna efikasnost i bezbednost primene.

Preparati na bazi joda, posebno u obliku jodofora, imaju izražena dezinfekciona svojstva i široku primenu u praksi. Jodofori sadrže stabilizujuće komponente koje sprečavaju međusobno vezivanje molekula joda, čime se održava njihova aktivnost i omogućava efikasno delovanje na mikroorganizme na površini kože papila. U literaturi se često navodi primena joda u koncentraciji od oko 1% za dezinfekciju papila nakon muže (Hristov i Stanković, 2002; Relić i sar, 2006; Zhang i sar, 2021).

Postupak sa mlekom bolesnih krava

U toku ručne i mašinske muže od posebnog je značaja obezbediti jasno razdvajanje zdravih, bolesnih i lečenih životinja, kao i sprovođenje odvojene muže. Bolesne i lečene krave moraju biti vidno označene, kako bi se sprečila mogućnost mešanja njihovog mleka sa mlekom zdravih životinja.

Muža ovih životinja izvodi se na kraju muže, a u sistemima sa mlekovodom obavezno u posebne muzne kante, čime se sprečava kontaminacija zajedničkog sistema. Mleko poreklom od bolesnih i lečenih krava ne sme se koristiti za ishranu ljudi i mora se zbrinuti u skladu sa važećim propisima.

Nakon završene muže bolesnih krava, sav pribor i oprema za mužu moraju se odmah temeljno oprati i dezinfikovati, kako bi se sprečilo širenje uzročnika bolesti na ostale životinje.

ZAKLJUČAK

Higijena muže predstavlja skup zoohigijenskih, tehnoloških i biosigurnosnih mera koje se sprovode u cilju sprečavanja kontaminacije mleka tokom ručne i mašinske muže. Ona je sastavni deo higijene držanja muznih životinja i obuhvata međusobno povezane faktore: muzača, muzne životinje, uslove smeštaja i ishranu, kao i sam postupak muže.

Muzač mora biti zdravstveno ispravan, adekvatno obučan i osposobljen za sprovođenje higijenskih postupaka pre i posle muže, uz poseban naglasak na higijenu ruku, koja ima ključnu ulogu u prevenciji prenosa uzročnika mastitisa i očuvanju zdravlja mlečne žlezde.

Muzne životinje moraju biti zdrave, čiste, pravilno držane i adekvatno hranjene, jer njihov zdravstveni status i uslovi držanja direktno utiču na higijensku ispravnost mleka. Muža mora biti pravilno i potpuno sprovedena, u redovnim

vremenskim intervalima, u objektima koji se redovno čiste, provetravaju i održavaju u higijenski zadovoljavajućem stanju, bilo da se radi o stajama ili izmužištima.

Poseban značaj ima ispitivanje prvih mlazeva mleka, koje prethodi pripremi vimena. Priprema obuhvata pranje, sušenje i dezinfekciju papila pre postavljanja sisnih čašica ili početka ručne muže. Dodatno, potapanje ili prskanje papila odgovarajućim dezinfekcionim sredstvima značajno doprinosi smanjenju mikrobiološkog opterećenja i prevenciji supkliničkih mastitisa.

Neophodan preduslov za dobijanje higijenski ispravnog mleka predstavlja i ispravnost opreme za mužu, uključujući pravilno podešen nivo vakuuma, kao i redovno i adekvatno čišćenje i održavanje muznog sistema. Samo uz istovremeno poštovanje svih navedenih mera moguće je obezbediti zdravstveno bezbedno mleko visokog higijenskog kvaliteta.

Zahvalnica

Rad je podržan sredstvima Ministarstva nauke, tehnološkog razvoja i inovacija prema ugovorima broj 451-03-34/2026-03/200143 i broj. 451-03-34/2026-03/200117.

LITERATURA

1. Hristov, S., Stanković, B., Samolovac, Lj., Ostojić Andrić, D., & Nako, D. (2023). Hygiene procedures before, during and after cow milking. *Arhiv veterinarske medicine*, 16(1), 5–15.
2. Hristov, S., & Stanković, B. (2002). Najznačajniji aspekti u primeni dezinfekcije vimena krava. In *Zbornik radova, XIII Savetovanje iz dezinfekcije, dezinsekcije i deratizacije u zaštiti životne sredine*, sa međunarodnim učešćem (pp. 75–83). Kikinda.
3. Hristov, S., Vučinić, M., & Jožef, I. (1997). Dezinfekcija vimena krava pre i posle muže. In *Zbornik radova, VIII Savetovanja iz DDD u zaštiti životne sredine* (pp. 15–21). Subotica.
4. Katić Vera Bulajić Snežana (2017). Higijena i tehnologija mleka. Naučna knjiga KMD, Beograd, pp. 276–302.
5. Mihajlović, Lj., Cincović, M., Nakov, D., Stanković, B., Miočinović, J., & Hristov, S. (2022). Improvement of hygiene practices and milk hygiene due to systematic implementation of preventive and corrective measures. *Acta Veterinaria-Beograd*, 72(1), 76–86. <https://doi.org/10.2478/acve-2022-0006>
6. Relić, R., Hristov, S., Stanković, B., Joksimović-Todorović, M., Davidović, V., & Gavrić, B. (2006). Dezinfekcija vimena krava – pregled najnovijih saznanja. *Biotehnologija u stočarstvu*, 22, 737–748.
7. Zhang, H. M., Jiang, H. R., Chen, D. J., Shen, Z. L., Mao, Y. J., Liang, Y. S., & Yang, Z. P. (2021). Evaluation of a povidone-iodine and chitosan-based barrier teat dip in the prevention of mastitis in dairy cows. *Journal of Integrative Agriculture*, 20(6), 1615–1625. [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(20\)63418-9](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(20)63418-9)

Pregledni rad DOI: 10.5937/DDD26012K

SAVREMENE TEHNOLOGIJE DEZINFEKCIJE KONTAKTNIH POVRŠINA U INDUSTRIJI SUVE HRANE: MEHANIZMI DELOVANJA, TEHNOLOŠKI IZAZOVI I INDUSTRIJSKA PRIMENA

ADVANCED DISINFECTION TECHNOLOGIES FOR FOOD-CONTACT SURFACES IN THE DRY FOOD INDUSTRY: MECHANISMS, TECHNOLOGICAL CHALLENGES AND INDUSTRIAL APPLICATION

Jasna Kureljušić^{1}, Ana Vasić¹, Jelena Maletić¹*

Kratak sadržaj

Dezinfekcija kontaktnih površina predstavlja ključnu meru kontrole mikrobiološke kontaminacije u industriji suve hrane. Specifičnosti ovog sektora, uključujući nisku aktivnost vode (*aw*), prisustvo prašine i ograničenu primenu vlažnih metoda čišćenja, značajno utiču na efikasnost dezinfekcionih postupaka. U radu su prikazane savremene tehnologije dezinfekcije, uključujući hemijske, fizičke i inovativne metode kao što su UV zračenje, hladna plazma i pregrejana para. Poseban akcenat stavljen je na mehanizme delovanja, faktore koji utiču na efikasnost, kao i tehnološke izazove u industrijskoj primeni, uključujući biofilm i otpornost mikroorganizama u uslovima niske aktivnosti vode. Cilj rada je da pruži sveobuhvatan pregled savremenih tehnologija i preporuke za njihovu primenu u industrijskim uslovima.

Ključne reči: dezinfekcija, kontaktne površine, suva hrana, biofilm, UV, hladna plazma

Abstract

Disinfection of food-contact surfaces represents a critical control measure in the dry food industry. Specific conditions such as low water activity (*aw*), presence of dust and limited use of wet sanitation significantly influence the effectiveness of disinfection processes. This paper reviews modern disinfection technologies, including chemical, physical and emerging methods such as UV radiation, cold plasma and superheated steam. Special attention is given to mechanisms of action, factors affecting efficiency and technological challenges, including biofilm formation and microbial resistance under low *aw* conditions.

Keywords: disinfection, food-contact surfaces, dry food, biofilm, cold plasma

¹ Dr sci. vet. med. Jasna Kureljušić, viši naučni saradnik; dr sci. vet. med. Ana Vasić, viši naučni saradnik; dr sci. vet. med. Jelena Maletić, naučni saradnik, Naučni Institut za veterinarsvo Srbije, Janisa Janulisa 14, 11000 Beograd, R. Srbija

* e-mail kontakt osobe: jasnakureljusic@yahoo.com

UVOD

Hrana sa niskom aktivnošću vode ($a_w < 0,85$) definiše se kao hrana u kojoj dostupnost slobodne vode nije dovoljna za aktivan rast većine mikroorganizama. Iako se tradicionalno smatrala mikrobiološki bezbednom, brojna istraživanja su pokazala prisustvo i sposobnost preživljavanja patogenih mikroorganizama u ovim proizvodima [1].

U poslednjih nekoliko godina zabeležen je značajan broj povlačenja proizvoda sa tržišta usled kontaminacije različitim patogenima, uključujući brašno, kikiriki puter, tahini, sušeni kokos i chia seme. Ovi događaji ukazuju na ozbiljan problem jednog zdravlja i potrebu za unapređenjem higijenskih i dezinfekcionih procedura u industriji suve hrane. Mikroorganizmi kao što su *Salmonella* spp., *Listeria monocytogenes*, *Escherichia coli* i *Staphylococcus aureus* mogu preživeti u uslovima niske aktivnosti vode [2]. Nakon rehidracije kontaminiranih proizvoda dolazi do stvaranja povoljnih uslova za njihov rast, čime se značajno povećava rizik od infekcije.

Proces desikacije (isušivanja) u industriji suve hrane dovodi do adaptivnih promena mikroorganizama, čime oni postaju otporniji na različite dezinfekcione postupke [3]. Ova povećana otpornost predstavlja ozbiljan izazov za bezbednost hrane. Unakrsna kontaminacija i neadekvatna higijena identifikovani su kao ključni faktori u nastanku epidemija prenosivih hranom. Mikroorganizmi prisutni na površinama mogu se odvojiti, kolonizovati druge površine i dovesti do kontaminacije hrane [3].

Dodatno, prisustvo tzv. perzistentnih sojeva u proizvodnim pogonima ima značajan uticaj na ponovnu kontaminaciju i dugotrajno održavanje mikrobiološkog rizika u industrijskom okruženju [4].

PUTEVI KONTAMINACIJE U INDUSTRIJI SUVE HRANE

Mikroorganizmi mogu dospeti u proizvodne pogone i industrijsko okruženje putem više različitih izvora, uključujući vazduh, vodu, sirovine, kontaktne površine i osoblje (Slika 1) [5]. Ovi putevi predstavljaju primarne izvore ulaska mikroorganizama u sistem proizvodnje i imaju ključnu ulogu u nastanku i širenju kontaminacije.

Vazduh kao izvor kontaminacije

Vazduh predstavlja značajan medijum prenosa mikroorganizama, posebno u uslovima gde dolazi do stvaranja aerosola i prašine. Tokom manipulacije sirovinama, kao što su mlevenje, transport i pakovanje, dolazi do oslobađanja čestica koje mogu sadržati patogene mikroorganizme. Ove čestice se lako šire kroz proizvodni prostor i talože na kontaktnim površinama, čime doprinose sekundarnoj kontaminaciji proizvoda [6].

Voda kao faktor rizika

Voda, iako se u industriji suve hrane koristi ograničeno, predstavlja potencijalni izvor kontaminacije, naročito tokom procesa čišćenja i sanitacije. Kontaminirana voda može dovesti do direktnog prenosa mikroorganizama na opremu i površine, ali i indirektno uticati na povećanje aktivnosti vode na površinama, čime se stvaraju povoljniji uslovi za opstanak mikroorganizama i adheziju [7].

Sirovine kao primarni izvor kontaminacije

Sirovine predstavljaju jedan od najznačajnijih izvora primarne kontaminacije. Mikroorganizmi prisutni u sirovinama mogu se preneti na opremu, površine i gotove proizvode. Posebno je značajno da određeni patogeni, kao što su *Salmonella* spp., mogu opstati u suvim sirovinama i kasnije dovesti do kontaminacije tokom daljih faza proizvodnje [1].

Kontaktne površine i prenos mikroorganizama

Kontaktne površine imaju ključnu ulogu u prenosu mikroorganizama. Površine koje dolaze u direktan kontakt sa hranom, kao što su transportne trake, radne ploče i alati, mogu postati rezervoari mikroorganizama. Mikroorganizmi koji se vezuju za ove površine mogu se odvojiti i preneti na druge proizvode ili površine, čime dolazi do unakrsne kontaminacije [3].

Higijena osoblja kao faktor kontaminacije

Higijena osoblja predstavlja još jedan važan faktor u kontroli kontaminacije. Neadekvatna higijena ruku, odeće i zaštitne opreme može dovesti do prenosa mikroorganizama sa radnika na površine i proizvode. Osoblje može delovati kao vektor kontaminacije, posebno u uslovima gde nisu primenjene adekvatne higijenske mere i kontrola pristupa [7].

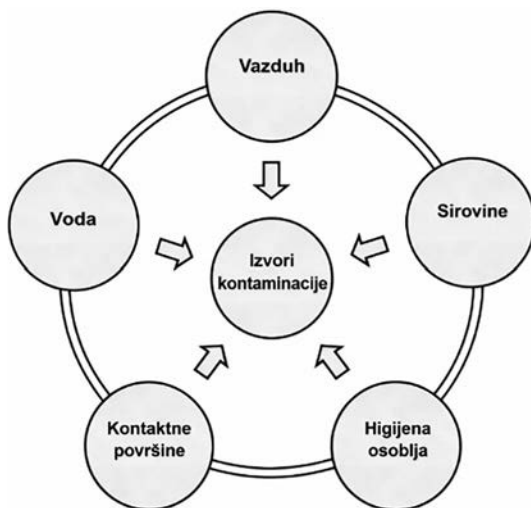
Svi navedeni putevi kontaminacije međusobno su povezani i čine kompleksan sistem prenosa mikroorganizama unutar proizvodnog okruženja. Zbog toga je neophodno primenjivati integrisani pristup kontrole kontaminacije, koji uključuje:

- kontrolu kvaliteta vazduha i prašine
- upravljanje vodom i sanitacionim procesima
- kontrolu sirovina
- dezinfekciju kontaktnih površina
- obuku i nadzor osoblja

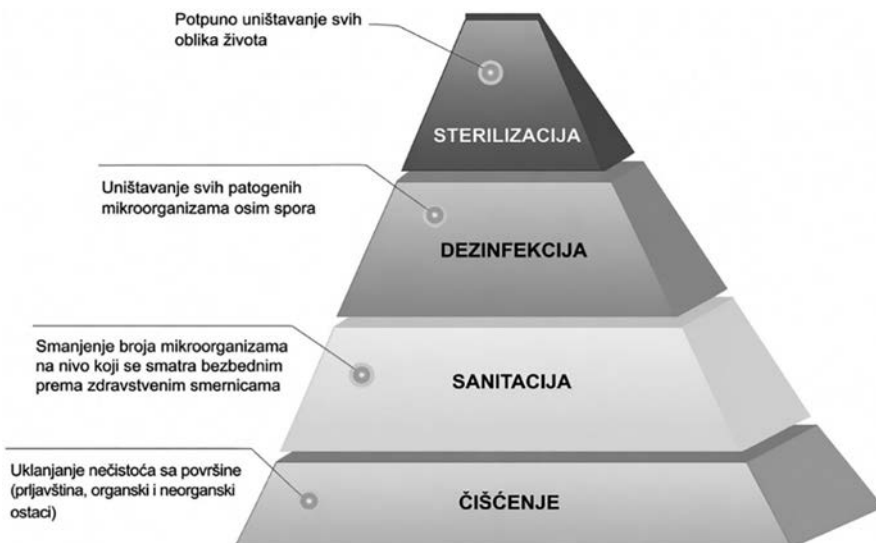
Higijensko zoniranje kao strategija kontrole

Dodatno, implementacija higijenskog zoniranja u proizvodnim pogonima predstavlja efikasan način identifikacije rizičnih zona i sprečavanja širenja kontaminacije. Zone se definišu na osnovu potencijalnog rizika, čime se omogućava efikasnije upravljanje higijenom i kontrola mikrobioloških opasnosti [5].

S obzirom na to da proizvodno okruženje ima ključnu ulogu u nastanku i širenju kontaminacije, primena koncepta higijenskog zoniranja predstavlja jednu od najvažnijih mera kontrole. Higijensko zoniranje podrazumeva podelu proizvodnog prostora na različite zone u zavisnosti od nivoa mikrobiološkog rizika, pri čemu se identifikuju kritične tačke kontaminacije i potencijalna mesta zadržavanja mikroorganizama, tzv. „niše” ili „harborage areas”. Ovakav pristup omogućava ciljanu primenu mera dezinfekcije i efikasnije upravljanje higijenom u proizvodnim pogonima [5].



Slika 1. Mogući putevi unosa i širenja mikroorganizama u postrojenju za prerađu suve hrane



Slika 2. Tehnike za redukciju mikrobiološke kontaminacije u procesu prerađivanja hrane

PROCESI ČIŠĆENJA, SANITACIJE I DEZINFEKCIJE

Smanjenje nivoa mikrobiološke kontaminacije u prehrambenoj industriji može se postići primenom različitih postupaka, među kojima su najznačajniji čišćenje, sanitacija, dezinfekcija i sterilizacija (Slika 2). Svaki od ovih procesa ima specifičnu ulogu i nivo efikasnosti u uklanjanju ili inaktivaciji mikroorganizama sa kontaktnih površina.

Čišćenje kao osnovni korak

Čišćenje predstavlja osnovni korak u procesu uklanjanja kontaminacije i podrazumeva uklanjanje vidljivih nečistoća sa površina, uključujući ostatke hrane, prašinu i druge čestice. Ovaj proces obuhvata mehaničke radnje kao što su ribanje, pranje i ispiranje kontaktnih površina, sa ciljem uklanjanja organskih i neorganskih naslaga [8]. Ostaci hrane se često akumuliraju u pukotinama, spojevima i neravnim površinama, gde predstavljaju idealno mesto za razvoj mikroorganizama. Za razliku od toga, glatke i neporozne površine omogućavaju efikasnije uklanjanje kontaminanata.

Naslage hrane koje ostaju na opremi nakon proizvodnje često su kontaminirane mikroorganizmima koji koriste prisutne nutrijente za rast i opstanak. U praksi se za uklanjanje ovih naslaga najčešće koriste voda i deterdženti, koji omogućavaju razgradnju i uklanjanje organske materije sa površina. Međutim, čišćenje samo po sebi nije dovoljno za eliminaciju mikroorganizama, već predstavlja pripremnu fazu za dalju obradu.

Sanitacija i dezinfekcija

Nakon procesa čišćenja sprovodi se sanitacija i/ili dezinfekcija, čiji je cilj smanjenje broja mikroorganizama na bezbedan nivo ili njihovo uništavanje. Sanitacija podrazumeva smanjenje broja mikroorganizama na nivo koji se smatra bezbednim u skladu sa smernicama javnog zdravlja. Dezinfekcija predstavlja viši nivo kontrole i odnosi se na uništavanje svih patogenih mikroorganizama, osim bakterijskih spora, koje pokazuju značajnu otpornost na standardne dezinfekcione postupke.

Sterilizacija i njena ograničenja

Sterilizacija predstavlja najviši nivo mikrobiološke kontrole i podrazumeva uništavanje svih oblika života, uključujući vegetativne ćelije, spore, viruse i gljivice [9]. Međutim, zbog svoje intenzivnosti i zahteva u pogledu opreme i uslova, sterilizacija se retko primenjuje na kontaktnim površinama u prehrambenoj industriji, već je ograničena na specifične procese i opremu.

Važno je istaći da trenutno ne postoji univerzalno antimikrobno sredstvo koje bi istovremeno bilo širokog spektra delovanja i posedovalo sve potrebne karakteristike za efikasnu eliminaciju mikroorganizama sa kontaktnih površina [10].

Zbog toga se u praksi primenjuje kombinacija različitih metoda i pristupa, u zavisnosti od vrste površine, tipa kontaminacije i uslova proizvodnje.

Higijensko zoniranje predstavlja ključni element u upravljanju mikrobiološkim rizicima u proizvodnim pogonima. Ovaj pristup podrazumeva klasifikaciju prostora u različite zone prema nivou rizika, od zone sa najvećim rizikom (Zona 1) do zone sa najmanjim rizikom (Zona 4), kako bi se omogućila primena strožih higijenskih mera u kritičnim područjima i racionalnije upravljanje resursima u zonama nižeg rizika [11].

Primena higijenskog zoniranja omogućava:

- identifikaciju kritičnih kontrolnih tačaka
- kontrolu kretanja osoblja i materijala
- smanjenje rizika od unakrsne kontaminacije
- efikasniju primenu dezinfekcionih procedura

SPECIFIČNOSTI DEZINFEKCIJE U INDUSTRIJI SUVE HRANE

U industriji suve hrane dominantno se primenjuju tzv. „suve metode” čišćenja i dezinfekcije. Ovakav pristup proizlazi iz činjenice da dodatak vlage može dovesti do:

- povećanja aktivnosti vode
- stvaranja grudvica proizvoda
- ubrzane degradacije proizvoda

Zbog toga se izbegava upotreba vode, a prednost se daje mehaničkom uklanjanju nečistoća, vakuumiranju i kontrolisanim metodama dezinfekcije.

Suve metode dezinfekcije

U industriji suve hrane, primena dezinfekcionih postupaka dodatno je otežana zbog ograničenja u upotrebi vode. Iz tog razloga razvijene su specifične suve metode dezinfekcije koje omogućavaju kontrolu mikrobiološke kontaminacije bez povećanja aktivnosti vode u proizvodnom okruženju.

Efikasnost procesa dezinfekcije značajno se smanjuje u prisustvu organskih i neorganskih ostataka, zbog čega je neophodno prethodno sprovesti fazu čišćenja radi uklanjanja naslaga sa kontaktnih površina. U prehrambenoj industriji mogu se primenjivati i suvi i vlažni postupci čišćenja. Međutim, u industriji suve hrane unošenje vlage predstavlja ozbiljan rizik, jer može stvoriti uslove za zadržavanje i razvoj mikroorganizama. Zbog toga se vlažni postupci čišćenja često smatraju neprihvatljivim u objektima gde se obrađuju proizvodi sa niskom aktivnošću vode, budući da dodatak vode može podstaći adheziju i rast bakterija.

Konvencionalne suve metode uključuju četkanje, metenje, struganje, vakuumsko čišćenje i izduvavanje komprimovanim vazduhom. Ove metode su efikasne u uklanjanju prašine, nečistoća i ostataka hrane sa opreme, zidova, plafona i podova. Međutim, njihova glavna ograničenja su neefikasnost u eliminaciji mikroorganizama i alergena, ograničen pristup teško dostupnim mestima, kao

i mogućnost stvaranja oblaka prašine i sekundarne kontaminacije. Iako ove metode ne obezbeđuju potpunu mikrobiološku sigurnost, one imaju važnu ulogu u smanjenju rizika i predstavljaju osnovu za primenu naprednijih dezinfekcionih tehnologija. Pored same opreme, neophodno je održavati higijenu celokupnog proizvodnog okruženja. U industriji suve hrane naročito je izražen problem formiranja prašine, koja nastaje tokom rukovanja sirovinama, mlevenja, transporta i pakovanja.

Prašina kao vektor kontaminacije

Prašina predstavlja značajan rizik jer može sadržati:

- patogene mikroorganizme
- alergene
- ostatke sirovina

Tokom manipulacije suvim materijalima dolazi do stvaranja oblaka prašine koji omogućavaju širenje kontaminacije kroz proizvodni prostor. Mikroorganizmi i alergeni mogu biti zarobljeni u česticama prašine i preneti na različite površine i proizvode, čime dolazi do unakrsne kontaminacije [12]. Neadekvatno održavanje čistoće može dovesti do kontaminacije proizvoda, čime se direktno ugrožava bezbednost hrane i zdravlje potrošača.

Dodatno, abrazivna priroda čestica prašine može izazvati:

- habanje opreme
- oštećenje površina
- probleme sa podmazivanjem

Ovi faktori mogu indirektno doprineti povećanju rizika od kontaminacije, jer oštećene površine predstavljaju pogodna mesta za zadržavanje mikroorganizama i formiranje biofilma.

Vlažno čišćenje i ograničenja

Vlažno čišćenje (wet cleaning) u prehrambenoj industriji sprovodi se primenom oksidacionih antimikrobnih sredstava, kao što su hlorni preparati, peroksiacetna kiselina, vodonik-peroksid i kvarterne amonijumske soli. Ova sredstva deluju putem oksidativnih mehanizama i omogućavaju efikasno uklanjanje mikroorganizama sa kontaktnih površina.

U praksi se vlažno čišćenje najčešće primenjuje nakon završetka proizvodnog ciklusa i pre početka naredne proizvodnje. Ovaj postupak može se realizovati kao:

- čišćenje na mestu (CIP – Cleaning in Place), koje se sprovodi bez demontaže opreme
- čišćenje van mesta (COP – Cleaning out of Place), koje podrazumeva rastavljanje opreme i njeno odvojeno pranje

Nakon sprovedenog vlažnog čišćenja, neophodno je obezbediti potpuno sušenje svih kontaktnih površina pre početka proizvodnje, kako bi se sprečilo povećanje aktivnosti vode i stvaranje uslova pogodnih za rast mikroorganizama.

Za efikasnu kontrolu patogenih mikroorganizama u prehrambenim objektima neophodno je striktno poštovanje higijenskih mera i kontrola proizvodnih procesa, koje zajedno predstavljaju osnovu bezbednosti hrane [9].

FAKTORI KOJI UTIČU NA EFIKASNOST DEZINFEKCIJE

Dezinfekcija predstavlja ključni element svakog sistema upravljanja bezbednošću hrane. Neadekvatna primena dezinfekcionih procedura može dovesti do pojave epidemija prenosivih hranom, što dodatno naglašava značaj pravilne implementacije i kontrole ovih procesa [11].

Interakcije mikroorganizama

Prisustvo različitih mikroorganizama u proizvodnom okruženju može značajno uticati na preživljavanje i ponašanje mikroorganizama vezanih za površine. U takvim uslovima dolazi do kompleksnih interakcija između različitih bakterijskih vrsta, koje mogu imati i stimulativni i inhibitorni efekat na kolonizaciju površina.

Na primer, istraživanja su pokazala da prisustvo bakterija kao što su *Pseudomonas fragi* i *Flavobacterium* spp. može povećati kolonizaciju *Listeria monocytogenes* na različitim površinama, uključujući staklo i nerđajući čelik. Sasahara i saradnici [13] su utvrdili da povećana produkcija ekstracelularnih proteina doprinosi zadržavanju mikroorganizama u multispecijskim biofilmovima, čime se dodatno otežava njihovo uklanjanje.

Adhezija i hidrofobnost

Pored međusobnih interakcija mikroorganizama, hidrofobnost ćelijske površine predstavlja važan faktor u procesu adhezije. Mikroorganizmi sa izraženijom hidrofobnošću pokazuju veću sposobnost vezivanja za površine, što utiče na njihovu perzistenciju i otpornost na dezinfekciju. Međutim, određene studije su pokazale i suprotan efekat, odnosno smanjenu adheziju *Listeria monocytogenes* u prisustvu bakterija roda *Staphylococcus*, što ukazuje na kompleksnu i dinamičnu prirodu interakcija između mikroorganizama u biofilmu [14].

Faktori koji utiču na zadržavanje mikroorganizama na površinama

Zadržavanje i opstajanje mikroorganizama na kontaktnim površinama zavisi od više faktora, uključujući:

- vrstu i način primene dezinfekcionog postupka
- tip i fiziološke karakteristike mikroorganizama
- prisustvo organskih ostataka
- hemijski sastav i strukturu površine
- tip veze između mikroorganizama i površine
- slobodnu energiju površine i bakterijske ćelije

Ovi faktori mogu značajno smanjiti efikasnost dezinfekcionih procesa i omogućiti preživljavanje mikroorganizama čak i nakon primene standardnih sanitacionih procedura. Prisustvo vitalnih (živih) ćelija na biotičkim i abiotičkim površinama doprinosi njihovom potencijalu za biotransfer, odnosno prenos na druge površine ili proizvode. Takođe, istraživanja su pokazala da mikroorganizmi koji su osušeni na površinama (tzv. surface-dried cells) pokazuju znatno veću otpornost na dezinfekciona sredstva u poređenju sa planktonskim ćelijama, što predstavlja dodatni izazov u industriji suve hrane [15].

BIOTRANSFER I PERZISTENCIJA

Kontaminacija u industriji suve hrane može nastati putem vazduha ili preko kontaktnih površina, pri čemu oba puta predstavljaju značajne izvore mikrobiološkog rizika. Tokom rukovanja suvim sirovinama, naročito u procesima mlevenja, doziranja i transporta, dolazi do formiranja prašine i aerosola koji mogu sadržati patogene mikroorganizme. Ove čestice se lako šire kroz proizvodni prostor i mogu kontaminirati naredne serije proizvoda koji se obrađuju u istom pogonu. Pored toga, značajan mehanizam kontaminacije predstavlja i direktan prenos mikroorganizama sa kontaminiranih kontaktnih površina na hranu, što se najčešće dešava usled neadekvatne higijene opreme ili nepravilnog rukovanja proizvodima [16].

Rizik od biotransfera postoji čak i u situacijama kada su mikroorganizmi prisutni u stanju mirovanja, odnosno kada su vitalni, ali se ne razmnožavaju aktivno. Istraživanja su pokazala da prenos mikroorganizama može nastati kako u statičkim, tako i u dinamičkim sistemima. Dinamički sistemi uključuju pokretne delove opreme kao što su transportne trake, noževi i sekači, dok statički sistemi obuhvataju nepokretne kontaktne površine. Prenos mikroorganizama sa površina na hranu ne zavisi isključivo od vrste mikroorganizma niti od početnog broja ćelija prisutnih na površini, što dodatno komplikuje procenu rizika. Utvrđeno je da čak i niske koncentracije mikroorganizama mogu imati visok potencijal prenosa, naročito u uslovima gde dolazi do rehidratacije i formiranja tankog sloja vlage između površine i hrane [17]. Vlažnost proizvoda i stanje ćelija, odnosno da li su mikroorganizmi osušeni ili rehidrirani, značajno utiču na efikasnost biotransfera. Mehanizmi kao što su kapilarne sile i formiranje tečnih mostova između ćelija i površine hrane dodatno olakšavaju ovaj proces [8].

Pored biotransfera, značajan problem u industriji suve hrane predstavlja prisustvo perzistentnih mikroorganizama. Određeni sojevi bakterija imaju sposobnost dugotrajnog opstanka u proizvodnim uslovima i mogu se ponavljano izolovati iz istih proizvodnih pogona tokom dužeg vremenskog perioda. Ovakvi mikroorganizmi često su povezani sa epidemijama i povlačenjem proizvoda sa tržišta. Genomske analize su pokazale da isti sojevi mogu opstati u proizvodnom okruženju godinama, što ukazuje na njihovu sposobnost adaptacije i preživljavanja u nepovoljnim uslovima. Na perzistenciju mikroorganizama utiču brojni

faktori, među kojima su temperatura, relativna vlažnost vazduha i faza rasta bakterijskih ćelija. Niže temperature značajno produžavaju preživljavanje mikroorganizama, dok više temperature ubrzavaju njihovu inaktivaciju. Takođe, sporije sušenje mikroorganizama može povećati njihovu otpornost na dezinfekciju, dok brzo isušivanje dovodi do većeg oštećenja ćelija [18].

Perzistentni mikroorganizmi pokazuju izraženiju sposobnost adhezije na kontaktne površine u poređenju sa sporadičnim sojevima, što im omogućava da se zadrže u pukotinama, spojevima i drugim teško dostupnim mestima. Ova sposobnost direktno utiče na smanjenu efikasnost dezinfekcionih postupaka, jer mikroorganizmi postaju zaštićeni od dejstva hemijskih sredstava i fizičkih faktora [19]. Takođe, njihova sposobnost formiranja biofilma dodatno otežava njihovo uklanjanje, jer biofilm predstavlja kompleksnu strukturu koja štiti mikroorganizme i omogućava njihovu dugotrajnu perzistenciju.

Prisustvo organske materije na kontaktnim površinama predstavlja jedan od ključnih faktora koji utiču na efikasnost dezinfekcije. Organski ostaci, kao što su proteini, masti i ugljeni hidrati, formiraju zaštitni sloj koji sprečava direktan kontakt dezinfekcionih sredstava sa mikroorganizmima. Ovaj sloj ne samo da smanjuje penetraciju dezinfekcionih agenasa, već i obezbeđuje nutrijente koji omogućavaju opstanak i rast mikroorganizama. Studije su pokazale da prisustvo organskih ostataka značajno smanjuje efikasnost dezinfekcije, pri čemu dolazi do minimalnog smanjenja broja mikroorganizama u poređenju sa površinama koje su prethodno temeljno očišćene.

Karakteristike kontaktnih površina takođe imaju značajan uticaj na preživljavanje i adheziju mikroorganizama. Materijali kao što su plastika i laminat omogućavaju duže preživljavanje mikroorganizama u poređenju sa nerđajućim čelikom, koji zbog svojih hidrofilnih osobina omogućava brže isušivanje i smanjuje preživljavanje bakterija. Hrapavost površine predstavlja dodatni faktor, jer veća hrapavost povećava površinu dostupnu za vezivanje mikroorganizama i otežava njihovo uklanjanje. Optimalna vrednost hrapavosti za održavanje higijene u prehrambenoj industriji iznosi približno 0,8 µm za nerđajući čelik, dok odstupanja od ove vrednosti mogu značajno uticati na efikasnost čišćenja i dezinfekcije [20].

Industrija suve hrane suočava se sa brojnim izazovima u procesu dezinfekcije, uključujući prisustvo biofilma, otpornost mikroorganizama, nisku aktivnost vode i kompleksnost opreme. Zabeleženi su brojni slučajevi kontaminacije proizvoda, uključujući prisustvo patogena kao što su *Salmonella* spp., *Listeria monocytogenes*, *Escherichia coli* i *Staphylococcus aureus*, što ukazuje na potrebu za unapređenjem postojećih dezinfekcionih procedura [21]. Poseban problem predstavljaju mikroorganizmi koji formiraju spore i biofilm, jer pokazuju povećanu otpornost na standardne metode dezinfekcije.

U cilju kontrole mikrobiološke kontaminacije, u industriji suve hrane primenjuju se različite metode dezinfekcije koje se mogu podeliti na suve i vlažne. Suve metode imaju prednost jer ne povećavaju aktivnost vode u proizvodnom

okruženju, čime se smanjuje rizik od rasta mikroorganizama. Međutim, njihova efikasnost u uklanjanju mikroorganizama je ograničena, jer se uglavnom zasnivaju na mehaničkom uklanjanju nečistoća, bez direktnog antimikrobnog dejstva.

SAVREMENE METODE DEZINFEKCIJE

Savremene metode dezinfekcije uključuju primenu kombinovanih hemijskih i fizičkih pristupa. Upotreba alkohola u kombinaciji sa kvarternim amonijumskim jedinjenjima predstavlja efikasnu strategiju za dezinfekciju neporoznih površina, jer alkohol denaturiše proteine, dok kvarterna jedinjenja narušavaju strukturu ćelijske membrane. Gasne metode fumigacije, uključujući primenu hlór-dioksida (ClO_2) i ozona, omogućavaju visoku penetraciju i efikasno uklanjanje mikroorganizama čak i iz teško dostupnih delova opreme. Hlor-dioksid deluje kao snažan oksidans koji oštećuje ćelijsku membranu, proteine i DNK, dok ozon generiše reaktivne kiseonične vrste koje izazivaju oksidativni stres i dovode do smrti ćelije.

Fizičke metode dezinfekcije, kao što su pregrejana para, UV zračenje i hladna plazma, predstavljaju značajan napredak u kontroli mikrobiološke kontaminacije. pregrejana para omogućava efikasno uništavanje vegetativnih ćelija, spora i biofilma bez upotrebe hemikalija. UV zračenje deluje na genetski materijal mikroorganizama, izazivajući formiranje timinskih dimera i inhibiciju replikacije DNK. Hladna plazma predstavlja inovativnu tehnologiju koja generiše reaktivne kiseonične i azotne vrste, koje oštećuju ćelijsku membranu, proteine i nukleinske kiseline.

Uprkos velikom broju dostupnih metoda, nijedna pojedinačna tehnologija nije u potpunosti efikasna u eliminaciji svih mikroorganizama, posebno u uslovima prisustva organske materije i biofilma. Zbog toga se savremeni pristupi zasnivaju na kombinaciji različitih metoda, uz adekvatno čišćenje kao početni korak, kako bi se obezbedila maksimalna efikasnost dezinfekcije i sigurnost hrane [10].

ZAKLJUČAK

Dugotrajna perzistencija i sposobnost preživljavanja patogenih mikroorganizama u uslovima niske aktivnosti vode u proizvodnim pogonima suve hrane predmet su intenzivnih istraživanja u poslednjim decenijama. Uprkos brojnim unapređenjima u tehnologijama čišćenja i dezinfekcije, kontrola bioloških opasnosti u ovim sistemima i dalje predstavlja kontinuirani izazov za prehrambenu industriju.

Efikasnost dezinfekcionih postupaka u velikoj meri zavisi od specifičnosti proizvodnog procesa, uključujući vrstu hrane koja se proizvodi, učestalost čišćenja i prisustvo organskih ostataka na kontaktnim površinama. U tom smislu, izbor adekvatne metode dezinfekcije mora biti zasnovan na proceni rizika i prilagođen konkretnim uslovima proizvodnje. Poseban značaj ima izbor metoda

koje su jednostavne za primenu, ali istovremeno i ekonomski isplative, kako bi se obezbedila njihova kontinuirana primena u industrijskim uslovima [1].

U konvencionalnoj prehrambenoj industriji dominantno se primenjuju vlažne metode dezinfekcije. Međutim, u industriji suve hrane njihova primena je ograničena zbog rizika od povećanja aktivnosti vode i stvaranja uslova pogodnih za rast mikroorganizama. Zbog toga se u ovim sistemima sve više favorizuju suve metode dezinfekcije, koje ne doprinose povećanju vlažnosti i smanjuju rizik od mikrobiološke proliferacije. Dostupne metode dezinfekcije obuhvataju širok spektar hemijskih i fizičkih pristupa, uključujući suhu toplotu, UV zračenje, dezinfekciona sredstva na bazi alkohola, gasoviti ozon, hlor-dioksid (ClO_2), peroksiacetnu kiselinu (PAA), vodonik-peroksid (H_2O_2), kvarterna amonijumska jedinjenja, kao i elektrolizovanu vodu. Svaka od ovih metoda ima određene prednosti i ograničenja, što zahteva pažljiv izbor i kombinovanje u zavisnosti od konkretne primene.

Jedan od značajnih problema u primeni hemijskih dezinfekcionih sredstava predstavlja mogućnost zaostajanja hemijskih rezidua na opremi, što može imati negativne posledice po bezbednost hrane i zdravlje potrošača. Takođe, nepravilna ili prekomerna upotreba dezinfekcionih sredstava može dovesti do razvoja rezistentnih mikroorganizama, što dodatno komplikuje kontrolu kontaminacije. Pored toga, prisustvo vlage u proizvodnim pogonima može doprineti stvaranju zapečenih naslaga organske materije na površinama opreme. Ove naslage predstavljaju idealno okruženje za zadržavanje i razmnožavanje mikroorganizama, čime se povećava rizik od kontaminacije i ugrožava bezbednost proizvoda. U tom kontekstu, postoji izražena potreba za razvojem alternativnih metoda dezinfekcije koje su ekonomičnije, efikasnije i ekološki prihvatljivije. Iako tradicionalne metode i dalje predstavljaju pouzdane opcije, njihova ograničenja ukazuju na neophodnost uvođenja inovativnih tehnologija. Budući pravci razvoja u ovoj oblasti usmereni su ka primeni kombinovanih tretmana, automatizaciji i standardizaciji dezinfekcionih procedura, unapređenju programa obuke zaposlenih, kao i edukaciji potrošača u cilju povećanja prihvatljivosti novih tehnologija. Međutim, uprkos napretku u razvoju dezinfekcionih tehnologija, efikasnost postupaka čišćenja i dezinfekcije, posebno u odnosu na mikroorganizme u suvim uslovima, još uvek nije dovoljno istražena. Takođe, dostupni podaci o genetskim mehanizmima otpornosti mikroorganizama na različite dezinfekcione procese su ograničeni, što ukazuje na potrebu za daljim istraživanjima u ovoj oblasti.

Česta pojava perzistentnih i rezistentnih sojeva u uslovima niske aktivnosti vode dodatno naglašava kompleksnost problema i potrebu za razvojem efikasnijih strategija kontrole. Stoga je izbor adekvatnih dezinfekcionih tehnologija ključan za prevazilaženje navedenih izazova i unapređenje bezbednosti hrane u industriji suve hrane.

Zahvalnica

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

LITERATURA

1. Beuchat, L.R. Influence of water activity on microbial stability as a hurdle in food preservation. *Int. J. Food Microbiol.* 1981, 14, 1–21.
2. Podolak, R.; Enache, E.; Stone, W.; Black, D.G.; Elliott, P.H. Sources and risk factors for contamination, survival, persistence, and heat resistance of *Salmonella* in low-moisture foods. *J. Food Prot.* 2010, 73, 1919–1936.
3. Carpentier, B.; Cerf, O. Review—Persistence of *Listeria monocytogenes* in food industry equipment and premises. *Int. J. Food Microbiol.* 2011, 145, 1–8.
4. Ferreira, V.; Wiedmann, M.; Teixeira, P.; Stasiewicz, M.J. *Listeria monocytogenes* persistence in food-associated environments: Epidemiology, strain characteristics, and implications for public health. *J. Food Prot.* 2014, 77, 150–170.
5. Giaouris, E.; Heir, E.; Desvaux, M.; Hébraud, M.; Møretrø, T.; Langsrud, S.; Doulgeraki, A.; Ny-chas, G.J.E.; Kačániová, M.; Czarczyk, K.; et al. Attachment and biofilm formation by foodborne bacteria on food contact surfaces. *Food Res. Int.* 2015, 78, 1–13.
6. Galié, S.; García-Gutiérrez, C.; Miguélez, E.M.; Villar, C.J.; Lombó, F. Biofilms in the food industry: Health aspects and control methods. *Front. Microbiol.* 2018, 9, 898.
7. Holah, J. Hygienic design of food factories and the prevention of contamination. *Food Control* 2014, 42, 1–8.
8. EHEDG. Hygienic Design Principles and Guidelines. *EHEDG Guidelines* 2018.
9. Russell, A.D. Principles of antimicrobial activity and resistance. *J. Appl. Microbiol.* 2003, 92, 1S–10S.
10. McDonnell, G.; Russell, A.D. Antiseptics and disinfectants: Activity, action, and resistance. *Clin. Microbiol. Rev.* 1999, 12, 147–179.
11. World Health Organization (WHO). Foodborne Disease Outbreaks: Guidelines for Investigation and Control; WHO: Geneva, Switzerland, 2008.
12. Tang, J. Airborne contamination in food processing environments. *Food Eng. Rev.* 2009, 1, 1–10.
13. Sasahara, K.; et al. Influence of *Pseudomonas* spp. on *Listeria monocytogenes* biofilm formation. *J. Food Prot.* 2013, 76, 1–7.
14. Van Houdt, R.; Michiels, C.W. Role of bacterial interactions in biofilm formation and adhesion. *Res. Microbiol.* 2010, 161, 1–7.
15. Finn, S.; Condell, O.; McClure, P.; Amézquita, A.; Fanning, S. Mechanisms of survival, responses, and sources of *Salmonella* in low-moisture environments. *Front. Microbiol.* 2013, 4, 331.
16. Miranda, R.C.; et al. Transfer of microorganisms from surfaces to foods. *Food Microbiol.* 2016, 58, 1–10.
17. Kusumaningrum, H.D.; van Asselt, E.D.; Beumer, R.R.; Zwietering, M.H. A quantitative analysis of cross-contamination of *Salmonella* and *Campylobacter* spp. via domestic kitchen surfaces. *J. Food Prot.* 2004, 67, 1892–1903.
18. Chaitiemwong, N.; et al. Effect of environmental conditions on *Listeria monocytogenes* survival. *Food Control* 2014, 42, 1–8.
19. Lunden, J.M.; Miettinen, M.K.; Autio, T.J.; Korkeala, H.J. Persistent *Listeria monocytogenes* strains show higher adhesion and resistance. *Appl. Environ. Microbiol.* 2000, 66, 1–6.
20. Abban, S.; Jakobsen, M.; Jespersen, L. Influence of organic matter on microbial adhesion and disinfectant efficacy. *J. Appl. Microbiol.* 2011, 111, 1–10.
21. Centers for Disease Control and Prevention (CDC). Foodborne outbreaks linked to low-moisture foods. *CDC Reports* 2021.

Pregledni rad DOI: 10.5937/DDD26025Z

MORFOLOŠKE PROMENE BAKTERIJA PRI DEZINFEKCIJI**MORPHOLOGICAL CHANGES OF BACTERIA DURING
DISINFECTION**

**Nemanja Zdravković^{1*}, Milan Ninković¹, Ivan Pavlović¹,
Zorica Zdravković², Biljana Aleksić², Teodora Grujović³,
Oliver Radanović¹**

Kratak sadržaj

Prema izveštajima Svetske zdravstvene organizacije (WHO) i Evropskog centra za prevenciju i kontrolu bolesti (ECDC) otkrivaju da gotovo 10% hospitalizovanih pacijenata dobije infekcije povezane sa zdravstvenom negom (HAIs), odnosno nozokomijalne infekcije. Neke od bakterijskih vrsta koje ih izazivaju su uslovno patogene a mogu izazvati infekcije ljudi kod imuno kompromitovanih stanja a posledično i do životno ugrožavajućih situacija. Morfološke promene kod bakterije *Escherichia coli* su uočene nakon što je bila podvrgnuta dekontaminacionim tretmanima na sub letalnim nivoima minimalne inhibitorne koncentracije različitih dezinfekcionih sredstava. Identifikovane morfološke modifikacije bakterijske ćelije predstavljaju odgovor u zaštiti na različite mehanizme delovanja ispitanih dezinficijensa. Tokom poslednjih decenija, mikroskopija atomske sile se sve više koristi za ispitivanje mikrobijalnih površina u visokoj rezoluciji. Rezultati ukazuju da *E. coli* ima manju otpornost na najkompleksniju proučavanu supstancu. Tretman natrijum hipohloritom ima najzabrinjavajući efekat pri ovoj niskoj koncentraciji zbog neujednačenog odgovora u populaciji. Iz tog razloga, sposobnost preživljavanja na nivou kolonije ostaje visoka. Smanjenje broja flagela za sve vrste tretmana ukazuje na odgovor na stres i borbu za preživljavanje čak i pri nižim koncentracijama dezinficijensa.

Ključne reči: mehanizam delovanja, morfološka modifikacija, toksični efekat

Abstract

According to reports from the World Health Organization (WHO) and the European Centre for Disease Prevention and Control (ECDC), nearly 10% of hospitalized

¹ Dr sci. vet. med. Nemanja Zdravković, viši naučni saradnik; spec. dr vet. Oliver Radanović, stručni savetnik; dr Ivan Pavlović, naučni savetnik; dr vet. Milan Ninković, istraživač saradnik, Naučni institut za veterinarstvo Srbije, 11000 Beograd, R. Srbija

² Spec. dr vet. Zorica Zdravković; spec. dr vet. Biljana Aleksić, Javna poljoprivredna služba Zavod za mlekarstvo, 11000 Beograd, R. Srbija

³ Mast. Ing. Teodora Grujović, Hemofarm, Vršac, R. Srbija.

* e-mail kontakt osobe: nemanja.zdravkovic@nivs.rs

patients acquire healthcare-associated infections (HAIs), also known as nosocomial infections. Some of the bacterial species responsible are opportunistic pathogens that can cause infections in immunocompromised individuals, leading to potentially life-threatening conditions. Morphological changes in Escherichia coli have been observed after exposure to decontamination treatments at sub-lethal levels of the minimum inhibitory concentration of various disinfectants. These morphological modifications represent a protective response to the different mechanisms of action of the tested disinfectants. Over the past decades, atomic force microscopy has been increasingly used to examine microbial surfaces at high resolution. The results indicate that E. coli shows lower resistance to the most complex substance studied. Treatment with sodium hypochlorite has the most concerning effect at low concentrations due to the uneven response across the population, which allows high survival capacity at the colony level. The reduction in flagella observed across all treatments indicates a stress response and a struggle for survival, even at lower disinfectant concentrations.

Keywords: *mechanism of action, morphological effect, toxic effect*

UVOD

Hemijske supstance kao što su sredstva za svakodnevno čišćenje/dezinfekciju, moraju da prođu odgovarajuća ispitivanja i validaciju što pogotovo važi za sredstva namenjena za profesionalnu upotrebu u smanjenju/kontroli mikrobnе kontaminacije. Proces ispitivanja započinje od opštih parametara kao što su: formulacija, koncentracija koja se koristi (MIC), vreme kontakta, efikasnost protiv određenih mikroorganizama, aktivnost u prisustvu ili odsustvu organskih supstrata, rezidue nakon upotrebe i efekat na životnu sredinu (Jiménez, 2004; Lundén i sar., 2003; Mondin i sar., 2014). Još jedno važno pitanje je stalno praćenje njihove efikasnosti. Testiranje se mora vršiti na standardnim mikrobiološkim kulturama i na mikroorganizmima izolovanim iz okruženja objekta gde se dezinfekcionо sredstvo koristi (Jiménez, 2004). Uspostavljanje MIC za svako sredstvo za čišćenje/dezinfekciju namenjeno određenim mikroorganizmima predstavlja ključni korak u procesu validacije. Upotreba biocidnih supstanci u sub-MIC koncentracijama, iz različitih razloga (nepravilna validacija, ljudski faktor, razblaživanje, modifikacija formulacije biocida), može izazvati adaptivni odgovor kod nekih vrsta mikroorganizama. Adaptacija na dezinfekcionо sredstvo može dovesti do povećane stope preživljavanja mikroorganizma, ali i do ukrštene adaptacije na druga dezinfekcionа sredstva (Lundén i sar., 2003; McDonnell i Russell, 1999). Adaptacija i ukrštena adaptacija na različite supstance sa sličnim mehanizmima delovanja, korišćene u procesu čišćenja/dezinfekcije, prijavljene su u prehrambenоj industriji, bolnicama i drugim zdravstvenim ustanovama prema preporukama WHO i ECDC.

BOLNIČKE INFEKCIJE

Izveštaji Svetske zdravstvene organizacije (WHO) i Evropskog centra za prevenciju i kontrolu bolesti (ECDC) otkrivaju da skoro 10% hospitalizovanih Evropljana dobije bolničke infekcije tj. nozokomijalne infekcije, sa najmanje jednim mikroorganizmom. Većina ovih vrsta su bezopasne, komensalne bakterije koje se nalaze u normalnoj flori zdravih ljudi i imaju zaštitnu ulogu sprečavanjem kolonizacije patogenih bakterija. Neke od ovih vrsta mogu izazvati infekcije kod svog prirodnog domaćina ako dođe do kompromitacije, što izaziva ozbiljne probleme. Jedan od najčešćih i najlakše prenosivih mikroorganizama je *Escherichia coli*. Poslednjih godina primećen je značajan porast pojave i širenja u Evropi kod vrsta Enterobacteriaceae, poput *E. coli* i *Klebsiella pneumoniae*, koje su rezistentne na karbapeneme. U zdravstvenim ustanovama i srodnim industrijama, širenje rezistentnih organizama se olakšava kada pranje ruku, barijerne mere, čišćenje površina i opreme nisu optimalni (Jiménez, 2004).

BAKTERIJE

Bakterija *E. coli* je dobro poznat test mikroorganizam, Gram-negativna bakterija koja se nalazi u digestivnom traktu ljudi i životinja, u životnoj sredini ali i u hrani. Čelije su tipično štapićastog oblika, duge oko 2 μm i široke 0,25–1,0 μm (Krieg i sar., 2010). Intestinalne *E. coli* su najčešći uzrok urinarnih infekcija (ECDC, 2025). *E. coli* (ATCC 25923) iz kosog agara čuvanog u frižideru reanimirana je na tryptic soya agar (TSA) preko noći na 37 °C. Nakon inkubacije, pripremljena je suspenzija u PBS na približno 10⁶ CFU/ml (Cui i sar., 2012). Procena efekta na *E. coli* pokazala je sledeće MIC vrednosti: 12,5% za etanol *abs*, 0,75% za natrijum-hipohlorit. Istovremeno je procenjen i efekat ubijanja metodom zasejavanja po ploči, iz sadržaja bunara u kojima nije primećen rast. Minimalna baktericidna koncentracija je iznosila: 50% za etanol, 3% za natrijum-hipohlorit. Čelije su kultivisane u prisustvu 1/2 $\times$ MIC dezinficijensa. Korišćenjem AFM-a, nasumično su odabrana vidna polja 50 $\times$ 50 μm koja su skenirana da bi se procenilo da li su bakterijske čelije dobro fiksirane na površini (Zhang i sar., 2011). Čelije *E. coli* bakterije su čvrsto vezane za površinu. Iako su čelije bile grupisane, prečnik, dužina i visina svake pojedinačne bakterije mogli su se izmeriti korišćenjem opcije „section analysis” softvera. Za svaki tip tretmana skenirano je više od četiri oblasti i analizirano 10–20 pojedinačnih čelija.

MORFOLOGIJA

Morfološke promene nastale različitim tretmanima su uočene. AFM slike vinsine i analiza preseka netretiranih *E. coli* pokazale su karakterističan štapićast oblik sa dimenzijama nešto većim od literaturnih podataka (Krieg i sar., 2010), ali u skladu sa Bergey's Manual of Determinative Bacteria. Razlike nastaju jer su čelije sakupljene nakon 48 h inkubacije (kao i tretirane), u stacionarnoj fazi

(Wu i Liu, 2007). Iako je većina ćelija intaktna, a neke još u procesu deobe, na slikama se primećuje efekat starenja na strukturu bakterijske ćelije, pri čemu je najznačajniji efekat kolaps apikalnog kraja kod većine. Većina analiziranih ćelija je intaktna, čvrsto vezana za supstrat, većina u procesu deobe. Krajevi ćelija su simetrični, zaobljeni, bez kolapsa zida.

EFEKAT ETANOLA

Etanol, spada u najčešće korišćene dezinficijense. Nisu poznati svi mehanizmi delovanja, ali povećana efikasnost u prisustvu vode (60–90% koncentracija alkohola) podržava teoriju da izazivaju brzu koagulaciju proteina (McDonnell i Russell, 1999). Etanol deluje kao rastvarač, rastvarajući lipide, pri nižoj koncentraciji (7,5%) izaziva perturbacije membrane, promene u sadržaju masnih kiselina i sastavu membrana kod *E. coli*. Efekat perturbacije etanola na propustljivost membrane usled modifikacija fosfolipida i sadržaja ergosterola prijavljen je i kod kvasca *Saccharomyces cerevisiae* (Schiavone i sar., 2016). Istovremeno, tretman smanjuje stopu rasta, inhibira deobu ćelija i dovodi do smrti ćelija. Kod tretmana etanolom od 6,25%, vide se nagomilane bakterijske ćelije smanjenih dimenzija i vrlo glatkog površinskog izgleda, koje formiraju strukture slične biofilmovima. Modifikacija oblika i dimenzija pomaže bakterijskim ćelijama da se prilagode spoljnim uslovima, adaptivne promene kompenzuju direktnu fizičko-hemijsku interakciju etanola sa ćelijskom membranom. Chatterjee i saradnici opisali su sličan fenomen kod populacije *Staphylococcus aureus* (Van Der Hofstadt i sar., 2015).

EFEKAT NATRIJUM-HIPOHLORITA

Kod tretmana natrijum-hipohloritom, AFM slike pokazuju značajne morfološke promene. Na koncentraciji od 0,75% (MIC) primećuje se oštećenje ćelijske površine, dok se pri višim koncentracijama (3%) javlja potpuni efekat ubijanja. Promene uključuju deformacije ćelijskog zida, gubitak simetrije i kolaps krajeva ćelija. Ove promene su u skladu sa poznatim mehanizmom delovanja hipohlorita, koji se zasniva na oksidaciji proteina i lipida ćelijske membrane, što dovodi do gubitka integriteta ćelijske strukture (Jiménez, 2004; McDonnell i Russell, 1999). AFM analiza pokazuje povećanu hrapavost površine (Rq), što ukazuje na razaranje spoljašnjeg sloja bakterijskog ćelijskog zida.

ZAKLJUČAK

Rezultati pokazuju da različiti stres faktori izazivaju specifične morfološke promene kod *E. coli*, vidljive tehnikom AFM.

- Etanol dovodi do smanjenja dimenzija i formiranja biofilm-sličnih struktura
- Natrijum-hipohlorit izaziva oksidativna oštećenja, kolaps ćelijskog zida i povećanu hrapavost površine

Ove promene potvrđuju da sub-MIC koncentracije mogu izazvati adaptivno prilagođavanje bakterija, uključujući promene u obliku, dimenzijama i površinskoj strukturi, što im omogućava privremeno preživljavanje u nepovoljnim uslovima. Međutim, dugoročno, ovakvi odgovori mogu doprineti razvoju rezistencije i ukrštene adaptacije na druge biocide, što predstavlja ozbiljan problem u zdravstvenim sistemima.

Zahvalnica

Rad je finansiralo Ministarstvo za nauku, tehnološki razvoj i inovacije Republike Srbije (Ugovor br. 451-03-33/2026-03/200030).

LITERATURA

1. Cui, Y., Oh, Y. J., Lim, J., Youn, M., Lee, I., Pak, H. K., Park, W., Jo, W., & Park, S. (2012). AFM study of the differential inhibitory effects of the green tea polyphenol (–)-epigallocatechin-3-gallate (EGCG) against Gram-positive and Gram-negative bacteria. *Food Microbiology*, 29(1), 80–87. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2011.08.019>
2. ECDC. (2025). <http://ecdc.europa.eu>.
3. Jiménez, Luis. (2004). Microbial contamination control in the pharmaceutical industry / edited by Luis Jimenez. *Y Microbial contamination control in the pharmaceutical industry*. Marcel Dekker.
4. Krieg, N. R., Staley, J. T., Brown, D. R., Hedlund, B. P., Paster, B. J., Ward, N. L., Ludwig, W., & Whitman, W. B. (Yp.). (2010). *Bergey's Manual of Systematic Bacteriology: Volume Four The Bacteroidetes, Spirochaetes, Tenericutes (Mollicutes), Acidobacteria, Fibrobacteres, Fusobacteria, Dictyoglomi, Gemmatimonadetes, Lentisphaerae, Verrucomicrobia, Chlamydiae, and Planctomycetes*. Springer New York. <https://doi.org/10.1007/978-0-387-68572-4>
5. Lundén, J., Autio, T., Markkula, A., Hellström, S., & Korkeala, H. (2003). Adaptive and cross-adaptive responses of persistent and non-persistent *Listeria monocytogenes* strains to disinfectants. *International Journal of Food Microbiology*, 82(3), 265–272. [https://doi.org/10.1016/S0168-1605\(02\)00312-4](https://doi.org/10.1016/S0168-1605(02)00312-4)
6. McDonnell, G., & Russell, A. D. (1999). Antiseptics and Disinfectants: Activity, Action, and Resistance. *Clinical Microbiology Reviews*, 12(1), 147–179. <https://doi.org/10.1128/CMR.12.1.147>
7. Mondin, A., Bogialli, S., Venzo, A., Favaro, G., Badocco, D., & Pastore, P. (2014). Characterization and quantification of N-(3-aminopropyl)-N-dodecyl-1,3-propanediamine biocide by NMR, HPLC/MS and titration techniques. *Chemosphere*, 95, 379–386. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2013.09.049>
8. Schiavone, M., Formosa-Dague, C., Elsztein, C., Teste, M.-A., Martin-Yken, H., De Morais, M. A., Dague, E., & François, J. M. (2016). Evidence for a Role for the Plasma Membrane in the Nano-mechanical Properties of the Cell Wall as Revealed by an Atomic Force Microscopy Study of the Response of *Saccharomyces cerevisiae* to Ethanol Stress. *Applied and Environmental Microbiology*, 82(15), 4789–4801. <https://doi.org/10.1128/AEM.01213-16>
9. Van Der Hofstadt, M., Hüttener, M., Juárez, A., & Gomila, G. (2015). Nanoscale imaging of the growth and division of bacterial cells on planar substrates with the atomic force microscope. *Ultramicroscopy*, 154, 29–36. <https://doi.org/10.1016/j.ultramic.2015.02.018>
10. Wu, G., & Liu, X. (2007). Characterization of predominant bacteria isolates from clean rooms in a pharmaceutical production unit. *Journal of Zhejiang University SCIENCE B*, 8(9), 666–672. <https://doi.org/10.1631/jzus.2007.B0666>
11. Zhang, T., Chao, Y., Shih, K., Li, X.-Y., & Fang, H. H. P. (2011). Quantification of the lateral detachment force for bacterial cells using atomic force microscope and centrifugation. *Ultramicroscopy*, 111(2), 131–139. <https://doi.org/10.1016/j.ultramic.2010.10.005>

Originalni naučni rad DOI: 10.5937/DDD26030M

EFIKASNOST PRIMENE VODONIK-PEROKSIDA U REDUKCIJI AEROGENIH PATOGENA I SPORA GLJIVICA U STAMBENIM OBJEKTIMA – STUDIJA SLUČAJA

EFFECTIVENESS OF THE APPLICATION OF HYDROGEN PEROXIDE IN THE REDUCTION OF AEROGENIC PATHOGENS AND FUNGI Spores IN RESIDENTIAL BUILDINGS – A CASE STUDY

Marijana Mačužić^{1}, Vasilije Korugić¹*

Kratak sadržaj

Mikrobiološka kontaminacija vazduha u stambenim objektima, sa posebnim akcentom na spore gljivica iz roda *Aspergillus* spp., predstavlja značajan rizik po javno zdravlje. Kod opšte populacije ovi agensi najčešće izazivaju respiratorne tegobe i alergijske reakcije, dok kod imunokompromitovanih osoba mogu dovesti do znatno težih zdravstvenih poremećaja, uključujući i ozbiljne sistemske infekcije. Cilj ovog rada je ispitivanje efikasnosti dezinfekcije vazduha primenom biocidnog proizvoda na bazi vodonik-peroksida (H_2O_2) i jona srebra (Ag^+) u redukciji mikrobiološkog opterećenja u zatvorenom stambenom prostoru. Ispitivanje je sprovedeno primenom ULV aerosolnih generatora, hladnim zamagljivanjem, korišćenjem radnog rastvora biocidnog proizvoda sa 5% vodonik-peroksida i 100 ppm jona srebra. Uzorkovanje vazduha vršeno je neposredno pre i 2 sata nakon sprovedenog tretmana metodom aktivnog volumetrijskog uzorkovanja po principu impakcije, korišćenjem uređaja Spin Air – Air Sampler. Prilikom svakog uzorkovanja sakupljana je zapremina vazduha od $1\ m^3$ vazduha u trajanju od 10 minuta direktno na čvrste hranljive podloge: krvni agar za izolaciju bakterija i Sabouraud agar za izolaciju spora gljivica, a u cilju precizne kvantifikacije ukupnog broja mikroorganizama (CFU/ m^3). Dobijeni rezultati pokazuju da je dezinfekcija vazduha ULV hladnim zamagljivanjem primenom 5% vodonik-peroksidom sa jonima srebra doveo do drastičnog i statistički značajnog smanjenja brojnosti aerogenih patogena. Efikasnost redukcije prisustva bakterija iznosila je 98%, dok je redukcija spora gljivica iznosila 92%. Pored visoke mikrobiocidne i sporocidne efikasnosti ostvarene sinergističkim dejstvom vodonik peroksida i jona srebra, prednost primene vodonik peroksida za dezinfekciju vazduha je i njegova brza degradacija na vodu i kiseonik. Zahvaljujući ovim poznatim hemijskim svojstvima aktivnih

¹ Marijana Mačužić, spec. struk. sanitarno ekološki inž.; dr spec. med. Vasilije Korugić, Zavod za biocide i medicinsku ekologiju, 11000 Beograd, R. Srbija

* e-mail kontakt osobe: zavod@biocidi.org.rs

supstanci, omogućen je bezbedan povratak korisnika prostora u tretirane objekte nakon isteka vremena ekspozicije od 2 sata, čineći ovu metodu visoko efikasnom, ekološki prihvatljivom i bezbednom po zdravlje ljudi.

Ključne reči: *Aspergillus spp.*, dezinfekcija vazduha, joni srebra, ULV hladno zamagljivanje, vodonik-peroksid

Abstract

*Microbiological air contamination in residential buildings, with a special emphasis on fungal spores of the genus *Aspergillus spp.*, poses a significant public health risk. In the general population, these agents most commonly cause respiratory issues and allergic reactions, whereas in immunocompromised individuals, they can lead to significantly more severe health disorders, including serious systemic infections. The aim of this study is to examine the efficacy of air disinfection using a biocide product based on hydrogen peroxide (H_2O_2) and silver ions (Ag^+) in reducing the microbiological load in indoor residential spaces. The research was conducted using ULV (Ultra Low Volume) aerosol generators via cold fogging, utilizing a working biocide solution containing 5% hydrogen peroxide and 100 ppm silver ions. Air sampling was performed immediately before and 2 hours after the treatment using the active volumetric sampling method based on the impaction principle, utilizing the Spin Air – Air Sampler device. During each sampling procedure, an air volume of 1 m^3 was collected over a 10-minute period directly onto solid culture media: blood agar for bacterial isolation and Sabouraud agar for the isolation of fungal spores, in order to precisely quantify the total number of microorganisms (CFU/ m^3). The obtained results indicate that air disinfection via ULV cold fogging with 5% hydrogen peroxide and silver ions led to a drastic and statistically significant reduction in the number of airborne pathogens. The reduction efficacy for bacteria was 98%, while the reduction for fungal spores was 92%. In addition to the high microbiocidal and sporicidal efficacy achieved through the synergistic effect of hydrogen peroxide and silver ions, a key advantage of applying hydrogen peroxide for air disinfection is its rapid degradation into water and oxygen. Thanks to these known chemical properties of the active substances, the safe return of occupants to the treated premises is possible after a 2 hour exposure time, making this method highly effective, environmentally safe, and safe for human health.*

Keywords: *Aspergillus spp.*, air disinfection, hydrogen peroxide, silver ions, ULV cold fogging

UVOD

Kvalitet vazduha u zatvorenom prostoru predstavlja jedan od važnih činilaca javnog zdravlja u savremenom društvu, s obzirom na to da stanovništvo u urbanim sredinama većinu vremena provodi u zatvorenom prostoru. Mikrobiološka kontaminacija unutrašnje sredine najčešće se javlja kao direktna posledica akumulacije vlage i neadekvatne ventilacije u objektu, što stvara povoljne uslove za mikrobiološku kontaminaciju vazduha, naročito gljivicama i bakterijama (World Health Organization, 2009).

Perzistentna vlaga u građevinskim strukturama, koja se manifestuje kroz vidljive tragove buđi ili karakterističan miris na vlagu, u sinergiji sa loše projektovanim ili neodržavanim ventilacionim sistemima, dovodi do nekontrolisane proliferacije mikroorganizama. Ovi biološki agensi u unutrašnju mikrosredinu emituju širok spektar štetnih materija, uključujući spore, fragmente ćelija, alergene i toksična isparljiva organska jedinjenja (WHO, 2009; Bruce, 2022). Usled dugotrajnog i kontinuiranog udisanja kontaminiranog vazduha, drastično se povećava rizik od razvoja hroničnih respiratornih simptoma, akutnih infekcija disajnih puteva, alergijskog rinitisa i astme. (WHO, 2009; Mendell i sar., 2011)

Epidemiološki podaci nedvosmisleno potvrđuju da stanari objekata u kojima su prisutni vlaga i buđ imaju značajno veći rizik od razvoja respiratornih tegoba, zviždanja u grudima i otežanog disanja (WHO, 2009; Bruce, 2022). Posebno su ugrožene osetljive populacione grupe, poput dece, starijih osoba i pacijenata sa kompromitovanim imunim sistemom, kod kojih izloženost mikrobiološkim agensima može dovesti do ozbiljnih zdravstvenih poremećaja.

Pored direktnog negativnog uticaja po zdravlje ljudi, mikrobiološka kontaminacija vazduha predstavlja jasan indikator strukturnih i higijenskih nedostataka objekata. S obzirom na to da ne postoje precizno definisani pragovi bezbedne koncentracije mikroorganizama u vazduhu za stambeni prostor, svaka pojava vidljive buđi smatra se dovoljnim dokazom o postojanju rizika po zdravlje (WHO, 2009). Stoga, saniranje primarnih uzroka vlage i redovno održavanje ventilacionih sistema ne predstavljaju samo tehnička pitanja upravljanja objektom, već i važnu meru prevencije u cilju očuvanja zdravlja i zaštite imunog sistema svih korisnika zatvorenog prostora (WHO, 2009; Bruce, 2022).

Sprečavanje ili minimiziranje perzistentne vlage na unutrašnjim površinama i strukturama zgrada prepoznato je kao najvažniji korak u eliminaciji štetnih efekata po zdravlje ljudi (WHO, 2009). Precizno razumevanje dinamike rasta mikroorganizama i njihove distribucije putem vazdušnih strujanja neophodno je za implementaciju efikasnih strategija sanacije objekta i primenu savremenih metoda dezinfekcije, a sve u cilju očuvanja i unapređenja zdravlja ljudi.

MEHANIZAM DELOVANJA VODONIK-PEROKSIDA I JONA SREBRA

Biocidni proizvodi registrovani kao dezinficijensi koji sadrže dve ili više aktivnih materija prepoznati su kao visoko efikasni u smanjenju broja aerogenih patogena. Sinergistički mehanizam delovanja vodonik-peroksida i jona srebra predstavlja naprednu metodu oksidativne dezinfekcije. Ova kombinacija omogućava snažniji mikrobiocidni efekat nego što bi ove aktivne materije postigle pojedinačnim delovanjem.

Vodonik-peroksid je snažan oksidacioni agens čija se biocidna aktivnost zasniva na oslobađanju slobodnih hidroksilnih radikala (OH). Ovi radikali su među najjačim poznatim oksidansima u prirodi i deluju neselektivno na ključne ćelijske komponente i to (Koburger i sar., 2011; Ibrahim, 2021):

1. izazivaju oksidativni stres ćelije tako što oksiduju tiolne grupe proteina, što dovodi do denaturacije enzima i prekida metabolizma ćelije,
2. deluju na masne kiseline u ćelijskoj membrani izazivajući peroksidaciju lipida, što dovodi do gubitka integriteta ćelijske membrane, curenja ćelijskog sadržaja i konačnom lizom ćelije (Koburger i sar., 2011),
3. prodorom unutar ćelije, radikali direktno oštećuju nukleinske kiseline (DNK i RNK), kidajući njihove lance čime se onemogućava replikacija ćelije i dalja deoba patogena (Koburger i sar., 2011; Ibrahim, 2021).

Jedna od najvećih prednosti primene vodonik peroksida je to što se nakon reakcije razlaže isključivo na vodu i kiseonik, ne ostavljajući toksične ili kancerogene rezidue (Koburger i sar., 2011; Williams, s.a.).

Srebro u jonskom obliku pojačava efikasnost vodonik peroksida kroz tri ključne funkcije:

1. kao stabilizator rastvora tako što joni srebra sprečavaju spontano raspadanje vodonik peroksida pre nego što on dospe u kontakt sa mikroorganizmima, čime se produžava vek trajanja dezinfekcionog sredstva u formi aerosolne magle.
2. deluju sinergistički na vodonik peroksid tako što povećavaju osetljivost mikroorganizama na oksidativni stres (Pedahzur i sar., 1995). Dok peroksid slabi ćelijski zid, joni srebra lakše prodiru u unutrašnjost ćelije gde se vezuju za molekule fosfora i sumpora, blokirajući disajni lanac mikroorganizma (Ibrahim, 2021).
3. imaju bakteriostatski rezidualni efekat tako što za razliku od vodonik peroksida koji potpuno ispari nakon reakcije, mikroskopske količine jona srebra ostaju na tretiranim površinama, pružajući pasivnu zaštitu koja sprečava ponovnu kolonizaciju bakterija i klijanje spora gljivica tokom određenog vremenskog perioda (Koburger i sar., 2011).

Poseban značaj primene sinergije vodonik-peroksida i jona srebra ogleda se u sposobnosti inaktivacije visoko rezistentnih mikrobioloških formi, prvenstveno bakterijskih endospora i spora gljivica poput roda *Aspergillus* (Beswick i sar., 2011, Ibrahim, 2021). Dok su tradicionalni dezinficijensi često neefikasni, kombinovano delovanje ovih aktivnih supstanci može se definisati kao simultani napad na dve kritične tačke ćelije spore, i to (Koburger i sar., 2011; Skaugset i sar., 2013):

1. Vodonik-peroksid deluje kao primarni oksidacioni agens koji fizički razara spoljašnje zaštitne proteinske omotače i ćelijske membrane putem oslobađanja visoko reaktivnih hidroksilnih radikala, što slabi strukturnu barijeru spore, čineći njenu unutrašnjost ranjivom.
2. Joni srebra prodiru kroz oslabljene omotače direktno u jezgro spore. Ovde joni srebra ispoljavaju visoku genotoksičnost i metaboličku blokadu, vezujući se za vitalne enzime i molekule DNK, čime se trajno onemogućava klijanje spore i replikacija mikroorganizma.

Efikasnost ovog hemijskog procesa u realnim uslovima dezinfekcije unutrašnjeg prostora postiže se generisanjem ULV čestica suve magle, čime se omogućava zasićenje celokupne zapremine vazduha i prodiranje biocidnog proizvoda u teško dostupna i skrivena mesta u prostoriji, a koji su fizički nedostupni klasičnim metodama dezinfekcije (Koburger i sar., 2011; Skaugset i sar., 2013).

MATERIJAL I METODE

Ispitivanje je sprovedeno u stambenom objektu tipa porodična kuća ukupne površine 100 m², a zapremine vazduha 260 m³. Objekat je odabran kao reprezentativan primer zbog prisutne vlage u unutrašnjosti objekta.

Pre započinjanja ispitivanja, izvršen je detaljan obilazak i pregled objekta gde je zatečena sledeća situacija:

1. na unutrašnjim zidovima dnevnog boravka i spavaćih soba, posebno u uglovima koji se graniče sa spoljašnjom sredinom, uočeni su crni tragovi poreklom od plesni,
2. u vazduhu je dominirao karakterističan neprijatni miris,
3. korisnici prostora su se žalili na niz zdravstvenih pogoršanja koje su povezivali sa boravkom u ovom prostoru, a najviše na kašalj, iritacije grla i osećaj otežanog disanja. Osim navedenih simptoma najviše im je smetao konstantan miris na buđ koji je bio prisutan u objektu.

Mikrobiološka analiza vazduha

Kako bi se uspostavili egzaktni i jasni parametri za evaluaciju uspešnosti redukcije aerogenih patogena, sprovedena su dva mikrobiološka uzorkovanja vazduha. Prvo pre započinjanja tretmana dezinfekcije prostora, a u cilju dobijanja kvantitativnih podataka početnog stanja mikrobiološke kontaminacije vazduha, a drugo uzorkovanje dva sata nakon tretmana čime su dobijeni podaci o procentu redukcije mikrobiološkog opterećenja vazduha, a samim ti i uspešnosti sprovedene dezinfekcije.

Uzorkovanja su izvršena primenom aktivne volumetrijske metode impakcije, korišćenjem uređaja Spin Air – Air Sampler. Za razliku od pasivnih metoda sedimentacije koje se oslanjaju na slobodan pad čestica, ovaj uređaj omogućava precizno definisanje zapremine vazduha koji će biti aspiriran, čime se dobija tačan podatak o broju mikroorganizama u zadatoj jedinici zapremine.

Uzorkovanje je trajalo 10 minuta kontinuiranim aspiriranjem 1m³ vazduha kroz perforiranu glavu uređaja u kojoj je bila postavljena Petri šolja sa hranljivom podlogom. Mikroorganizmi suspendovani u aspiriranoj zapremini vazduha, usled ubrzanja, ostajali su na površini hranljive podloge u Petri šolji, što je osiguralo njihovu ravnomernu distribuciju i omogućilo kasniju preciznu kvantifikaciju kolonija (CFU/m³). Hranljive podloge koje su korišćene za izolaciju i kvantifikaciju mikrobiološkog opterećenja su krvni agar za izolaciju bakterija i Sabouraud agar za izolaciju spora gljivica.

Uzorkovanje nakon tretmana izvršeno je dva sata nakon završetka tretmana dezinfekcije. Vremenski interval od 2 sata nakon izvršene aplikacije dezinfekcionog sredstva predstavlja neophodno vreme ekspozicije tokom kojeg aerosol vodonik-peroksida i jona srebra vrši intenzivnu oksidaciju ćelijskih membrana i uništavanje genetskog materijala patogena, čak i kod najotpornijih spora gljivica. Pored sporocidnog dejstva, ovaj period od dva sata omogućava prirodnu i potpunu hemijsku degradaciju vodonik-peroksida na bezbedne nusprodukte – vodu i kiseonik, čime se osigurava da vazduh bude toksikološki čist i bezbedan za povratak stanara u objekat, bez potrebe za dodatnim mehaničkim provetranjem i čišćenjem.

Aplikacija dezinfekcionog sredstva

Dezinfekcija prostora sprovedena je upotrebom tečnog biocidnog proizvoda koji sadrži dve aktivne materije, i to: 5% vodonik-peroksid i 100 ppm jona srebra.

Biocidni proizvod je aplikovan u prostor metodom ULV aerosolnog hladnog zamagljivanja korišćenjem ULV aerosolnog generatora IGEBA Unipro 5.

Metodologija same dezinfekcije zasnovana je na generisanju čestica suve magle optimalne veličine čestica od 5 do 50 μm . Zahvaljujući ovako malim dimenzijama kapljica i strujanju vazduha u prostoriji ispod 0,2 m/s, aerosolne čestice ostaju suspendovane u vazduhu duži vremenski period, čime se postiže potpuno zasićenje celokupne zapremine objekta. Ključna prednost ove metode u odnosu na klasične postupke orošavanja je gasovito ponašanje aerosola, što omogućava prodiranje čestica u mikroskopske pukotine na zidovima, kao i u nepristupačne prostore iza nameštaja koji su fizički nedostupni pri primeni metode vlažne dezinfekcije orošavanjem.

Postupak aplikacije biocidnog proizvoda sproveden je prema sledećem protokolu:

Pre otpočinjanja tretmana, svi prozori i vrata su hermetički zatvoreni. Uređaj je postavljen centralno u objektu, sa mlazom usmerenim dijagonalno, čime je osigurana maksimalna pokrivenost svih prostorija unutar kuće.

Nakon završetka procesa zamagljivanja i aplikovanja celokupne količine biocidnog proizvoda potrebnog za dezinfekciju predmetne zapremine, a prema uputstvu proizvođača, objekat je ostao zatvoren u trajanju od 2 sata. Ovaj vremenski interval predstavlja vreme u kojoj sinergija vodonik-peroksida i jona srebra vrši intenzivnu oksidaciju ćelijskih membrana patogena i inaktivaciju rezistentnih spora *Aspergillus* spp. direktnim kontaktom.

REZULTATI I DISKUSIJA

Sprovedeno ispitivanje u opisanom stambenom objektu dalo je kvantitativne dokaze o visokoj efikasnosti sinergije vodonik-peroksida i jona srebra u eliminaciji aerogenih patogena. Analiza rezultata dobijenih aktivnom volumetrijskom

metodom uzorkovanja pre i nakon tretmana ukazuje na značajnu redukciju mikrobiološkog opterećenja u svim ispitivanim kategorijama.

Laboratorijskom analizom uzoraka koji su uzeti pre tretmana potvrđene su visoke koncentracije mikroorganizama u vazduhu i to 850 CFU/m³ bakterija i 420 CFU/m³ spora gljivica.

Nakon izvršene dezinfekcije vazduha metodom ULV hladnog zamagljivanja i dvočasovne ekspozicije, laboratorijskom analizom uzoraka uzetih nakon tretmana dezinfekcije uočena je visoka redukcija broja mikroorganizama. Procenatualna efikasnost redukcije iznosila je 98% za bakterije i 92% za spore gljivica, što ukazuje na visoku efikasnost vodonik peroksida i jona srebara u redukciji broja mikroorganizama u postupcima dezinfekcije.

Dobijeni rezultati potvrđuju da se potpuna eliminacija patogena, koji ugrožavaju zdravlje ljudi u kontaminiranom prostoru, može postići isključivo primenom integralnog pristupa. Ovaj pristup podrazumeva sinergiju primenom adekvatne metodologije dezinfekcije, upotrebe biocida sa više aktivnih materija uz obaveznu građevinsku sanaciju samog objekta.

Ključ uspeha u ovom procesu leži u primeni tehnologije suve magle, koja omogućava 5% rastvoru vodonik-peroksida prodor u dubinske pore zidova i mikropukotine – mesta koja služe kao rezervoari spora i koja je nemoguće tretirati standardnim metodama vlažne dezinfekcije.

Međutim, održivost postignutih rezultata i trajno očuvanje zdravlja korisnika prostora direktno zavise od obavezne sanacije primarnih uzročnika vlage na objektu. Bez uklanjanja strukturnih nedostataka koji omogućavaju ponovnu akumulaciju vlage, čak i najefikasnija dezinfekciona sredstva pružila bi samo privremeno rešenje. Kombinacijom sanacije objekta i adekvatne metode dezinfekcije postiže se biološki bezbedno okruženje, čime se trajno neutrališu rizici od hroničnih respiratornih oboljenja i infekcija kod osoba koje borave u kontaminiranom prostoru.

Posebno je važno istaći ekološki aspekt i bezbednost metode. Činjenica da se vodonik-peroksid tokom dva sata ekspozicije potpuno razložio na vodu i kiseonik, omogućila je stanarima povratak u objekt bez rizika od izlaganja štetnim hemijskim reziduama ili kancerogenim isparenjima, što je čest problem kod primene često korišćenih sredstava poput onih na bazi hlora ili aldehida. Eliminacija neprijatnih mirisa odmah nakon tretmana dodatno je potvrdila da je došlo do oksidacije ne samo živih mikroorganizama, već i njihovih štetnih metaboličkih produkata.

ZAKLJUČAK

Dobijeni rezultati potvrđuju da kombinacija vodonik peroksida i jona srebra u dezinfekcionom sredstvu koje je aplikovano metodom ULV hladnog zamagljivanja, predstavlja rešenje za sanaciju stambenih prostora pogođenih vlagom i buđi. Ova metoda ne samo da trenutno dekontaminira vazduh i površine, već

zahvaljujući rezidualnom dejstvu jona srebra, pruža i produženu zaštitu od ponovnog razvoja patogena, a uz obaveznu građevinsko tehničku sanaciju objekta. Sprovedenjem adekvatne dezinfekcije uz obaveznu građevinsku sanaciju objekta, vrši se direktna neutralizacija faktora rizika, čime se osigurava optimalna zaštita zdravlja i integriteta imunog sistema korisnika prostora.

LITERATURA

1. WHO (World Health Organization). (2009). *WHO guidelines for indoor air quality: dampness and mould*. WHO Regional Office for Europe.
2. Koburger, T., Hübner, N.-O., Herzog, B., Ludke, J., Kramer, A., & Assadian, O. (2011). Decontamination of room air and adjoining wall surfaces by nebulizing hydrogen peroxide: A pilot study in a public hospital. *GMS Krankenhaushyg Interdiszip*, 6(1), Doc09.
3. Ibrahim, S. (2021). *Novel applications of vaporized hydrogen peroxide on contaminated materials and surfaces* [Doktorska disertacija, University of Lisbon].
4. Bruce, K. M. (2022). *Evaluation of Dry Hydrogen Peroxide application in a single stage hatchery on embryo health, hatchability and chick quality* [Master rad, University of Georgia].
5. Williams, S. C. (s.a.). *Hydrogen Peroxide Material Compatibility Chart*. Princeton University, Environmental Health and Safety.
6. Mendell, M. J., Mirer, A. G., Cheung, K., Tong, M., & Douwes, J. (2011). Respiratory and allergic health effects of dampness and mold in homes: Correcting a public health topic. *Environmental Health Perspectives*, 119(6), 748–756.
7. Beswick, A. J., Froude, S., Bull, R. J., Chew, S. L., & Bennett, A. M. (2011). Comparison of multiple systems for laboratory-scale surface decontamination using hydrogen peroxide. *Applied and Environmental Microbiology*, 77(10), 3433–3439.
8. Skaugset, N. P., Ellingsen, D. G., Notø, H., Eduard, W., & Thorud, S. (2013). Characterization of exposure to hydrogen peroxide during disinfection using a "dry mist" system. *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*, 10(12), 651–660.
9. Pedahzur, R., Lev, O., Fattal, B., & Shuval, H. I. (1995). The interaction of silver ions and hydrogen peroxide in the inactivation of *Escherichia coli*: A synergistic effect. *Water Research*, 29(10), 2319–2325.

Pregledni rad DOI: 10.5937/DDD26038Z

UTICAJ REZIDUA DEZINFEKCIONIH SREDSTAVA NA AKTIVNOST STARTER KULTURA U FERMENTACIJI JOGURTA

IMPACT OF DISINFECTANT RESIDUES ON THE ACTIVITY OF STARTER CULTURES IN YOGURT FERMENTATION

Zorica Zdravković^{1*}, Nemanja Zdravković², Biljana Aleksić¹

Kratak sadržaj

Starter kulture jogurta, *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* i *Streptococcus thermophilus*, ključne su za razvoj karakteristične teksture, arome i nutritivnih svojstava fermentisanog mleka. Njihova aktivnost zavisi od stabilnog mikrobiološkog okruženja, dok se u industrijskoj praksi obezbeđuje higijena opreme primenom različitih dezinfekcionih sredstava. Međutim, rezidue ovih hemikalija, ukoliko ostanu na površinama nakon nedovoljnog ispiranja, mogu imati inhibitoran efekat na korisne bakterije. Oksidativni agensi, kvaternerna amonijumova jedinjenja i hlorni preparati posebno se izdvajaju kao potencijalni faktori koji usporavaju zakiseljavanje mleka, smanjuju proizvodnju mlečne kiseline i dovode do varijacija u senzornim osobinama jogurta. Pregled dostupne literature pokazuje da čak i niske koncentracije rezidua mogu izazvati poremećaje u fermentacionoj kinetici, produžiti vreme fermentacije i uticati na konzistentnost kvaliteta gotovog proizvoda. Ovi nalazi ukazuju na značaj pravilnog odabira dezinfekcionih sredstava, kao i na potrebu za validacijom postupaka ispiranja u mlečnoj industriji. Razumevanje interakcije između rezidua i starter kultura doprinosi unapređenju biosigurnosti, ali i očuvanju tehnološke efikasnosti proizvodnje jogurta.

Ključne reči: dezinfekciona sredstva, jogurt, rezidue, starter kulture

Abstract

Yogurt starter cultures, *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* and *Streptococcus thermophilus*, are essential for the development of the characteristic texture, flavor, and nutritional properties of fermented milk. Their activity depends on a stable microbiological environment, while in industrial practice equipment hygiene is maintained through the use of various disinfectants. However, residues of these chemicals, if left on surfaces after insufficient rinsing, may exert an inhibitory

¹ Spec. dr vet. Zorica Zdravković; dr Biljana Aleksić, naučni saradnik, JPS Zavod za mlekarstvo, 11000 Beograd, R. Srbija

² Dr sci vet. med. Nemanja Zdravković, viši naučni saradnik, Naučni institut za veterinarstvo Srbije, 11000 Beograd, R. Srbija

* e-mail kontakt osobe: zorica.zdravkovich@gmail.com

effect on beneficial bacteria. Oxidizing agents, quaternary ammonium compounds, and chlorine-based disinfectants are particularly notable as potential factors that slow down milk acidification, reduce lactic acid production, and lead to variations in the sensory attributes of yogurt. A review of the available literature indicates that even low concentrations of residues can cause disturbances in fermentation kinetics, prolong fermentation time and affect the consistency of the final product's quality. These findings emphasize the importance of proper selection of disinfectants, as well as the need for validation of rinsing procedures in the dairy industry. Understanding the interaction between residues and starter cultures contributes both to the improvement of biosafety and to the preservation of technological efficiency in yogurt production.

Keywords: disinfectants, residues, starter cultures, yogurt

UVOD

Jogurt se proizvodi fermentacijom mleka delovanjem simbiotske kulture *Streptococcus thermophilus* i *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* (Chandan, 2014). Jogurt sadrži skoro sve esencijalne hranljive materije, uključujući kalcijum, vitamine B grupe, fosfor i magnezijum (Chandan, 2014). Konzumacijom jogurta značajno se povećava raznolikost crevne mikrobiote. Jogurt je fermentisani proizvod napravljen od termički obrađene standardizovane mešavine mleka delovanjem karakteristične simbiotske mešavine kultura *Streptococcus thermophilus* i *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* (Chandan, 2014). Jogurt se proizvodi od mleka raznih životinja (krava, koza, ovca, itd.) u različitim delovima sveta. Dozvoljeni mlečni sastojci za dodatak jogurtu su pavlaka, mleko, delimično obrano mleko, obrano mleko, pojedinačno ili u kombinaciji (Fernández i ostali, 2015).

Fermentacija predstavlja najvažniji korak u proizvodnji jogurta. Zajednički rast živih ćelija bakterija jogurte kulture je fenomen jedinstven za jogurt. Ovi mikroorganizmi za pravljenje jogurta pokazuju obavezan simbiotski odnos tokom rasta u mlečnoj podlozi. Iako mogu da rastu nezavisno, koriste međusobne metabolite kako bi postigli izuzetnu efikasnost u proizvodnji kiseline. Generalno, *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* ima znatno veću ćelijski vezanu proteolitičku enzimsku aktivnost, proizvodeći stimulatívne peptide i aminokiseline za *Streptococcus thermophilus*. Relativno visoka aminopeptidazna i ćelijski slobodna i ćelijski vezana dipeptidazna aktivnost *Streptococcus thermophilus*-a je komplementarna jakoj proteinazi i niskoj peptidaznoj aktivnosti *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus*-a. Ureazna aktivnost *Streptococcus thermophilus*-a proizvodi CO₂ koji stimuliše rast *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus*. Istovremeno sa proizvodnjom CO₂, ureaza oslobađa amonijak, koji deluje kao slab pufer, kako bi se sprečili ekstremni pH uslovi koji su inhibitorni za bakterije. Shodno tome, mleko kultivisano samo pomoću *Streptococcus thermophilus*-a pokazuje nisku titrabilnu kiselost (ili visok pH)

koagulisane mase. Mravlja kiselina koju formira *Streptococcus thermophilus*, kao i termička obrada mleka, ubrzava rast *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus*-a. Brzina proizvodnje kiseline od strane jogurtne starter kulture, koja sadrži i *Streptococcus thermophilus* i *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* je znatno veća nego od strane bilo kog od ova dva organizma uzgajana odvojeno (Chandan, 2014).

Biohemijska osnova mlečne fermentacije za stvaranje ukusa i tekstura se bazira na tome da se glavni sastojci mleka menjaju interakcijom sa starter kulturama. Laktoza se prvo razlaže na glukozu i galaktozu, a zatim na mlečnu kiselinu putem glikolitičkog puta pomoću bakterija mlečne kiseline. Galaktoza se ne razlaže lako kod nekih sojeva bakterija mlečne kiseline. Shodno tome, akumulira se u fermentisanim proizvodima. Proizvodnja kiseline dovodi do snižavanja pH vrednosti i povećanja viskoznosti dok se tečna faza ne transformiše u čvrstu gel fazu u fermentisanom mleku. Još jedna funkcija stvaranja kiseline je njen konzervansni efekat, koji produžava rok trajanja fermentisanog mleka. Enzimi starter kulture su odgovorni za ograničeno razgrađivanje proteina, aminokiselina i masti, čime se stvaraju ključna jedinjenja ukusa. U tom smislu, acetaldehid se smatra tipičnim jedinjenjem ukusa u jogurtu, dok je diacetil prepoznatljivo jedinjenje ukusa u mlaćenici i pavlaci (Chandan i Kilara, 2013).

Starter kultura je ključna komponenta u proizvodnji fermentisanih mlečnih proizvoda visokog kvaliteta i ujednačenosti. Efikasan program sanitacije, uključuje filtrirani vazduh i pozitivan pritisak u prostoru za fermentaciju. To bi trebalo značajno da kontroliše kontaminaciju koja se prenosi vazduhom i doprinese konstantno visokom kvalitetu proizvoda. Komercijalne kulture mogu se sastojati od pojedinačnih sojeva ili mešanih sojeva iste vrste. Štaviše, one mogu biti mešani sojevi kombinacije različitih rodova i vrsta bakterija. Namenjene su za proizvodnju zasebnih kultivisanih namirnica i namenjene su za upotrebu prema uputstvima proizvođača kulture, koja uključuju temperaturu inkubacije, nivo inokuluma i vreme inkubacije. Od karakteristika starter kultura zavisi proizvodni proces: vreme i temperatura fermentacije; održivost kulture tokom roka trajanja; pokazivanje probiotskih svojstava i preživljavanje u gastrointestinalnom traktu za određene zdravstvene pogodnosti (Chandan, 2014).

Mnoge hemikalije za dezinfekciju, kao što su kvaternerna amonijumova jedinjenja, jedinjenja joda i hlora, usporavaju razvoj kiseline starter kulturama. Jedan do pet delova na milion ovih jedinjenja za dezinfekciju su baktericidna za mlečne kulture. Pravilna upotreba sredstava za dezinfekciju uključuje proveru koncentracije sredstava za dezinfekciju, kao i uklanjanje rezidualnih sredstava za dezinfekciju iz cevi i posuda pre upotrebe opreme za preradu fermentisanih mlečnih proizvoda (Chandan, 2014) (Tamime A.Y & Robinson R.K, 2007).

MEHANIZMI INHIBICIJE STARTER KULTURA

Starter kulture jogurta, *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* i *Streptococcus thermophilus*, osetljive su na prisustvo rezidua dezinfekcionih sredstava u proizvodnom sistemu. Inhibicija njihove aktivnosti može se objasniti kroz nekoliko mehanizama (Dunsmore i ostali, 1985):

1. **Oštećenje ćelijskih membrana**-kvaternerna amonijumova jedinjenja i hlorni preparati deluju kao površinski aktivne supstance koje destabilizuju lipidne membrane bakterija. To dovodi do gubitka integriteta ćelije, curenja intracelularnih komponenti i smanjenja vitalnosti starter kultura.
2. **Inaktivacija enzima**-oksidativni agensi, poput peroksida, mogu oksidovati sulfhidrilne grupe u enzimima odgovornih za metabolizam šećera. Time se usporava glikolitički put i smanjuje proizvodnja mlečne kiseline, što direktno utiče na brzinu zakiseljavanja mleka.
3. **Poremećaj transportnih sistema**-rezidue hemikalija mogu blokirati transport šećera i aminokiselina kroz membranu, čime se ograničava dostupnost supstrata za rast i fermentaciju.
4. **Stresni odgovori bakterija**-prisustvo inhibitora izaziva aktivaciju stresnih mehanizama u bakterijama, uključujući produkciju zaštitnih proteina i smanjenje metaboličke aktivnosti. Posledica je sporija fermentaciona kinetika i produženo vreme fermentacije.
5. **Uticaj na međusobnu sinergiju kultura**-starter kulture jogurta funkcionišu u simbiotskom odnosu – *S. thermophilus* inicira rast, dok *L. bulgaricus* pojačava zakiseljavanje. Inhibicija jedne vrste narušava ovu ravnotežu, što rezultira neujednačenim fermentacionim procesom i varijabilnim senzornim svojstvima proizvoda.

UTICAJ NA FERMENTACIONU KINETIKU

Fermentaciona kinetika jogurta zasniva se na brzom zakiseljavanju mleka, koje je rezultat metaboličke aktivnosti starter kultura. Prisustvo rezidua dezinfekcionih sredstava može značajno usporiti ovaj proces (Sidhu и остали, 2001). Hemijski inhibitori deluju na različite nivoe – od oštećenja membranskih struktura do inaktivacije ključnih enzima – što dovodi do smanjenog intenziteta metabolizma i sporije proizvodnje mlečne kiseline (Sidhu и остали, 2001).

U praksi, to se manifestuje produženim vremenom fermentacije, često sa kašnjenjem od nekoliko sati u poređenju sa kontrolnim uzorcima bez rezidua. Krive zakiseljavanja pokazuju da starter kulture u prisustvu inhibitora postižu niži stepen acidifikacije u istom vremenskom intervalu, što rezultira neujednačenom teksturom i promenama u senzornim osobinama jogurta (Tamime A.Y & Robinson R.K, 2007).

Čak i niske koncentracije rezidua mogu izazvati poremećaje u kinetici fermentacije, produžiti lag fazu rasta bakterija i smanjiti maksimalnu brzinu zakiseljavanja (Tamime A.Y & Robinson R.K, 2007). Ovi efekti imaju direktan uticaj

na konzistentnost kvaliteta gotovog proizvoda, pa se pravilna kontrola higijenskih protokola i validacija postupaka ispiranja nameću kao ključni faktori u očuvanju tehnološke efikasnosti proizvodnje jogurta.

SENZORNA SVOJSTVA I KVALITET PROIZVODA

Senzorna svojstva jogurta – uključujući teksturu, aromu, ukus i konzistenciju – direktno zavise od pravilne aktivnosti starter kultura tokom fermentacije. Kada su starter bakterije izložene reziduima dezinfekcionih sredstava, dolazi do poremećaja u njihovoj metaboličkoj funkciji, što se odražava na organoleptičke karakteristike gotovog proizvoda (Tamime A.Y & Robinson R.K, 2007).

Rezidue hlornih preparata i kvaternernih amonijumovih jedinjenja posebno su povezani sa smanjenom proizvodnjom mlečne kiseline, što rezultira slabijim zakiseljavanjem i blažim ukusom jogurta (Sidhu и остали, 2001). Oksidativni agensi, s druge strane, mogu izazvati pojavu neželjenih aroma usled oksidacije mlečnih komponenti. Tekstura proizvoda postaje neujednačena, sa mogućim odstupanjima u viskoznosti i koagulaciji proteina.

Varijabilnost u senzornim osobinama često dovodi do smanjene konzistentnosti kvaliteta između različitih proizvodnih serija, što predstavlja značajan izazov za mlečnu industriju. Potrošači očekuju stabilan i prepoznatljiv profil jogurta, pa čak i minimalne promene u ukusu ili teksturi mogu negativno uticati na percepciju brenda (Tamime A.Y & Robinson R.K, 2007).

Ovi nalazi naglašavaju da kontrola rezidua dezinfekcionih sredstava nije samo pitanje biosigurnosti, već i ključni faktor u očuvanju senzorne stabilnosti i tržišne vrednosti jogurta (Tamime A.Y & Robinson R.K, 2007) (Chandan, 2014).

INDUSTRIJSKE IMPLIKACIJE

Rezidue dezinfekcionih sredstava u proizvodnji jogurta predstavljaju izazov koji prevazilazi okvire mikrobiološke kontaminacije i biosigurnosti. Njihovo prisustvo direktno utiče na fermentacionu kinetiku, senzorna svojstva i konzistentnost kvaliteta gotovog proizvoda, što ima značajne posledice po industrijsku praksu.

Prvo, produženo vreme fermentacije usled inhibicije starter kultura dovodi do povećanja proizvodnih troškova i smanjenja efikasnosti procesa (Tamime A.Y & Robinson R.K, 2007). Drugo, varijabilnost u organoleptičkim osobinama jogurta može negativno uticati na percepciju potrošača i stabilnost brenda na tržištu. Treće, neadekvatno ispiranje opreme nakon dezinfekcije može rezultirati ponavljajućim problemima u proizvodnim serijama, što zahteva dodatne kontrole kvaliteta i korektivne mere.

Iz perspektive regulative, mlečna industrija mora da obezbedi usklađenost sa međunarodnim standardima (npr. ISO i EFSA smernice), koji naglašavaju potrebu za validacijom postupaka čišćenja i ispiranja. To podrazumeva ne samo izbor odgovarajućih dezinfekcionih sredstava, već i optimizaciju protokola kako

bi se postigla ravnoteža između biosigurnosti i očuvanja aktivnosti starter kultura (Tamime A.Y & Robinson R.K, 2007).

Na strateškom nivou, razumevanje interakcije između hemijskih rezidua i starter kultura doprinosi razvoju inovativnih tehnologija čišćenja, kao i implementaciji preventivnih mera koje obezbeđuju stabilan kvalitet proizvoda (Chandan, 2014). Time se ne samo unapređuje tehnološka efikasnost, već i jača konkurentnost mlečne industrije na globalnom tržištu.

ZAKLJUČAK

Rezidue dezinfekcionih sredstava u proizvodnji jogurta predstavljaju značajan faktor rizika koji može kompromitovati aktivnost starter kultura, usporiti fermentacionu kinetiku i izazvati varijacije u senzornim svojstvima gotovog proizvoda. Iako su dezinfekciona sredstva neophodna za održavanje higijene i biosigurnosti u mlečnoj industriji, njihova nepravilna upotreba ili nedovoljno ispiranje opreme dovode do poremećaja u fermentacionom procesu.

Analiza dostupne literature pokazuje da čak i niske koncentracije rezidua mogu imati inhibicioni efekat na *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* i *Streptococcus thermophilus*, produžavajući vreme fermentacije i smanjujući konzistentnost kvaliteta jogurta. Ovi nalazi naglašavaju potrebu za pažljivim odabirom dezinfekcionih sredstava, optimizacijom protokola čišćenja i validacijom postupaka ispiranja.

Sa industrijskog aspekta, kontrola rezidua nije samo pitanje mikrobiološke sigurnosti, već i ključni element u očuvanju stabilnog kvaliteta proizvoda i zadovoljstva potrošača. Dalja istraživanja usmerena na razumevanje interakcije između hemijskih rezidua i starter kultura doprineće razvoju inovativnih tehnologija čišćenja i unapređenju proizvodne efikasnosti.

LITERATURA

1. Chandan, R. C. (2014). Dairy – Fermented Products. U S. Clark, S. Jung, & B. Lamsal (Upr.), *Food Processing* (1st izd., str. 405–436). Wiley. <https://doi.org/10.1002/9781118846315.ch18>
2. Chandan, R. C., & Kilara, A. (Upr.). (2013). *Manufacturing Yogurt and Fermented Milks* (1st izd.). Wiley. <https://doi.org/10.1002/9781118481301>
3. Dunsmore, D. G., Makin, D., & Arkins, R. (1985). Effect of residues of five disinfectants in milk on acid production by strains of lactic starters used for Cheddar cheesemaking and on organoleptic properties of the cheese. *Journal of Dairy Research*, 52(2), 287–297. <https://doi.org/10.1017/S002202990002416X>
4. Fernández, M., Hudson, J. A., Korpela, R., & De Los Reyes-Gavilán, C. G. (2015). Impact on Human Health of Microorganisms Present in Fermented Dairy Products: An Overview. *BioMed Research International*, 2015, 1–13. <https://doi.org/10.1155/2015/412714>
5. Sidhu, M. S., Langsrud, S., & Holck, A. (2001). Disinfectant and Antibiotic Resistance of Lactic Acid Bacteria Isolated from the Food Industry. *Microbial Drug Resistance*, 7(1), 73–83. <https://doi.org/10.1089/107662901750152846>
6. Tamime A.Y & Robinson R.K. (2007). *Tamime and Robinsons Yoghurt Science and Technology* (3rd izd.)

Pregledni rad DOI: 10.5937/DDD26044A

ČIŠĆENJE I DEZINFEKCIJA U MLEKARSTVU KAO KLJUČNI FAKTORI KONTROLE LISTERIA MONOCYTOGENES U PROIZVODNJI SIREVA

CLEANING AND DISINFECTION IN DAIRY AS KEY FACTORS IN THE CONTROL OF LISTERIA MONOCYTOGENES IN CHEESE PRODUCTION

**Biljana Aleksić^{1*}, Zorica Zdravković¹, Nemanja Zdravković²,
Ivana Pejanović³, Nada Šmigić³**

Kratak sadržaj

Čišćenje i dezinfekcija predstavljaju ključne higijenske mere u prehrambenoj industriji, sa ciljem obezbeđivanja bezbednosti hrane i sprečavanja kontaminacije proizvodnog okruženja i gotovih proizvoda. U mlekarnstvu je njihov značaj posebno izražen u proizvodnji sireva, koji zbog svojih fizičko-hemijskih osobina mogu predstavljati povoljnu sredinu za rast patogenih mikroorganizama. Među njima, *Listeria monocytogenes* zauzima posebno mesto zbog sposobnosti da opstane u nepovoljnim uslovima, uključujući niske temperature, širok opseg pH vrednosti i visoke koncentracije soli. Dodatno, sposobnost formiranja biofilmova omogućava dugotrajnu perzistenciju ovog patogena u proizvodnom okruženju i povećava otpornost na dezinfekciona sredstva. U radu je prikazan značaj čišćenja i dezinfekcije kao ključnih mera kontrole *L. monocytogenes* u proizvodnji sireva, sa posebnim osvrtom na izvore i puteve kontaminacije, opstajanje u proizvodnom okruženju, formiranje biofilmova i specifičnosti tradicionalne proizvodnje sireva. Rezultati pokazuju da efikasna kontrola ovog patogena zahteva integrisan pristup koji obuhvata pravilno sprovedeno čišćenje, odgovarajuću dezinfekciju i kontinuirano praćenje higijene u proizvodnom okruženju. Dosledna primena ovih mera značajno doprinosi smanjenju rizika od kontaminacije i unapređenju bezbednosti sireva.

Ključne reči: *Listeria monocytogenes*, proizvodnja sireva, sanitacija, dezinfekcija, biofilm

¹ Dr sci. Biljana Aleksić, naučni saradnik; spec. dr vet. Zorica Zdravković, Javna poljoprivredna služba Zavod za mlekarnstvo, Smolućska 11, 11070 Beograd, R. Srbija

² Dr sci. vet. med. Nemanja Zdravković, viši naučni saradnik, Naučni institut za veterinarstvo Srbije, Janisa Janulisa 14, 11000 Beograd, R. Srbija

³ Mast. ing. tehnologije Ivana Pejanović; asistent, dr sci. Nada Šmigić, redovna profesorka, Univerzitet u Beogradu, Poljoprivredni fakultet, Institut za prehrambenu tehnologiju i biohemiju, Katedra za upravljanje bezbednošću i kvalitetom hrane, Nemanjina 6, 11080 Beograd, R. Srbija

* e-mail kontakt osobe: biljana1972aleksic@gmail.com

Abstract

*Cleaning and disinfection are essential hygiene measures in the food industry, aimed at ensuring food safety and preventing contamination of both the production environment and finished products. In the dairy industry, these measures are especially important in cheese production, as the physical and chemical properties of cheese can provide a favourable environment for the growth of pathogenic microorganisms. Among these, *Listeria monocytogenes* is particularly significant due to its ability to survive under adverse conditions, including low temperatures, a wide range of pH values, and high salt concentrations. Furthermore, its ability to form biofilms allows this pathogen to persist long-term in the production environment and increases its resistance to disinfectants. The paper highlights the importance of cleaning and disinfection as key measures to control *L. monocytogenes* in cheese production, with particular reference to sources and routes of contamination, survival in the production environment, biofilm formation, and the specificities of traditional cheese production. The results show that effective control of this pathogen requires an integrated approach, including properly conducted cleaning, appropriate disinfection, and continuous monitoring of hygiene in the production environment. Consistent application of these measures significantly reduces the risk of contamination and improves cheese safety.*

Key words: *Listeria monocytogenes*, cheese production, sanitation, disinfection, biofilm

UVOD

Okruženje u kome se hrana proizvodi i prerađuje ima značajnu ulogu u očuvanju bezbednosti i kvaliteta gotovih proizvoda. Kontaminirane površine u objektima za proizvodnju hrane predstavljaju važan izvor kontaminacije patogenim mikroorganizmima i mikroorganizmima uzročnicima kvara (Moore & Griffith, 2002). Pravilno sprovedeni postupci čišćenja i dezinfekcije imaju ključnu ulogu u održavanju higijene opreme i površina, kao i u sprečavanju mikrobiološke kontaminacije (Nieto-Flores i sar., 2025)

U svetu se godišnje proizvede više od 20 miliona tona sira pri čemu najveći udeo ima Evropska unija (47%), zatim Sjedinjene Američke Države (29%), dok je udeo ostalih zemalja znatno manji (Blake, 2025). U Republici Srbiji godišnja proizvodnja sira iznosi oko 60 000 tona od čega se približno 70% proizvodi u industrijskim uslovima (Vlahović i sar., 2018).

Zbog svog sastava, mleko i proizvodi od mleka predstavljaju povoljnu sredinu za rast patogenih mikroorganizama i mikroorganizama uzročnika kvara (Grace i sar., 2020). Iako se sirevi smatraju nutritivno vrednom i relativno bezbednom hranom (de Oliveira i sar., 2017), opisane su brojne epidemije bolesti koje se prenose hranom povezane sa njihovom konzumacijom (Buchanan i sar., 2017). Najčešći uzročnici bili su *Listeria monocytogenes*, enteropatogene *Escherichia coli* (među kojima je najviše zastupljena O157:H7), *Salmonella* spp. i *Staphylococcus aureus* (Gould i sar., 2014).

Široka rasprostranjenost *L. monocytogenes* u prirodi, kao i sposobnost rasta u nepovoljnim uslovima u kojima drugi patogeni ne opstaju, svrstavaju je među najznačajnije uzročnike bolesti koje se prenose hranom (Akrami-Mohajeri i sar., 2018). Učestalost *L. monocytogenes* u sirovom mleku, koje se smatra jednim od glavnih izvora kontaminacije u preradi mleka, procenjuje se u rasponu od 0,4 do 16 % (Melo i sar., 2015). U proizvodnom okruženju farmi i mlekara ova patogena bakterija može veoma dugo da opstane i kolonizuje mesta koja su teško dostupna za čišćenje i dezinfekciju kao što su pukotine u zidovima i podovima, slivnicima i druga teško dostupna mesta. Ova osobina je u velikoj meri povezana sa sposobnošću formiranja biofilmova (Ferreira i sar., 2014; Rodríguez-Melcón i sar., 2025), što predstavlja povećan rizik od perzistencije u proizvodnom okruženju i unakrsne kontaminacije hrane (de Oliveira i sar., 2017; Ribeiro i sar., 2023).

Takođe, ovaj patogen može biti identifikovan i na delovima opreme koja se koristi za proizvodnju sireva, ukoliko ona nije higijenski dizajnirana. Higijenski dizajnirana oprema, između ostalog podrazumeva da je oprema napravljena od kompatibilnih materijala, da su svi delovi lako dostupni za čišćenje i dezinfekciju, da nema nakupljanja tečnosti i nečistoća na delovima opreme i da su šuplji delove opreme hermetički zatvoreni (Pejanovic i sar., 2026).

U okviru higijene proizvodnog okruženja, potrebno je jasno razlikovati čišćenje od dezinfekcije. Čišćenje obuhvata mehaničko uklanjanje organske i neorganske materije sa površina i opreme, dok je dezinfekcija usmerena na smanjenje broja mikroorganizama primenom odgovarajućih fizičkih ili hemijskih sredstava. Prisustvo organskih ostataka može značajno da umanjuje efikasnost dezinfekcionih sredstava i otežava sprovođenje postupaka dezinfekcije (Carrascosa i sar., 2021; Nieto-Flores i sar., 2025).

Primenom pravilno sprovedenih postupaka čišćenja i dezinfekcije nivo bakterijske kontaminacije smanjuje se i do 99,8 % (Gounadaki i sar., 2008). Nepravilna primena sredstava za dezinfekciju, naročito u subletalnim koncentracijama, može doprineti povećanoj toleranciji mikroorganizama na stresne uslove i otežati njihovu kontrolu u proizvodnom okruženju (Rodríguez-López i sar., 2018; Rodríguez-Melcón i sar., 2025). Zbog toga kontrola *L. monocytogenes* u proizvodnji sireva zahteva doslednu i pravilnu primenu postupaka čišćenja i dezinfekcije, kao i kontinuirano praćenje higijenskih uslova u proizvodnom okruženju (Moore i Griffith, 2002).

Cilj ovog rada je da kroz pregled dostupne literature prikaže značaj čišćenja i dezinfekcije u mlekarstvu kao ključnih mera za kontrolu *L. monocytogenes* u proizvodnji sireva.

LISTERIA MONOCYTOGENES – PATOGEN U PROIZVODNJI SIREVA

Listeria monocytogenes je gram-pozitivan aerobni i fakultativno anaerobni bacil, koji je široko rasprostranjen u prirodi. Sposobnost da se adaptira na različite nepovoljne uslove u okruženju, kao što su niske temperature (uključujući temperaturu hlađenja), širok opseg pH vrednosti (4-9), visoke koncentracije

solu, sposobnost da preživi u organizmu domaćina čini je značajnim patogenom u pogledu javnog zdravlja. Od ukupno trinaest serotipova tri (1/2a, 1/2b i 4b) se najčešće dovode u vezu sa oboljenjima kod ljudi i često su izolovani iz objekata za proizvodnju hrane (Gandhi & Chikindas, 2007; Mørretrø & Langsrud, 2004). Iako je incidencija listerioze relativno niska, visoka stopa smrtnosti (do 30 %) svrstava je među najopasnije patogene koji se prenose hranom. Posebno su osetljive rizične grupe uključujući starije osobe, trudnice, decu i imunokompromitovana lica (Rodríguez-Melcón i sar., 2025).

Jedan od najznačajnijih puteva prenošenja *L. monocytogenes* jeste kontaminirana hrana, naročito namirnice spremne za konzumiranje (Ribeiro i sar., 2023). U tom smislu, brojna istraživanja potvrđuju prisustvo ovog patogena duž celokupnog lanca hrane, od sirovog mleka, preko proizvodnih pogona, do malo-prodaje (Martinez-Rios i Dalgaard, 2018).

Sirevi predstavljaju posebno rizičnu kategoriju, naročito meki i sveži sirevi, zbog visokog sadržaja vlage i povoljnog pH koji pogoduju rastu i umnožavanju *L. monocytogenes*. Iako se češće detektuje u sirevima proizvedenim od sirovog mleka, brojni slučajevi epidemija povezani su i sa sirevima proizvedenim od pasterizovanog mleka (Gould i sar., 2014). Ovo se objašnjava smanjenjem kompetitorske mikrobiote tokom pasterizacije mleka, što može da omogući lakši rast *L. monocytogenes* u naknadnim fazama proizvodnje (Melo i sar., 2015). U skladu sa tim, rezultati meta-analiza ukazuju da ne postoji značajna razlika u prevalenciji ovog patogena između sireva proizvedenih od sirovog i pasterizovanog mleka (Martinez-Rios i Dalgaard, 2018). Zbog navedenih osobina, posebno sposobnosti opstanka u nepovoljnim uslovima i formiranja biofilmova, od posebnog značaja je razmatranje izvora i puteva kontaminacije u proizvodnom okruženju mlekarar.

PUTEVI KONTAMINACIJE I OPSTANAK *L. MONOCYTOGENES*

U lancu proizvodnje hrane farme i objekti za preradu mleka predstavljaju kritična mesta značajna za širenje ovog patogena. Primarni izvori kontaminacije najčešće su feces mlečnih životinja, silaža, prostirka, pojilišta, kao i prisustvo glodara i insekata (Nieto-Flores i sar., 2025). U mlekare, ovaj patogen najčešće dospeva preko sirovog mleka (Melo i sar., 2015).

Važan rezervoar bakterija predstavlja i samo proizvodno okruženje. Dokazano je da *L. monocytogenes* može dugo da opstane u mlekarama i predstavlja važan izvor postpasterizacione kontaminacije (Akrami-Mohajeri i sar., 2018; Chowdhury i Anand, 2023). Epidemiološki podaci ukazuju da su upravo perzistentni sojevi iz okruženja često bili uzrok kontaminacije proizvoda i pojave epidemija listerioze (Palacios i sar., 2022).

Širenje patogena nije ograničeno samo na jedan proizvodni objekat. Prenos između različitih objekata moguć je putem sirovina, poluproizvoda, opreme, zaposlenih, kao i usled neadekvatnih higijenskih uslova duž lanca hrane, što omogućava širenje patogena i na globalnom nivou. Na taj način omogućeno je

dalje širenje patogena i povećanje rizika od kontaminacije u različitim fazama proizvodnje i prometa hrane (Acciari i sar., 2016).

Perzistencija *L. monocytogenes* povezana je sa različitim genotipskim i fenotipskim karakteristikama sojeva, uključujući prisustvo mobilnih genetskih elemenata, koji mogu da sadrže gene odgovorne za toleranciju na stresne uslove, kao što su niske temperature, kiseline i dezinfekciona sredstva. Poseban značaj ima sposobnost formiranja biofilmova. U nepovoljnim uslovima, *L. monocytogenes* može da kolonizuje mesta koja su teško dostupna za čišćenje i dezinfekciju, uključujući površine koje dolaze u kontakt sa hranom, kao što su mlekovodi, konvejeri, sirarske kade, ali i površine bez direktnog kontakta sa hranom, kao što su podovi, zidovi, slivnici (Chowdhury i Anand, 2023).

Biofilmovi predstavljaju organizovane zajednice bakterijskih ćelija koje se nalaze u samoproizvedenom polimernom matriksu koji im omogućava dugotrajno preživljavanje i povećanu otpornost na uticaje iz okoline (Møretrø & Langsrud, 2004; Rodríguez-Melcón i sar., 2025). Zbog sposobnosti da se vežu za različite materijale, kao što su nerđajući čelik, plastika, guma, staklo, biofilmovi predstavljaju značajan izazov u prehrambenoj industriji i važan izvor unakrsne kontaminacije, jer otežavaju efikasno uklanjanje mikroorganizama primenom postupka čišćenja i dezinfekcije (Carrascosa i sar., 2021; Gandhi i Chikindas, 2007).

S obzirom na izraženu sposobnost *L. monocytogenes* da opstaje u proizvodnom okruženju i formira biofilme, adekvatni postupci čišćenja i dezinfekcije predstavljaju ključne mere u kontroli ovog patogena u proizvodnji sireva. Međutim, efikasnost ovih mera često je ograničena specifičnostima proizvodnog okruženja i osobinama samog mikroorganizma (Carrascosa i sar., 2021).

ČIŠĆENJE I DEZINFEKCIJA U PROIZVODNJI SIREVA

Uloga čišćenja u proizvodnji sireva

Čišćenje i dezinfekcija predstavljaju ključne preventivne mere u kontroli *Listeria monocytogenes* u mlekarstvu. Njihov značaj posebno dolazi do izražaja u proizvodnji sireva, gde tehnološki uslovi, kao što su visoka vlažnost, prisustvo hranljivih materija i često složena struktura proizvodne opreme pogoduju opstanku ovog patogena. Istraživanja pokazuju da je prisustvo *L. monocytogenes* u proizvodnim pogonima često povezano sa nedovoljno efikasnim sanitacionim postupcima, naročito u teško dostupnim zonama tzv. „nišama“ (Chowdhury i Anand, 2023; Ribeiro i sar., 2023). Prisustvo ostataka mleka, masti, proteina i mineralnih naslaga može značajno da umanja efikasnost dezinfekcionih sredstava, zbog čega je pravilno sprovedeno čišćenje preduslov uspešne dezinfekcije (Carrascosa i sar., 2021; Nieto-Flores i sar., 2025).

Proces čišćenja u mlekarama obično se sastoji od više uzastopnih faza koje uključuju prethodno ispiranje, primenu sredstva za čišćenje, naknadno ispiranje, kontrolu čistoće i dezinfekciju (Martin i sar., 2016). Prethodno ispiranje omogućava uklanjanje do 90% rastvorljivih nečistoća, dok se primenom odgovarajućih

sredstava za čišćenje omogućava razgradnja i uklanjanje čvrsto vezanih ostataka. Efikasnost postupaka čišćenja i dezinfekcije zavisi od kombinovanog delovanja hemijskih, mehaničkih i termičkih faktora, kao i vremena kontakta (Marriott i sar., 2018).

U savremenim mlekarama široko se primenjuju sistemi čišćenja na mestu (CIP-Cleaning in Place), koji se definišu kao automatizovano i standardizovano čišćenje i dezinfekciju zatvorenih sistema, uključujući cevovode, rezervoare i opremu. Prednost ovih sistema povezana je sa ponovljivošću procesa, smanjenjem učešća ljudskog faktora i mogućnostima kontrole različitih parametara uključujući koncentraciju, temperature i vreme delovanja primenjenih sredstava. Razvoj savremenih tehnologija omogućio je praćenje efikasnosti CIP sistema u realnom vremenu i pravovremeno uočavanje odstupanja (Marriott i sar., 2018; Pant i sar., 2023).

U manjim proizvodnim pogonima i tradicionalnoj proizvodnji sireva automatizovani sistemi nisu dostupni, pa značajnu ulogu ima manuelno čišćenje. U takvim uslovima, pravilna organizacija rada, obuka zaposlenih i striktno poštovanje higijenskih procedura predstavljaju ključne faktore uspešnog čišćenja i dezinfekcije.

Dezinfekcija opreme i površina u proizvodnji sireva

Dezinfekcijom se postiže redukovanje preostalih mikroorganizama u cilju smanjenja rizika po bezbednost hrane. U mlekarstvu se najčešće koriste hemijska dezinfekciona sredstva, uključujući jedinjenja na bazi hlora, joda, kvaternarnih amonijumovih jedinjenja i organskih kiselina, a u novije vreme i ekstrakti na bazi biljaka (Pacheappan i sar., 2022).

Efikasnost dezinfekcije zavisi od više faktora, među kojima su koncentracija sredstva, vreme kontakta, temperatura, prisustvo organske materije i karakteristike površine (Manish i Muriana, 2019). Pokazano je da *L. monocytogenes* može biti osetljiva na uobičajena dezinfekciona sredstva kada se primenjuju u odgovarajućim koncentracijama, ali njihova nepravilna upotreba, naročito u subletalnim koncentracijama, može doprineti razvoju adaptacije i povećane otpornosti (Mørretrø i Langsrud, 2004; Rodríguez-López i sar., 2018).

U proizvodnji sireva primena kvaternarnih amonijumovih jedinjenja je ograničena, s obzirom na to da njihove rezidue mogu negativno da utiču na bakterije mlečne kiseline koje se koriste kao starter kulture. Dodatno, prijavljena je sposobnost adaptacije i rezistencije *L. monocytogenes* na ovu grupu jedinjenja. Zbog toga se u praksi često preporučuje primena alternativnih sredstava, kao što su kisela anjonska sredstva ili dezinfekciona sredstva na bazi joda (Marriott i sar., 2018).

Pored hemijske dezinfekcije, u određenim uslovima primenjuju se i fizičke metode, poput pare ili tople vode, ali njihova upotreba je ograničena zbog visokih energetske troškova i tehničkih zahteva za održavanje odgovarajuće temperature tokom dovoljnog vremenskog perioda (Marriott i sar., 2018).

Biofilmovi – značaj i kontrola

Jedan od ključnih mehanizama opstanka *L. monocytogenes* u mlekarama jeste formiranje biofilma. U biofilmu su bakterije zaštićene ekstracelularnim polimernim matriksom koji značajno smanjuje efikasnost dezinfekcionih sredstava (Carrascosa i sar., 2021; Gandhi i Chikindas, 2007). Efikasna kontrola biofilma zahteva integrisan pristup koji kombinuje mehaničko čišćenje i primenu odgovarajućih hemijskih sredstava. U novijim istraživanjima predlaže se primena enzimskih preparata i specijalizovanih sredstava za razgradnju biofilma (Chowdhury i Anand, 2023; Yates, 2025).

Eksperimentalna istraživanja su pokazala da su ćelije *L. monocytogenes* u biofilmu višestruko otpornije na dejstvo dezinfekcionih sredstava u odnosu na planktonske ćelije (Gandhi i Chikindas, 2007). Posebno je značajno da biofilm može da se formira na različitim materijalima, uključujući nerđajući čelik, plastiku i gumu, koji su široko zastupljeni u mlečnoj industriji (Manish i Muriana, 2019). Persirćetna kiselina, vodonik peroksid i natrijum hipohlorit smatraju se izuzetno efikasnim u sprečavanju ove bakterije da formira biofilme. Tokom sazrevanja biofilмова *L. monocytogenes* može da poveća svoju otpornost prema dezinfekcionim sredstvima. Dodatni rizik u lancu hrane naglašava i utvrđena korelacija između upotrebe dezinfekcionih sredstava i rastuće antibiotske rezistencije (Gandhi i Chikindas, 2007; Mørretrø i Langsrud, 2004).

Specifičnosti drvenih površina u tradicionalnoj proizvodnji sireva

U kontroli *L. monocytogenes* poseban izazov predstavlja upotreba drvene opreme koja se koristi u tradicionalnoj proizvodnji sireva. Osamdesetih godina prošlog veka, Švajcarsku je pogodila dugotrajna epidemija listerioze nastala usled konzumiranja sireva koji su bili kontaminirani zbog neadekvatne higijene drvenih polica za zrenje (Imhof i sar., 2017).

Drvo kao prirodan materijal doprinosi formiranju specifičnih senzornih svojstava tradicionalnih proizvoda. Međutim, njegova porozna struktura pogoduje zadržavanju vlage i mikroorganizama, što može povećati rizik od kontaminacije. Rizik od kontaminacije povećava se usled prisustva mlečne masti, proteina, soli koje se nalaze u sirevima pripremljenim za zrenje (Imhof i sar., 2017).

Pregled literature ukazuje da specifična mikrobiota koja se može naći na površini drvenih polica koje se koriste u zrenju sireva pokazuje antagonistički efekat na *L. monocytogenes*. Zbog toga kontrola kontaminacije na drvenim površinama zahteva poseban pristup, koji obuhvata pravilno održavanje higijene i kontrolu uslova zrenja. Primena odgovarajućih higijenskih postupaka koji uključuju sušenje, mehaničko čišćenje, termičke tretmane zagrejanom vodom i vodenom parom kao i kontrola vlage doprinose značajnom smanjenju nivoa kontaminacije drvenih površina (Mariani i sar., 2011; Zangerl i sar., 2010).

MONITORING HIGIJENE U MLEKARAMA

Sistematsko praćenje higijene u mlekarama je ključno za proveru efikasnosti primenjenih postupaka čišćenja i dezinfekcije. Ono obuhvata mikrobiološko uzorkovanje površina, opreme i okruženja, kao i analizu gotovih proizvoda (Ribeiro i sar., 2023). U tom kontekstu, plan monitoringa proizvodnog okruženja (engl. Environmental Monitoring Program, EMP) može predstavljati koristan alat za sistematsko praćenje higijene i kontrolu *L. monocytogenes*. Iako se ne primenjuje rutinski u svim mlekarama, njegov značaj je posebno izražen u objektima sa povećanim rizikom od perzistencije patogena, dok se u pojedinim zakonskim okvirima i standardima bezbednosti hrane njegova primena zahteva ili posebno naglašava (FDA, 2017; SQFI, 2020).

Tradicionalni indikatori higijene uključuju određivanje ukupnog broja aerobnih bakterija i koliformnih bakterija, ali se sve veći značaj pridaje specifičnom monitoringu prisustva *Listeria* spp. i *Listeria monocytogenes* u proizvodnom okruženju, čime je omogućeno pravovremeno otkrivanje kontaminacije i identifikacija kritičnih mesta u proizvodnom procesu. Savremeni pristupi uključuju i primenu brzih metoda detekcije, kao i praćenje parametara u realnom vremenu u okviru CIP sistema, čime se omogućava pravovremena korekcija higijenskih postupaka (Carrascosa i sar., 2021; Yates, 2025).

ZAKLJUČAK

U proizvodnji sireva *L. monocytogenes* predstavlja značajan rizik. Sposobnost da dugo opstane u proizvodnom okruženju i formira biofilmove otežavaju njenu eliminaciju i povećavaju rizik od unakrsne kontaminacije.

Pravilno sprovedeni postupci čišćenja i dezinfekcije koji uključuju adekvatno čišćenje, izbor odgovarajućeg dezinfekcionog sredstva i kontrolisane uslove njihove primene su ključni u obezbeđivanju bezbednosti sireva. Poseban značaj ima kontinuirano praćenje higijene, kojim se postiže pravovremeno otkrivanje kontaminacije i primena korektivnih mera. Integracijom ovih postupaka u proces proizvodnje značajno se unapređuje bezbednost sireva i smanjuje rizik po zdravlje potrošača.

LITERATURA

1. Acciari, V. A., Iannetti, L., Gattuso, A., Sonnessa, M., Scavia, G., Montagna, C., Addante, N., Torresi, M., Zocchi, L., Scattolini, S., Centorame, P., Marfoglia, C., Prencipe, V. A., & Gianfranceschi, M. V. (2016). Tracing sources of *Listeria* contamination in traditional Italian cheese associated with a US outbreak: Investigations in Italy. *Epidemiology and Infection*, 144(13), 2719–2727. <https://doi.org/10.1017/S095026881500254X>
2. Akrami-Mohajeri, F., Derakhshan, Z., Ferrante, M., Hamidiyan, N., Soleymani, M., Conti, G. O., & Tafti, R. D. (2018). The prevalence and antimicrobial resistance of *Listeria* spp in raw milk and traditional dairy products delivered in Yazd, central Iran (2016). *Food and Chemical Toxicology*, 114(November 2017), 141–144. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2018.02.006>
3. Blake, H. (2025). Top 10 Cheese Producers Worldwide (2024). *Food & Beverages*, <https://Deepmarketinsights.Com/Statistic/7/Top-10-Cheese-Producers-Worldwide>, Pristupljeno 09.03.2026.

4. Buchanan, R. L., Gorris, L. G. M., Hayman, M. M., Jackson, T. C., & Whiting, R. C. (2017). A review of *Listeria monocytogenes*: An update on outbreaks, virulence, dose-response, ecology, and risk assessments. *Food Control*, 75, 1–13. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2016.12.016>
5. Carrascosa, C., Raheem, D., Ramos, F., Saraiva, A., & Raposo, A. (2021). Microbial biofilms in the food industry—a comprehensive review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(4), 1–31. <https://doi.org/10.3390/ijerph18042014>
6. Chowdhury, B., & Anand, S. (2023). Environmental persistence of *Listeria monocytogenes* and its implications in dairy processing plants. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 22(6), 4573–4599. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.13234>
7. de Oliveira, C. A. F., Corassin, C. H., Lee, S. H. I., Gonçalves, B. L., & Barancelli, G. V. (2017). Pathogenic Bacteria in Cheese, Their Implications for Human Health and Prevention Strategies. In *Nutrients in Dairy and Their Implications for Health and Disease*. Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-809762-5.00005-X>
8. FDA. (2017). Control of *Listeria monocytogenes* in ready-to-eat foods: Guidance for industry Draft Guidance. *U.S. Department of Health and Human Services, Food and Drug Administration, Center for Food Safety and Applied Nutrition, January 2017*, 1–79. <https://www.fda.gov/downloads/Food/GuidanceRegulation/GuidanceDocumentsRegulatoryInformation/UCM535981.pdf>
9. Ferreira, V., Wiedmann, M., Teixeira, P., & Stasiewicz, M. J. (2014). *Listeria monocytogenes* persistence in food-associated environments: Epidemiology, strain characteristics, and implications for public health. *Journal of Food Protection*, 77(1), 150–170. <https://doi.org/10.4315/0362-028X.JFP-13-150>
10. Gandhi, M., & Chikindas, M. L. (2007). *Listeria*: A foodborne pathogen that knows how to survive. *International Journal of Food Microbiology*, 113(1), 1–15. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2006.07.008>
11. Gould, L. H., Mungai, E., & Barton Behravesh, C. (2014). Outbreaks attributed to cheese: Differences between outbreaks caused by unpasteurized and pasteurized dairy products, United States, 1998–2011. *Foodborne Pathogens and Disease*, 11(7), 545–551. <https://doi.org/10.1089/fpd.2013.1650>
12. Gounadaki, A. S., Skandamis, P. N., Drosinos, E. H., & Nychas, G. J. E. (2008). Microbial ecology of food contact surfaces and products of small-scale facilities producing traditional sausages. *Food Microbiology*, 25(2), 313–323. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2007.10.001>
13. Grace, D., Wu, F., & Havelaar, A. H. (2020). MILK Symposium review: Foodborne diseases from milk and milk products in developing countries—Review of causes and health and economic implications. *Journal of Dairy Science*, 103(11), 9715–9729. <https://doi.org/10.3168/jds.2020-18323>
14. Imhof, R., Schwendimann, L., & Riva Scettrini, P. (2017). Sanitising wooden boards used for cheese maturation by means of a steam-mediated heating process. *Journal Fur Verbraucherschutz Und Lebensmittelsicherheit*, 12(3), 255–263. <https://doi.org/10.1007/s00003-017-1114-0>
15. Manish, A., & Muriana, P. M. (2019). Efficacy of Commercial Sanitizers Used in Food Processing Facilities for Inactivation of *Listeria monocytogenes*, *E. Coli* O157:H7, and *Salmonella* Biofilms. *Foods*, 8(12).
16. Mariani, C., Oulahal, N., Chamba, J. F., Dubois-Brissonnet, Notz, E., & Briandet, R. (2011). Inhibition of *Listeria monocytogenes* by resident biofilms present on wooden shelves used for cheese ripening. *Food Control*, 22(8), 1357–1362. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2011.02.012>
17. Marriott, N. G., Schilling, M. W., & Gravani, R. B. (2018). *Dairy Processing Plant Sanitation*. 295–309. https://doi.org/10.1007/978-3-319-67166-6_16
18. Martin, J. G. P., de Oliveira e Silva, G., da Fonseca, C. R., Morales, C. B., Souza Pamplona Silva, C., Miquelluti, D. L., & Porto, E. (2016). Efficiency of a cleaning protocol for the removal of enterotoxigenic *Staphylococcus aureus* strains in dairy plants. *International Journal of Food Microbiology*, 238, 295–301. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2016.09.018>

19. Martinez-Rios, V., & Dalgaard, P. (2018). Prevalence of *Listeria monocytogenes* in European cheeses: A systematic review and meta-analysis. *Food Control*, 84, 205–214.
20. Melo, J., Andrew, P. W., & Faleiro, M. L. (2015). *Listeria monocytogenes* in cheese and the dairy environment remains a food safety challenge: The role of stress responses. *Food Research International*, 67, 75–90. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodres.2014.10.031>
21. Moore, G., & Griffith, C. (2002). A comparison of traditional and recently developed methods for monitoring surface hygiene within the food industry: An industry trial. *International Journal of Environmental Health Research*, 12(4), 317–329.
22. Mørtrø, T., & Langsrud, S. (2004). *Listeria monocytogenes*: biofilm formation and persistence in food-processing environments. *Biofilms*, 1(2), 107–121.
23. Nieto-Flores, K., Sabillón, L., Stratton, J., & Bianchini, A. (2025). Determination of an Effective Sanitizing Procedure for *Listeria innocua* in Personal Protective Equipment Used in Dairy Facilities. *Journal of Food Protection*, 88(3), 100455. <https://doi.org/10.1016/j.jfp.2025.100455>
24. Pachéappan, G. D., Samsudin, N. I. P., & Hasan, H. (2022). The effects of different disinfectants and application conditions on microbial contaminants at dairy processing line. *Journal of Food Processing and Preservation*, 46(1), 1–11. <https://doi.org/10.1111/jfpp.16172>
25. Palacios, A., Otto, M., Flaherty, E., Boyle, M. M., Malec, L., Holloman, K., Low, M., Wellman, A., Newhart, C., Gollarza, L., Weeks, T., Muyombwe, A., Lozinak, K., Kafka, E., O'Halloran, D., Rozza, T., Nicholas, D., Ivory, S., Kreil, K., ... Conrad, A. (2022). Multistate Outbreak of *Listeria monocytogenes* Infections Linked to Fresh, Soft Hispanic-Style Cheese — United States, 2021. *MMWR. Morbidity and Mortality Weekly Report*, 71(21), 709–712. <https://doi.org/10.15585/mmwr.mm7121a3>
26. Pant, K. J., Cotter, P. D., Wilkinson, M. G., & Sheehan, J. J. (2023). Towards sustainable Cleaning-in-Place (CIP) in dairy processing: Exploring enzyme-based approaches to cleaning in the Cheese industry. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 22(5), 3602–3619. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.13206>
27. Pejanovic, I., Djekic, I., & Kljajevic, N. (2026). *Assessment and Standards in Hygienic Design of Food Equipment: A Comprehensive Cross-Industry Review*. 1–20.
28. Ribeiro, A. C., Almeida, F. A. De, Medeiros, M. M., Miranda, B. R., & Pinto, U. M. (2023). *Listeria monocytogenes*: An Inconvenient Hurdle for the Dairy Industry. *Dairy*, 4, 316–344. <https://doi.org/10.3390/dairy4020022>
29. Rodríguez-López, P., Rodríguez-Herrera, J. J., Vázquez-Sánchez, D., & Cabo, M. L. (2018). Current knowledge on *Listeria monocytogenes* biofilms in Food-Related environments: Incidence, resistance to biocides, ecology and biocontrol. *Foods*, 7(6), 1–19. <https://doi.org/10.3390/foods7060085>
30. Rodríguez-Melcón, C., Capita, R., & Alonso-Calleja, C. (2025). Exposure to Low Doses of Biocides Increases Resistance to Other Biocides and to Antibiotics in Strains of *Listeria monocytogenes*. *Biology*, 14(5). <https://doi.org/10.3390/biology14050495>
31. SQFI. (2020). Food Safety Code: Food Manufacturing. *The Food Industry Association*. https://www.sqfi.com/docs/sqfilibraries/code-documents/edition-9/code-pdfs/20227fmin_food-manufacturing_v3-2-final-w-links.pdf?sfvrsn=7f70c75a_8
32. Vlahović, B., Mugoša, I., Puškarić, A., & Užar, D. (2018). Unapređenje proizvodnje i plasmana sira. *Poljoprivredni Fakultet, Univerzitet u Novom Sadu*, 1–188.
33. Yates, C. R. (2025). Moving the dial on *Listeria monocytogenes* in the dairy industry: Managing risks for consumers and processors. *Journal of Dairy Science*. <https://doi.org/10.3168/jds.2025-28208>
34. Zangerl, P., Matschweiger, C., Dillinger, K., & Eliskases-Lechner, F. (2010). Survival of *Listeria monocytogenes* after cleaning and sanitation of wooden shelves used for cheese ripening. *European Journal of Wood and Wood Products*, 68(4), 415–419. <https://doi.org/10.1007/s00107-009-0381-6>

II
TEMATSKO ZASEDANJE

DEZINSEKCIJA

Pregledni rad DOI: 10.5937/DDD26057D

INTEGRISANI PRISTUP U SUZBIJANJU ŽUTIH (FARAONSKIH) MRAVA (*MONOMORIUM PHARAONIS* L.)

INTEGRATED MANAGEMENT OF PHARAOH ANTS (*MONOMORIUM PHARAONIS* L.)

**Milutin Đorđević^{1*}, Darja Fjodorov¹, Radovan Marčetić¹,
Vladimir Drašković¹, Radislava Teodorović¹, Marijana Vučinić¹,
Katarina Nenadović¹, Ljiljana Janković¹**

Kratak sadržaj

Faraonski mravi (*Monomorium pharaonis*) predstavljaju veliki stručni izazov u postupku regulacije njihove brojnosti u zatvorenim prostorima usled jedinstvene unikolonijalne organizacije, visoke adaptabilnosti i brzog rasta populacije. Kolonije mogu sadržati veliki broj matica, koje na nedeljnom nivou mogu položiti oko 350 jaja, dok razvojni ciklus do odrasle jedinke traje približno 45 dana, što omogućava njihovo brzo širenje u različitim staništima. Zbog svoje sposobnosti da mehaničkim putem prenose patogene, faraonski mravi mogu predstavljati značajan zdravstveni rizik u zatvorenim prostorima. U radu se razmatra integrisani pristup suzbijanja (IPM) u zatvorenim prostorima, koji kombinuje detekciju i monitoring, poznavanje biologije i ponašanja vrste, simultanu primenu različitih metoda suzbijanja kao i praćenje efekata tretmana, uz minimiziranje rizika za ljude, kućne ljubimce i prehrambene resurse.

Ključne reči: Zdravstveni rizik, Integrisani pristup suzbijanja, *Monomorium pharaonis*

Abstract

Pharaoh ants (*Monomorium pharaonis*) represent a major professional challenge in the control of their population in indoor environments due to their unique unicolonial organization, high adaptability, and rapid population growth. Colonies can contain a large number of queens, which can lay approximately 350 eggs on a weekly basis, while the developmental cycle to adulthood takes about 45 days,

¹ Dr sci. vet. med. Milutin Đorđević, redovni profesor; dr vet. med. Darja Fjodorov, samostano stručno tehnički saradnik za rad u laboratorijama; dr. vet. med. Radovan Marčetić, asistent; 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, Univerzitet u Beogradu, Fakultet veterinarske medicine, Katedra za zoohigijenu, Bulevar oslobođenja 18, 11000 Beograd, R. Srbija

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

enabling their rapid expansion across diverse habitats. Due to their ability to mechanically transmit pathogens, Pharaoh ants can pose a significant health risk in indoor settings. This paper discusses an Integrated Pest Management (IPM) approach in indoor spaces, which combines detection and monitoring, knowledge of the species' biology and behavior, the simultaneous application of various control methods, and the evaluation of treatment efficacy, all while minimizing risks to humans, pets, and food resources.

Keywords: Health risk, Integrated Pest Management, *Monomorium pharaonis*

UVOD

Efikasno sprovođenje kontrole faraonskih mrava u zatvorenim prostorima predstavlja veliki stručni izazov, s obzirom na njihovu visoku prilagodljivost i razvijenu kolonijalnu organizaciju ove vrste. Standardni principi integrisanog pristupa koji se primenjuju u zaštiti useva i skladišta nisu direktno primenjivi u kontroli faraonskih mrava u zatvorenim prostorima, jer se u poljoprivredi koriste pesticidi, prilagođeni zaštiti bilja, dok kontrola ove vrste mrava u zatvorenim prostorima zahteva upotrebu biocida, uz strogo definisane procedure koje minimiziraju rizik po zdravlje ljudi, kućnih ljubimaca i hrane.

Faraonski mravi (*Monomorium pharaonis*) predstavljaju značajan i klasičan primer unikolonijalne vrste mrava. Pod ovim pojmom podrazumeva se, specifičan oblik socijalne organizacije u kojem više gnezda zajedno funkcioniše kao jedna jedinstvena kolonija. Ova vrsta mrava je od posebnog značaja u entomologiji zbog svoje složene društvene strukture, razvojnog ciklusa i sposobnosti adaptacije na različite uslove životne sredine. Odsustvo međusobne agresije unutar vrste omogućava članovima iste kolonije da kooperiraju na efikasan način, smanjujući sukobe i fokusirajući se na zajedničke ciljeve (Buczkowski i Bennett, 2009). Sposobnost opstanka i razmnožavanje unutar velikih, raznovrsnih kolonija dodatno komplikuje postupke regulacije brojnosti populacije ove vrste.

Unutar kolonija može se nalaziti na stotine matica, što značajno povećava reproduktivni kapacitet. Matice su sposobne da polažu do 350 jaja nedeljno, čime se njihova brojnost populacije, vodeći računa o broju matica rapidno uvećava. Jaja polažu unutar zaštićenih delova gnezda, najčešće u zatvorenim, toplim i vlažnim mikrostaništima, sa optimalnim režimom temperature od 18 do 30°C i relativnom vlažnošću od 80% (Perfecto i Philpott, 2023). Razvojni ciklus faraonskih mrava do odrasle jedinke traje oko 45 dana, što takođe pospešuje povećanje populacije, ukoliko se pravovremeno ne primene adekvatne mere kontrole.

Primenom integrisanog modela suzbijanja (IPM), koji obuhvata kombinaciju bioloških, hemijskih, mehaničkih i fizičkih metoda kao i higijenskim postupcima u objektima u kojima se nalaze faraonski mravi, možemo efikasno izvršiti suzbijanje populacije ove invazivne vrste.

RAZVOJNI CIKLUS

Razvojni ciklus faraonskih mrava (*M. pharaonis*), od jajeta do odrasle jedinke, traje približno 45 dana. Ovaj ciklus se odlikuje ranom diferencijacijom jedinki, pri čemu se razlike između reproduktivnih jedinki (matica i mužjaka) i radilica uspostavljaju već tokom embrionalnog razvoja unutar jajeta. Literaturni podaci ukazuju na postojanje dva tipa embriona, embrioni sa primordijalnim germinativnim ćelijama, iz kojih se razvijaju reproduktivne matice i mužjaci i embrioni bez germinativnih ćelija, od kojih kasnije nastaju sterilne radilice odgovorne za obavljanje svih nereproduktivnih funkcija unutar kolonija. Parenje se odvija skriveno, unutar njihovih gnezda, kontinuirano tokom cele godine. Uspešno kolonizuju ljudsko okruženje i polažu jaja na skrivenim mestima poput nameštaja, u šupljinama zidova, električnim uređajima i drugim mikrostaništima. Shodno tome, otežan pristup kolonijama značajno utiče na sprovođenje efikasnih mera kontrole ove vrste jedinki (Vashegyi i sar., 2025).

Nakon završetka embrionalne faze, iz jajeta će se izleći larva koja prolazi kroz tri faze presvlačenja. Tokom ovih faza, larve se intenzivno hrane i rastu. Već tokom prve faze presvlačenja možemo razlikovati larve buduće matice od muških jedinki i radilica. Ove rane fizičke razlike omogućavaju pružanje adekvatne nege i raspodele resursa za svaku jedinku, omogućavajući im optimalni razvoj. Stadijum lutke traje oko dvanaest dana. Tokom ove faze dolazi do značajnih transformacija, lutke postepeno tamne poprimajući boju odraslih mrava. Takođe, dolazi do diferencijacije na osnovu veličine i pola, mužjaci i ženke se jasno mogu razlikovati po morfološkim karakteristikama poput oblika očiju, strukture antena i prisustva krila. Nakon završetka ovog razvojnog ciklusa, iz lutki se istovremeno formiraju tri vrste odraslih jedinki, svaka sa specifičnom ulogom u zajednici.

Sterilne radilice, ženke zadužene za sakupljanje hrane, brigu o leglu, izgradnji i održavanju legla kao i odbrani same kolonije (Plante i sar., 2025), aktivno učestvuju u pronalaženju i prikupljanju resursa i često se mogu uočiti po radnim površinama, kuhinjskim elementima i ormarićima u kojima se drži hrana. Njihov usni aparat koji služi za grickanje, može da probije plastičnu ambalažu, što im značajno olakšava pristup hrani. Svrstavaju se u oportunističke omnivore, ishrana im se sastoji od obroka bogatih ugljenim hidratima, lipidima i proteinima, što im olakšava suzbijanje primenom nutritivno bogatih mamaca (Perfecto i Philpott, 2023). Ulazeći u prostore u kojima borave ljudi, faraonski mravi mogu služiti kao mehanički vektori širokog spektra patogena, što predstavlja značajan zdravstveni rizik. Procesom trofalakse, koji podrazumeva razmenu hrane između članova kolonije, prikupljene materije uspešno se distribuiraju kroz celu koloniju, dopirući efikasno do čitavog legla (Vashegyi i sar., 2025).

Reproduktivne matice predstavljaju jedinke odgovorne za polaganje jaja i održavanje populacije. Karakteriše ih povećana brojnost, koja može dostići i stotine, raspoređene u više gnezda unutar kolonija, što dodatno može komplikovati

processe njihovog suzbijanja. Reproduktivna sposobnost matica i njihovo skriveno gnežđenje presudni su za opstanak i širenje kolonija, zbog čega ciljano suzbijanje matica predstavlja ključni faktor u iskorenjivanju ove vrste (Vashegyi i sar., 2025).

Mužjaci čija primarna i često jedina uloga predstavlja reprodukcija, prisutni su u kolonijama kao sastavni deo potomstva (Plante i sar., 2025). Iako njihova uloga nije dominantna, oni doprinose genetskoj raznolikosti. Razumevanje odnosa i uloga unutar kolonija pomaže u razvoju efikasnijih metoda koje su ključne u suzbijanju ovih jedinki.

Kada je reproduktivna matica prisutna u leglu, radilice faraonskih mrava ispoljavaju selektivan tretman legla. Leglo koje je namenjeno za razvoj radilica se prihvata i efikasno neguje, čime se osigurava njihov optimalni razvoj. Suprotno tome, leglo iz kojeg bi se razvile reproduktivne jedinke podvrgnuto je potencijalnom kanibalizmu. Radilice grizu i oštećuju kutikule larvi, nakon čega konzumiraju unutrašnje tkivo. Na ovaj način, obezbeđuje se razvoj isključivo jedinki iz grupe radilica i optimalni broj jedinki zaduženih za reprodukciju i očuvanje optimalne brojnosti različitih grupa unutar zajednice. Proces diferencijacije između reproduktivnog i radničkog legla, koji obavljaju radilice faraonskih mrava, dominantno se zasniva na morfološkim osobinama. Larve radilica poseduju račvaste dlake (dvodelne), dok su reproduktivne larve dominantno gole, sa svega nekoliko kratkih čekinja. Takođe, reproduktivne larve su značajno veće i karakteriše ih kruškolik oblik u poređenju sa larvama radilica, koje su manjih dimenzija i izduženog oblika. Ovakvo ponašanje radilica uslovljeno je prisustvom reproduktivnih matica, koje putem specifičnih feromona signaliziraju inhibiciju polnog razvoja jedinki. To su najčešće kutikularni ugljovodonici, koji se nalaze na spoljašnjem omotaču insekata, koje radilice prepoznaju putem olfaktornog sistema, izazivajući fiziološke i bihevioralne promene kod radilica (Brunner i sar., 2011). Kao rezultat toga, radilice efikasno regulišu razvoj legla u koloniji, obezbeđujući da se, dokle god su prisutne reproduktivne matice razvijaju isključivo forme radilica (ADAS, 1991). Efikasan i brz razvojni ciklus, zajedno sa ranom determinacijom jedinki i sposobnošću stvaranja velikih, povezanih kolonija putem odvajanja, faraonskim mravima doprinosi izuzetnu adaptibilnost kao i veliki invazivni potencijal kako u urbanim tako i u ruralnim sredinama (Plante i sar., 2025).

DRUGE VRSTE MRAVA NA TERITORIJI REPUBLIKE SRBIJE

Pored faraonskih mrava, na evropskom kontinentu često su zastupljene i druge značajne vrste, čije biološke i entomološke karakteristike je neophodno uzeti u obzir radi lakšeg razumevanja specifičnih izazova, što omogućava adekvatan izbor strategije u sprovođenju kontrole suzbijanja ove vrste jedinki.

Crni baštenski mravi (*Lasius niger*), karakteristične crno-smeđe boje, često prodiru u domaćinstva u potrazi za hranom, iako se primarno gnezde na otvorenom. Za razliku od faraonskih mrava, crni baštenski mravi najčešće formiraju

kolonije sa jednom maticom. Matice polažu jaja u ranu jesen, nakon čega nastavlja svoj razvoj, pri čemu se mogu razviti radilice ili reproduktivne jedinke. Seksualni dimorfizam kod ove vrste je izuzetno naglašen, zbog čega su sposobne da razlikuju muške i ženske larve još u njihovom ranom stadijumu (Jemielity i Keller, 2003). Njihova prisutnost u domaćinstvima bazira se samo na potrazi za hranom, a kolonije unutar zidova ili struktura zgrada su retke. Zbog toga se smatraju manje invazivnom vrstom u odnosu na faraonske mrave. Međutim, s obzirom na sklonost ka sakupljanju uginulih insekata, ostataka hrane i drugih organskih materija, ova vrsta može služiti kao rezervoar i prenosilac patogena iz spoljašnje sredine u objekte u kojima borave ljudi. Mogu prenositi bakterije poput *Escherichia coli*, *Salmonella* spp., *Staphylococcus* spp. i *Enterococcus* spp., što predstavlja direktan rizik za zdravlje ljudi. Ovaj rizik je posebno izražen u prostorijama gde se skladišti i priprema hrana, zbog potencijale kontaminacije namirnica (Schläppi i sar., 2020). Iako se *L. niger* ne smatra visoko invazivnom vrstom, njihov značajan vektorski potencijal prenosa patogena može predstavljati ozbiljan zdravstveni rizik u domaćinstvima. Od namirnica najviše ih privlače šećeri poput saharoze, fruktoze, glukoze.

Crveni vatreni mravi (*Myrmica rubra*), predstavljaju autohtonu vrstu evropskog kontinenta, prepoznatljivu po crveno-braon i tamnocrvenoj boji. Ova vrsta je izrazito agresivna, poznata po snažnom i bolnom ubodu. Prilikom napada ili odbrane, koristi žaoku pomoću koje ubada i ispušta otrovnu supstancu. Ta supstanca se sastoji od proteina i alergena, što kod ljudi može rezultirati bolom, lokalnim crvenilom i otokom, ali i ozbiljnim sistemskim reakcijama, uključujući anafilaktički šok (Hurka i sar., 2022). Radilice *M. rubra* su monomorfne, što znači da su sve približno iste veličine, koja iznosi oko 4-5 mm. Odlikuje ih sposobnost formiranja velikih kolonija koje se sastoje od stotina međusobno povezanih gnezda u kojima se nalazi preko milion radilica, kao i više matica (Wetterer i Radchenko, 2011). Svaka kolonija aktivno brani svoju teritoriju i pokazuje izuzetne znake agresije prema drugim kolonijama, teritorije mogu da se dodiruju ali se nikad ne preklapaju zbog snažne međusobne konkurencije. Dok radilice unutar iste kolonije pokazuju malo ili nimalo agresije, susreti sa radilicama iz drugih kolonija često rezultiraju intenzivnim borbama (Chen i sar., 2018). Takođe spadaju u afidokolnu vrstu mrava, pri čemu štite biljne vaši u zamenu za medljiku, što ih čini potencijalnom štetočinom u poljoprivredi (Wetterer i Radchenko, 2011). U staništima sa visokom vlažnošću i bogatom vegetacijom, kao što su parkovi i dvorišta, ova vrsta pokazuje visoku invazivnost (Chen i sar., 2018).

Šumski mravi (*Formica rufa*) predstavljaju autohtonu vrstu sa izrazito složenom socijalnom organizacijom, sposobnošću formiranja velikih kolonija i naprednom strategijom izgradnje i održavanja gnezda. Pored navedenih karakteristika spadaju u oportunističke omnivore, koriste širok spektar ishrane koja varira od medljike biljnih vaši, preko artropoda, pa i do krupnijeg plena, poput glista (Lenoir, 2023). Zbog takve raznolikosti u ishrani, radilice intenzivno pretražuju

okolinu, što potencijalno povećava njihov kontakt sa različitim izvorima kontaminacije. Formiraju nadzemne mravinjake od organskog materijala, primarno od borovih iglica, grančica i zemljišta. Ovakva struktura gnezda ima ključnu ulogu u regulaciji mikroklimatskih uslova, naročito temperature. Radilice unutar kolonije pokazuju visok stepen kooperacije i minimalnu agresiju, dok su interakcije sa jedinkama drugih kolonija često praćene izraženom agresijom. Šumski mravi poseduju razvijene termoregulacione mehanizme, koji im omogućavaju održavanje povoljnih uslova za razvoj legla tokom većeg dela godine. Ova sposobnost razlikuje ih od drugih vrsta mrava, koji se pretežno oslanjaju na premeštanje legla prateći temperaturne gradijente, kako bi obezbedile optimalne uslove (Kadochová i Frouz, 2014). Kao i kod druge vrste mrava, ova vrsta može imati potencijalnu ulogu u mehaničkom prenosu različitih patogenih mikroorganizama (Schlappi i sar., 2020).

Solenopsis fugax, poznatiji kao mravi lopovi, predstavljaju izuzetno malu vrstu mrava (radilice 1,5-3,0 mm) koji se retko viđaju na površini zemlje i kolonizuju topla, suva i otvorena staništa. Gnezda formiraju duboko u zemlji, u pukotinama stena i ispod velikog kamenja. Kolonije mogu brojati do 100.000 radilica i često su poliginijske, tj. sa više reproduktivnih matica. Zbog boje i veličine često ih mešaju sa faraonskim mravima. Ova vrsta je poznata po tome što "pljačka" susedna gnezda, gradeći tunele u blizini drugih mrava putem kojih im upadaju u kolonije i krađu hranu (Csósz i sar., 2023).

ZDRAVSTVENI RIZIK

Prenos patogena putem insekata predstavlja značajan zdravstveni izazov, naročito kod socijalnih vrsta poput mrava, koji prodiru u različite objekte dok su u potrazi za hranom i na taj način ne samo da mogu potencijalno biti vektori različitih oboljenja, već i uzročnici alergijskih reakcija kod ljudi i kućnih ljubimaca. Faraonski mravi uspešno kolonizuju stambene objekte i mogu biti uzročnici trovanja hranom, što predstavlja poseban rizik za pacijente u bolničkim prostorijama (Alharbi i sar., 2019). Bakterijske vrste poput *Pseudomonas*, *Salmonella*, *Staphylococcus*, *Klebsiella* i *Clostridium*, samo su neki od izazivača bolesti koje *M. pharaonis* može preneti. Prilikom njihove potrage za hranom oni se kreću između kontaminiranih i čistih zona, zabeleženo je njihovo prisustvo na otvorenim ranama pacijenata, medicinskom otpadu, infuzionim setovima, kao i kuhinjama i prostorijama u kojima se priprema hrana. Topla i vlažna mikroklima koja je prisutna u bolnicama, u kombinaciji sa lako dostupnim izvorima hrane, pogoduje njihovom brzom razmnožavanju i olakšava efikasno širenje mikroorganizama unutar same kolonije, čime se dodatno povećava njihov vektorski potencijal i rizik od infekcija (Beatson, 1972).

Za razliku od drugih mrava koji izazivaju alergijske reakcije isključivo putem uboda, faraonski mravi ne predstavljaju samo uobičajene kućne štetočine, već i značajan izvor inhalacionih alergena u zatvorenim prostorima. Njihovo prisustvo u domaćinstvima dovodi do kontinuirane akumulacije biološkog

materijala, uključujući izmet i dezintegrisane delove tela, koji se raspršuju u vazduh, formirajući inhalacione alergene. Po dospeću u vazduh, kod imuno-kompromitovanih osoba mogu izazvati ozbiljne respiratorne reakcije, uključujući bronhijalnu astmu. Studije ukazuju na to da značajan broj pacijenata ispoljava pozitivnu kožnu reakciju, dok kod preostalih dolazi do pojave astmatičnih napada (Kim i sar., 2005).

MONITORING FARAONSKIH MRAVA

U okviru integrisanog pristupa faraonskih mrava, monitoring predstavlja značajnu komponentu kojom se omogućava precizna detekcija, identifikacija i kvantifikacija ove vrste štetočina. Jedna od standardnih metoda uključuje postavljanje specijalizovanih klopki sa atraktantom, poput putera od kikirikija. One se postavljaju na planski definisanim mestima, nakon čega se posle određenog vremena identifikuju i prebrojavaju jedinke. Za uspešno određivanje lokacije postavke istih, neophodno je poznavati navike mrava i mesta na kojima se najčešće kreću u potrazi za hranom. Unutar objekta, ključne lokacije obuhvataju radne površine u kuhinjskim prostorijama, prozorske daske, područja oko mašine za sudove i sanitarnih čvorova, dok se izvan objekta najčešće postavljaju u pukotinama na zidu, područjima oko električnih brojila, površinama oko česama i drugih izvora vode, na spoju zida i creva klima uređaja itd (Oi i sar., 1994). Faraonski mravi pokazuju izuzetnu sklonost nastanjanja vlažnih područja, time ovakva mesta predstavljaju ključne tačke u monitorigu, što je efikasno za rano otkrivanje i uspešno sprečavanje širenja infestacije.

Tradicionalne metode praćenja, poput specijalizovanih klopki, lepljivih traka i kartica sa atraktantom, zasnovane na manuelnom brojanju, podložne su greškama i pokazale su se neefikasno pri radu sa velikim brojem jedinki. Međutim, u savremenim istraživanjima najbolje su se pokazali kompjuterski modeli na bazi foto ćelija, efikasni u praćenju povećane aktivnosti mrava. Ovi sistemi koriste kamere sa makroobjektivima, koje se pozicioniraju u zoni staza ili koridora u kojima se mravi kreću u potrazi za hranom. Slike mrava se produkuju pod kontrolisanim uslovima osvetljenja i visokom rezolucijom. Na taj način se obezbeđuje kvalitet i preciznost, što je ključno u dobijanju pouzdanih rezultata. Rade po principu beleženja precizne lokacije, merenja veličine svake jedinke, generisanja mapa koje vizualizuju prostornu distribuciju aktivnosti mrava tokom vremena. Takođe, mogu analizirati promene u brojnosti i rute kretanja mrava kroz različite vremenske periode (Das i sar., 2024). Stoga, usled neuporedivo bolje preciznosti, pouzdanih podataka o aktivnosti ove vrste kao i analize promene ruta njihovog kretanja, primena specijalizovanih sistema direktno olakšava planiranje i sprovođenje efikasnih mera suzbijanja.

METODE INTEGRISANOG PRISTUPA U SUZBIJANJU FARAONSKIH MRAVA

Integrisani pristup suzbijanja faraonskih mrava (*Monomorium pharaonis*) podrazumeva sveobuhvatnu strategiju koja kombinuje preciznu identifikaciju štetočina sa kontinuiranim praćenjem i strateškom primenom različitih metoda kontrole (UC Statewide IPM Program, 2017).

Osnovni principi integrisanog pristupa (IPM) podrazumevaju sistematičan pristup koji uključuje preciznu detekciju, razumevanje biologije i etiologije vrste, definisanje kritičnog nivoa, implementaciju strategije suzbijanja kao i adekvatnu evaluaciju. Precizna detekcija kao inicijalna faza IPM programa, obuhvata temeljnu inspekciju čiji je cilj potvrđivanje trajnog prisustva štetočina. Ovo podrazumeva detaljan pregled potencijalnih ulaznih tačaka i skrivenih staništa uključujući unutrašnje i spoljašnje zidove objekata. Cilj inspekcije predstavlja postavljanje efikasnog lociranja problematičnih zona. Razumevanje biologije i etiologije vrste je od presudnog značaja kada je u pitanju uspešno planiranje kontrole. Sveobuhvatno razumevanje njihovog načina života, specifičnih navika i slabosti predstavlja važnu osnovu za strateški izbor najefikasnijih i najodrživijih metoda suzbijanja ove vrste jedinki.

Definisanje kritičnog nivoa za intervenciju predstavlja naredni korak kojim se određuje granica infestacije koja nalaže neophodno sprovođenje kontrolnih mera. S obzirom da faraonski mravi imaju potencijalni rizik za prenošenje bolesti, posebno u okruženjima kao što su objekti za pripremanje hrane, svako potvrđeno prisustvo smatra se kritičnim nivoom. Implementacija strategija suzbijanja predstavlja centralni aspekt IPM programa, koji obuhvata kombinaciju različitih metoda (mehaničkih, fizičkih, bioloških i hemijskih) usmerenih na efikasnu kontrolu populacije *M. pharaonis*. Strategija je dizajnirana tako da iskoristi ključne tačke njihovog životnog ciklusa i prekine ciklus infestacije, uz minimiziranje rizika (Northeastern IPM Center, 2020).

FIZIČKE I MEHANIČKE METODE SUZBIJANJA FARAONSKIH MRAVA

Fizičke i mehaničke metode suzbijanja predstavljaju važnu komponentu integrisanog pristupa u kontroli *M. pharaonis*. Ove metode se zasnivaju na primeni fizičkih agenasa, narušavajući integritet i vitalnost insekata, bez primene hemijskih supstanci. Preventivna strategija započinje primenom sanitarnih mera i postavljanjem fizičkih barijera, čiji je primarni cilj eliminacija esencijalnih resursa koji privlače mrave (poput hrane, vode i skrovišta) i fizičko onemogućavanje pristupa mrava objektima. Rigorozne higijenske mere, uključujući redovno čišćenje objekata, ispravnost instalacija i pravilno skladištenje namirnica, smanjuju dostupnost izvora hrane i vode, čime se direktno utiče na opstanak i razvoj kolonija. Istovremeno, ključno je postavljanje fizičkih barijera na objektima. To podrazumeva zaptivanje pukotina i proreza na zidovima i oko instalacija, čime

se onemogućava ulazak i kretanje samih mrava u unutrašnjosti objekta. Uklanjanjem nagomilanog materijala poput papira, kartona, tekstila itd., efikasno se redukuju potencijalna mesta za skrivanje, što dodatno ograničava opstanak i ekspanziju kolonija (Northeastern IPM Center, 2020).

Posebnu grupu sredstava koja ostvaruje fizički efekat predstavljaju desikantni prahovi, koji se svrstavaju u grupu biocidnih proizvoda i predstavljaju neorganske supstance čija se upotreba u dezinfekciji zasniva na fizičkom mehanizmu delovanja na insekte. Njihova prednost ogleda se u minimiziranju ekoloških i zdravstvenih rizika. Mehanizam delovanja bazira se na fizičkom prijanjanju za kutikulu mrava i oštećenju njihovog zaštitnog sloja. Narušavanje integriteta kutikule dovodi do nekontrolisanog gubitka vode iz tela insekta i posledične dehidracije koja uzrokuje smrt, kao i stvaranju pora koje utiču na smanjenje stepena zaštite insekta. Među najefikasnijim aktivnim supstancama desikantnih prahova, ističu se zeolit i ugljenik u prahu, dok diatomejska zemlja nije pokazala zadovoljavajuće rezultate u kontroli *M. pharaonis* (Van Den Noortgate i sar., 2018).

BIOLOŠKE METODE SUZBIJANJA FARAONSKIH MRAVA

Biološke metode suzbijanja predstavljaju optimalnu alternativu u odnosu na hemijske insekticide, prvenstveno zbog minimiziranja negativnih posledica po zdravlje ljudi i neciljnih organizama, kao i dugoročne održivosti životne sredine. Među biološkim agensima, entomopatogene gljivice poput *Bauveria bassiana*, *Metarhizium anisopliae*, *Purpureocillium lilacinum* i *Conidiobolus lunulus*, ističu se kao perspektivno rešenje zbog svog specifičnog mehanizma delovanja. Nakon adhezije spora gljivica na kutikulu mrava, luče se hidrolitički enzimi koji olakšavaju formiranje penetracione strukture, omogućavajući probijanje egzoskeleta insekata. Nakon uspešne penetracije, gljivice se razmnožavaju unutar telesnih šupljina i produkuju toksine, dovodeći do posledičnog uginuća insekta.

Međutim, efikasnost biološke kontrole mrava gljivicama često je umanjena zbog kompleksnih odbrambenih mehanizama koje poseduje ova vrsta insekata. Mravi aktivno sprovode higijenu, uklanjajući spore sa površine tela, takođe, luče antimikrobne supstance koje neutrališu gljivice. Prisustvo zaštitnih barijera na egzoskeletu fizički redukuje prodor gljivica u telo jedinki. Kombinovanim delovanjem ovih mehanizama, drastično se smanjuje verovatnoća uspešne infekcije, onemogućavajući gljivicama efikasnu penetraciju i razmnožavanje unutar domaćina (Folgarait i Goffré, 2023).

HEMIJSKE METODE SUZBIJANJA FARAONSKIH MRAVA

Savremeni pristup u kontroli suzbijanja štetočina teži ka što manjoj upotrebi hemijskih insekticida, prepoznajući njihove potencijalne negativne ekološke i zdravstvene rizike. Međutim, u suzbijanju invazivnih vrsta poput faraonskih mrava, primena hemijskih insekticida često ostaje neizbežan izbor usled njihove izražene sposobnosti prilagođavanja i složene kolonijalne organizacije. Iz tog

razloga, neophodno je hemijske preparate koristiti strogo kontrolisano, uz pažljiv odabir aktivne supstance i njene koncentracije, kao i načina aplikacije, uz obaveznu procenu potencijalnog uticaja na neciljne organizme, kako bi ostvarila dobra efikasnost, a šteta svela na minimum.

Upotreba mamaca predstavlja efikasnu hemijsku metodu u kontroli faraonskih mrava, budući da omogućava njihovo ciljano suzbijanje. Dugotrajna efikasnost postiže se primenom kombinovanih mamaca, koji sadrže masti i šećere. Navedeni mamci privlače radilice i omogućavaju transfer aktivne supstance do matica i ostalih članova legla. Kao aktivne supstance, samostalno ili u kombinaciji, primenjuju se jedinjenja koja efikasno deluju i kao adulticidi i kao larvicidi, zahvaljujući odloženom dejstvu i trofalaktičnoj distribuciji unutar kolonije.

Pre same primene mamaca, neophodno je utvrditi izbor adekvatne namirnice za ovu vrstu jedinki, kako bi se obezbedila visoka stopa konzumacije. Mamci se moraju planski postaviti na lokacije koje su nedostupne deci i kućnim ljubimcima, ali optimalno pozicionirane za privlačenje i konzumaciju od strane mrava. Unutar objekta, idealne lokacije za postavljanje mamaca su mesta gde se mravi kreću i skrivaju, poput ostava, duž ivice ormarića, u uglovima, u okolini kuhinjskih elemenata, blizini vodovodnih instalacija, unutar električnih kutija i prekidača. Izvan objekata, pogodne lokacije obuhvataju prostor oko prozora, vrata, temelja, duž terase i slično.

Ključna efikasnost leži u odloženom delovanju aktivne supstance. To omogućava radilicama da je, pre ispoljavanja letalnih efekata, putem trofalakse distribuiraju unutar cele kolonije, obezbeđujući sistemsku eliminaciju matica i nezrelih formi.

Prvi vidljivi rezultati uočavaju se tek nakon nekoliko nedelja. Eliminacijom isključivo radilica ne bismo dobili zadovoljavajuće rezultate, jer i mali procenat preostalih radilica može obezbediti opstanak matice i nezrelih razvojnih stadijuma. Zbog toga je sistemsko delovanje aktivnih supstanci od ključne važnosti jer omogućava distribuciju insekticida putem cele kolonije, što može rezultirati njenom dugoročnom eradikacijom (UC Statewide IPM Program, 2017).

Pored mamaca, u hemijskoj kontroli faraonskih mrava koriste se i rezidualni insekticidi u formi tečnog spreja, koji deluju kontaktno. Važno je istaći da je primena sprejeva u suzbijanju mrava diskutabilna, vodeći računa da ostvarivanje cidnog efekta na radilice koje prelaze preko tretiranih površina može uticati da kolonija preduzme tzv. zaštitne mehanizme kao što su pupljenje, što može dovesti do povećanog širenja mrava u prostoru i povećanja njihove brojnosti u budućnosti.

Na teritoriji EU, kao i u Srbiji za suzbijanje faraonskih mrava koriste se fipronil, imidakloprid, S-metopren, piriproksifen, piretroidi i pojedina esencijalna ulja. Pored navedenih aktivnih supstanci koje se koriste u EU, a koje se u skladu sa našim zakonodavstvom mogu koristiti i u Srbiji, za suzbijanje faraonskih mrava van teritorije EU koriste se: hidrametilnon, sulfamid, hlufenapir, fenoksi-karb, borna kiselina i boraks.

Fipronil, spada u grupu fenilpirazola i deluje kao neurotoksin, blokirajući GABA receptore hloridnih kanala u centralnom nervnom sistemu, izazivajući paralizu i smrt (UC Statewide IPM Program, 2017).

Imidakloprid je insekticid iz grupe neonikotinoida koji deluje kao agonist nikotinskih acetilholinskih receptora (nAChR) u centralnom nervnom sistemu insekata. Imidakloprid se vezuje za nikotinske acetilholinske receptore, oponašajući dejstvo neurotransmitera acetilholina. Za razliku od prirodnog acetilholina koji se brzo razgrađuje, imidakloprid se ne razgrađuje lako, što dovodi do trajne stimulacije receptora.

S-metopren i piriproksifen spadaju u regulatore rasta insekata (IGR), deluju kao analog juvenilnog hormona. Njihov primarni mehanizam delovanja nije direktno ubijanje odraslih jedinki, već prekidanje životnog ciklusa insekata sprečavanjem njihovog normalnog razvoja. Insekti prirodno proizvode juvenilni hormon koji reguliše prelazak iz jedne razvojne faze biološkog ciklusa u drugu (npr. iz larve u lutku ili iz lutke u odraslu jedinku). Regulatori rasta „imitiraju“ ovaj hormon.

Insekticidi na bazi piretroida deluju kao nervni otrovi, primarno ometajući protok natrijumovih (Na^+) jona kroz nervne membrane insekata. Oni produžavaju otvaranje natrijumovih kanala, uzrokujući blokadu provodljivosti nervnih impulsa, što dovodi do brze paralize, tzv. „knock-down“ efekta, i uginuća štetočina kontaktni iritansi i neurotoksini, uzrokujući brzu smrt radilica koje su u potrazi za hranom na tretiranim površinama. Međutim, glavna mana ovih insekticida u postupku suzbijanja žutih mrava je u njihovoj ograničenoj sistemskoj penetraciji. Tokom njihovog dejstva dolazi do brzog nastanka paralize i smrti izloženih mrava, čime je onemogućen transfer aktivne supstance dublje u koloniju. Kao posledica toga, njihovo dejstvo je ograničeno isključivo na površinski izložene jedinke i ne dopire do skrivenih delova skloništa.

Esencijalna ulja, poput ulja cimeta i geraniola, deluju kao repelenti i smanjuju aktivnost radilica na tretiranim površinama. Međutim, njihovo repelentno dejstvo može izazvati migraciju i razdvajanje kolonija, što za posledicu ima stvaranje novih nezavisnih skrovišta na drugim lokacijama. Kao rezultat toga, može doći do značajno otežane kontrole i širenja same infestacije (Feng i sar., 2025).

ZAKLJUČAK

Suzbijanje faraonskih mrava (*Monomorium pharaonis*) predstavlja značajan stručni izazov zbog njihove visoke adaptabilnosti, kao i jedinstvene kolonijalne organizacije, koja omogućava brzo širenje i dugotrajno održavanje populacije u zatvorenim prostorima. Posebno otežavajuća okolnost je razvojni ciklus i složena društvena struktura, pri čemu radilice obavljaju ključne funkcije u koloniji, a reproduktivne jedinke obezbeđuju kontinuirano povećanje broja mrava. Pored ekonomskih i higijenskih posledica, njihovo prisustvo može predstavljati i zdravstveni rizik, posebno u objektima gde se priprema i skladišti hrana.

Zbog toga se kao najefikasniji pristup u postupku suzbijanja faraonskih mrava nameće integrisani sistem (IPM), koji kombinuje monitoring i preciznu identifikaciju kritičnih zona, higijensko-sanitarne mere i fizičko sprečavanje pristupa mrava objektima, uz selektivnu i kontrolisanu primenu bioloških i hemijskih sredstava. Fizičke i mehaničke mere doprinose smanjenju izvora hrane, vode i skrovišta, dok biološke i hemijske metode treba koristiti uz strogo definisane procedure, kako bi se smanjio rizik po ljude, kućne ljubimce i okolinu. U okviru IPM-a posebno je važno planiranje postupka suzbijanja na osnovu kritičnog nivoa infestacije, kao i kontinuirano praćenje efekata primenjenih mera, jer primena jednokratnog tretmana ne obezbeđuje dugoročnu kontrolu.

Na osnovu razmatranih principa i strategija, može se zaključiti da uspešno suzbijanje faraonskih mrava zavisi od stručne primene integrisanog pristupa suzbijanja, koji se zasniva na praćenju stepena infestiranosti, istovremenoj primeni prethodno definisanih metoda i praćenju efekata sprovedenih tretmana, u cilju postizanja dobre efikasnosti i održive zaštite prostora.

Zahvalnica

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

LITERATURA

1. ADAS, J. E. (1991). Caste regulation in the pharaoh's ant *Monomorium pharaonis*: recognition and cannibalism of sexual brood by workers. *Physiological Entomology*, 16(3), 263-271.
2. Alharbi, J. S., Alawadhi, Q., and Leather, S. R. (2019). *Monomorium* ant is a carrier for pathogenic and potentially pathogenic bacteria. *BMC research notes*, 12(1), 230.
3. Beatson, S. (1972). Pharaoh's ants as pathogen vectors in hospitals. *The Lancet*, 299(7747), 425-427.
4. Brunner, E., Kroiss, J., Trindl, A., and Heinze, J. (2011). Queen pheromones in *Temnothorax* ants: control or honest signal?. *BMC Evolutionary Biology*, 11(1), 55.
5. Buczkowski, G., and Bennett, G. (2009). Colony budding and its effects on food allocation in the highly polygynous ant, *Monomorium pharaonis*. *Ethology*, 115(11), 1091-1099.
6. Chen, W. E. N., O'SULLIVAN, Á. I. N. E., and Adams, E. S. (2018). Intraspecific aggression and the colony structure of the invasive ant *Myrmica rubra*. *Ecological entomology*, 43(2), 263-272.
7. Csősz, S., Seifert, B., László, M., Yusupov, Z. M., and Herczeg, G. (2023). Broadly sympatric occurrence of two thief ant species *Solenopsis fugax* (Latreille, 1798) and *S. juliae* (Arakelian, 1991) in the East European Pontic-Caspian region (Hymenoptera, Formicidae) is disclosed. *ZooKeys*, 1187, 189.
8. Das, M., Liu, F. L. C., Hartle, C., Yang, C. C. S., and Chen, C. P. (2024). Ant Detective: An Automated Approach for Counting Ants in Densely Populated Images and Gaining Insight into Ant Foraging Behavior. arXiv preprint arXiv:2410.20638.
9. Feng, X., Choe, D. H., and Lee, C. Y. (2025). Effects of over-the-counter aerosol products on sociotony of *Monomorium pharaonis* (Hymenoptera: *Formicidae*). *Journal of Economic Entomology*, 118(5), 2526-2535.
10. Folgarait, P. J., and Goffré, D. (2023). Control of pest ants by pathogenic fungi: state of the art. *Frontiers in Fungal Biology*, 4, 1199110.
11. Hurka, S., Brinkrolf, K., Özbek, R., Förster, F., Billion, A., Heep, J., Timm, T., Lochnit, G., Vilcinskis, A., & Lüddecke, T. (2022). Venomics of the Central European myrmicine ants *Myrmica rubra* and *Myrmica ruginodis*. *Toxins*, 14(5), 358. doi.org

12. Jemielity, S., and Keller, L. (2003). Queen control over reproductive decisions—no sexual deception in the ant *Lasius niger*. *Molecular ecology*, 12(6), 1589-1597.
13. Kadochová, Š., and Frouz, J. (2014). Thermoregulation strategies in ants in comparison to other social insects, with a focus on red wood ants (*Formica rufa* group). *F1000Research*, 2, 280.
14. Kim, C. W., Kim, D. I., Choi, S. Y., Park, J. W., and Hong, C. S. (2005). Pharaoh ant (*Monomorium pharaonis*): newly identified important inhalant allergens in bronchial asthma. *Journal of Korean medical science*, 20(3), 390-396.
15. Lenoir, L. (2003). Response of the foraging behaviour of red wood ants (*Formica rufa* group) to exclusion from trees. *Agricultural and Forest Entomology*, 5(3), 183-189.
16. Northeastern IPM Center. (2020). Pharaoh Ant, *Monomorium pharaonis*. School IPM Best Practices.
17. Oi, D. H., Vail, K. M., Williams, D. F., and Bieman, D. N. (1994). Indoor and outdoor foraging locations of Pharaoh ants (Hymenoptera: *Formicidae*) and control strategies using bait stations. *Florida Entomologist*, 85-91.
18. Perfecto, I., and Philpott, S. M. (2023). Ants (Hymenoptera: *Formicidae*) and ecosystem functions and services in urban areas: a reflection on a diverse literature. *Myrmecological News*, 33.
19. Plante, B. A., Rajakumar, R., Chen, T., Rao, A. M., and Abouheif, E. (2025). A developmental table for the Florida carpenter ant *Camponotus floridanus*: Establishing foundations for mechanistic studies of development and evolution in ants.
20. Schläppi, D., Chejanovsky, N., Yañez, O., and Neumann, P. (2020). Foodborne transmission and clinical symptoms of honey bee viruses in ants *Lasius* spp. *Viruses*, 12(3), 321.
21. UC Statewide IPM Program. (2017). *Pharaoh ant: Baiting*. University of California Agriculture and Natural Resources.
22. Van Den Noortgate, H., Lagrain, B., Pulinthanathu Sree, S., Kerkhofs, S., Wenseleers, T., and Martens, J. A. (2018). Material properties determining the insecticidal activity of highly divided porous materials on the pharaoh ant (*Monomorium pharaonis*). *Pest Management Science*, 74(6), 1374-1385.
23. Vashegyi, I., Meseg, A., Vander Pan, A., and Bajomi, D. (2025). Fighting against a superorganism: How to control Pharaoh ant colonies in urban areas. U W. H. Robinson (Ur.), *Proceedings of the Eleventh International Conference on Urban Pests*. AF-Borgen, Academic Society.
24. Wetterer, J. K., and Radchenko, A. G. (2011). Worldwide spread of the ruby ant, *Myrmica rubra* (Hymenoptera: *Formicidae*). *Myrmecological News*, 14, 87-96.

Pregledni rad DOI: 10.5937/DDD26070J

DEZINSEKCIJA PUTNIČKIH AVIONA

DISINSECTION OF PASSENGER AIRCRAFT

**Ljiljana Janković^{1*}, Milutin Đorđević¹, Radislava Teodorović¹,
Vladimir Drašković¹, Marijana Vučinić¹, Katarina Nenadović¹,
Radovan Marčetić¹, Darja Fjodorov¹**

Kratak sadržaj

Dezinsekcija aviona je preventivna mera u međunarodnom vazduhoplovstvu koja ima za cilj sprečavanje širenja bolesti koje prenose komarci i zaštitu globalnog zdravlja. Slučajni transport živih komaraca avionima iz tropskih zemalja gde su vektorske bolesti endemske u zemlje u kojima te vrste komaraca ne postoje predstavlja ozbiljan problem. Poznato je da su komarci vektori patogena koji izazivaju niz ozbiljnih bolesti, kao što su malarija, denga groznica, čikungunja, žuta groznica, bolest izazvana virusom Zika i groznica Zapadnog Nila. Istraživanjem na međunarodnim aerodromima pronađeni su mnogi slučajevi živih insekata, posebno komaraca, u avionima koji stižu iz zemalja gde su malarija i arbovirusi endemski. Posledica transporta zaraženih komaraca avionima bili su brojni slučajevi „aerodromske malarije“, prijavljeni u Evropi, Severnoj Americi i drugim zemljama. Sprovođenje redovne dezinsekcije aviona koji iz endemskih dolaze u ne-endemska područja, od ključnog je značaja za sprečavanje širenja bolesti. Svetska zdravstvena organizacija je 2023. godine objavila publikaciju – tehnički vodič sa standardima za kontrolu vektora bolesti u vazdušnom saobraćaju sa ciljem suzbijanja epidemiološkog rizika.

Ključne reči: dezinsekcija aviona, insekti vektori, insekticidi, metode aplikacije

Abstact

Aircraft disinsection is a preventive measure in international aviation aimed at preventing the spread of mosquito-borne diseases and protecting global health. The accidental transport of live mosquitoes via aircraft from tropical countries where vector-borne diseases are endemic to countries where these species do not

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

* e-mail kontakt osobe: ljiljankovic5@gmail.com

exist poses a serious problem. It is well known that mosquitoes are vectors for pathogens causing a range of serious illnesses, such as malaria, dengue fever, chikungunya, yellow fever, Zika virus, and West Nile fever. Research conducted at international airports has uncovered many instances of live insects, particularly mosquitoes, in aircraft arriving from countries where malaria and arboviruses are endemic. A direct consequence of transporting infected mosquitoes has been numerous cases of „airport malaria” reported in Europe, North America, and other regions. Carrying out regular aircraft disinsection on flights traveling from endemic to non-endemic areas is crucial for preventing the spread of disease. In 2023, the World Health Organization published a technical guide with standards for vector control in air transport to mitigate epidemiological risks.

Keywords: aircraft disinsection, insect vectors, insecticides, application methods

UVOD

Dezinsekcija aviona je preventivna mera u međunarodnom vazduhoplovstvu, koja ima za cilj sprečavanje širenja bolesti koje prenose komarci i zaštitu globalnog zdravlja. Od početka međunarodnog vazdušnog saobraćaja postojala je zabrinutost da bi komarci-vektori i bolesti koje oni prenose, mogli biti importovani avionima u zemlje u kojima ranije nisu bili prisutni (Griffitts i Griffiths, 1931). Avioni omogućavaju komarcima da pređu ogromne udaljenosti brže nego što traje njihov životni ciklus ili period inkubacije bolesti. Poznato je da su komarci vektori patogena koji izazivaju niz ozbiljnih bolesti, kao što su malarija, denga groznica, čikungunja, bolest izazvana virusom Zika, žuta groznica. Stoga se već početkom 1930-ih razmatralo kako sprovesti dezinsekciju aviona, kako bi se to sprečilo. Komarac *Anopheles gambiae*, glavni vektor malarije, verovatno je unet u Brazil avionom 1930. godine iz Senegala. Kao rezultat toga, došlo je do velikog povećanja prenošenja malarije, naglog povećanja smrtnosti od bolesti i velikih ekonomskih gubitaka. Nakon što je sprovedena uspešna skupa kampanja za iskorenjivanje vektora i malarije, vršena je inspekcija svih aviona koji su stizali u Brazil iz Afrike. Tokom perioda od devet meseci, vektor je pronađen u sedam navrata u avionima (132 komaraca i dve žive ce-ce muve).

U saradnji sa svojim centrima, Svetska zdravstvena organizacija (SZO) je sprovedla terenska ispitivanja različitih metoda za dezinsekciju vazduhoplova, na osnovu kojih je definisala zvanične preporuke. Prvi priručnik o dezinsekciji SZO je objavila 1995. godine. Kako bi se osigurala uniformnost i efikasnost tretmana na globalnom nivou, 2021. godine objavljeno je i prvo izdanje metoda i postupaka dezinsekcije sa standardnim operativnim procedurama (SOP), dok je zvanični tehnički vodič dodatno ažuriran 2023. godine. U njemu su navedene metode i procedure za dezinsekciju unutrašnjeg prostora putničkih, vojnih i teretnih vazduhoplova, kako bi se sprečio međunarodni transport komaraca – vektora i zaštitili putnici i posada aviona. Posebne smernice su date za nadzor i kontrolu

vektora u i oko prostorija aerodroma. Sprečavanje unosa poljoprivrednih štetočina je van okvira ovog dokumenta ali mnoge zemlje zahtevaju dezinfekciju aviona u tu svrhu (World Health Organization, 2023). Vodič SZO je namenjen državama članicama, avio-kompanijama, aerodromskim vlastima i proizvođačima pesticida kako bi se osiguralo usklađivanje sa Međunarodnim zdravstvenim pravilnikom (IHR, 2005). Pridržavanje smernica SZO osigurava da se postupci dezinfekcije u avionima, sprovede bezbedno i efikasno.

Prilikom sprovođenja dezinfekcije vazduhoplova, neophodno je da država odredišta, u saradnji sa državom polaska, proceni zahteve za tretman dolaznih aviona, uzimajući u obzir relevantne faktore rizika. Među preporučenim metodama prioritet je imala i u nekim zemljama još uvek ima aerosolna dezinfekcija „blocks away” koja se primenjuje nakon ukrcavanja putnika i zatvaranja vrata, a neposredno pre poletanja aviona (Sullivan i sar., 1972). Mnoge države zahtevaju obaveznu dezinfekciju aviona, naročito ukoliko oni dolaze iz regiona u kojima su vektorske bolesti endemske. Uobičajena je praksa da nadležne zdravstvene službe na aerodromu odredišta sprovedu dezinfekciju ukoliko postoji sumnja da tretman nije izvršen ranije tokom leta. Zabeleženi su i slučajevi u kojima je predložena suspenzija prava na sletanje za operatore čije posade ne prilože validne dokaze o sprovedenoj dezinfekciji (World Health Organization, 1995).

Zahteve za dezinfekciju aviona određuju nacionalne vlasti na destinaciji dolaska. Preporuke Svetske zdravstvene organizacije mogu biti samo savetodavne za nacionalne vlasti (World Health Organization, 2023). Mnoge zemlje (Australija, Novi Zeland, Indija, Sejšeli, Tanzanija) zahtevaju sertifikat o dezinfekciji pre sletanja. Neke zemlje traže dezinfekciju samo ako avion dolazi iz regiona gde su prisutni komarci *Aedes aegypti* ili *Aedes albopictus* (tigrasti komarac) pa je tako:

- Italija – od 2024/2025. godine pooštrila mere zbog denge; dezinfekcija je obavezna za avione koji su u poslednjih 28 dana bili u rizičnim područjima;
- Grčka – od 2025. godine uvela je obaveznu dezinfekciju za sve letove koji dolaze iz zemalja koje je njihovo Ministarstvo zdravlja identifikovalo kao rizična područja za prenos denga groznice i prisustvo komaraca *Aedes aegypti*;
- Južnoafrička Republika – obavezna je dezinfekcija za letove iz područja malarije ili žute groznice;
- Egipat – zahteva tretman pre sletanja za direktne letove iz niza zemalja Afrike, Azije, pa čak i delova Evrope i Amerike;
- Ujedinjeno Kraljevstvo – za letove iz zemalja sa rizikom od malarije ili Zika virusa.

Srbija, za razliku od Italije, trenutno ne zahteva obaveznu aerosolnu dezinfekciju u kabini sa putnicima za dolazne letove iz Evrope. Dezinfekcija se u Srbiji sprovodi samo u specifičnim slučajevima, obično kada avion dolazi iz tropskih područja zahvaćenih epidemijama (poput žute groznice ili malarije), što je definisano naredbama Ministarstva zdravlja i granične sanitarne inspekcije. Fokus

naših službi u Srbiji je više na suzbijanju komaraca na samom aerodromu i u okolini, nego na prskanju u avionu sa putnicima.

KOMARCI UNETI AVIONOM: NEVIDLJIVA PRETNJA IZ PRTLJAGA

Postoje brojni dokazi da se prenosioci bolesti, posebno komarci, uvoze u zemlje avionima i da na taj način može doći do prenošenja bolesti. Zabeleženo je mnogo slučajeva „aerodromske malarije” tj. slučajeva malarije na i u blizini međunarodnih aerodroma, među osobama koje nisu nedavno putovale u područja gde je bolest endemska ili koje nisu nedavno primile transfuziju krvi. Najveći broj ovakvih slučajeva bio je u Evropi tj. u Francuskoj, prvenstveno zbog mnogih direktnih letova koji stižu iz endemskih područja Afrike. U cilju rešavanja ovog problema, zdravstvene vlasti su na aerodromu Šarl de Gol uvele obavezno sprovođenje dezinfekcije u avionima koji su leteli u rizična područja i na aerodromima kod kojih je malarija bila česta. Ova mera je rezultirala visokim stepenom sprovedene dezinfekcije (oko 87% na letovima visokog rizika tokom godinu dana). Uprkos potvrđenoj rezistenciji vrste *Anopheles gambiae* na piretroide u Zapadnoj Africi, primena perimetričkih aerosola u avionima pokazala je značajnu efikasnost (Guillet i sar., 1998).

Aerodromsku malariju treba razlikovati od importovane malarije, koja nastaje kod osoba koje su se zarazile tokom boravka u endemskom području i potom se razbolele. Do infekcije tj. do pojave „aerodromske malarije”, dolazi kada zaraženi komarci iz roda *Anopheles*, slučajno „otputuju” avionom iz tropskih krajeva u zemlje gde malarija nije uobičajena. Po sletanju, ovi „slepi putnici” napuštaju avion i ujedaju radnike na aerodromu, stanovnike u neposrednoj blizini aerodroma, putnike koji se nalaze na terminalima. Sličan fenomen je i „malarija iz prtljaga” (*odyssean malaria*), kada se zaraženi komarac prenosi unutar kofera ili paketa (Castelli i sar., 1993; Hallmaier-Wacker i sar., 2024). Pojava malarije na aerodromima ukazuje na potrebu za dezinfekcijom aviona koji stižu iz područja gde su vektorske bolesti endemske.

Arbovirusne bolesti, npr. denga groznicu, mogu prenositi oboleli ljudi, ali i uvezeni zaraženi komarci *Aedes aegypti* i *Aedes albopictus* (Jelinek i sar., 1998). Prenos lajšmanioze peščanim mušicama (*sandflies*) u Tadžikistanu dogodio se kao rezultat uvoza ovih insekata iz Avganistana helikopterima (Kiyamov i sar., 1990). Slični dokumentovani slučajevi za Ziku ili dengu su izuzetno retki. Komarci koji se slučajno transportuju avionima teoretski mogu preneti denga i Zika virus, ali je taj rizik u praksi izuzetno nizak (beleže se u jednocifrenim brojevima godišnje). Daleko veći rizik za širenje ovih bolesti predstavljaju zaraženi putnici koji virus unose u nove oblasti.

Ozbiljan javnozdravstveni problem nastao bi kada bi unošenje vektora dovelo do prenosa malarije lokalnim vektorima, posebno ako bi se prenos obnovio u regionima gde je bolest ranije bila endemska. Iako je zvanično iskorenjena malarija se ponovo pojavljivala (Mantel i sar., 1995; Baldari i sar., 1998) i pojavljuje

se u Nemačkoj, Italiji i SAD-u (Gratz i sar., 2000). U većini slučajeva prenosilac je bio zaraženi putnik, mada su neke epidemije mogle biti uzrokovane importom zaraženih komaraca. Visok rizik kod nenamernog importa tropskih komaraca vazдушnim saobraćajem predstavlja mogućnost njihove adaptacije i trajne kolonizacije novih staništa. Iako je verovatnoća za to niska u zemljama umerenog klimatskog pojasa, neke vrste su se uspešno nastanile na nekoliko ostrva Južnog Pacifika. Formiranje ovih stabilnih populacija izaziva ozbiljnu zabrinutost zdravstvenih vlasti Australije i Novog Zelanda, što je iniciralo zahteve za obaveznom i efikasnom dezinfekcijom vazduhoplova koji dolaze iz endemskih područja (Laird, 1989).

DEZINSEKCIJA AVIONA

Dezinsekcija aviona sprovodi se radi zaštite država od unošenja vektora bolesti i sprečavanja širenja patogena koje prenose komarci i drugi insekti, ali i radi suzbijanja poljoprivrednih štetočina. Metode tretmana, poput prskanja pre poletanja ili tokom samog leta, strogo su regulisane standardima Svetske zdravstvene organizacije (WHO) kako bi se garantovala bezbednost putnika i posade. Kao što je već rečeno primenjeni postupci moraju biti usklađeni sa propisima države polaska i države odredišta. Svaka država, u saradnji sa državom polaska, treba da proceni potrebu za dezinfekcijom dolaznih vazduhoplova, uzimajući u obzir sledeće faktore rizika:

- Karakteristike regiona polaznog aerodroma:
 - Prisustvo ciljnih vektora (na osnovu lokalnih entomoloških podataka);
 - Aktivna cirkulacija ili prenos patogena od značaja za javno zdravlje;
 - Klimatski uslovi i sezonski faktori pogodni za razvoj vektora;
 - Ukupan obim avio-saobraćaja.
- Obaveze aerodroma polaska:
 - Sprovođenje redovnog nadzora i kontrole prisustva vektora;
 - Korišćenje ruta ka regionima koji nisu endemski za specifične vektore;
 - Držanje prolaza, pešačkih staza, stepeništa i vrata aviona zatvorenim kada nisu u upotrebi;
 - Obezbeđivanje namenskih parking pozicija radi izolacije aviona od izvora zaraze.
- Obaveze aerodroma dolaska:
 - Obezbeđivanje izolovanog parking mesta u slučaju sumnje da vazduhoplov prenosi infektivne agense ili vektore;
 - Implementacija programa kontrole vektora na samom aerodromu;
 - Obezbeđivanje alternativnog aerodroma u regionu u slučaju potrebe za preusmeravanjem leta;
 - Kontrola operatera aviona koji vrši dezinfekciju (u zatvorenom prostoru, sa otvorenim vratima ako nije drugačije propisano) na aerodromima van matične baze.

Države koje zahtevaju dezinsekciju treba da ažuriraju svoje zahteve u skladu sa trenutnim epidemiološkim podacima i dokazima o prisustvu insekata na svojoj teritoriji. U slučajevima kada je tretman obavezan, prihvatljive su isključivo metode i insekticidi koje preporučuje Svetska zdravstvena organizacija (WHO, 2023).

Međunarodni zdravstveni pravilnik (IHR, 2005) definiše dezinsekciju vazduhoplova kao zdravstvenu meru za sprečavanje širenja bolesti koje prenose vektori. Pravilnik nalaže da se dezinsekcija sprovodi tako da se izbegnu povrede i koliko je to moguće, nelagodnost kod putnika i osoblja. U praksi, to podrazumeva korišćenje isključivo odobrenih sredstava koja nisu toksična za ljude, uz obavezno prethodno obaveštavanje putnika kako bi se smanjio stres i rizik od alergijskih reakcija.

Smernice SZO fokusirane su na kontrolu zglavkara (prvenstveno insekata prenosilaca bolesti) unutar putničke i pilotske kabine, kao i u svim teretnim prostorima (prtljag, roba, poštanske pošiljke). Posebne smernice za nadzor i kontrolu vektora u samom objektu aerodroma i njegovoj neposrednoj okolini definisane su u okviru Međunarodnog zdravstvenog pravilnika (IHR 2005). Iako suzbijanje poljoprivrednih štetočina prevazilazi primarni okvir ovog dokumenta, mnoge zemlje zahtevaju dezinsekciju vazduhoplova i iz tog razloga.

SREDSTVA ZA DEZINSEKCIJU I METODE APLIKACIJE

Upotreba sredstava za dezinsekciju dozvoljena je samo ako ona ispunjavaju nacionalne propise o registraciji, tehničke i bezbednosne zahteve proizvođača vazduhoplova, kao i standarde koje preporučuju Međunarodna organizacija civilnog vazduhoplovstva (ICAO) i Svetska zdravstvena organizacija (SZO). Jedina sredstva za dezinsekciju, odobrena za upotrebu u avionima su ona, koje su u potpunosti testirale akreditovane laboratorije i proizvođači aviona, kako bi se osiguralo da ne oštećuju materijale aviona kao što su pleksiglas, plastika i metali. Uz svaki proizvod, proizvođači su dužni da avio-kompanijama ili vršiocima dezinsekcije dostave etiketu i bezbednosne listove (MSDS).

Svetska zdravstvena organizacija je objavila smernice o testiranju efikasnosti proizvoda za dezinsekciju aviona (WHO, 2012; 2013) i generički model procene rizika sa obrađenim primerima i evaluacijom različitih vrsta proizvoda za dezinsekciju aviona u odnosu na model procene rizika. Aktivni sastojci pesticida i njihove formulacije za krajnju upotrebu koje je SZO evaluirala i preporučila za dezinsekciju aviona su:

Permetrin – koristi se za tretiranje unutrašnjih površina aviona (zidova, podova, pregrada) jer ima rezidualno (produženog) delovanje:

- permetrin (odnos *cis:trans* izomera 25:75) tehnički materijal (TC);
- permetrin 2% aerosol (AE);
- emulzibilni koncentrat permetrina (EC) različitih koncentracija koje se razblažuju do 2% permetrina za rezidualni tretman. U tu svrhu može se isporučiti suspenzija spremna za upotrebu koja sadrži 2% permetrin.

D-fenotrin i 1R-trans-fenotrin – najčešće se koristi u obliku aerosola za prskanje kabina dok su putnici u avionu (tzv. *top-of-descent* metoda):

- d-fenotrin TC ili 1R-trans-fenotrin TC i
- d-fenotrin 2% aerosol (AE) ili 1R-trans-fenotrin 2% AE.

Kombinovana formulacija koja sadrži 2% permetrin i 2% d-fenotrin (ili 1R-trans-fenotrin 2%)

- Aerosolna kombinacija 2% permetrina i 2% d-fenotrina (ili 1R-trans-fenotrina 2%) sa mlaznicom za vertikalno izbacivanje odjednom („*single-shot*”) je trenutno preporučeni aerosol za primenu u teretnim prostorima (stvara se magla koja se širi do svih uglova).
- Uz odobrenje nadležnih organa zemlje odredišta, avio-kompanije mogu da koriste jednokomponentni sprej (samo 2% d-fenotrin) za dezinfekciju putničke kabine. Sprej mora imati mlaznicu za vertikalno izbacivanje ka plafonu iznad glave putnika („*single-shot*”).

Razlika između permetrina i d-fenotrina (1R-trans-fenotrin) je uglavnom u njihovom rezidualnom dejstvu. Permetrin EC ima rezidualni efekat na kontaktnim površinama i do 8 nedelja, dok d-fenotrin (ili 1R-trans-fenotrin) deluje trenutno na insekte („*knock-down*”) sa manjom rezidualnom efikasnošću. Nijedan alternativni pesticidni proizvod nije prethodno predložen da zameni piretroide u slučaju otpornosti komaraca na ove proizvode.

Insekticidi se aplikuju u putničkim kabinama, toaletu i teretnom prostoru aerosolima i rezidualnim tretmanom određenih površina, dok se pilotska kabina, kokpit i prostori za odmor posade tretiraju samo primenom aerosola. Vrata gornjih nosača za prtljag treba zatvoriti nakon što je završeno prskanje prostora. Aerosol raspršivači se trenutno koriste u avio-industriji za tretiranje svih prostora u unutrašnjosti aviona. Raspršivači se sastoje od konzerve i ventila ili mehanizma za oslobađanje, tako da se kada se ventil aktivira, ceo sadržaj izlazi u formi aerosola bez prekida i u navedenom vremenskom roku. Svetska zdravstvena organizacija je objavila specifikaciju za ove raspršivače u specifikacijama za opremu koja se koristi u kontroli vektora (WHO, 2018).

Da bi većina vektorskih vrsta bila ubijena, veličina kapljica insekticida treba da bude <30 µm, kako bi se proizveo aerosol u obliku fine magle koja dugo ostaje u vazduhu, tako da se kapljice talože na komarcima koji lete kroz oblak aerosola. Klimatizacija mora da se isključi. Rizik za putnike minimizira se kroz ventilacioni sistem koji prečišćava vazduh pre ulaska putnika.

Rezidualni tretman vrši se sa 2% permetrinom EC. To je alternativna metoda za upotrebu u praznim avionima. Koristi se za sve unutrašnje površine aviona (teretni prostori i/ili putničke kabine). U komercijalnoj avijaciji SZO trenutno preporučuje sledeće četiri glavne metode dezinfekcije:

- Pre ukrcavanja („*pre-embarkation*”): Aerosolno prskanje kabine pre nego što se putnici ukrcaju, ali nakon što su vrata za katering zatvorena. Efikasno je za jedan sektor leta.

- Pre poletanja („*pre-departure*”): Prskanje aerosolom nakon što se putnici ukrcaju i vrata zatvore, ali pre nego što se zatvore odeljci za prtljag. Ovo je zamenilo starije „*blocks-away*” i „*top-of-descent*” metode u zvaničnim preporukama.
- Po dolasku („*on-arrival*”): Rezervna metoda koja se sprovodi odmah nakon sletanja dok su putnici još u avionu, ukoliko prethodna dezinsekcija nije obavljena ili se ne može dokazati.
- Rezidualna dezinsekcija: Unutrašnje površine aviona (osim onih koje dolaze u kontakt sa hranom) tretiraju se insekticidom koji ima rezidualno dejstvo. Ovo je najčešća metoda jer ne zahteva prskanje u prisustvu putnika.

Iako postoji zabrinutost zbog mogućih štetnih efekata aerosol sprejeva na bazi piretroida tokom dezinsekcije aviona u prisustvu putnika i posade, SZO navodi da preporučeni preparati i metode ne predstavljaju toksikološku opasnost (WHO, 2018). Dezinsekciju metodom prskanja aerosola u kabini dok su putnici unutra što uključuje metode „*blocks away*” (nakon zatvaranja vrata pre poletanja) ili „*top-of-descent*” (pre sletanja) zahteva oko 50 država širom sveta. Australija i Novi Zeland su među zemljama koje tradicionalno najstrože primenjuju ove protokole (Gratz i sar., 2000) kako bi sprečile unos vektora koji prenose malariju ili denga groznicu. Iako je prskanje u prisustvu putnika decenijama bilo uobičajeno, novije smernice SZO sve češće favorizuju metode „*pre-departure*” (tretman pre ulaska putnika) ili „*rezidualno tretiranje*” unutrašnjih površina, čime se direktna izloženost putnika svodi na minimum. Periodična primena perimetrina koji ima rezidualna svojstva u putničkim kabinama, zajedno sa upotrebom aerosol spreja pre ukrcavanja, trebalo bi da obezbedi bezbednu i efikasnu alternativu metodama, koje se sada koriste ili preporučuju za avione koji napuštaju područja u kojima su bolesti koje prenose komarci endemske (WHO, 2023).

Putnički avioni se redovno tretiraju insekticidima za suzbijanje bubašvaba i drugih insekata štetočina u kuhinji i toaletima. Neki od primenjenih insekticida, isti su kao oni koji se koriste za suzbijanje insekata od značaja za javno zdravlje. Tretmani suzbijanja štetočina se sprovode jednom mesečno ili odmah po povratku aviona u bazu ako su članovi posade videli bubašvabe ili insekte koji ujedaju, istim proizvodom za suzbijanje komaraca (permetrinom) koji ima rezidualno svojstvo. Visokokvalifikovani i licencirani operateri za suzbijanje štetočina u Evropi i Americi koriste samo insekticide koji su odobreni za primenu na avionima. Ponekad mora da se uradi fumigacija ako su prisutni glodari ili ako postoji veoma velika infestacija sa bubašvabama. To zahteva da se avion isključi iz upotrebe na 7-15 sati. Zdravstvene vlasti aerodroma i uprava aviona su obavešteni o svim fumigacijama koje se sprovode (WHO, 2023).

ZAKLJUČAK

Slučajni transport živih komaraca iz tropskih zemalja u kojima su vektorske bolesti endemske, predstavlja ozbiljan globalni zdravstveni rizik. Analiza ukazuje na to da su troškovi preventivne dezinfekcije vazduhoplova primenom rezidualnih insekticida ili aerosola pre poletanja minimalni u poređenju sa ekonomskim opterećenjem koje uzrokuju hospitalizacija, privremena nesposobnost za rad i potencijalni mortalitet usled importovanih oboljenja. Na osnovu preporuka Svetske zdravstvene organizacije (SZO), jedinjenja poput permetrina i d-fenotrina klasifikovana su kao bezbedna za putnike i članove posade. Implementacija rigoroznih mera dezinfekcije u avio-saobraćaju, uz kontinuirani entomološki nadzor i suzbijanje vektora na međunarodnim aerodromima, predstavlja imperativ u prevenciji uvoza vektora i sprečavanju uspostavljanja lokalnih lanaca transmisije.

Zahvalnica

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

LITERATURA

1. Baldari, M., Tamburro, A., Sabatinelli, G., Romi, R., Severini, C., Cuccagna, G., Di Domenico, C., Majori, G., & Gradoni, L. (1998). Malaria in Maremma, Italy. *The Lancet*, 351(9111), 1246–1247. doi.org
2. Castelli, F., Carosi, G., Matteelli, A., Gulletta, M., & Scolari, C. (1993). Baggage malaria in Italy: Cryptic malaria explained? *Transactions of the Royal Society of Tropical Medicine and Hygiene*, 87(4), 394. doi.org
3. Hallmaier-Wacker, L. K., van Eick, M. D., Briët, O., Delamare, H., Falkenhorst, G., Houzé, S., Noël, H., Rebolledo, J., Van Bortel, W., & Gossner, C. M. (2024). Airport and luggage (*Odyssean*) malaria in Europe: A systematic review. *Eurosurveillance*, 29(41), <https://doi.org/10.2807/1560-7917>.
4. Gratz, N. G., Steffen, R., & Cocksedge, W. (2000). Why aircraft disinsection? *Bulletin of the World Health Organization*, 78(8), 995–1004.
5. Griffiths, T. H. D., & Griffiths, J. J. (1931). Mosquitoes transported by airplanes: Staining methods used in determining their importation. *Public Health Reports (1896-1970)*, 46(48), 2775–2782. doi.org
6. Guillet, P., Germenne, J., Dieot, C., Ganush, M. A., Reiter, P., Mogi, M., & Fontenille, D. (1998). Origin and prevention of airport malaria in France. *Tropical Medicine & International Health*, 3(9), 700–705. doi.org
7. Jelinek, T., Dobler, G., & Nothdurft, H. D. (1998). Evidence of dengue virus infection in a German couple returning from Hawaii. *Journal of Travel Medicine*, 5(1), 44–45. doi.org
8. Kiyamov, F. A., Dergacheva, T. I., & Artemiev, M. M. (1990). [Cases of cutaneous leishmaniasis occurring as a result of importation of sandflies by various means of transport]. *Meditssinskaia Parazitologiya i Parazitarnye Bolezni*, (6), 40–41.
9. Laird, M. (1989). Aircraft disinsection review in New Zealand. *Travel Medicine International*, 2, 73–75.
10. Mantel, C. F., Klose, C., Scheurer, S., Dittrich, S., Vogel, G., Gaus, W., & Bienzle, U. (1995). *Plasmodium falciparum* malaria acquired in Berlin, Germany. *The Lancet*, 346(8970), 320–321. doi.org

11. Sullivan, W. N., Cawley, B. M., Schechter, M. S., Morgan, N. O., & Pal, R. (1972). Worldwide studies on aircraft disinsection at "blocks away". *Bulletin of the World Health Organization*, 46(4), 485–491.
12. World Health Organization. (1995). *Report on the WHO Informal consultation on aircraft disinsection, Geneva, 6–10 November 1995*. World Health Organization.
13. World Health Organization. (2012). *Guidelines for testing the efficacy of insecticide products used in aircraft*. World Health Organization. iris.who.int
14. World Health Organization. (2013). *Aircraft disinsection insecticides* (Environmental Health Criteria No. 243). World Health Organization. iris.who.int
15. World Health Organization. (2016). *International Health Regulations (2005)* (3. izd.). World Health Organization. apps.who.int
16. World Health Organization. (2018). *Methods and operating procedures for aircraft disinsection: Report of a WHO consultation, Geneva, 3–4 July 2018*. World Health Organization. iris.who.int
17. World Health Organization. (2023). *Aircraft disinsection methods and procedures* (2. izd.). World Health Organization.

Pregledni rad DOI: 10.5937/DDD26080M

KAD INSEKTI POSTANU JAČI: REZISTENCIJA NA INSEKTICIDE KAO GLOBALNI PROBLEM

WHEN INSECTS GET STRONGER: INSECTICIDE RESISTANCE AS A GLOBAL PROBLEM

**Đorđe S. Marjanović^{1*}, Dragana Medić¹, Nemanja Zdravković²,
Tihomir Marić¹, Saša M. Trailović¹**

Kratak sadržaj

Rezistencija insekata na insekticide predstavlja jedan od najznačajnijih i najbolje dokumentovanih primera evolucione adaptacije organizama na promene u životnoj sredini. Ovaj fenomen je posebno izražen kod insekata zbog njihovog velikog reproduktivnog potencijala i genetičke fleksibilnosti, što omogućava brzu prirodnu selekciju rezistentnih jedinki. Prvi slučaj rezistencije zabeležen je još 1914. godine, kada je primećena smanjena efikasnost sumpornog kreča. Nakon uvođenja prvog modernog sintetskog insekticida DDT-a 1946. godine, broj novih slučajeva rezistencije naglo je porastao već u narednih nekoliko godina. Nekontrolisana i široka primena insekticida dovela je do toga da je do 1980. godine identifikovano najmanje 428 rezistentnih vrsta insekata i akarina. Istovremeno, razvoj novih insekticida usporava, što ograničava dostupnost efikasnih alternativa, dok rastu ekološki i zdravstveni rizici povezani sa kontaminacijom životne sredine i štetnim efektima pesticida na ljude, životinje i korisne organizme. Programi kontrole štetnih insekata i dalje se u velikoj meri oslanjaju na sintetske insekticide, među kojima dominiraju organohlorini, organofosfatni, karbamatni insekticidi i piretroidi. Zajedničko im je neurotoksično delovanje, ali i činjenica da je rezistencija na njih postala ključni problem savremene zaštite. Glavni mehanizmi rezistencije uključuju promene ciljnih mesta delovanja (mutacije receptora) i povećanu aktivnost detoksifikacionih enzima. Najčešće promene ciljnih mesta obuhvataju acetilholinesterazu, GABA receptore i natrijumske jonske kanale, dok metaboličku rezistenciju posreduju karboksilesteraze, S-transferaze i oksidaze. Zbog sve većih zabrinutosti oko toksičnosti i dugoročnog uticaja konvencionalnih pesticida, postoji hitna potreba za razvojem alternativnih rešenja. Prirodni pesticidi, uključujući mikrobne

¹ Dr Đorđe S. Marjanović, docent; dr vet. med. Dragana Medić, asistent; dr vet. med. Tihomir Marić, istraživač-pripravnik; dr Saša M. Trailović, redovni profesor, Univerzitet u Beogradu, Fakultet veterinarske medicine, Katedra za Farmakologiju i toksikologiju, Bulevar oslobođenja 18, 11000 Beograd, R. Srbija

² Dr Nemanja Zdravković, viši naučni saradnik, Naučni Institut za veterinarstvo Srbije, Naučni institut za veterinarstvo Srbije, Janisa Janulisa 14, 11000 Beograd, R. Srbija

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

proizvode (BT toksin, spinosad, avermektini), biljne derivate (piretrini) i aktivne komponente esencijalnih ulja, predstavljaju perspektivnu opciju u borbi protiv rezistentnih populacija i smanjenju negativnih posledica po životnu sredinu.

Ključne reči: *Bt toksin, insekticidi, rezistencija*

Abstract

Insect resistance to insecticides represents one of the most significant and best-documented examples of evolutionary adaptation of organisms to environmental changes. This phenomenon is particularly pronounced in insects due to their high reproductive potential and genetic flexibility, which enables rapid natural selection of resistant individuals. The first case of resistance was recorded as early as 1914, when reduced effectiveness of lime sulfur was observed. After the introduction of the first modern synthetic insecticide, DDT, in 1946, the number of newly reported resistance cases sharply increased within the following few years. Uncontrolled and widespread use of insecticides led to the identification of at least 428 resistant insect and acarid species by 1980. At the same time, the development of new insecticides has slowed down, limiting the availability of effective alternatives, while ecological and health risks associated with environmental contamination and the harmful effects of pesticides on humans, animals, and beneficial organisms continue to increase. Pest insect control programs still largely rely on synthetic insecticides, among which organochlorines, organophosphates, carbamates, and pyrethroids predominate. What they have in common is their neurotoxic mode of action, as well as the fact that resistance to them has become a major issue in modern pest management. The main resistance mechanisms include alterations at the target sites of action (receptor mutations) and increased activity of detoxification enzymes. The most common target-site modifications involve acetylcholinesterase, GABA receptors, and sodium ion channels, while metabolic resistance is mediated by carboxylesterases, transferases, and oxidases. Due to growing concerns regarding the toxicity and long-term impact of conventional pesticides, there is an urgent need to develop alternative solutions. Natural pesticides, including microbial products (Bt toxin, spinosad, avermectins), plant-derived compounds (pyrethrins), and active components of essential oils, represent a promising option in combating resistant populations and reducing negative environmental consequences.

Keywords: *Bt toxin, insecticides, resistance*

UVOD

Rezistencija insekata na insekticide predstavlja jedan od najznačajnijih i najbolje dokumentovanih primera evolucione adaptacije organizama na ekološke promene. Zbog visokog reproduktivnog potencijala i velike genetičke fleksibilnosti, insekti su sposobni da u kratkom vremenskom periodu razviju otpornost na hemijske supstance koje se koriste u njihovoj kontroli. Posledica toga je smanjenje efikasnosti tretmana, povećanje troškova proizvodnje i potreba za

primenom većih doza ili češćih aplikacija, što dodatno povećava rizike po životnu sredinu i zdravlje ljudi i životinja.

DEFINICIJA REZISTENCIJE I RAZLIKA U ODNOSU NA TOLERANCIJU

Rezistencija na insekticide se definiše kao smanjena osetljivost populacije insekata na insekticid, koja se manifestuje neuspehom ponovljenih tretmana istom supstancom ili supstancama sličnog mehanizma dejstva. Za razliku od rezistencije, tolerancija predstavlja prirodnu (urođenu) otpornost koja nije rezultat selekcionog pritiska. Na primer, stariji larveni stadijumi nekih vrsta gusenica mogu biti tolerantniji na insekticide u odnosu na mlađe stadijume zbog veće telesne mase, deblje kutikule ili bolje sposobnosti metabolizacije toksina.

MEHANIZMI REZISTENCIJE NA INSEKTICIDE

Insekti, akarine i druge štetočine često mogu istovremeno razviti više mehanizama rezistencije. Glavni mehanizmi obuhvataju: (1) bihejvioralnu rezistenciju, (2) penetracionu rezistenciju, (3) metaboličku rezistenciju i (4) promene ciljnih mesta delovanja insekticida.

Bihejvioralna rezistencija

Bihejvioralna rezistencija podrazumeva sposobnost rezistentnih jedinki da prepoznaju opasnost i izbegnu kontakt sa insekticidom. Takvi insekti mogu prestati da se hrane kada dođu u kontakt sa tretiranom površinom ili mogu napustiti ciljnu oblast, na primer prelaskom na donju stranu tela domaćina, povlačenjem u dublje slojeve zemljišta ili jednostavnim odletanjem. Ovaj mehanizam je zabeležen kod više klasa insekticida, uključujući organohlorne, organofosfatne, karbamatne insekticide i piretroide.

Penetraciona rezistencija

Penetraciona rezistencija nastaje kada kutikula insekta razvije barijere koje usporavaju apsorpciju insekticida. Na taj način toksin sporije dospeva do mesta delovanja, što daje organizmu više vremena da ga metaboliše ili eliminiše. Ovaj tip rezistencije često se javlja u kombinaciji sa metaboličkom rezistencijom i dodatno pojačava njene efekte.

Metabolička rezistencija

Metabolička rezistencija je najčešći i jedan od najznačajnijih mehanizama otpornosti. Rezistentni insekti mogu brže detoksifikovati ili razložiti insekticide pomoću enzima, ili ih brže izbaciti iz organizma. U ovu grupu spadaju tri ključne klase enzima: karboksilesteraze (važne za hidrolizu organofosfata), glutation-S-transferaze (uključene u detoksifikaciju organofosfata i DDT-a) i monooksigenaze (važne za piretroide, organofosfate, neonikotinoide i druge insekticide).

Povećana aktivnost ovih enzima može nastati usled različitih molekularnih mehanizama, uključujući amplifikaciju gena ili promene u regulaciji ekspresije.

Promene ciljnih mesta delovanja (engl. target-site rezistencija)

Target-site rezistencija podrazumeva pojavu promena na mestu vezivanja insekticida, čime se sprečava njegovo vezivanje i ispoljavanje efekta. Ove promene su obično veoma specifične i najčešće nastaju usled zamene jedne aminokiseline u proteinskom lancu receptora ili enzima. Važno je da normalna fiziološka funkcija ciljnog mesta ostane očuvana.

Najznačajnija ciljna mesta delovanja na kojima se razvijaju promene su: nikotinski acetilholinski receptori (mesto delovanja neonikotinoida), acetilholinesteraza (ciljno mesto organofosfata i karbamata), GABA-zavisni hloridni jonski kanali (ciljno mesto ciklodiena i avermektina) i voltažno-zavisni natrijumski jonski kanali (ciljno mesto DDT-a i piretroida).

SPECIFIČNI PRIMERI TARGET-SITE REZISTENCIJE

Poremećaj aktivnosti acetilholinesteraze (AChE)

Enzim acetilholinesteraza je ciljno mesto dejstva organofosfatnih i karbamatnih insekticida. Rezistencija može nastati usled pojačane sinteze enzima (na translacionom nivou) ili pojave mutiranih formi AChE sa smanjenim afinitetom za insekticide. Kod kućne muve je primećeno da rezistencija može biti praćena promenama u kinetici hidrolize acetilholina, ali ne postoji uvek jasna korelacija između smanjene inhibicije enzima i njegove ukupne aktivnosti ili afiniteta prema fiziološkom supstratu.

Promene GABA receptora

GABA-zavisni hloridni jonski kanal u nervnom sistemu insekata predstavlja ciljno mesto dejstva ciklodiena i avermektina. Rezistencija je opisana kod više vrsta insekata i akarina. Molekularne studije su pokazale da jedna mutacija baznog para može izazvati supstituciju aminokiseline (ALA → SER) u određenom regionu kanala, što predstavlja ključnu razliku između rezistentnih i osetljivih sojeva. Ista mutacija je povezana sa rezistencijom na ciklodiene kod više različitih rodova insekata, uključujući *Musca domestica*, *Tribolium castaneum* i *Periplaneta americana*.

Promene voltažno-zavisnih Na⁺ kanala (knockdown rezistencija)

Voltažno-zavisni natrijumski jonski kanali su ciljno mesto dejstva piretroida i DDT-a. Promene u strukturi ovog kanala dovode do smanjenog efekta brzog nokauta (knockdown), pa se ovaj oblik otpornosti naziva knockdown rezistencija. Ovakav tip rezistencije je opisan kod kućne muve, nemačke bubašvabe (*Blattella germanica*) i drugih vrsta.

UKRŠTENA I MULTIPLA REZISTENCIJA

Rezistencija se može razviti prema jednom insekticidu, ali je mnogo češće da se otpornost javlja prema svim insekticidima koji imaju isti mehanizam dejstva, što se naziva ukrštena rezistencija. Klasičan primer je rezistencija kućne muve na DDT dijagnostikovana davne 1950. godine, nakon čega je uočena i rezistencija na piretroide čim su se pojavili na tržištu, čak i bez prethodne ekspozicije.

Multipla rezistencija označava situaciju kada je populacija rezistentna na dva ili više insekticida koji pripadaju različitim hemijskim grupama i imaju različite mehanizme dejstva. Ovo predstavlja posebno veliki problem u savremenoj zaštiti protiv štetnih insekata, jer značajno sužava izbor efikasnih supstanci.

STRATEGIJE UPRAVLJANJA REZISTENCIJOM (IRAC PREPORUKE)

Insecticide Resistance Action Committee (IRAC) razvio je smernice za usporavanje razvoja rezistencije i očuvanje efikasnosti postojećih insekticida. Ključne preporuke obuhvataju:

- Monitoring štetočina: redovno praćenje brojnosti i dinamike populacija kako bi se utvrdilo da li i kada mere kontrole imaju efekat, uključujući procenu efikasnosti nakon tretmana.
- Ekonomski prag štetnosti: insekticide treba koristiti samo kada brojnost štetočina može izazvati ekonomske gubitke veće od troškova tretmana.
- Integrirani pristup (IPM): kombinovanje hemijskih, bioloških i agrotehničkih mera, uključujući upotrebu korisnih insekata, transgene biljke, rotaciju useva i upotrebu tolerantnih sojeva.
- Pravilno vreme aplikacije: tretmane sprovoditi kada su štetočine najosetljivije i koristiti doze i intervale preporučene od proizvođača.
- Pravilno mešanje i aplikacija: obezbediti tačne doze, ravnomernu pokrivenost i ispravnost opreme, uz kontrolu pH vode prema specifikacijama proizvođača.
- Rotacija klasa insekticida: izbegavati ponovnu upotrebu insekticida iste hemijske klase ili mehanizma delovanja; rotacija različitih klasa usporava selekciju rezistentnih jedinki.
- Zaštita korisnih artropoda: birati insekticide koji najmanje ugrožavaju korisne organizme.

BIOLOŠKI INSEKTICIDI: BACILLUS THURINGIENSIS (BT)

Bacillus thuringiensis (Bt) je bakterija koja formira spore i proizvodi kristalne proteine (Cry proteine) toksične za mnoge vrste insekata. Bt se može pronaći širom sveta, uključujući različite tipove zemljišta i ekosistema. Poznato je na hiljade sojeva Bt koji proizvode preko 200 Cry proteina aktivnih protiv brojnih vrsta insekata i drugih beskičmenjaka.

Da bi Bt delovao, insekti moraju da ga unesu hranjenjem. U crevima insekta, pri visokom pH, dolazi do aktivacije toksina koji oštećuje ćelije creva i narušava

integritet sluzokože. Nakon toga Bt spore mogu prodrati i izazvati smrt insekta u roku od nekoliko dana.

Od 1996. godine, biljke su genetički modifikovane uvođenjem sekvenci gena iz Bt, što omogućava ekspresiju Cry proteina u biljnim tkivima. Na taj način biljke mogu same da proizvode toksin i štite se od insekata bez dodatne primene sintetskih pesticida. Ovaj pristup je doveo do smanjenja upotrebe hemijskih insekticida i smanjene izloženosti ljudi i ne ciljanih organizama pesticidima.

U našem radu iz 2020. godine testirali smo 17 prirodnih izolata bakterije *Bacillus thuringiensis* iz hemijski neobrađenih uzoraka iz okoline kako bi procenili njihov potencijal kao nematocidnih agenasa. Poseban fokus istraživanja bio je na tome da li aktivnost bakterije zavisi od faze rasta, odnosno da li se razlikuje tokom eksponencijalne i stacionarne faze. Na kraju smo kombinovali Bt sojeve različitih profila rasta kako bi proverili da li zajedničkim delovanjem mogu postići potpunu eliminaciju populacije nematoda u eksperimentalnim uslovima.

U radu iz 2025. godine istraživali smo uticaj različitih sojeva *Bacillus thuringiensis* na promene u intestinalnom tkivu parazitske nematode *Ascaris suum*. U okviru eksperimenta izlagali smo crevno tkivo *A. suum* različitim Bt sojevima (SS_26.2, SS_29.2, SS_35.1 i SS_37.7) kako bi procenili njihove efekte na strukturu i integritet intestinalnog epitela. Nakon tretmana sprovedi smo histopatološke analize i posmatrali oštećenja epitelnih ćelija i druge promene koje ukazuju na štetan uticaj bakterijskih toksina. Posebno smo razmatrali ulogu toksičnih kristalnih proteina (Cry proteina) koje proizvodi Bt i njihov efekat na parazitske nematode. Na osnovu dobijenih rezultata zaključili smo da pojedini Bt sojevi imaju značajan potencijal kao ekološki prihvatljiva alternativa za kontrolu nematoda, uz napomenu da su potrebna dodatna in vivo istraživanja na životinjama.

PRIRODNI PESTICIDI I MONOTERPENOIDI

Zbog sve većih ekoloških i zdravstvenih zabrinutosti u vezi sa konvencionalnim pesticidima, intenzivno se istražuju prirodni insekticidi i jedinjenja biljnog porekla. Među njima se posebno ističu pojedini monoterpenoidi, koji se nalaze u etarskim uljima i pokazuju insekticidno delovanje.

Studije mehanizama delovanja odabranih monoterpenoida ukazuju da ova jedinjenja mogu delovati na GABA receptore i nikotinske acetilholinske receptore insekata. Iako su potrebna dodatna istraživanja, pojedini monoterpenoidi predstavljaju perspektivnu grupu jedinjenja za razvoj alternativnih insekticida koji bi mogli smanjiti selekcionu pritisak i usporiti razvoj rezistencije.

ZAKLJUČAK

Rezistencija insekata na insekticide je globalni problem koji se razvija kao posledica intenzivne i često nekontrolisane upotrebe pesticida. Insekti mogu razviti otpornost različitim mehanizmima, uključujući bihevioralne promene,

smanjenu penetraciju insekticida, povećanu metaboličku detoksifikaciju i promene ciljnih mesta delovanja. Ukrštena i multipla rezistencija dodatno otežavaju kontrolu štetočina.

Primena strategija upravljanja rezistencijom, uključujući monitoring, integrirani pristup zaštiti od štetnih insekata i rotaciju insekticida, predstavlja ključni korak u očuvanju efikasnosti postojećih preparata. Biološki insekticidi poput *Bacillus thuringiensis* i prirodni pesticidi, uključujući odabrane monoterpenoide, nude značajan potencijal kao održive alternative u budućnosti.

Zahvalnica

Ovaj rad je podržan od strane Fonda za nauku Republike Srbije, Program PRISMA #GRANT broj 7355, naziv projekta – FARMASCA.

LITERATURA

1. Atanasković, I., Marjanović, Đ., Trailović, S., Fira, D., Stanković, S., Lozo, J. (2020). Growth phase-dependent nematocidal activity of *Bacillus thuringiensis* strains from natural samples. *Biocontrol Science and Technology*, 30(11), 1199-1211.
2. Atanasković, I., Trailović, S. M., Marinković, D., Stanković, S., Lozo, J., Medić, D., Marjanović, Đ. S. (2025). Investigating the impact of different *Bacillus thuringiensis* strains on *Ascaris suum* intestinal changes. *Acta Veterinaria-Beograd*, 75(1), 38-49.
3. Bass, C., Denholm, I., Williamson, M. S., Nauen, R. (2015). The global status of insect resistance to neonicotinoid insecticides. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 121, 78-87. <https://doi.org/10.1016/j.pestbp.2015.04.004>
4. Casida, J. E., Durkin, K. A. (2017). Neuroactive insecticides: Targets, selectivity, resistance, and secondary effects. *Annual Review of Entomology*, 62, 99-117. <https://doi.org/10.1146/annurev-ento-031616-035100>
5. Dermauw, W., Van Leeuwen, T., Feyereisen, R. (2020). Diversity and evolution of the P450 family in arthropods. *Insect Biochemistry and Molecular Biology*, 127, 103490. <https://doi.org/10.1016/j.ibmb.2020.103490>
6. Feyereisen, R., Dermauw, W., Van Leeuwen, T. (2015). Genotype to phenotype, the molecular and physiological dimensions of resistance in arthropods. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 121, 61-77. <https://doi.org/10.1016/j.pestbp.2015.01.004>
7. Gould, F., Brown, Z. S., Kuzma, J. (2018). Wicked evolution: Can we address the sociobiological dilemma of pesticide resistance? *Science*, 360(6390), 728-732. <https://doi.org/10.1126/science.aar3780>
8. Hemingway, J., Ranson, H., Magill, A. (2016). Insecticide resistance in insect vectors of human disease. *Annual Review of Entomology*, 61, 427-448. <https://doi.org/10.1146/annurev-ento-010715-023716>
9. Nauen, R., Bass, C. (2022). Insecticide resistance in crop pests: Mechanisms, management and future prospects. *Pest Management Science*, 78(5), 1829-1843. <https://doi.org/10.1002/ps.6806>
10. Sparks, T. C., Crossthwaite, A. J., Nauen, R., Banba, S., Cordova, D., Earley, F., Ebbinghaus-Kintscher, U., Fujioka, S., Hirao, A., Karmon, D., Kennedy, R., Kundu, S., Liang, D., O'Connell, M. (2021). Insecticides, biologics and nematicides: Updates to IRAC's mode of action classification. *Pesticide Biochemistry and Physiology*, 167, 104587. <https://doi.org/10.1016/j.pestbp.2020.104587>

Pregledni rad DOI: 10.5937/DDD26087M

EFIKASNOST SPINOSADA U KONTROLI REZISTENTNIH POPULACIJA INSEKATA

EFFICACY OF SPINOSAD IN CONTROLLING RESISTANT INSECT POPULATIONS

**Tihomir Marić^{1*}, Đorđe S. Marjanović¹, Dragana Medić¹,
Nemanja Zdravković², Saša M. Trailović¹**

Kratak sadržaj

Rezistencija insekata na konvencionalne sintetske insekticide predstavlja jedan od najvećih izazova savremene poljoprivrede, veterinarske medicine i javnog zdravlja. Dugotrajna i često nekontrolisana upotreba organofosfatnih, karbamatnih, organohlornih insekticida i piretroida dovela je do selekcije rezistentnih populacija brojnih štetnih vrsta, što je značajno smanjilo efikasnost standardnih mera suzbijanja. U tom kontekstu, spinosad se ističe kao perspektivna alternativa, posebno zbog svog specifičnog mehanizma delovanja i porekla iz prirodnih mikrobioloških proizvoda. Spinosad je insekticid dobijen fermentacijom bakterije *Saccharopolyspora spinosa* i pripada grupi spinosina, koji deluju primarno na nervni sistem insekata, vezivanjem za nikotinske acetilholinske receptore (nAChR), ali i delimičnim uticajem na GABA receptore. Ovaj jedinstveni mehanizam omogućava njegovu efikasnost čak i kod populacija koje su razvile rezistenciju na druge klase insekticida. Cilj ovog rada je analiza efikasnosti spinosada u kontroli rezistentnih populacija insekata i procena njegovog potencijala u integrisanim programima upravljanja štetočinama. Dosadašnja istraživanja pokazuju da spinosad ispoljava visoku insekticidnu aktivnost protiv brojnih poljoprivrednih štetočina, uključujući vrste iz redova Lepidoptera, Diptera i Thysanoptera, kao i protiv pojedinih ektoparazita u veterinarskoj praksi. Posebno značajna karakteristika spinosada je njegova relativno povoljna selektivnost, odnosno niža toksičnost za sisare u poređenju sa mnogim sintetskim insekticidima, što doprinosi njegovoj bezbednijoj primeni. Međutim, iako spinosad predstavlja značajno sredstvo u borbi protiv rezistentnih populacija, rizik od razvoja rezistencije na

¹ Dr vet. med. Tihomir Marić, istraživač-pripravnik; Đorđe S. Marjanović, docent; dr vet. med. Dragana Medić, asistent; dr Saša M. Trailović, redovni profesor, Univerzitet u Beogradu, Fakultet veterinarske medicine, Katedra za Farmakologiju i toksikologiju, Bulevar oslobođenja 18, 11000 Beograd, R. Srbija

² Dr Nemanja Zdravković, viši naučni saradnik, Naučni Institut za veterinarstvo Srbije, Naučni institut za veterinarstvo Srbije, Janisa Janulisa 14, 11000 Beograd, R. Srbija

* e-mail kontakt osobe: tihomir.maric@vet.bg.ac.rs

ovu supstancu postoji, naročito pri dugotrajnoj i ponavljanoj upotrebi. Stoga se preporučuje njegova racionalna primena kroz rotaciju aktivnih supstanci i kombinovanje sa drugim metodama kontrole. Spinosad ima značajan potencijal kao efikasno i ekološki prihvatljivije rešenje u savremenim strategijama suzbijanja rezistentnih insekata.

Ključne reči: insekticidi, rezistencija, spinosad

Abstract

*Insect resistance to conventional synthetic insecticides represents one of the greatest challenges of modern agriculture, veterinary medicine, and public health. Prolonged and often uncontrolled use of organophosphate, carbamate, organochlorine insecticides, and pyrethroids has led to the selection of resistant populations of numerous pest species, which has significantly reduced the effectiveness of standard control measures. In this context, spinosad stands out as a promising alternative, particularly due to its specific mechanism of action and its origin from natural microbiological products. Spinosad is an insecticide obtained through the fermentation of the bacterium *Saccharopolyspora spinosa* and belongs to the group of spinosyns, which act primarily on the insect nervous system by binding to nicotinic acetylcholine receptors (nAChRs), as well as through a partial effect on GABA receptors. This unique mechanism enables its effectiveness even in populations that have developed resistance to other classes of insecticides. The aim of this paper is to analyze the efficacy of spinosad in the control of resistant insect populations and to assess its potential within integrated pest management programs. Previous studies indicate that spinosad exhibits high insecticidal activity against numerous agricultural pests, including species from the orders Lepidoptera, Diptera, and Thysanoptera, as well as against certain ectoparasites in veterinary practice. A particularly significant characteristic of spinosad is its relatively favorable selectivity, that is, its lower toxicity to mammals compared to many synthetic insecticides, which contributes to its safer application. However, although spinosad represents an important tool in the fight against resistant populations, the risk of resistance development to this substance exists, especially with long-term and repeated use. Therefore, its rational application is recommended through the rotation of active substances and combination with other control methods. Spinosad has significant potential as an effective and more environmentally friendly solution in modern strategies for the control of resistant insects.*

Keywords: insecticides, resistance, spinosad

UVOD

Suzbijanje insekata koji prouzrokuju značajne gubitke u skladištima žitarica i drugih prehrambenih proizvoda predstavlja jedan od ključnih izazova savremene industrije. Procene ukazuju da se usled delovanja štetočina izgubi između 10 i 20% ukupne poljoprivredne proizvodnje. Najefikasniji pristup pokazala je kombinacija hemijskih, fizičkih i bioloških metoda kontrole. Međutim, široko

korišćene grupe insekticida, poput piretroida, organofosfata, fosfina, neonikotinoida i fenilpirazola, postaju sve manje delotvorne usled brzog razvoja rezistencije kod insekata. Zbog toga se nameće potreba za novim, alternativnim rešenjima koja bi prevazišla ove nedostatke. Jedan od takvih preparata je spinosad.

INSEKTI KAO ŠTETOČINE

Štetočine žitarica predstavljaju značajan ograničavajući faktor u proizvodnji i skladištenju, pri čemu se najveći gubici pripisuju vrstama koje napadaju zrno tokom skladištenja. Među najznačajnijim primarnim štetočinama izdvajaju se *Sitophilus* spp., i *Rhyzopertha* spp, koje imaju sposobnost da oštećuju intaktno zrno, dok sekundarne štetočine, poput *Tribolium* spp. i *Oryzaephilus* spp., pretežno napadaju već oštećen materijal (Phillips i Throne, 2010). Ove vrste karakterišu visok reproduktivni potencijal, kratki generacijski ciklusi i sposobnost prilagođavanja različitim uslovima skladištenja, što omogućava brzo povećanje populacije i značajne kvantitativne i kvalitativne gubitke (Athanassiou i Arthur, 2018). Pored direktnog oštećenja zrna, infestacije dovode do smanjenja nutritivne vrednosti, kontaminacije ekskrementima i razvojem sekundarnih mikroorganizama, uključujući plesni koje mogu produkovati mikotoksine (Phillips i Throne, 2010). Sve je veća pojava rezistencije na postojeće insecticide, a takođe i intenzivna upotreba hemijskih sredstava dovela je do ekotoksikoloških i regulatornih ograničenja, uključujući zabranu ili restrikciju pojedinih aktivnih supstanci, što dodatno otežava efikasno upravljanje populacijama štetočina (Arthur, 1996).

TRENTUTNA REŠENJA

U savremenim sistemima kontrole insekata štetočina u proizvodnji i skladištenju žitarica, kao i ektoparazita domaćih životinja, primenjuje se više grupa insekticida različitih mehanizama delovanja i spektra aktivnosti. Piretroidi (deltametrin, permetrin, cipermetrin) deluju na naponski zavisne natrijumske kanale nervnog sistema insekata i široko su zastupljeni u suzbijanju skladišnih štetočina iz rodova *Sitophilus*, *Tribolium* i *Rhyzopertha*, kao i ektoparazita poput buva i krpelja (Athanassiou i Arthur, 2018). Organofosfati (malation, pirimifos-metil, hlörpirifos) ostvaruju insekticidni efekat inhibicijom acetilholinesteraze i primenjuju se kako u zaštiti uskladištenih proizvoda, tako i u veterinarskoj praksi za kontrolu vaški i krpelja (Phillips i Throne, 2010). Neonikotinoidi, poput imidakloprida, ciljaju nikotinske acetilholinske receptore i efikasni su protiv sisajućih insekata i buva (Sparks i sar., 2012), dok fenilpirazoli, kao što je fipronil, deluju kao antagonisti GABA receptora i imaju značajnu primenu u obe oblasti (Sparks, 2006). Međutim, dugotrajna i intenzivna primena ovih insekticida dovela je do selekcije rezistentnih populacija kod brojnih vrsta, što predstavlja značajan ograničavajući faktor njihove efikasnosti i ukazuje na potrebu za razvojem i primenom alternativnih strategija kontrole, među kojima spinosad zauzima posebno mesto (Nayak i sar., 2020).

SPINOSAD KAO INSEKTICID

Spinosad je insekticid iz grupe spinosina, metabolički produkt zemljišne aktinomicete *Saccharopolyspora spinosa*. Sastoji se iz dva faktora, spinozin A i spinozin D, koji su u preparatu prisutni u odnosu 85:15. Veoma je aktivan, kako putem ingestije tako i kontaktnim putem. Pokazao je značajan efekat protiv insekata iz redova, *Orthoptera*, *Diptera*, *Lepidoptera*, *Coleoptera*, *Thysanoptera*, *Hymenoptera* i drugih (Sparks i sar., 2001). Zbog specifičnog mehanizma dejstva i sve češće je korišćen u programima zaštite biljaka, a poseban značaj ima u kontroli onih populacija insekata koje su razvile rezistenciju na konvencionalne preparate iz gorepomenutih grupa (Hertlein i sar., 2011.). Osim toga, spinosad ima niskotoksičan efekat za sisare i dobar ekološki profil, što omogućava očuvanje korisnih organizama.

MEHANIZAM DEJSTVA

Mehanizam dejstva spinosada je zasnovan na njegovoj specifičnoj interakciji sa nikotinskim acetilholinskim receptorom (nAChR) insekata. Spinosad se vezuje za alosterično mesto na ovom receptoru, različito od onog za koje se vezuju neonikotinoidi, što objašnjava njegovu efikasnost kod rezistentnih populacija insekata (Salgado, 1998). Aktivacijom receptora dolazi do naglog ulaska katjona u ćelije i produžene depolarizacije postsinaptičke membrane, što izaziva nekontrolisanu neuralnu ekscitaciju. Rezultat ovih ekscitacija su tremor, gubitak koordinacije i paraliza insekata. Sekundarni mehanizam dejstva zasnovan je na inhibiciji GABA-zavisnih hloridnih kanala, što rezultira pojačanom ekscitatornom odgovoru (Sparks i sar., 2001). Ovakav, dvostruki mehanizam dejstva izuzetno smanjuje šanse za pojavu unakrsne rezistencije za neonikotinoidima (Sparks i sar., 2012).

EKOTOKSIKOLOŠKI PROFIL

Spinosad karakteriše povoljan ekotoksikološki profil u poređenju sa konvencionalnim insekticidima, što mu daje posebno mesto u savremenim strategijama zaštite. Kao posledica ograničene apsorpcije i brze biotransformacije, njegova toksičnost za sisare je niska (Hertlein i sar., 2011). Spinosad se u spoljašnjoj sredini brzo razgrađuje pod uticajem UV zraka, što značajno umanjuje rizik od prekomerne akumulacije u zemljištu i vodi (Bret i sar., 1997). Ograničavajući faktor je njegova toksičnost na oprašivače i vodene beskičmenjake, pogotovo pri neadekvatnoj primeni i odstranjivanju. Akutna izloženost može izazvati značajne posledice na populacije neciljnih vrsta organizama, dok hronični efekat zavisi od učestalosti primene i koncentracije (Sparks i sar., 2001). Uprkos tome, ukupni ekotoksikološki otisak spinosada smatra se znatno povoljnijim u poređenju sa organofosfatima, piretroidima i neonikotinoidima.

РЕЗИСТЕНЦИЈА I ЕФИКАСНОСТ КОД РЕЗИСТЕНТНИХ ПОПУЛАЦИЈА

Pored toga što je spinosad inicijalno pokazao izuzetnu efikasnost protiv određenih rezistentnih populacija, kontinuirana i intenzivna primena dovela je do pojave rezistencije kod nekih vrsta, uključujući *Frankliniella occidentalis* i *Plutella xylostella* (Zhao i sar., 2002). Mehanizmi rezistencije obuhvataju promene na receptorima, pogotovo modifikaciju nAChR subjedinica, povećanu aktivnost enzima citohroma P450 i esteraza (Sparks i sar., 2001), kao i smanjenu penetraciju aktivnog principa kroz kutikulu. Uprkos ovim adaptacijama, spinosad zadržava visoku efikasnost u populacijama koje su rezistentne na druge insekticide. Primenjen u rotaciji sa drugim insekticidima značajno smanjuje pritisak selekcije. Strategije upravljanja rezistencijom naglašavaju ograničenje broja tretmana i upotrebu preporučenih doza, na taj način se produžuje efikasnost spinosada kao sredstvau u kontroli rezistentnih populacija insekata.

ЗАКЉУЧАК

Spinosad predstavlja značajan alat u savremenoj kontroli insekata, pogotovo u kontekstu rastućeg problema rezistencije na konvencionalne insekticide. Njegov jedinstveni mehanizam dejstva omogućava visoku efikasnost i kod populacija koje su razvile otpornost na druge klase hemijskih sredstava (Sparks i sar., 2001). Njegovoj širokoj primeni povoljno doprinosi i njegov ekotoksikološki profil. Uprkos tome, pojava rezistencije na spinosad ukazuje na potrebu za pažljivo planiranom i kontrolisanom upotrebom. Ključ za očuvanje njegove dugoročne efikasnosti je integracija ovog preparata u programe upravljanja rezistencijom, kao što su rotacija insekticida i kombinacija sa biološkim metodama (Hertlein i sar., 2011). Buduća istraživanja treba da budu usmerena na razumevanje mehanizama rezistencije i razvoj novih formulacija, kako bi se obezbedila održiva upotreba spinosada u budućnosti.

Zahvalnica

Ovaj rad je podržan od strane Fonda za nauku Republike Srbije, Program PRISMA #GRANT broj 7355, naziv projekta – FARMASCA.

LITERATURA

1. Arthur FH. Grain protectants: current status and prospects. *J Stored Prod Res.* 1996;32(4):293–302. doi:10.1016/S0022-474X(96)00033-7
2. Athanassiou CG, Arthur FH. Recent advances in stored product protection. *J Stored Prod Res.* 2018;76:1–8. doi:10.1016/j.jspr.2017.11.002
3. Bret BL, Larson LL, Schoonover JR, Sparks TC, Thompson GD. Biological properties of spinosad. *Down to Earth.* 1997;52(1):6–13.
4. Hertlein MB, Thompson GD, Subramanyam B, Athanassiou CG. Spinosad: a new natural product for stored grain protection. *J Stored Prod Res.* 2011;47(3):131–146. doi:10.1016/j.jspr.2011.01.004
5. Nayak MK, Collins PJ, Pavic H, Kopittke RA. Managing resistance to phosphine in stored grain pests: current status and future strategies. *J Stored Prod Res.* 2020;86:101558. doi:10.1016/j.jspr.2019.101558

6. Phillips TW, Throne JE. Biorational approaches to managing stored-product insects. *Annu Rev Entomol.* 2010;55:375–397. doi:10.1146/annurev-ento-112408-085331
7. Salgado VL. Studies on the mode of action of spinosad: insect symptoms and physiological correlates. *Pestic Biochem Physiol.* 1998;60(2):91–102. doi:10.1006/pest.1998.2332
8. Sparks TC, Crouse GD, Durst G., Natural products as insecticides: the biology, biochemistry and quantitative structure–activity relationships of spinosyns and spinosoids. *Pest Manag Sci.* 2001;57(10):896–905. doi:10.1002/ps.358
9. Sparks TC, Dripps JE, Watson GB, Paroanagian D. Resistance and cross-resistance to the spinosyns – a review and analysis. *Pestic Biochem Physiol.* 2012;102(1):1–10. doi:10.1016/j.pestbp.2011.11.004
10. Sparks TC. Insecticide discovery: an evaluation and analysis. *Pestic Biochem Physiol.* 2006;84(3):153–163. doi:10.1016/j.pestbp.2005.09.008
11. Zhao JZ, Collins HL, Li YX, Mau RFL, Thompson GD, Hertlein M, et al. Monitoring and characterization of resistance to spinosad in field populations of the diamondback moth (*Plutella xylostella*). *J Econ Entomol.* 2002;95(2):430–436. doi:10.1603/0022-0493-95.2.430

Originalni naučni rad DOI: 10.5937/DDD26093D

DETEKCIJA LARVI INVAZIVNE VRSTE AEDES ALBOPICTUS U CRKVAMA NA PODRUČJU BEOGRADA

DETECTION OF LARVAE OF THE INVASIVE SPECIES AEDES ALBOPICTUS IN CHURCHES IN THE BELGRADE AREA

**Ivana Đurić Maslovara^{1*}, Jelena Mitrović¹, Sanja Martinović¹,
Olivera Vukićević Radić¹, Marko Popadić²**

Kratak sadržaj

Crkveni objekti, tačnije svećarnici koji se nalaze unutar samih crkava ili u njihovim dvorištima, mogu predstavljati pogodna mikrožarišta za razvoj larvi komaraca. Ova staništa posebno pogoduju razvoju invazivne vrste *Aedes albopictus*, za čije larve je karakteristično da naseljavaju male, ograničene rezervoare vode kakvi su svećarnici. Tokom istraživanja sprovedenog u periodu septembar 2025. – februar 2026. godine koje je obuhvatilo 25 crkvenih objekata na teritoriji Beograda, zabeleženo je prisustvo larvi u više ovih objekata, pri čemu je najveća brojnost zabeležena u crkvi na Žarkovu. Ovi nalazi potvrđuju da se vrsta uspešno razvija u uslovima kakvi se sreću u crkvama, a povećana brojnost larvi u septembru sugeriše intenzivniju reproduktivnu aktivnost u periodu sa povoljnijim temperaturnim uslovima. U novembru je došlo do smanjenja broja lokaliteta u kojima su nalažene larve, dok su u periodu decembar–februar larve potpuno izostale.

Ključne reči: *Aedes albopictus*, crkveni objekti, mikrožarišta, svećarnici

Abstract

Church facilities, with candlestands located within churches themselves or in their courtyards, can represent suitable larval breeding microhabitats for mosquito development. These habitats particularly favor the development of the invasive species *Aedes albopictus*, whose larvae characteristically inhabit small, confined water reservoirs such as candlestands. During a study conducted from September 2025 to February 2026, encompassing 25 church facilities across the territory of Belgrade, larval presence was recorded in several of these sites, with

¹ Spec. dr vet. med, Ivana Đurić Maslovara, samostalni referent poslova monitoringa štetnih organizama; mast. biolog, Jelena Mitrović, šef poslova entomoloških i bioloških ispitivanja; mast. geograf Sanja Martinović, samostalni referent poslova monitoringa štetnih organizama; dr bioloških nauka Olivera Vukićević Radić, direktor sektora, Sektor ekologije i unapređenja životne sredine, JKP „Gradska čistoća“, 11000 Beograd, R. Srbija

² Mast. politikolog, Marko Popadić, direktor, JKP „Gradska čistoća“, 11000 Beograd, R. Srbija

* e-mail kontakt osobe: ivanaveterinar@gmail.com

the highest larval density observed at the church in Žarkovo. These findings confirm that the species successfully develops under conditions typical of church environments, while the elevated larval abundance in September indicates more intense reproductive activity during periods with more favorable temperature regimes. In November, the number of sites with detected larvae decreased, whereas larvae were entirely absent during the December–February period.

Keywords: *Aedes albopictus, church facilities, microhabitats, candlestands*

UVOD

Crkveni objekti u Beogradu mogu predstavljati pogodna mikrožarišta za razvoj invazivnih vrsta komaraca, pre svega zbog prisustva svećarnika, odnosno mesta za paljenje sveća, u kojima se često nalazi voda. Arhiepiskopiji beogradsko-karlovačkoj teritorijalno pripada najveći deo Beograda, sa oko 120 crkvenih objekata, koji obuhvataju crkve, manastire, kapele, paraklise, brvnare i grobljanske crkve (<https://www.slovoljubve.com/MapeSPC/ArhiepiskopijaBK/>). Pored toga, opštine Barajevo, Lazarevac, Mladenovac, Sopot i Surčin administrativno pripadaju gradu Beogradu, ali crkveno potpadaju pod druge arhiepiskopije i na njihovoj teritoriji se nalazi dodatnih oko 24 objekta.

Paljenje sveća u pravoslavnoj tradiciji ima duboko versko i simboličko značenje, bilo da je reč o molitvi, zdravlju, pokojnicima, praznicima ili važnim životnim događajima kao što su krštenje, venčanje i sahrana (<https://svetosavlje.org/>). Sveće se ostavljaju da gore i nakon odlaska onoga ko ih je zapalio. Prilikom službi ili praznika prostorije sa svećarnicima imaju veliki protok ljudi što povećava rizik od požara ili od toga da se zapali garderoba prilikom paljenja sveća. Zato se za svećarnike bira podloga u koju sveća može stabilno da se pobode (pesak, šljunak i sl.), a okolo se nasipa voda da bi se, ako padne sveća, odmah i ugasila. Svećarnici su uglavnom 60-100 cm širine, napravljeni od metala otpornog na visoke temperature.

Tokom terenskih obilazaka uočeno je da je kao podloga u svećarnicima najčešće korišćen krupniji ili sitniji šljunak, odnosno pesak. U većini pregledanih svećarnika preko podloge je bila nasuta voda. U tri crkve u svećarnicima nije bila prisutna voda već samo pesak, te one nisu obilažene u narednim mesecima. Svećarnici su se uglavnom nalazili u zatvorenom prostoru, bilo da su postavljeni na ulazu u crkvu ili u objektima uz crkvu. Na otvorenom prostoru bili su prisutni u osam od 25 pregledanih crkava.

Okolina crkava koje su obuhvaćene istraživanjem bila je veoma različita. Neke crkve nalazile su se u izrazito zelenom ambijentu, poput crkve Svetog Vasilija Ostroškog na Banjici, dok su druge bile smeštene u urbanom, gotovo potpuno betoniranom okruženju, kao što je crkva Svetog Save na Vračaru. Ipak, s obzirom na to da su pronađene larve pripadale tigrastom komarcu, vrsti koja koristi male vodene rezervoare za razmnožavanje, okruženje nije bilo presudan faktor, jer se ova vrsta uspešno razvija i u urbanim i u prirodnim uslovima.

Aedes albopictus, u našem jeziku poznat kao „tigrasti komarac”, predstavlja izrazito potentnu invazivnu vrstu komarca koja se zahvaljujući svojoj prilagodljivosti različitim uslovima sredine i visokoj kompetitivnosti veoma uspešno raširila van granica jugoistočne Azije, regiona porekla. U Evropi je ova vrsta prvi put registrovana 1979. godine u Albaniji, ali do tada nije došlo do širenja vrste van lokaliteta pronalaska. Kao odomaćena vrsta se na području Evrope vodi tek od 1990. godine kada je zabeležena na teritoriji Italije i odakle se uspešno proširila na ostatak države i okolne države u Evropi (Petrić i sar., 2012). Na teritoriji Srbije vrsta je prvi put zabeležena 2009. godine, na graničnom prelazu sa Hrvatskom (Petrić, 2009), dok je na području Beograda prisutna od 2017. godine (neobjavljeni podaci).

Medicinski značaj vrste *Ae. albopictus* ogleda se u njenoj sposobnosti da efikasno prenosi više vrsta arbovirusa sa ozbiljnim posledicama po zdravlje ljudi i životinja. Dokazano je da ova vrsta komarca može biti vektor virusa denge, čikungunje, žute groznice, Zike (u laboratorijskim uslovima), kao i srčanog crva (*Dirofilaria immitis*).

Jedan od razloga zbog kojih je ova vrsta komarca uspešna invazivna vrsta jeste plastičnost u izboru staništa u kojima će se odvijati razvoj larvi. Ženke mogu položiti jaja u veoma različitim tipovima kako prirodnih staništa (rupe u drveću, pazusi listova, površinske bare nastale posle kiše), tako i veštačkih rezervoara vode (stare gume, kante, saksije, oluci, ulični slivnici i sl.). Zbog prirode staništa u kojima se razvijaju larve tigrastih komaraca (u najvećem broju slučajeva veštačka staništa u formi malih ograničenih prostora ispunjenih vodom) ova vrsta se često označava kao „kontejnerska”. Urbana sredina kao što je Beograd obiluje veštačkim vodenim staništima pogodnim za razmnožavanje tigrastog komarca što potvrđuju nalazi larvi u vazama za cveće na grobljima, a sada i u svećarnicama koji u pravoslavnim crkvama služe za paljenje sveća.

MATERIJAL I METODE

Praćenje prisustva larvi komaraca sprovedeno je u periodu od septembra 2025. do februara 2026. godine na uzorku od 25 pravoslavnih crkava na teritoriji 11 beogradskih opština (Čukarica, Rakovica, Novi Beograd, Palilula, Vračar, Voždovac, Zvezdara, Lazarevac, Grocka, Savski venac i Surčin). Lokaliteti su obilaženi jednom u toku meseca, pri čemu su merene temperature vode u svećarnicama, kao i prisustvo, odnosno, odsustvo larvi i odraslih jedinki komaraca. Prilikom prvog obilaska zabeležen je tip podloge koji se nalazi u svećarnicama (pesak, sitan ili krupan šljunak). Na pojedinim lokalitetima svećarnici su prisutni i napolju i unutar crkve, što je takođe zabeleženo.

Uzorkovanje prisutnih larvi je vršeno pomoću plastične pipete, nakon čega su larve transportovane u entomološku laboratoriju Sektora ekologije i unapređenja životne sredine. Larve četvrtog stadijuma razvića identifikovane su odmah po dopremanju u laboratoriju, dok su larve nižih razvojnih stadijuma ostavljane u laboratoriji da se razvijaju do četvrtog stadijuma, nakon čega je vršena njihova

identifikacija. Adulti komaraca zatečeni na ispitivanim lokalitetima uzorkovani su pomoću aspiratora, a zatim je identifikacija vršena u entomološkoj laboratoriji. Morfološka identifikacija larvi i odraslih komaraca izvršena je upotrebom stereomikroskopa ZEISS Stemi 508 i identifikacionih ključeva (Becker i sar., 2020).

REZULTATI I DISKUSIJA

Prisustvo larvi komaraca u svećarnicama je zabeleženo tokom septembra, oktobra i novembra. Najveći broj larvi je zabeležen na lokalitetu Žarkovo (Tabela 1), pri čemu su larve bile brojnije u svećarnicama postavljenim na otvorenom prostoru. Pored larvi, na ovom lokalitetu je tokom septembra i oktobra registrovano i prisustvo adultnih jedinki. Brojnost larvi se na ovom lokalitetu kretala od 10 do 30 po svećarniku u septembru, dok je u oktobru iznosila od 10 do 20 larvi po svećarniku. Sa druge strane, brojnost uzorkovanih adultnih jedinki je iznosila 18 u septembru i 12 u oktobru. Tokom novembra je zabeležen pad brojnosti larvi na ovom lokalitetu sa vrednostima od 5 do 8 larvi po svećarniku, dok adultne jedinke nisu registrovane.

Tabela 1. Lokacije i prisustvo larvi po mesecima

Lokalitet	Tip podloge	Mesec uzorkovanja; Prisustvo/odsustvo larvi – da/ne					
		septembar	oktobar	novembar	decembar	januar	februar
Banovo brdo (Crkva Sv. Đorđa)	šljunak	da	da	ne	ne	ne	ne
Banjica (Crkva Sv. Vasilija Ostroškog)	šljunak	da	da	da	ne	ne	ne
Bežanijska kosa (Crkva Sv.Vasilija Ostroškog)	šljunak	ne	ne	ne	ne	ne	ne
Blok 32 (Hram Sv. Velikomučenika Dimitrija)	šljunak	ne	ne	ne	ne	ne	ne
Borča 1 (Hram Sv. Vaznesenja)	šljunak	ne	ne	ne	ne	ne	ne
Borča 2 (Crkva Sv. Nikole)	šljunak	ne	ne	ne	ne	ne	ne
Čukarička padina (Crkva Sv. Petke)	šljunak	ne	ne	ne	ne	ne	ne
Grocka (Crkva Sv. Trojice)	šljunak	da	ne	ne	ne	ne	ne
Karaburma (Crkva Sabora Srpskih Svetitelja)	šljunak	ne	ne	ne	ne	ne	ne

Lokalitet	Tip podloge	Mesec uzorkovanja; Prisustvo/odsustvo larvi – da/ne					
		septembar	oktobar	novembar	decembar	januar	februar
Kotež (Crkva Sv. Apostola Petra i Pavla)	šljunak i pesak	ne	ne	ne	ne	ne	ne
Krnjača (Crkva Sv. Apostola i Evanđeliste Luke)	pesak	da	da	ne	ne	ne	ne
Lazarevac (Crkva Sv. Velikomučenika Dimitrija)	šljunak	da	ne	ne	ne	ne	ne
Mirijevo 1 (Crkva Sv. Proroka Ilije)	šljunak	ne	ne	ne	ne	ne	ne
Mirijevo 2 (Hram Sv. Velikomučenika Pantelejmona)	pesak	da	da	ne	ne	ne	ne
Novi Beograd (Crkva Sv. Georgija)	šljunak	ne	ne	ne	ne	ne	ne
Ovča (Crkva Sv. Petke)	šljunak	ne	ne	ne	ne	ne	ne
Petlovo brdo (Crkva Rođenja Sv. Jovana Krstitelja)	pesak	ne	ne	ne	ne	ne	ne
Petrović (Hram Sv. Jovana Krstitelja)	pesak	da	ne	ne	ne	ne	ne
Surčin (Manastir Fenek)	pesak	ne	ne	ne	ne	ne	ne
Topčider (Crkva Sv. Trifuna Kampsada)	pesak	ne	ne	ne	ne	ne	ne
Vidikovac 1 (Hram Preobraženja Gospodnjeg)	pesak	da	da	da	ne	ne	ne
Vidikovac 2 (Crkva Sv. Luke)	šljunak	ne	ne	ne	ne	ne	ne
Vračar (Crkva Sv. Save)	pesak	da	da	ne	ne	ne	ne
Žarkovo (Crkva Sv. Vaznesenja Gospodnjeg)	šljunak	da	da	da	ne	ne	ne
Železnik (Crkva Sv. Kralja Stefana Dečanskog)	šljunak	da	ne	ne	ne	ne	ne

U septembru su larve komaraca pronađene na još deset lokaliteta (Banovo brdo, Banjica, Grocka, Krnjača, Lazarevac, Mirijevo 2, Petrovčić, Vidikovac 1, Vračar i Železnik), ali u znatno manjem broju, od 1 do 5 larvi po lokalitetu. Temperatura vode u svećarnicama se tokom septembra kretala u intervalu od 18,7 °C do 21,6 °C. U oktobru je prisustvo larvi pored Žarkova, zabeleženo na još šest lokaliteta (Banovo brdo, Banjica, Krnjača, Mirijevo 2, Vidikovac 1, Vračar). Brojnost larvi je bila niska i kretala se od 1 do 3 larve po lokalitetu. Temperatura vode u ovom periodu varirala je između 10,1 °C i 22,2 °C. Tokom novembra je nastavljen trend smanjenja brojnosti larvi na ispitivanim lokalitetima te je njihovo prisustvo zabeleženo na ukupno tri lokacije (Žarkovo, Vidikovac 1, Banjica). Na lokalitetima Vidikovac 1 i Banjica zabeležena je po jedna larva. Temperatura vode se kretala u intervalima od 7,9 °C do 21,1 °C.

Identifikacija svih uzorkovanih larvi i adultnih jedinki je pokazala da se radi o vrsti *Aedes albopictus*. U decembru, januaru i februaru nije zabeleženo prisustvo ni larvi ni adulta ni na jednom od ispitivanih lokaliteta. Iako je najveća brojnost zabeležena u Žarkovu, larve su registrovane i na drugim lokalitetima, ali u znatno manjem broju. To sugeriše da svećarnici širom grada mogu povremeno služiti kao mesta za polaganje jaja i razvoj larvi, ali da intenzitet zavisi od lokalnih mikroklimatskih uslova.

Ovaj nalaz je značajan jer pokazuje da svećarnici, kao specifični objekti u crkvenim dvorištima, mogu doprineti lokalnom održavanju populacije komaraca. To otvara pitanje uključivanja crkvenih zajednica u programe kontrole komaraca, kroz edukaciju i preventivne mere (npr. redovno pražnjenje i čišćenje svećarnika, sprečavanje zadržavanja vode).

Interesantno je pomenuti da su osim larvi komaraca na pojedinim lokalitetima (Borča 2, Vidikovac 1 i 2, Lazarevac, Ovča, Surčin) u periodu od septembra do novembra nalažene i larve insekata roda *Chironomus*, a na jednom lokalitetu (Petrovčić) je u novembru registrovano i prisustvo krpelja. Ovi nalazi dodatno ukazuju da crkveni objekti i njihova neposredna okolina mogu predstavljati lokalitete od entomološkog i javnozdravstvenog značaja.

ZAKLJUČAK

Potrebno je razmotriti mogućnosti kontrole komaraca u crkvama, pri čemu bi prvi korak trebalo da bude edukacija zaposlenih o samom problemu i o merama prevencije. Sama zamena vode u svećarniku ne bi bila dovoljna ukoliko se ne ukloni ili ne zameni i podloga, jer bi larve i dalje mogle da prežive u donjem sloju materijala nakon ponovnog nalivanja vode. Larvicidni tretman bi u tom smislu mogao da pruži efikasan rezultat.

Pri izboru preparata treba voditi računa o njegovim svojstvima, kako bi aplikacija bila što diskretnija i prilagođena uslovima u kojima se svećarnici nalaze. Prostorije su najčešće male, slabo proventrene i tokom verskih službi često su prepune vernika, zbog čega preparat treba da bude bez izraženog mirisa, da se dobro ponaša u vodi i da ne ostavlja upadljiv vizuelni trag. Idealno bi bilo da se

rastvara u vodenoj sredini i postaje neprimetan, kako bi tretman bio prihvatljiv i sa estetskog i sa praktičnog aspekta.

Jedno od mogućih rešenja jeste i izostavljanje vode preko podloge u svećarnicama, kao što je zabeleženo u tri pregledane crkve, ali takav pristup nosi veći rizik od požara i zbog toga zahteva dodatno razmatranje.

Iako su temperature vode u periodu decembar–februar suviše niske za nesmetano razmnožavanje komaraca i tokom zimskih meseci, svećarnici svakako predstavljaju staništa koja treba uzeti u razmatranje prilikom izvođenja tretmana suzbijanja larvi komaraca, jer pružaju optimalne uslove za njihov razvoj u povoljnom periodu godine.

LITERATURA

1. Becker, N., Petrić, D., Zgomba, M., Boase, C., Madon, M. B., Dahl, C., & Kaiser, A. (2020). *Mosquitoes: identification, ecology and control*. Springer Nature.
2. Damasceno-Caldeira, R., Nunes-Neto, J. P., Aragão, C. F., Freitas, M. N. O., Ferreira, M. S., Castro, P. H. G., Dias, D. D., Araújo, P. A. D. S., Brandão, R. C. F., Nunes, B. T. D., Silva, E. V. P. D., Martins, L. C., Vasconcelos, P. F. D. C., & Cruz, A. C. R. (2023). Vector Competence of *Aedes albopictus* for Yellow Fever Virus: Risk of Reemergence of Urban Yellow Fever in Brazil. *Viruses*, 15(4), 1019. <https://doi.org/10.3390/v15041019>
3. <https://www.slovoljubve.com/MapeSPC/ArhiepiskopijaBK/>
4. <https://svetosavlje.org/>
5. Paupy, C., Delatte, H., Bagny, L., Corbel, V., & Fontenille, D. (2009). *Aedes albopictus*, an arbovirus vector: from the darkness to the light. *Microbes and infection*, 11(14-15), 1177–1185. <https://doi.org/10.1016/j.micinf.2009.05.005>
6. Petrić, D. (2009): Monitoring of invasive vector mosquitoes and vectorborne diseases. Rep. to Adm. Environ. Prot. Novi Sad City 1–9.
7. Petrić, Dušan & Zgomba, Marija & Ignjatovic Cupina, Aleksandra & Dusan, Marinkovic & Bellini, Romeo & Schaffner, Francis & Pajovic, Igor. (2012). Invasive mosquito species in Europe and Serbia, 1979 – 2011. International Symposium: Current Trends in Plant Protection 2012; Belgrade. 10.5167/uzh-70684.

Pregledni rad DOI: 10.5937/DDD26100P

BIOLARVICIDI SLEDEĆE GENERACIJE SA ODRŽIVIM I UNAPREĐENIM SISTEMIMA UV ZAŠTITE

NEXT-GENERATION BIOLARVICIDES WITH SUSTAINABLE AND ENHANCED UV PROTECTION SYSTEMS

Branislav Pešić^{1}*

Kratak sadržaj

Biolarvicidi predstavljaju značajnu komponentu savremenih strategija kontrole larvi vektora i drugih štetnih insekata, jer omogućavaju selektivniji i ekološki prihvatljiviji pristup u odnosu na konvencionalne hemijske larvicide. U radu je razmotren njihov značaj, osnovne prednosti i ograničenja, sa posebnim osvrtom na problem varijabilne efikasnosti u uslovima praktične primene. Kao jedan od ključnih faktora ograničene postojanosti izdvojeno je UV zračenje, koje dovodi do degradacije aktivnih bioloških komponenti i smanjenja larvicidnog učinka. Posebna pažnja posvećena je savremenim formulacionim pristupima zasnovanim na mikroenkapsulaciji, biopolimernim matricama, lignin-baziranim nosačima i prirodnim fotoprotektivnim agensima, koji omogućavaju unapređenje stabilnosti i funkcionalnosti preparata. Na osnovu analiziranih saznanja istaknuto je da razvoj biolarvicida sledeće generacije mora da integriše biološku aktivnost, formulacionu stabilnost, otpornost na UV stres i operativnu primenljivost, kako bi se obezbedila njihova veća pouzdanost i šira primena u održivoj kontroli larvi.

Ključne reči: *Bacillus thuringiensis*, biolarvicidi, formulacija biopesticida, fotostabilnost, kontrola vektora, mikroenkapsulacija, održiva kontrola larvi, UV zaštita

Abstract

Biolarvicides represent an important component of modern larval control strategies for vectors and other harmful insects, as they enable a more selective and environmentally acceptable approach compared with conventional chemical larvicides. This paper examines their importance, main advantages, and limitations, with particular emphasis on the problem of variable efficacy under practical application conditions. UV radiation is identified as one of the key factors limiting persistence, as it causes degradation of active biological components and reduces larvicidal performance. Special attention is given to contemporary formulation approaches based on microencapsulation, biopolymeric matrices, lignin-based

¹ Dr sci vet. med. Branislav Pešić, Kmetijski inštitut Slovenije, Ljubljana, Slovenija

* e-mail kontakt osobe: branislav.pesic@kis.si

carriers, and natural photoprotective agents, which can improve the stability and functionality of these products. Based on the analysed evidence, it is emphasized that the development of next-generation biolarvicides must integrate biological activity, formulation stability, resistance to UV stress, and operational applicability in order to ensure greater reliability and broader use in sustainable larval control.

Keywords: *Bacillus thuringiensis, biolarvicides, biopesticide formulation, microencapsulation, photostability, sustainable larval control, UV protection vector control*

UVOD

Bolesti i štetnosti povezane sa insektima čiji razvoj uključuje akvatične larvene stadijume i dalje predstavljaju ozbiljan javnozdravstveni, veterinarski i ekološki problem, posebno u uslovima intenzivnih klimatskih i antropogenih promena. U slučaju komaraca, značaj larvalne kontrole dodatno raste zbog činjenice da su upravo larve prostorno koncentrisane u relativno ograničenim vodenim staništima, što ih čini pogodnom metom za ciljane intervencije u okviru integrisanog upravljanja vektorima (WHO, 2024; Hong i sar., 2025). Ovakav pristup postaje sve važniji u svetlu rastućeg globalnog opterećenja bolestima koje prenose vektori; prema podacima Svetske zdravstvene organizacije, više od 3,9 milijardi ljudi živi u područjima rizika za dengue, dok je tokom 2024. godine zabeležen istorijski maksimum obolevanja na globalnom nivou (WHO, 2024; WHO, 2025). Paralelno s tim, savremene strategije kontrole sve više napuštaju isključivo oslanjanje na adulticide i teže uključivanju mera koje deluju ranije u životnom ciklusu ciljanih organizama, uključujući larval source management i primenu bioloških larvicida (WHO, 2024; CDC, 2024).

U tom kontekstu, biolarvicidi se izdvajaju kao važna komponenta održivijih programa kontrole. Iako terminološki okvir nije uvek u potpunosti ujednačen među institucijama, zajedničko polazište jeste da se radi o pesticidima zasnovanim na prirodnim materijalima, mikroorganizmima ili njihovim biološki aktivnim komponentama. Američka agencija za zaštitu životne sredine definiše biopesticide kao pesticide poreklom iz prirodnih materijala, pri čemu u ovu grupu uključuje biohemijske pesticide, mikrobne pesticide i pesticide inkorporirane u biljke (EPA, 2025a; EPA, 2025b). FAO i WHO u svojim smernicama za registraciju i specifikaciju mikrobnih pesticida naglašavaju da su *microbial pest control agents* i *microbial pest control products* specifična kategorija pesticida koja zahteva prilagođene podatke o identitetu, kvalitetu, efikasnosti i bezbednosti, upravo zbog njihove biološke prirode i različitosti u odnosu na konvencionalne hemijske aktivne supstance (FAO, 2018; FAO, 2023). U evropskom regulatornom okviru, mikroorganizmi namenjeni suzbijanju štetnih organizama tretiraju se kao posebna grupa *microbial plant protection products*, za koje su potrebni zasebni kriterijumi karakterizacije i procene rizika (European Commission,

2024; EFSA, 2025). U užem smislu, biolarvicidi se zato mogu posmatrati kao podgrupa biopesticida namenjena suzbijanju larvenih stadijuma ciljnih insekata, najčešće kroz delovanje živih mikroorganizama, njihovih toksina ili drugih prirodnih bioaktivnih agenasa.

Dosadašnja praksa pokazuje da su bakterijski biolarvicidi, pre svega preparati na bazi *Bacillus thuringiensis* subsp. *israelensis* (Bti) i *Lysinibacillus sphaericus*, i dalje najšire korišćeni i najbolje potvrđeni u operativnim programima kontrole komaraca (Hong i sar., 2025). Njihova prednost leži u visokoj efikasnosti prema ciljanim larvama, relativno povoljnom ekotoksikološkom profilu i dobroj uklopivosti u integrisane programe upravljanja vektorima (WHO, 1999; Hong i sar., 2025). Noviji terenski podaci potvrđuju da kombinovane formulacije Bti i *L. sphaericus* mogu obezbediti značajnu efikasnost i produženu rezidualnu aktivnost, uz istovremeno nizak potencijal za selekciju rezistencije kada se pravilno doziraju i primenjuju u odgovarajućim uslovima (Rique i sar., 2024). Istovremeno, neki autori ukazuju da razvoj biolarvicida više nije ograničen samo na klasične mikrobne preparate, već se sve više usmerava ka multifunkcionalnim formulacijama koje kombinuju aktivnu biološku komponentu sa nosačima, stabilizatorima i sistemima kontrolisanog oslobađanja radi poboljšanja terenske performanse (Verma i sar., 2024; Hong i sar., 2025).

Međutim, uprkos jasnim prednostima, praktična primena biolarvicida i dalje je opterećena brojnim ograničenjima. Jedan od ključnih problema jeste razlika između visoke efikasnosti zabeležene u laboratorijskim uslovima i znatno varijabilnijeg učinka u realnim, otvorenim sistemima. Na terenu na aktivnost biolarvicida utiču temperatura, pH, organsko opterećenje, sedimentacija, padavine, kao i intenzitet sunčevog zračenja, pri čemu upravo insolacija i fotodegradacija često odlučuju o dužini rezidualnog dejstva preparata (Rique i sar., 2024). Zbog toga nauka o formulacijama postaje centralni element razvoja biolarvicida nove generacije. Više nije dovoljno da aktivni agens bude samo biološki potentan; neophodno je da bude dovoljno stabilan tokom skladištenja, transporta i naročito nakon aplikacije, kada je izložen spoljašnjim stresorima koji brzo smanjuju njegovu održivost i efikasnost (Verma i sar., 2024).

Među abiotičkim faktorima, UV zračenje se izdvaja kao jedan od najvažnijih uzroka gubitka aktivnosti mikrobnih i drugih bioloških larvicidnih formulacija. Fotolabilnost spora, kristalnih toksina i drugih bioaktivnih komponenti direktno smanjuje biološku raspoloživost aktivne materije i skraćuje period zaštite nakon aplikacije (Rique i sar., 2024). Upravo zato se poslednjih godina intenzivno razvijaju strategije fotoprotekcije zasnovane na mikroenkapsulaciji, polimernim matricama, nano- i mikro-nosačima i UV-apsorbirajućim aditivima. Novi eksperimentalni radovi pokazuju da odgovarajuće formulacije mogu značajno poboljšati UV stabilnost Bt preparata i očuvati njihovu insekticidnu aktivnost i nakon produženog izlaganja zračenju; na primer, mikroenkapsulacija Bt uz upotrebu UV-protektivnih komponenata može gotovo udvostručiti održivost spora u poređenju sa nezaštićenim formulacijama nakon višednevne UV ekspozicije

(Jalali i Maghsoudi, 2024). Ovakvi nalazi potvrđuju da budućnost biolarvicida ne zavisi samo od otkrivanja novih aktivnih agenasa, već podjednako i od razvoja održivih sistema njihove zaštite i isporuke.

Upravo iz te perspektive nastaje koncept biolarvicida sledeće generacije. Pod tim se ne podrazumeva samo novi mikroorganizam ili novi prirodni toksin, već integrisana formulacija koja istovremeno obezbeđuje biološku efikasnost, selektivnost, ekološku prihvatljivost i povećanu stabilnost u uslovima stvarne primene (Verma i sar., 2024). Takav pristup je u skladu sa savremenim zahtevima održive zaštite, jer povezuje biološku kontrolu, napredne materijale, smanjenje hemijskog opterećenja i bolje upravljanje rezistencijom u jedinstven tehnološki okvir (WHO, 2024; Cai i sar., 2025). Shodno tome, razvoj održivih i unapređenih sistema UV zaštite ne predstavlja samo formulaciono unapređenje postojećih preparata, već jedan od ključnih preduslova za širu i pouzdaniju primenu biolarvicida u savremenim programima kontrole larvi.

Značaj, prednosti, ograničenja i problematika primene biolarvicida

Biolarvicidi danas zauzimaju važno mesto u savremenim programima kontrole vektora i drugih štetnih insekata, ne samo kao zamena za deo konvencionalnih hemijskih larvicida, već i kao značajna komponenta integrisanog upravljanja vektorima. Njihov praktični značaj proizlazi iz mogućnosti ciljane primene u larvalnim staništima, čime se delovanje usmerava na osetljivu fazu životnog ciklusa ciljanih organizama. WHO (2024) i CDC (2024) larval source management prepoznaju kao važnu dopunsku meru u sredinama gde su larvalna staništa ograničena, dostupna i predvidiva, dok Hong i sar. (2025) ističu da bakterijski biolarvicidi ostaju među operativno najvažnijim alatima u biološkoj kontroli larvi komaraca.

Poseban značaj biolarvicida ogleda se u njihovoj uklopivosti u koncept održive zaštite i One Health pristupa. Za razliku od široko delujućih hemijskih insekticida, mikrobní biolarvicidi najčešće pokazuju viši stepen selektivnosti prema ciljanim grupama organizama, uz povoljniji ekotoksikološki profil i manji rizik od neželjenih efekata na ljude, domaće životinje i veliki deo neciljane faune. Cai i sar. (2025) naglašavaju da mikrobiološki biopesticidi mogu istovremeno doprineti javnom zdravlju, zaštititi životne sredine i održivijem upravljanju biološkim resursima, dok Verma i sar. (2024) ističu da se njihova prednost u odnosu na sintetičke pesticide ogleda u smanjenju štetnih rezidua, povoljnijem ekološkom profilu i dobroj kompatibilnosti sa održivim sistemima upravljanja. Slično tome, Mawcha i sar. (2025) ukazuju da biopesticidi generalno imaju nižu toksičnost za neciljane organizme i manji potencijal za izazivanje sekundarnih ekoloških poremećaja nego konvencionalni hemijski pesticidi.

Kod biolarvicida na bazi *Bacillus thuringiensis* var. *israelensis* i *Lysinibacillus sphaericus*, dodatna prednost je dobro dokumentovana efikasnost prema larvama medicinski važnih komaraca, uključujući rodove *Aedes*, *Anopheles* i *Culex*.

Hong i sar. (2025) navode da su upravo ova dva bakterijska agensa i dalje najšire primenjivani biološki larvicidi na globalnom nivou, dok noviji eksperimentalni radovi potvrđuju da bakterijski larvicidi mogu postići visok mortalitet ciljnih larvi uz očuvanu bezbednost za druge organizme. Asgarian i sar. (2025) navode da su *Bt* larvicidi evaluirani kao bezbedni i za primenu u rezervoarima vode za piće, uz visoku specifičnost prema larvama komaraca, dok Gavana i sar. (2025) ističu da bakterijski toksini deluju pri veoma niskim dozama, ali uz minimalan uticaj na neciljane organizme i životnu sredinu.

Ipak, uprkos tim prednostima, biolarvicidi nisu univerzalno niti bezuslovno rešenje. Jedno od njihovih najvažnijih ograničenja jeste visoka zavisnost od uslova sredine i kvaliteta same aplikacije. Za razliku od mnogih hemijskih preparata sa dužim rezidualnim delovanjem, brojni biolarvicidi, naročito kratkodelujuće bakterijske formulacije, pokazuju ograničenu postojanost u otvorenim uslovima i zahtevaju pažljivo planiranje vremena tretmana, doze, formulacije i učestalosti ponovne aplikacije. Msugupakulya i sar. (2024) pokazuju da uspešnost biolarvicidnih programa ne zavisi samo od inherentne efikasnosti preparata, već i od tipa staništa, senčenja, dinamike polaganja jaja i brzine larvenog razvoja, pri čemu se kod kratkodelujućih formulacija često koristi interval ponovnog tretiranja od oko nedelju dana, upravo zbog ograničenog rezidualnog efekta. Slično tome, CDC (2024) naglašava da je larvalna kontrola najefikasnija kada su staništa malobrojna, stabilna i lako dostupna, dok je njen učinak znatno manji kada su legla brojna, rasuta i privremena.

Važan praktični problem predstavlja i jaz između laboratorijske i terenske efikasnosti. U kontrolisanim uslovima moguće je obezbediti optimalnu koncentraciju aktivne supstance, homogenu raspodelu u medijumu i minimalan uticaj spoljašnjih faktora, dok su u realnim staništima larve izložene složenoj kombinaciji ekoloških i fizičko-hemijskih uticaja. Rique i sar. (2024) pokazuju da i kod dugodelujućih mikrobni larvicida na bazi kombinacije *Bti* i *L. sphaericus* efikasnost i trajanje delovanja značajno zavise od uslova na terenu i tipa ciljne vrste, dok Hong i sar. (2025) ukazuju da organsko opterećenje vode, temperatura, pH, insolacija i karakteristike staništa mogu snažno modifikovati biološki odgovor tretiranih organizama. Upravo zbog toga se savremena istraživanja sve više pomeraju od pukog testiranja aktivne komponente ka razvoju kompleksnih formulacija prilagođenih stvarnim uslovima primene.

Najzad, iako se biolarvicidi često ističu kao bezbedniji i održiviji, njihov razvoj i šira primena i dalje su suočeni sa formulacionim, regulatornim i evaluacionim izazovima. Karaoglan i sar. (2024) ukazuju da su upravo mikrobiološki pesticidi specifični kada je reč o testiranju bezbednosti za neciljane organizme i proceni rizika, što može usporiti proces registracije i standardizacije. Uz to, Papadopoulou i sar. (2025) naglašavaju da će budućnost mikrobni sredstava za zaštitu zavisiti od sposobnosti da se prevaziđu problemi stabilnosti, konzistentnosti učinka i pouzdane terenske validacije. Zbog svega navedenog, savremeni razvoj biolarvicida sve manje se zasniva samo na izboru biološki aktivnog

agensa, a sve više na integraciji mikrobiologije, tehnologije formulacija, ekologije i drugih nauka. Upravo u tom okviru postaje jasno zašto su fotostabilnost i zaštita od UV degradacije postali jedno od centralnih pitanja u razvoju biolarvicida sledeće generacije.

UV zračenje kao ključni faktor degradacije biolarvicida

Među faktorima koji neposredno određuju funkcionalnu postojanost biolarvicida nakon aplikacije, UV zračenje zauzima posebno mesto jer deluje direktno na aktivne biološke komponente preparata i time ubrzava gubitak njihove insekticidne vrednosti. Kod formulacija zasnovanih na *Bacillus thuringiensis* (*Bt*), sunčevo zračenje dovodi do degradacije i spora i kristalnih proteinskih toksina, pa se smanjenje efikasnosti ne ispoljava samo kroz pad vijabilnosti bakterijskih ćelija, već i kroz slabljenje biološke aktivnosti aktivne materije kao celine. Upravo zato se UV stabilnost danas smatra jednim od centralnih parametara kvaliteta i upotrebne vrednosti biolarvicidnih formulacija (Nascimento i sar., 2022; Jalali i Maghsoudi, 2024).

Problem fotolabilnosti je naročito izražen kod mikrobnih insekticida zato što su njihove aktivne komponente po prirodi osetljive na spoljašnje energetske uticaje. Analize razvoja *Bt* formulacija pokazuju da su, uprkos dugogodišnjem tehnološkom unapređivanju, UV zračenje, temperatura i druge abiotičke sile i dalje među glavnim ograničenjima njihove stabilnosti u primeni. U tom smislu, UV degradacija ne predstavlja samo fizičko-hemijski proces raspadanja preparata, već i funkcionalni gubitak biološke raspoloživosti toksina, skraćanje vremena delovanja i brže opadanje larvicidne aktivnosti nakon izlaganja sunčevoj svetlosti.

Značaj ovog problema jasno potvrđuju eksperimentalni podaci. U radu Jalali i Maghsoudi (2024), nezaštićena *Bt* formulacija zadržala je svega 31,25% vijabilnosti spora nakon 96 h UV izlaganja, dok je mikroenkapsulisana formulacija sa sumpornim kvantnim tačkama zadržala 57,77% vijabilnosti, uz istovremeno višu larvicidnu aktivnost; mortalitet larvi iznosio je 71,22% kod zaštićene formulacije, naspram 38,42% kod slobodne, nezaštićene formulacije. Ovi rezultati pokazuju da UV degradacija nije marginalan gubitak stabilnosti, već proces koji može gotovo prepoloviti očuvanje aktivne komponente i snažno umanjiti biološki učinak preparata ukoliko zaštitna matrica nije prisutna.

Sličan obrazac zabeležen je i kod drugih proteinskih insekticidnih sistema. Palma i sar. (2024) pokazali su da je izlaganje UV zračenju drastično povećalo LC_{50} vrednost prečišćenog Vip3Ag4 proteina, sa približno 28 ng/cm² na 518 ng/cm², što ukazuje na snažan pad insekticidne aktivnosti nakon fotodegradacije. Kada je isti protein bio inkapsuliran u ćelijskom sistemu *Bacillus megaterium*, zabeležena je umerena fotoprotekcija, ali je i dalje bilo jasno da UV zračenje direktno narušava biološku funkcionalnost proteinskih insekticidnih agenasa. Ovaj nalaz je metodološki važan jer potvrđuje da fotolabilnost nije ograničena samo na klasične *Bt* spora – kristal formulacije, već predstavlja širi problem za biološke insekticidne molekule i njihove nosače.

U praktičnom smislu, posledica UV degradacije nije samo kraće trajanje proizvoda na osvetljenoj površini, već i promena odnosa između nominalne i stvarno dostupne doze aktivne materije. To znači da formulacija može formalno sadržati dovoljnu količinu aktivnog agensa, ali da nakon izlaganja sunčevoj svetlosti raspoloživa koncentracija toksina i broj funkcionalnih mikrobnih jedinica brzo opadnu ispod nivoa potrebnog za pouzdan larvicidni efekat. Upravo zbog toga savremena formulaciona istraživanja teže da UV zaštitu posmatraju ne kao dodatni tehnološki bonus, već kao sastavni deo dizajna preparata. Nano-nosači, mikroenkapsulacija, Pickering emulzije, polimerne matrice i drugi sistemi kontrolisanog oslobađanja razvijaju se upravo sa ciljem da se umanji fotoliza, produži prisustvo aktivne materije i obezbedi stabilniji biološki odgovor tokom vremena.

Posebno je važno što savremeni pristupi UV zaštiti ne deluju isključivo pasivnim „zaklanjanjem” aktivne materije, već često istovremeno poboljšavaju i druge funkcionalne osobine formulacije. Wu i sar. (2025) pokazali su da su hitozanske Pickering mikroemulzije mikrokapsule, pored zaštite od UV zračenja, obezbedile i bolju suspenzionu stabilnost, održano oslobađanje aktivnih komponenti i produženo zadržavanje *Bt* u sredini pogodnoj za razvoj larvi komaraca. U istom pravcu, Zhao i sar. (2025) su pokazali da određene kombinacije đubriva i huminskih komponenti mogu podstaći formiranje biofilma i time povećati UV otpornost i insekticidnu aktivnost *Bt* vlaživih praškova (WP). Takvi rezultati pokazuju da fotostabilnost treba posmatrati kao deo šire funkcionalne arhitekture formulacije, a ne kao izolovanu osobinu jednog dodatka.

Shodno tome, UV zračenje se u razvoju biolarvicida sledeće generacije ne može tretirati samo kao spoljašnji stresor, već kao selekcionni kriterijum koji određuje koje formulacije imaju realan potencijal za efikasnu primenu. Preparat koji pokazuje visoku biološku aktivnost u odsustvu svetlosti, ali brzo gubi funkcionalnost pod UV opterećenjem, teško može zadovoljiti zahteve savremene terenske upotrebe. Zbog toga se dalji razvoj biolarvicida sve više usmerava ka formulacijama koje aktivni agens istovremeno štite, stabilizuju i postepeno oslobađaju, uz što manji ekološki trošak same zaštitne matrice. U tom okviru, održivi i unapređeni sistemi UV zaštite predstavljaju logičan sledeći korak u formulacionom razvoju i centralnu temu narednog poglavlja.

Održivi i unapređeni sistemi UV zaštite

Razvoj održivih sistema UV zaštite u formulaciji biolarvicida danas se zasniva na promeni samog formulacionog koncepta: umesto da se aktivnoj komponenti naknadno dodaje pojedinačni zaštitni aditiv, savremeni pristupi teže projektovanju nosača u kojima je fotoprotekcija ugrađena u samu arhitekturu preparata. Kako ističu Gallucci i sar. (2025), u agroformulacijama nove generacije održive *delivery* strategije sve se češće oslanjaju na biozasnovane i višefunkcionalne matrice koje istovremeno obezbeđuju fizičku stabilnost, kontrolisano oslobađanje i veću otpornost aktivne supstance na spoljašnje stresore. U tom

okviru, mikroenkapsulacija predstavlja jedan od centralnih pravaca razvoja, jer omogućava da se biološki aktivni agensi prostorno odvoji od spoljašnje sredine zaštitnim omotačem, pri čemu se istovremeno mogu regulisati stabilnost, disperzija i kinetika oslobađanja. Coelho i sar. (2025) pokazuju da je upravo enkapsulacija postala jedna od najvažnijih tehnoloških platformi za unapređenje bakterijskih i gljivičnih biopesticida, naročito kada je cilj očuvanje vijabilnosti i funkcionalnosti tokom skladištenja i primene. U tom smislu, zaštitna matrica nije samo fizička barijera, već aktivni deo formulacije koji određuje ponašanje preparata nakon aplikacije.

Posebno su značajne biopolimerne matrice zasnovane na polisaharidima, jer omogućavaju formiranje zaštitnih omotača uz manju potrebu za sintetičkim pomoćnim komponentama. Među njima se naročito izdvaja hitozan, koji zahvaljujući sposobnosti formiranja filmova, gelova, mikro- i nanočestica pruža široke mogućnosti za izradu formulacija sa poboljšanom stabilnošću i kontrolisanim oslobađanjem. Upravo zato se hitozan sve češće koristi kao osnovni strukturni element zaštitnih sistema za biološke agense, a ne samo kao pomoćni aditiv, jer može doprineti i stabilnosti disperzije i funkcionalnoj organizaciji aktivne komponente unutar formulacije (Coelho i sar., 2025).

Dalji tehnološki iskorak predstavljaju Pickering emulzioni sistemi, kod kojih se stabilnost interfejsa postiže čvrstim česticama, a ne konvencionalnim surfaktantima. Ovakva organizacija sistema je važna zato što omogućava robusniju strukturu nosača, finiju kontrolu raspodele aktivne komponente i stabilnije ponašanje formulacije tokom skladištenja i primene. Na primeru *Bacillus thuringiensis*, Wu i sar. (2025) su pokazali da hitozanske Pickering dvostruke emulzije mikrokapsule mogu istovremeno unaprediti UV stabilnost i perzistentnost preparata, čime potvrđuju da ovakvi sistemi imaju praktičnu vrednost u razvoju biolarvicida namenjenih realnim uslovima primene.

Pored polisaharidnih nosača, sve veći značaj dobijaju lignin i ligninski derivati, jer objedinjuju strukturnu i funkcionalnu ulogu u istoj formulaciji. Zahvaljujući aromatičnoj prirodi i prisustvu fenolnih grupa, lignin poseduje inherentna UV-apsorbirajuća i antioksidativna svojstva, zbog čega može doprineti zaštiti fotosenzitivnih aktivnih komponenti, a istovremeno ostati obnovljiv i biodegradabilan materijal. Meng i sar. (2025) upravo zato lignin-bazirane mikrokapsule izdvajaju kao perspektivnu platformu za pesticide, dok širi pregled funkcionalizacije lignina koji daju Ma i sar. (2025) pokazuje da se ovaj biopolimer sve više razvija kao aktivni materijal, a ne samo kao inertni nosač. Značajno je i to što se lignin danas retko posmatra izolovano. Savremeni formulacioni pristupi sve češće idu ka kompozitnim sistemima u kojima se lignin kombinuje sa drugim biopolimerima ili funkcionalnim česticama kako bi se istovremeno optimizovali mehanička stabilnost i oslobađanje aktivne materije. Takav pristup je važan jer omogućava da UV zaštita bude deo ukupne performanse formulacije, a ne zasebna osobina koja se naknadno dodaje preparatu (Meng i sar., 2025; Gallucci i sar., 2025).

Poseban pravac razvoja predstavljaju prirodni pigmenti i bioinspirisani fotoprotektivni agensi. U toj grupi melanin privlači naročitu pažnju, jer prema analizi Muñoz-Torres i sar. (2024) poseduje širokopojasnu apsorpciju UV zračenja i izražen fotoprotektivni potencijal, dok se istovremeno može posmatrati kao biološki kompatibilna i održiva komponenta zaštitnih sistema. Dodatno, pregled bioloških pigmenata koji daju Singh i sar. (2025) potvrđuje da melanin u mikroorganizmima ima važnu ulogu u odgovoru na UV stres, što ga čini posebno zanimljivim kandidatom za formulacije u kojima je potrebna kombinacija fotoprotekcije i biološke prihvatljivosti.

Ipak, pravac razvoja ne vodi ka traženju jednog univerzalnog zaštitnog materijala. Naprotiv, najperspektivniji sistemi danas su višekomponentni i hijerarhijski organizovani, tako da biopolimerna matrica obezbeđuje inkapsulaciju, pigmentna ili aromatična komponenta doprinosi fotoprotekciji, a strukturni elementi formulacije regulišu ponašanje preparata tokom skladištenja i nakon aplikacije. Zbog toga se koncept održive UV zaštite u biolarvicidima sve više udaljava od klasične formulacije sa „dodatkom zaštitnog sredstva” i prelazi ka integrisanom dizajnu funkcionalnih nosača, što Gallucci i sar. (2025) prepoznaju kao jedno od ključnih obeležja agroformulacija nove generacije.

U tom smislu, održivi i unapređeni sistemi UV zaštite ne predstavljaju samo tehničko poboljšanje postojećih preparata, već osnovu za razvoj biolarvicida kod kojih će formulaciona matrica imati jednako važnu ulogu kao i sam aktivni agens. Upravo na toj integraciji biološke aktivnosti, materijalne funkcionalnosti i ekološke prihvatljivosti zasniva se prelaz ka biolarvicidima sledeće generacije.

Biolarvicidi sledeće generacije: pravci razvoja i moguća rešenja

Prvi važan pravac razvoja odnosi se na širenje spektra aktivnih mikrobioloških agenasa izvan danas dominantnih sistema zasnovanih na *Bacillus thuringiensis* var. *israelensis* i *Lysinibacillus sphaericus*. Iako ovi agensi i dalje predstavljaju osnovu komercijalnih biolarvicida, Beltrán Pineda i sar. (2025) ukazuju da je oslanjanje na ograničen broj bakterijskih platformi dugoročno razvojno usko grlo, te da je neophodno intenzivirati istraživanja alternativnih entomopatogenih bakterija i njihovih metabolita. Slično tome, Hong i sar. (2025) naglašavaju da entomopatogene gljive, virusi i novi mikrobnii izolati predstavljaju važan rezervoar kandidata za razvoj novih larvicidnih proizvoda, naročito u kontekstu potrebe za većom biološkom raznovrsnošću aktivnih sistema.

Drugi pravac razvoja podrazumeva prelazak sa jednokomponentnih preparata na multifunkcionalne formulacije u kojima se aktivni agens kombinuje sa komponentama koje unapređuju njegovu raspodelu, perzistentnost i dostupnost ciljnom organizmu. U toj logici, formulacija više nije samo nosač aktivne materije, već aktivni činilac ukupnog biološkog učinka. Hong i sar. (2025) posebno ističu značaj sinergističkih kombinacija mikroorganizama i drugih sredstava kontrole, jer takvi pristupi mogu povećati efikasnost i istovremeno doprineti usporavanju razvoja rezistencije. Ovakav razvojni pravac je važan i zato što

omogućava da se različiti mehanizmi delovanja objedine u jednoj strategiji, čime se povećava robusnost preparata u složenim uslovima primene.

Treći važan pravac jeste optimizacija same forme proizvoda za konkretne operativne scenarije. Podaci koje iznose Asgarian i sar. (2025) pokazuju da različite *Bt* formulacije ne daju iste rezultate u poluterenskim uslovima, pri čemu su vlaživi praškovi u njihovom istraživanju pokazali veću efikasnost i bolju rezidualnu aktivnost od granula i suspenzija. Ovakvi nalazi ukazuju da razvoj biolarvicida sledeće generacije mora biti usmeren i na izbor odgovarajuće formulacione forme za specifičan tip staništa, režim tretmana i logističke uslove primene. Drugim rečima, inovacija ne podrazumeva samo „novi sastav“, već i bolje usklađivanje proizvoda sa realnim obrascima upotrebe.

Posebno značajno rešenje za budući razvoj predstavlja lokalna i regionalna proizvodnja biolarvicida, jer ona može povećati dostupnost preparata, smanjiti troškove lanca snabdevanja i olakšati prilagođavanje proizvoda lokalnim potrebama. Primer velikih programa larvicidinga u Tanzaniji pokazuje da domaća proizvodnja bakterijskih biolarvicida može biti integrisana u šire javnozdravstvene programe, uz operativnu primenu u urbanim i ruralnim sredinama. Gavana i sar. (2025) ukazuju da ovakav model ima značaj ne samo sa tehnološkog, već i sa strateškog stanovišta, jer povezuje razvoj proizvoda sa kapacitetom sistema da ga kontinuirano koristi na terenu. U tom smislu, biolarvicidi sledeće generacije neće zavisiti samo od laboratorijske inovacije, već i od mogućnosti njihove pouzdane i ekonomski održive proizvodnje.

Četvrti pravac razvoja odnosi se na integraciju biolarvicida u šire sisteme upravljanja vektorima i štetnim insektima. Budući preparati moraće da budu projektovani tako da se mogu uklapati u kombinovane strategije koje uključuju monitoring larvalnih staništa, ciljano tretiranje, praćenje efikasnosti i prilagođavanje režima primene tokom vremena. Hong i sar. (2025) naglašavaju da dugoročna održivost biološke kontrole zavisi upravo od ovakvog integrisanog pristupa, jer izolovana upotreba pojedinačnog sredstva teško može odgovoriti na prostornu i vremensku heterogenost ciljnih populacija. Stoga se kao jedno od ključnih rešenja nameće razvoj biolarvicida koji su kompatibilni sa programima integralnog upravljanja, a ne samo efikasni u pojedinačnom bioeseju.

Peto, budući razvoj mora ozbiljno uključiti strategije upravljanja rezistencijom. Iako se biolarvicidi često posmatraju kao povoljnija alternativa sintetičkim insekticidima, njihova šira i dugotrajnija primena zahteva razmišljanje o očuvanju efikasnosti aktivnih agenasa kroz vreme. Hong i sar. (2025) ukazuju da kombinovanje različitih mikroorganizama ili mehanizama delovanja može doprineti smanjenju selekcionog pritiska, dok razvoj novih bakterijskih platformi, na koji ukazuju Beltrán Pineda i sar. (2025), otvara prostor za diverzifikaciju aktivnih osnova budućih proizvoda. Zbog toga se biolarvicidi sledeće generacije moraju razvijati ne samo kao efikasni, već i kao evolutivno održivi sistemi kontrole.

Najzad, jedan od centralnih pravaca razvoja odnosi se na pomeranje fokusa sa isključivo laboratorijske potvrde ka snažnijoj terenskoj i poluterenskoj

validaciji. Rezultati Asgarian i sar. (2025) jasno pokazuju da razlike među formulacijama postaju posebno vidljive upravo u uslovima koji bolje odražavaju realnu primenu, dok podaci Gavana i sar. (2025) potvrđuju da se operativna vrednost proizvoda mora procenjivati i u kontekstu programa velikih razmera. Iz tog razloga, moguća rešenja za budućnost ne treba tražiti samo u otkrivanju novih agenasa, već i u standardizovanijem prelazu od laboratorijskog testiranja ka polju, uz jasnije kriterijume za procenu rezidualnog delovanja, stabilnosti i praktične korisnosti preparata. Upravo na toj osnovi biolarvicidi sledeće generacije mogu postati pouzdaniji, primenljiviji i tehnološki zreliji alati savremene kontrole larvi.

ZAKLJUČAK

Biolarvicidi predstavljaju važnu komponentu savremenih strategija kontrole larvi, posebno u uslovima kada se od mera suzbijanja istovremeno očekuju visoka efikasnost, selektivnost i smanjen pritisak na životnu sredinu. Njihov značaj ne proizlazi samo iz mogućnosti da zamene deo konvencionalnih hemijskih larvicida, već i iz činjenice da omogućavaju preciznije, biološki usmerenije i održivije intervencije u okviru integrisanih programa kontrole. Međutim, dosadašnje iskustvo pokazuje da njihova praktična vrednost ne zavisi isključivo od inherentne aktivnosti mikroorganizma ili toksina, već u velikoj meri i od sposobnosti preparata da zadrži funkcionalnost u realnim uslovima primene.

Upravo se u tom kontekstu UV zračenje izdvaja kao jedan od ključnih ograničavajućih faktora. Fotodegradacija može značajno umanjiti stabilnost i biološku raspoloživost aktivnih komponenti, čime se skraćuje rezidualno delovanje i smanjuje pouzdanost biolarvicida nakon aplikacije. Zbog toga razvoj savremenih preparata sve više prevazilazi klasičan koncept biološkog agensa kao nosioca ukupne efikasnosti i uključuje formulacioni dizajn kao ravnopravan element uspeha proizvoda.

Održivi i unapređeni sistemi UV zaštite, zasnovani na mikroenkapsulaciji, biopolimernim matricama, lignin-baziranim nosačima i prirodnim fotoprotektivnim komponentama, otvaraju mogućnost da se biolarvicidi razvijaju kao tehnološki složeniji i funkcionalno pouzdaniji proizvodi. Na toj osnovi nastaje koncept biolarvicida sledeće generacije, u kome se biološka aktivnost, stabilnost, kontrolisano oslobađanje i ekološka prihvatljivost ne posmatraju odvojeno, već kao međusobno povezane osobine jedinstvene formulacije.

Dalji napredak u ovoj oblasti zavisice od uspešnog povezivanja mikrobiologije, tehnologije, terenske validacije i operativne primene. Samo takav integrisani pristup može omogućiti razvoj biolarvicida koji neće biti efikasni samo u laboratorijskim uslovima, već i dovoljno stabilni, primenljivi i održivi za širu upotrebu u savremenim programima kontrole larvi. U tom smislu, biolarvicidi sledeće generacije sa unapređenim sistemima UV zaštite predstavljaju jedan od najperspektivnijih pravaca daljeg razvoja održive kontrole vektora i drugih štetnih insekata.

Zahvalnica

Ovaj rad je nastao u okviru postdoktorskog projekta Z4-70157 *“Optimization of melanin production from fungi for enhanced UV protection in bioinsecticides based on Bacillus thuringiensis – MelPro-Bt”*, koji finansira Javna agencija za znanstvenoraziskovalnu in inovacijsko dejavnost Republike Slovenije (ARIS).

LITERATURA

1. Anjaneyulu, B., Chauhan, V., Mittal, C., & Afshari, M. (2024). Innovative nanocarrier systems: A comprehensive exploration of recent developments in nano-biopesticide formulations. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 12, 113693.
2. Asgarian, T. S., et al. (2025). Evaluating the larvicidal effect of *Bacillus thuringiensis* M-H-14 on *Aedes aegypti* larvae under laboratory and semi-field conditions. *Scientific Reports*.
3. Cai, P., Matus, C., Larrain, P., Basso, C., & Castañé, C. (2025). *Microbial biopesticides: A One Health perspective on benefits and risks in the Americas and Europe*. *One Health*, 20, 100983.
4. CDC. (2024). *Larval Source Management and Other Vector Control Interventions*. Centers for Disease Control and Prevention.
5. Coelho, C. C. de S., Silva, T. B. M., Lima, A. C. P., Mota, M. F. dos S., Cortes, M. V. de C. B., Manoel, E. A., Cavalcanti, E. d'A. C., Guimarães Freire, D. M., Freitas-Silva, O., & Cipolatti, E. P. (2025). The role of encapsulation in promoting fungi and bacteria as biopesticides: Insights from a bibliometric review. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 61, 103802.
6. EFSA. (2025). *Environmental risk assessment of pesticides*. European Food Safety Authority.
7. EPA. (2025a). *What are biopesticides?* United States Environmental Protection Agency.
8. EPA. (2025b). *Biopesticides*. United States Environmental Protection Agency.
9. European Commission. (2024). *Guidance on the risk assessment of metabolites produced by microorganisms used in plant protection products*. European Commission, Directorate-General for Health and Food Safety.
10. FAO. (2018). *Manual on development and use of FAO and WHO specifications for pesticides: Section 9, Specification guidelines for microbial pesticides*. Food and Agriculture Organization of the United Nations / World Health Organization.
11. FAO. (2023). *Registration of microbials*. FAO Pesticide Registration Toolkit.
12. Gallucci, N., De Cristofaro, I., Krauss, I. R., D'Errico, G., & Paduano, L. (2025). Eco-sustainable delivery strategies to drive agriculture forward. *Current Opinion in Colloid & Interface Science*, 77, 101917.
13. Gavana, T., et al. (2025). Laboratory efficacy of Bactivec® and Griselesf® against mosquito larvae. *Frontiers in Malaria*.
14. Hong, G., Yu, L., Ji, H., Cao, Y., He, Z., Liu, C., Xia, Y., & Peng, G. (2025). Microbiological control for mosquito larvae: Current progress and applications. *Virulence*, 16(1), 2569999.
15. Jalali, E., & Maghsoudi, S. (2024). Enhancing UV radiation protection of *Bacillus thuringiensis* formulations using sulfur quantum dots: Synthesis and efficacy evaluation. *Scientific Reports*, 14, 68595.
16. Kahar, N., Akbar, M. A., & Yusoff, N. A. (2025). The role of UV absorbers in preventing photo-degradation and increasing lifespan of pesticides. *Discover Environment*, 3, 320.
17. Karaoğlu, B., et al. (2024). Microbial pesticides: challenges and future perspectives for risk assessment. *Environmental Sciences Europe*, 36, Article 118.
18. Ma, N., Zhang, H., Zhao, J., et al. (2025). The developments in modifying functionality of lignin and its composites. *International Journal of Biological Macromolecules*.
19. Mapua, S. A., et al. (2024). Empowering rural communities for effective larval source management: A small-scale field evaluation of a community-led larviciding approach to control malaria in south-eastern Tanzania. *International Journal for Parasitology: Parasites and Wildlife*, 25, 100947.

20. Mawcha, K. T., et al. (2025). Recent advances in biopesticide research and development for sustainable agriculture. *Journal of Xenobiotics*.
21. Meng, L., Liu, K., Yang, G., & Chen, J. (2025). Lignin-based microcapsule for pesticide delivery: A review. *International Journal of Biological Macromolecules*, 331, 148393.
22. Msugupakulya, B. J., et al. (2024). Influence of larval growth and habitat shading on retreatment frequencies of biolarvicides against malaria vectors. *Scientific Reports*, 14, Article 51152.
23. Muñoz-Torres, P., Cárdenas-Ninasivincha, S., & Aguilar, Y. (2024). Exploring the agricultural applications of microbial melanin. *Microorganisms*, 12(7), 1352.
24. Nascimento, J. do, Polanczyk, R. A., & Tavares, W. S. (2022). Adoption of *Bacillus thuringiensis*-based biopesticides in agricultural systems and new approaches to improve their use in Brazil. *Crop Protection*, 157, 105954.
25. Palma, L., Ruiz de Escudero, I., Mañeru-Oria, F., Berry, C., & Caballero, P. (2024). UV protection and insecticidal activity of microencapsulated Vip3Ag4 protein in *Bacillus megaterium*. *Toxicon*, 244, 107807.
26. Papadopoulou, K. K., et al. (2025). Benefits and challenges of upcoming microbial plant protection products. *iScience*.
27. Rique, H. L., Melo-Santos, M. A. V., Guedes-Miranda, H. S., & Silva-Filha, M. H. N. L. (2024). Evaluation of a long-lasting microbial larvicide against *Culex quinquefasciatus* and *Aedes aegypti* under laboratory and a semi-field trial. *Parasites & Vectors*, 17, 465.
28. Singh, D., Sharma, A., et al. (2025). The amazing world of biological pigments: A review on sources, properties and applications. *International Journal of Biological Macromolecules*.
29. Verma, M. L., Kumar, A., Chintagunta, A. D., Samudrala, P. J. K., Bardin, M., & Lichtfouse, E. (2024). Microbial production of biopesticides for sustainable agriculture. *Sustainability*, 16(17), 7496.
30. WHO. (1999). *Guideline specifications for bacterial larvicides for public health use*. World Health Organization.
31. WHO. (2024). *Dengue – global situation*. World Health Organization.
32. WHO. (2024). *Vector control*. World Health Organization.
33. WHO. (2025). *Dengue and severe dengue*. World Health Organization.
34. Wu, H., Du, X., Guo, X., Cai, J., Chen, H., Chen, C., Shi, Y., Zhang, Y., Pan, X., Guan, X., & Zhang, L. (2025). Chitosan-based Pickering double emulsion microcapsules improve the UV stability and the persistence of *Bacillus thuringiensis* on mosquito control. *Carbohydrate Polymers*, 356, 123842.
35. Zhao, F., Zhang, Y., Li, X., et al. (2025). Enhancing *Bacillus thuringiensis* performance: Fertilizer-driven improvements in biofilm formation, UV protection, and pest control efficacy. *Microorganisms*, 13(3), 499.

Originalni naučni rad DOI: 10.5937/DDD26113P

LARVICIDNI POTENCIJAL ZEMLJIŠNIH IZOLATA *BACILLUS THURINGIENSIS* PROTIV KOMARACA *CULEX PIPIENS*

LARVICIDAL POTENTIAL OF SOIL ISOLATES OF *BACILLUS THURINGIENSIS* AGAINST *CULEX PIPIENS* MOSQUITOES

*Branislav Pešić*¹

Kratak sadržaj

Komarci iz kompleksa *Culex pipiens* imaju značajnu ulogu u prenosu patogena ljudi i životinja, zbog čega kontrola njihovih larvenih stadijuma predstavlja važan segment savremenih strategija biološkog suzbijanja. U ovom istraživanju ispitivan je larvicidni potencijal zemljišnih izolata bakterije *Bacillus thuringiensis* poreklom iz različitih prirodno-geografskih regija Slovenije. Iz ukupno 12 uzoraka zemljišta izolovano je 77 bakterijskih izolata, od kojih je 16 molekularno potvrđeno kao *B. thuringiensis*. Nakon procene sposobnosti sporulacije i prisustva kristalnih proteinskih inkluzija, devet izolata odabrano je za biotestove na larvama drugog larvenog stadijuma vrste *Culex pipiens*. Rezultati su pokazali izraženu varijabilnost larvicidne aktivnosti među ispitivanim izolatima. Najveću efikasnost ispoljili su izolati Bt-25, Bt-68 i Bt-70, koji su izazvali 100% smrtnost larvi, pri čemu je izolat Bt-70 dostigao potpun efekat već nakon 24 časa, uporedivo sa pozitivnom kontrolom. Statistička analiza potvrdila je visoko značajne razlike između tretmana (Kruskal–Wallis test, $p < 0,001$). Dobijeni rezultati ukazuju da lokalni zemljišni izolati *B. thuringiensis* predstavljaju značajan resurs za identifikaciju visoko aktivnih sojeva i osnovu za dalji razvoj bioloških larvicida namenjenih kontroli komaraca.

Ključne reči: *Bacillus thuringiensis*, biološka kontrola, *Culex pipiens*, larvicidi, kristalni proteini

Abstract

Mosquitoes of the *Culex pipiens* complex play an important role in the transmission of pathogens affecting humans and animals, which makes the control of their larval stages an important component of modern biological control strategies. This study investigated the larvicidal potential of soil isolates of *Bacillus thuringiensis* originating from different natural-geographical regions of Slovenia. A total of 77 bacterial isolates were obtained from 12 soil samples, of which 16 were molecularly confirmed as *B. thuringiensis*. After assessing sporulation capacity and the presence of crystal protein inclusions, nine isolates were selected for bioassays on

¹ Dr sci. vet. med. Branislav Pešić, Kmetijski inštitut Slovenije, Ljubljana, Slovenija

* e-mail kontakt osobe: branislav.pesic@kis.si

second-instar larvae of Culex pipiens. The results revealed pronounced variability in larvicidal activity among the tested isolates. The highest efficacy was observed in isolates Bt-25, Bt-68, and Bt-70, all of which caused 100% larval mortality, while Bt-70 achieved complete efficacy within 24 hours, comparable to the positive control. Statistical analysis confirmed highly significant differences among treatments (Kruskal–Wallis test, $p < 0.001$). The obtained results indicate that local soil isolates of B. thuringiensis represent an important resource for the identification of highly active strains and a basis for the further development of biological larvicides intended for mosquito control.

Keywords: *Bacillus thuringiensis, biological control, Culex pipiens, crystal proteins, larvicides*

UVOD

Komarci predstavljaju jednu od najznačajnijih grupa insekata sa aspekta javnog zdravlja, jer brojne vrste učestvuju u održavanju i prenosu patogena ljudi i životinja. U okviru te grupe, kompleks vrste *Culex pipiens* ima poseban značaj zbog široke rasprostranjenosti, ekološke prilagodljivosti i uloge u transmisiji različitih arbovirusa i drugih patogena, naročito u umerenim klimatskim područjima Evrope i Mediterana (Farajollahi i sar., 2011; Brugman i sar., 2018). Pored epidemiološkog značaja, masovna pojava larvi i adultnih formi komaraca predstavlja i ozbiljan ekološki i komunalni problem, zbog čega je razvoj efikasnih i održivih mera suzbijanja od velikog značaja.

Konvencionalna kontrola komaraca dugo se oslanjala na primenu hemijskih insekticida, ali njihova intenzivna i često neselektivna upotreba dovela je do brojnih ograničenja, uključujući razvoj rezistentnosti kod ciljanih populacija, negativan uticaj na neciljane organizme i rastuće regulatorne i ekološke zahteve za smanjenje njihove upotrebe (Benelli i Beier, 2017; Cholvi i sar., 2026). Zbog toga se sve više pažnje usmerava ka biološkim agensima koji omogućavaju selektivnije i ekološki prihvatljivije suzbijanje larvi komaraca u akvatičnim staništima.

Jedan od najvažnijih mikrobioloških agenasa u biološkoj kontroli insekata je bakterija *Bacillus thuringiensis* Berliner, sporogena, Gram-pozitivna bakterija iz zemljišta poznata po sposobnosti stvaranja parasporalnih kristala tokom sporulacije. Ovi kristali sadrže insekticidne proteine, prvenstveno Cry i Cyt toksine, koji nakon ingestije u digestivnom traktu osetljivih larvi dovode do poremećaja integriteta epitela srednjeg creva, paralizuje digestivnog sistema i uginuća insekta (Schnepf i sar., 1998; Palma i sar., 2014; Silva-Filha i sar., 2021). Upravo zbog visoke specifičnosti i efikasnosti prema određenim grupama insekata, *B. thuringiensis* zauzima centralno mesto u savremenim strategijama biokontrole.

Sojevi *B. thuringiensis* aktivni prema dipterama, naročito prema larvama komaraca, imaju poseban praktični značaj. Najpoznatiji među njima je *B. thuringiensis* subsp. *israelensis* (Bti), koji se već decenijama koristi kao standardni

biolarvicid u programima suzbijanja komaraca širom sveta. Njegova efikasnost zasniva se na kompleksnom delovanju više toksina, pre svega Cry4, Cry11 i Cyt proteina, što doprinosi visokoj larvicidnoj aktivnosti i istovremeno smanjuje verovatnoću razvoja rezistentnosti u prirodnim populacijama komaraca (Lacey, 2007; Silva-Filha i sar., 2021). Iako su komercijalni Bti preparati široko zastupljeni, potraga za novim lokalnim sojevima ostaje važna, jer prirodni izolati mogu posedovati različite profile toksina, različit nivo virulentnosti i potencijal za razvoj novih, lokalno prilagođenih biolarvicida (Ma i sar., 2023).

Zemljište predstavlja jedan od najvažnijih prirodnih rezervoara bakterije *Bacillus thuringiensis*, pa je izolacija autohtonih sojeva iz različitih tipova staništa često prvi korak u razvoju novih bioloških insekticida. Učestalost, diverzitet i insekticidni potencijal izolata mogu zavisiti od niza faktora, uključujući tip zemljišta, vegetacijski pokrivač, klimatske uslove i lokalnu mikrobnu zajednicu. Zbog toga istraživanja usmerena na prikupljanje i karakterizaciju lokalnih *Bt* izolata imaju i fundamentalni i primenjeni značaj, posebno u kontekstu održive zaštite bilja i kontrole vektora bolesti (Travers i sar., 1987; Benelli, 2016; Hong i sar., 2025).

U ovom radu ispitivan je larvicidni potencijal zemljišnih izolata *Bacillus thuringiensis* poreklom iz različitih prirodno-geografskih regija Slovenije. Uzorci zemljišta prikupljeni su iz obpanonske, predalpske, primorske, dinarsko-kraške i alpske regije, sa ciljem izolacije autohtonih sporogenih bakterija. Nakon morfološke i molekularne identifikacije izolata, izdvojeni su sojevi sa potvrđenom pripadnošću vrsti *B. thuringiensis* i sa prisutnim kristalnim proteinima, a zatim je ispitana njihova aktivnost prema larvama komarca *Culex pipiens* u laboratorijskim uslovima. Cilj istraživanja bio je da se proceni da li lokalni izolati *Bt* iz zemljišta Slovenije predstavljaju perspektivan izvor biološki aktivnih sojeva za potencijalnu primenu u kontroli komaraca.

MATERIJAL I METODE

Uzorkovanje zemljišta

Uzorci zemljišta prikupljeni su na 12 lokaliteta raspoređenih u pet prirodno-geografskih regija Slovenije: obpanonskoj, predalpskoj, primorskoj, dinarsko-kraškoj i alpskoj regiji. Uzorkovanje je obavljeno na različitim tipovima zemljišta, uključujući obradive površine, vinograde, maslinjake, šumska staništa i livade. Uzorci su uzimani sterilnom lopaticom sa dubine od 5 do 10 cm, pri čemu je alat dezinfikovao 70% etanolom nakon svakog uzorkovanja. Prikupljeno zemljište je odlagano u sterilne ZIP kese, transportovano u ručnom hladnjaku na oko 4 °C i čuvano u laboratorijskom frižideru do dalje obrade. Lokaliteti uzorkovanja bili su: Ankaran, Podvrh, Kojsko, Koper, Cerovec, Studenec, Hruševica, Kočevje, Kamnik, Kranjska Gora, Maribor i Verače.

Izolacija bakterijskih sojeva iz zemljišta

Za izolaciju sporogenih bakterija iz zemljišta primenjena je modifikovana metoda po Travers i sar. (1987). Jedan gram zemljišta suspendovan je u 9 ml sterilnog fosfatnog pufera, homogenizovan vorteksiranjem, a zatim termički tretiran u vodenom kupatilu na 80 °C tokom 20 min, kako bi se eliminisale vegetativne forme bakterija i selektivno favorizovale sporogene vrste roda *Bacillus*. Nakon termičke obrade, 100 µL suspenzije zasejavano je na LB agar sa dodatkom ampicilina u koncentraciji od 100 µg/mL, a ploče su inkubirane 24 h na 30 °C.

Porasle kolonije podvrgnute su bojenju po Gramu radi potvrde gram-pozitivne, štapičaste morfologije tipične za rod *Bacillus*. Preparati su analizirani svetlosnim mikroskopom pri uveličanju 1000× uz primenu imerzionog ulja. Kao kandidati za *Bacillus thuringiensis* izdvojene su kolonije mlečno-bele do neprozirne boje, hrapave površine, nepravilnih ivica, ravne ili blago konveksne, uz mikroskopski potvrđenu gram-pozitivnu štapičastu morfologiju sa mogućom prisutnošću endospora. Na ovaj način iz uzoraka zemljišta dobijeno je ukupno 77 izolata, koji su dalje korišćeni za molekularnu identifikaciju i karakterizaciju.

Izolacija DNK i molekularna identifikacija izolata

Genomska DNK izolovana je iz svih bakterijskih izolata korišćenjem komercijalnog kompleta ZymoBIOMICS™ DNA Miniprep Kit (Zymo Research, SAD), prema uputstvu proizvođača. Kvalitet i koncentracija DNK provereni su spektrofotometrijski određivanjem odnosa A260/A280, a po potrebi i elektroforezom u 1% agaroznom gelu. Izolovana DNK čuvana je na -20 °C do dalje analize.

Za molekularnu identifikaciju korišćen je 16S rRNA gen kao standardni filogenetski marker bakterija. PCR reakcije izvođene su u ukupnoj zapremini od 25 µL i sadržavale su 12,5 µL DreamTaq Hot Start Green PCR Master Mix, po 0,5 µM univerzalnih prajmera 27F i 1492R, 1–2 µL šablonske DNK i sterilnu dejonizovanu vodu do konačne zapremine. Uslovi amplifikacije obuhvatali su inicijalnu denaturaciju na 95 °C tokom 3 min, zatim 35 ciklusa denaturacije na 95 °C tokom 30 s, annealing na 55 °C tokom 30 s i elongaciju na 72 °C tokom 1 min, uz završnu ekstenziju na 72 °C tokom 7 min. PCR produkti provereni su elektroforezom u 1% agaroznom gelu, a očekivana veličina amplikona bila je oko 1500 bp.

Očišćeni PCR produkti poslani su na sekvenciranje u laboratoriju MacroGen Inc. Dobijene sekvence analizirane su vizuelnom inspekcijom elektroferograma u programu FinchTV, zatim obrađene i poravnate u softveru MEGA 12, a taksonomska identifikacija izvršena je BLAST analizom u okviru NCBI baze podataka. Na osnovu visoke identičnosti sekvenci sa referentnim zapisima, 16 izolata potvrđeno je kao *Bacillus thuringiensis*.

Sporulacija, detekcija kristalnih proteina i selekcija sojeva

Šesnaest molekularno potvrđenih izolata *B. thuringiensis* podvrgnuto je daljoj fiziološkoj karakterizaciji radi procene sposobnosti sporulacije i produkcije

kristalnih proteina. Sojevi su uzgajani na T3 sporulacionoj podlozi. Bakterije su inokulisane u tečnu T3 podlogu i inkubirane u termošejkeru na 30 °C tokom 72 h pri 120 rpm.

Nakon inkubacije izvršeno je određivanje broja spora serijskim razblaženjima u sterilnom fiziološkom rastvoru (0,85% NaCl), zasejavanjem po 100 µL odgovarajućih razblaženja na nutritivni agar i naknadnim određivanjem broja kolonija, izraženog kao CFU/mL. Prisustvo kristalnih proteinskih inkluzija proveravano je bojenjem sa Coomassie Brilliant Blue. Preparati su pripremani centrifugiranjem kultura, nanošenjem taloga na predmetna stakla, fiksacijom plamenom i bojenjem 0,1% rastvorom Coomassie Brilliant Blue R-250 u 40% metanolu i 10% sirćetnoj kiselini tokom 5 min. Nakon ispiranja, preparati su posmatrani mikroskopom sa tamnim poljem. Karakteristični bipiramidalni kristali uočeni su kod devet izolata, koji su zatim odabrani za biotestove. Odabrani izolati bili su: Bt-6, Bt-13, Bt-20, Bt-25, Bt-26, Bt-28, Bt-46, Bt-68 i Bt-70.

Biotest na larvama komarca *Culex pipiens*

Larve komaraca *Culex pipiens* dobijene su iz prirodne populacije. U dvorištu Instituta postavljene su tri plastične posude sa vodom u koje je dodat suvi biljni materijal (seno) radi privlačenja ženki za polaganje jaja. Nakon pojave čunića jaja na površini vode, one su pažljivo sakupljane i prenošene u laboratoriju. Svaki čunić stavljen je u zasebnu posudu sa destilovanom vodom, a izležene larve hranjene su hranom za akvarijumske ribice SERA Vipar.

U biotestovima su korišćene larve drugog razvojnog stadijuma (L₂). Po 25 larvi postavljano je u plastične čaše sa po 200 ml destilovane vode. U svaku čašu dodavano je po 10 µL tečne suspenzije jednog od devet izabranih Bt izolata, pri koncentraciji od 1×10^8 ćelija/ml. Ogled je za svaki izolat postavljen u četiri ponavljanja, dok je negativnu kontrolu činila destilovana voda bez dodatka bakterijske suspenzije, a pozitivna kontrola je bila sa poznatim sojem *Bacillus thuringiensis* var. *israelensis*. Smrtnost larvi praćena je u intervalima od 24 h do trenutka prelaska larvi u stadijum lutke, nakon čega više nisu bile podložne dejstvu bakterijskih toksina.

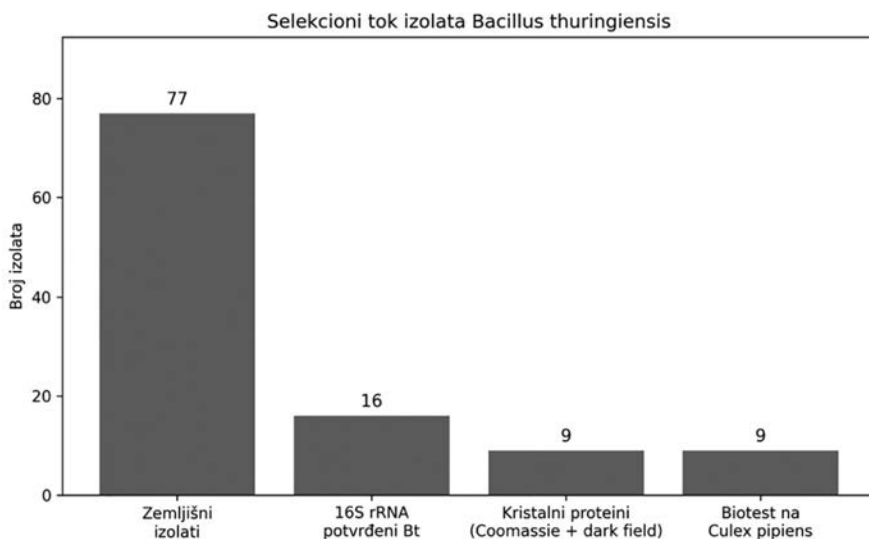
Morfološka determinacija larvi vršena je na jedinkama četvrtog larvenog stadijuma (L₄), na osnovu standardnih determinacionih ključeva za familiju *Culicidae*, uz praćenje dijagnostičkih karakteristika kao što su sifon i raspored seta na abdominalnim segmentima. Morfološka identifikacija dodatno je potvrđena molekularnom analizom primenom DNA barcodinga, amplifikacijom COI (cytochrome c oxidase subunit I) gena. U tu svrhu korišćeni su univerzalni prajmeri LCO1490 (5'-GGTCAACAAATCATAAAGATATTGG-3') i HCO2198 (5'-TA-AACTTCAGGGTGACCAAAAAATCA-3'), čime je potvrđena pripadnost ispitivanih larvi vrsti *Culex pipiens*.

Statistička obrada podataka

Podaci o smrtnosti larvi *Culex pipiens* izraženi su kao procenat uginulih jedinki po ponavljanju, pri čemu je jedno ponavljanje predstavljala jedna eksperimentalna čaša sa 25 larvi. Za svaki tretman korišćena su četiri ponavljanja. Kumulativna smrtnost praćena je tokom 1., 2., 3., 5. i 7. dana nakon tretmana, a za statističku obradu korišćene su vrednosti finalne smrtnosti sedmog dana. S obzirom na to da podaci nisu zadovoljavali pretpostavke normalne raspodele i homogenosti varijansi, razlike između tretmana analizirane su neparametarskim Kruskal-Wallis testom. Jačina efekta procenjena je izračunavanjem epsilon-kvadrat (ϵ^2) koeficijenta. Rezultati su prikazani kao srednja vrednost $\pm$ standardna devijacija (SD), a nivo statističke značajnosti postavljen je na $p < 0,05$.

REZULTATI

Iz ukupno 77 bakterijskih izolata dobijenih iz uzoraka zemljišta, molekularnom identifikacijom 16S rRNA gena potvrđeno je 16 izolata vrste *Bacillus thuringiensis*. Nakon ispitivanja sporulacije i prisustva kristalnih proteinskih inkluzija, devet izolata (Bt-6, Bt-13, Bt-20, Bt-25, Bt-26, Bt-28, Bt-46, Bt-68 i Bt-70) odabrano je za biotestove na larvama *Culex pipiens*. Tok selekcije izolata prikazan je na Slici 1.



Slika 1. Selekcioni tok izolata

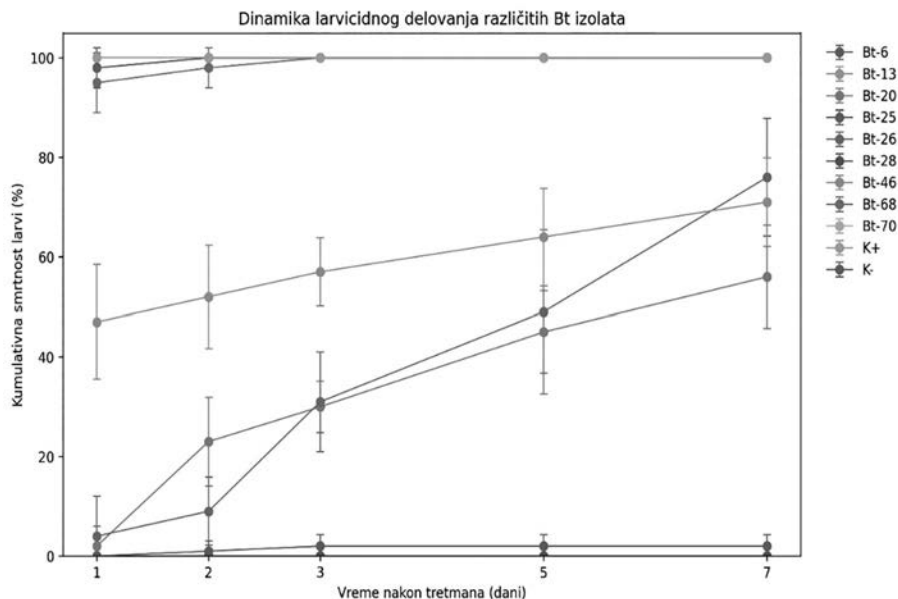
Biotestovi su pokazali izražene razlike u larvicidnoj aktivnosti između ispitivanih izolata. Najveću efikasnost pokazali su Bt-25, Bt-68 i Bt-70, koji su izazvali 100% smrtnost larvi do kraja ogleda, pri čemu su Bt-70 i pozitivna kontrola (*B. thuringiensis* var. *israelensis*) dostigli potpunu smrtnost već prvog dana. Izolat Bt-25 je prvog dana izazvao 98,0% smrtnosti, a Bt-68 95,0%, dok su oba dostigla 100% smrtnost najkasnije do trećeg dana. Izolati Bt-20, Bt-26 i Bt-46 pokazali su delimičnu do visoku larvicidnu aktivnost, sa finalnom smrtnošću od 56,0%, 76,0% i 71,0%, respektivno. Nasuprot tome, Bt-6, Bt-13 i Bt-28 nisu pokazali larvicidni efekat, slično negativnoj kontroli, kod koje je zabeležena minimalna prirodna smrtnost od 2,0%.

Statistička analiza pokazala je da su razlike između tretmana u finalnoj smrtnosti bile visoko značajne (Kruskal-Wallis test: $H=42,08$; $p<0,001$), što potvrđuje izraženu varijabilnost larvicidnog potencijala među ispitivanim zemljišnim izolatima *B. thuringiensis*. Dinamika kumulativne smrtnosti po danima prikazana je u Tabeli 1 i na Slici 2, gde se jasno izdvajaju brzo i potpuno efikasni izolati (Bt-25, Bt-68 i Bt-70), izolati sa srednjim efektom (Bt-20, Bt-26 i Bt-46), kao i neaktivni izolati (Bt-6, Bt-13 i Bt-28).

Tabela 1. Kumulativna smrtnost larvi *Culex pipiens* (%) po danima nakon tretmana različitim izolatima *Bacillus thuringiensis*

Tretman	1. dan	2. dan	3. dan	5. dan	7. dan
Bt-6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Bt-13	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Bt-20	2,0	23,0	30,0	45,0	56,0
Bt-25	98,0	100,0	100,0	100,0	100,0
Bt-26	4,0	9,0	31,0	49,0	76,0
Bt-28	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Bt-46	47,0	52,0	57,0	64,0	71,0
Bt-68	95,0	98,0	100,0	100,0	100,0
Bt-70	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
K+	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
K-	0,0	1,0	2,0	2,0	2,0

Dobijeni rezultati ukazuju da među zemljišnim izolatima *B. thuringiensis* iz Slovenije postoje sojevi sa veoma izraženim larvicidnim potencijalom prema *Culex pipiens*, pri čemu se kao najperspektivniji izdvajaju Bt-25, Bt-68 i Bt-70.



Slika 2. Dinamika larvicidnog delovanja

DISKUSIJA

Dobijeni rezultati potvrđuju da među zemljišnim izolatima *Bacillus thuringiensis* postoje značajne razlike u larvicidnoj aktivnosti prema *Culex pipiens*. Ovakva varijabilnost je očekivana, jer insekticidni potencijal *Bt* sojeva zavisi od prisustva, kombinacije i ekspresije različitih Cry i Cyt toksina, koji određuju i spektar delovanja i brzinu uginuća larvi. Kod komaraca je naročito značajna grupa dipterocidnih toksina karakterističnih za *B. thuringiensis* var. *israelensis*, čije sinergističko delovanje omogućava visoku efikasnost i brzo ispoljavanje efekta.

U ovom istraživanju posebno su se izdvojili izolati Bt-25, Bt-68 i Bt-70, koji su izazvali potpunu smrtnost larvi, pri čemu je Bt-70 pokazao efekat uporediv sa pozitivnom kontrolom već u prva 24 h. Takav nalaz ukazuje da pojedini lokalni izolati mogu posedovati visok potencijal za dalju karakterizaciju i eventualnu primenu u biološkoj kontroli komaraca.

Sa druge strane, deo izolata u ovom radu nije pokazao aktivnost ili je ispoljio samo delimičan efekat. To je takođe u skladu sa literaturom, jer prisustvo kristalnih proteina samo po sebi ne mora značiti i visok nivo larvicidne aktivnosti prema dipterama. Razlike mogu biti posledica različitog toksinskog profila, količine sintetisanih toksina, njihove rastvorljivosti u digestivnom traktu larvi, kao i međusobnih sinergističkih ili antagonističkih odnosa među toksinima. Zbog toga bi sledeći korak u proceni najaktivnijih izolata trebalo da obuhvati detaljniju molekularnu karakterizaciju toksinskih gena, kvantifikaciju njihove ekspresije i određivanje letalnih koncentracija u standardizovanim bioesejima.

ZAKLJUČAK

Rezultati ovog istraživanja pokazali su da među zemljišnim izolatima *Bacillus thuringiensis* poreklom iz različitih regija Slovenije postoje sojevi sa izraženim larvicidnim potencijalom prema *Culex pipiens*. Od ukupno 77 izolata iz zemljišta, 16 je molekularno potvrđeno kao *B. thuringiensis*, dok je devet izolata posedovalo kristalne proteine i bilo uključeno u biotestove. Kao najperspektivniji izdvojili su se izolati Bt-25, Bt-68 i Bt-70, koji su pokazali potpunu smrtnost larvi, pri čemu je Bt-70 delovao jednako brzo i efikasno kao pozitivna kontrola. Dobijeni rezultati ukazuju da lokalni Bt izolati predstavljaju značajan resurs za dalja istraživanja i potencijalni razvoj bioloških larvicida za kontrolu komaraca.

Zahvalnica

Ovaj rad je nastao u okviru projekta „*Isolation, molecular identification and bioassays of local strains of Bacillus thuringiensis for the development of biological insecticides*”, koji je finansiran od strane Razvojnog stebra financiranja (RSF) Kmetijskega Inštituta Slovenije i Javne agencije za znanstvenoraziskovalnu in inovacijsko dejavnost Republike Slovenije (ARIS). Autor izražava zahvalnost svim saradnicima koji su doprineli realizaciji istraživanja, kao i institucijama koje su omogućile sprovođenje eksperimentalnog rada.

LITERATURA

1. Benelli, G. (2016). Biological control of mosquito vectors: Past, present, and future. *Insects*, 7(4), 52.
2. Benelli, G., & Beier, J. C. (2017). Current vector control challenges in the fight against malaria. *Acta Tropica*, 174, 91–96.
3. Brugman, V. A., Hernández-Triana, L. M., England, M. E., Medlock, J. M., Mertens, P. P. C., Logan, J. G., Wilson, A. J., & Fooks, A. R. (2018). The role of *Culex pipiens* L. (Diptera: Culicidae) in virus transmission in Europe. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 15(2), 389.
4. Cholvi M, Moretti R, Osório HC, L'Ambert G, Seixas G, Kavran M, Michaelakis A, Stephanou AS, Antoniou CP, Martinou AF, Roiz D, Calvitti M, Bueno-Marí R. Present and Future of Mosquito-Borne Disease Control in Europe with a Specific Focus on the Mediterranean. *Insects*. 2026 Feb 27;17(3):254. doi: 10.3390/insects17030254. PMID: 41898916; PMCID: PMC13026866.
5. Farajollahi, A., Fonseca, D. M., Kramer, L. D., & Marm Kilpatrick, A. (2011). "Bird biting" mosquitoes and human disease: A review of the role of *Culex pipiens* complex mosquitoes in epidemiology. *Infection, Genetics and Evolution*, 11(7), 1577–1585.
6. Hong, G., Wang, J., Hu, X., Liu, J., & Chen, X. (2025). Microbiological control for mosquito larvae: Current progress and future perspectives. *Virulence*, 16(1), 245–268.
7. Lacey, L. A. (2007). *Bacillus thuringiensis* serovariety israelensis and *Bacillus sphaericus* for mosquito control. *Journal of the American Mosquito Control Association*, 23(2 Suppl), 133–163.
8. Ma, X., Zhang, Y., Liu, Y., Zhang, J., Zhu, Y., & Li, P. (2023). New native *Bacillus thuringiensis* strains induce high insecticidal action against *Culex pipiens pallens* larvae and adults. *BMC Microbiology*, 23, 100.
9. Palma, L., Muñoz, D., Berry, C., Murillo, J., Caballero, P., & Vargas-Osuna, E. (2014). *Bacillus thuringiensis* toxins: An overview of their biocidal activity. *Toxins*, 6(12), 3296–3325.

10. Schnepf, E., Crickmore, N., Van Rie, J., Lereclus, D., Baum, J., Feitelson, J., Zeigler, D. R. & Dean, D. H. (1998). *Bacillus thuringiensis* and its pesticidal crystal proteins. *Microbiology and Molecular Biology Reviews*, 62(3), 775–806.
11. Silva-Filha, M. H. N. L., Berry, C., & Federici, B. A. (2021). Bacterial toxins active against mosquitoes: Mode of action and resistance. *Insects*, 12(6), 523.
12. Travers, R. S., Martin, P. A. W., & Reichelderfer, C. F. (1987). Selective process for efficient isolation of soil *Bacillus* spp. *Applied and Environmental Microbiology*, 53(6), 1263–1266.

Originalni naučni rad DOI: 10.5937/DDD26123P

PARAZITSKA KONTAMINIRANOST PET ZONA U CENTRALNIM OPŠTINAMA BEOGRADA I MERE ZA NJIHOVU SANACIJU

PARASITIC CONTAMINATION OF PET ZONES IN THE CENTRAL MUNICIPALITIES OF BELGRADE AND MEASURES FOR THEIR REMEDY

**Ivan Pavlović^{1*}, Vladimir Terzin², Aleksandra Tasić¹,
Nemanja Zdravković¹**

Kratak sadržaj

Pet zone su integrisani u veći broj parkova i zelenih površina u gradovima. Zelenne površine su istovremeno i mesta gde se deca igraju i odmorišta gradskih ljudi ali i mesta gde vlasnici pasa šetaju svoje ljubimce i bila je ideja da se izgradnjom pet zona smanji kontaminiranost ovih površina. Prilikom istraživanja parazitske kontaminacije parkova, između ostalog stavljen je i na pet zone parkova i zelenih površina u gradu. Tokom ovih istraživanja koja su rađena tokom 2011, 2014, 2019. i 2022. godine vidi se konstantno povećanje parazitske kontaminacije na ovim prostorima što se pre svega može prepisati neodgovornom ponašanju vlasnika ali i nedovoljnoj uređenosti ovih površina.

Ključne reči: pet zone, parazitska kontaminacija, psi

Abstract

Eco (pet) zones are integrated into a larger number of parks and green spaces in cities. Green areas are at the same time places where children play and resting places for city people, but also places where dog owners walk their pets, and the idea was to reduce the contamination of these areas by building pet zones. During the investigation of parasitic contamination of parks, among other things, it was placed on five zones of parks and green areas in the city. During these investigations, which were carried out in 2011, 2014, 2019 and 2022, a constant increase in parasitic contamination can be seen in these areas, which can primarily be attributed to the irresponsible behavior of the owners, but also to the insufficient arrangement of these areas.

¹ Akademik dr Ivan Pavlović, naučni savetnik; dr Aleksandra Tasić, viši naučni saradnik; dr Nemanja Zdravković, viši naučni saradnik, Naučni institut za veterinarstvo Srbije, 11000 Beograd, R. Srbija

² Dr vet. med. spec. Vladimir Terzin, Veterinarska ambulanta Terzin Pet&Vet, 11000 Beograd, R. Srbija

* e-mail kontakt osobe: dripavlovic58@gmail.com

Key words: *pet zones, parasite contamination, dogs*

UVOD

Stalan porast broja pasa ljubimaca predstavlja ozbiljan epidemiološki i ekološki problem urbanih sredina u svetu i kod nas. U urbanoj sredini kakva je Beograd, zelene površine i parkovi su glavno mesto na kome se igraju deca i predstavljaju odmorišta gradskih ljudi. Istovremeno, to su i mesta na kojima vlasnici pasa izvođe svoje ljubimce koji ih stalno zagađuju svojim izmetom. Ako se zna da pas prosečno izluči 100 g fecesa dnevno, lako je na osnovu uvida u broj životinja u gradu utvrditi da količina izmeta pasa koja se svakodnevno izluči na ovim prostorima prelazi više tona dnevno (Puccini i Tarsitano, 2003a,b; Rubel i Wisnivesky, 2005; Poglayen i Marches, 2006). Izmet pasa predstavlja epidemiološku opasnost s obzirom da su psi nosioci i pravi domaćini velikog broja vrsta zoonotskih parazita (Pavlović, 2006; Macpherson i sar., 2022; Tarsitano, 2003; Rinaldi i sar., 2008). Iz tih razloga je nophodan monitoring i sanacija ovih površina u cilju očuvanja opšte higijene i zaštite zdravlja ljudi (Wong i sar., 1999; Pavlović i sar., 2013).

U cilju praćenja parazitske kontaminiranosti parkovskih i drugih zelenih površina Beograda od 1993. do 2023. godine vršilo se kontinuirano praćenje njihove zagađenosti izmetom pasa (Pavlović i sar., 2015, 2023, 2024). Pregledi su se radili na četiri centralne gradske opštine, Stari Grad, Palilula, Vračar i Savski Venac gde se nalaze najviše parkova u gradu (Pavlović i sar., 1997, 2000, 2010, 2022, 2024). Prilikom ovih istraživanja parazitske kontaminacije, pored ovih površina vršena je i periodična kontrola pet zona u parkovima i zelenim površinama u gradu.

U ovom radu dajemo rezultate parazitske kontaminiranosti pet zona dobijenih tokom istraživanja koja su rađena 2011., 2014., 2019. i 2022. godine.

MATERIJAL I METODE RADA

Uzorci se prikupljaju u periodu april-septembar na osnovu klimatskih uslova koji vladaju na području Beograda (vodeći se metodom bioklimatograma po Uvarovu koji za komponentu ima temperaturu i vlažnost zemljišta u prosečnim vrednostima za ispitivano područje. Ovaj pokazatelj je od izuzetne važnosti kod procene rezultata s obzirom da geohelmini u zemljištu embrioniraju (postaju infektivni) pod određenim uslovima optimuma temperature i vlažnosti. Ukupno je pregledano 64 uzoraka zemljišta sedimentaciono-flotacionim metodama opisanim od strane Labordeu i Pavlovića (Labordeu, 1980; Pavlović, 2017). Determinacija jaja parazita je vršena morfometrijskom analizom na osnovu ključeva datih od strane Euzeby-a (Euzeby, 1981).

Tokom ovih istraživanja u četiri navrata su bile ouhvaćene i sledeće pet zone u okviru parkova i zelenih površina (Tabela 1).

Tabela 1. Parkovi i zelene površine sa eko (pet) zonama

LOKACIJE	GODINE			
	2011	2014	2019	2022
Tašmajdanski park, Bulevar Kralja Aleksandra, Palilula	+	+	+	+
Karađorđev park. Bulevar oslobođenja, Vrača	+	+	+	+
Čuburski park. Cara Nikolaja II, Vračar	+	+	+	+
Pančićevo park. Pančićevo ulica, Stari Grad	+	+	+	+
Park Lepi Izgled-Tri Ključa, Kneza Miloša, Savski Venac	+	+	+	+
Park Milutina Milankovića. Bul. oslobođenja, Savski Venac	+	+	+	+
Park Bele vode. Belo vrelo i Ibarska magistrala, Čukarica	+	+	+	+
ZP. Hala Pionir – iza Hale Pionir, Čarli Čaplina		+	+	+
Park Šuma Šumice, Janisa Janulisa, Voždovac		+	+	+
Park u 21. Bloku., Bulevar Mihaila Pupina, Novi Beograd		+	+	+
Park u 22. Bloku, Bul.Arsenija Černojevića, Novi Beograd		+	+	+
Park u 30. Bloku, Bulevar Zorana Đinđića, Novi Beograd			+	+
Park Kopitareva gradina. Đure Daničića, Stari Grad			+	+

REZULTATI RADA I DISKUSIJA

Tokom ovih istraživanja dobijeni su sledeći rezultati:

2011. godina

Na osnovu izvršene parazitološke kontrole kontaminiranosti zemljišta iz parkova prisustvo tokom pregleda pred uvođenje eko zona jaja parazita su ustanovljena u 28,12%, a poliparazitizam u 45,53%. Jaja *Toxocara canis* su nađena u 26,56%, *Dipylidium caninum* 23,43%, *Ancylostomidae* spp. i *Trichuris vulpis* u 10,93%, *Strongyloides stercoralis* i *Toxascaris leonina* u 7,81% uzoraka.

U međuvremenu je u okviru strategije rešavanja problema nevlasničkih pasa počelo sa formiranjem eko zona ili parkova za pse koji su obuhvatili sedam parkova u Beogradu: Tašmajdanski park, Karađorđev park, Čuburski park, Pančićevo park, Park Lepi Izgled-Tri Ključa, Park Milutina Milankovića i Park Bele vode.

Tokom drugog pregleda, otprilike mesec dana po postavljanju parkova za pse, ustanovljeno je da je stepen kontaminiranosti znatno opao u navedenim parkovima. Prisustvo jaja parazita je ustanovljeno u 18,75% pregledanih uzoraka, a poliparazitizam u 33,32% (Pavlović i sar., 2012).

Iz ovih podataka se videlo da je došlo do vidnog smanjenja intenziteta i ekstenziteta infekcije jajima parazita pasa u navedenim parkovima. Osim ogradenih igrališta za pse, svakako je veliki udeo u ovom trendu imao i sistem uvođenja korpi za odlaganje izmeta pasa („doggy pot” sistem).

Ova istraživanja su tokom 2011. i 2012. godine bila finansirana od strane JKP „Veterina Beograd”, koja se zajedno sa JKP „Zelenilo Beograd” starala o higijeni u ekozona.

2014. godina

Nakon 2013. godine, sa novom gradskom administracijom izgradnja parkova za pse je nastavljena, samo u znatno manjem broju nego što je bilo predviđeno programom za period 2011-2015. godine. U periodu od 2011-2014. godine formirane su još četiri ekozone i to: ZP „Hala Pionir”-iza „Hale Pionir”, Park Šuma-Šumice, Park u 21. Bloku i Park u 22. Bloku. Na osnovu izvršene parazitološke kontrole kontaminiranosti zemljišta iz parkova prisustvo u tom periodu sam higijenski nivo u njima je bio slabiji nego u ranijem periodu (2011-2012. godine) što se odrazilo i na parkovske površine. Na osnovu izvršene parazitološke kontrole kontaminiranosti zemljišta iz parkova prisustvo jaja parazita su ustanovljena u 30,45%, a poliparazitizam u 49,97%. Istovremeno, pregledom zemljišta iz eko-zona kontaminacija je ustanovljena u svim uzorcima sa različitim stepenom intenziteta kontaminiranosti.

U ovom periodu prosečan procenat pronađenih jaja *Toxocara canis* iznosio je 29,68%, *Ancylostomatidae* spp. 21,18%, *Dipylidium caninum* 26,56%, *Strongyloides stercoralis* 6,81%, *Toxascaris leonina* 5,97%, *Trichuris vulpis* 2,68% i *Taenia* spp. 2,25%.

2019. godina

U narednom petogodišnjem periodu formirano je još nekoliko ekozona – Park u 30. Bloku i Park Kopitareva gradina. Higijenski nivo parkova i ekozona se i dalje urušavao. Dok je kontaminacija parazitima u parkovima ustanovljena u 44,08% uzoraka zemljišta, a pregledom zemljišta iz eko-zona kontaminacija je ustanovljena u svim uzorcima. Jaja *Ancylostomatidae* spp. su pronađene u 27,44%, *Toxocara canis* u 29,88%, *Dipylidium caninum* u 27,42%, *Toxascaris leonina* u 7,39%, *Strongyloides stercoralis* u 7,78%, *Taenia* spp. u 1,71% i *Trichuris vulpis* u 1,09%.

2022. godina

Tokom 2022. godine su urađena zadnja istraživanja u ekozonama a sledeće godine i u ostalim parkovima Beograda. Tako je zaokružen tridesetogodišnji

ciklus ovih istraživanja koji je trajao od 1993. godine (Pavlović, 2025). Kontaminacija parkova jajima parazita je ustanovljena u 49,08% uzoraka zemljišta, kao i u svim uzorcima zemljišta iz ekozona. Sa tim je je u ekozonama ona bila veća od proseka kontaminiranosti parkova. *Ancylostomatidae* spp. su pronađene u 32,94%, *Toxocara canis* u 30,88% *Dipylidium caninum* u 29,49%, *Toxascaris leonina* u 7,61%, *Strongyloides stercoralis* u 7,81%, *Trichuris vulpis* u 3,09% i *Taenia* sp. u 2,71%. (Pavlovic i sar., 2025).

Od početka ovih istraživanja, 1993. godine do donošenje Strategija rešavanja problema nevlasničkih pasa i mačaka od strane gradske uprave, situacija se značajno promenila što se tiče samih kontaminatora. U periodu do 2011. godine, glavni zagađivači ovih površina su bili nevlasnički psi čiji se broj drastično smanjio u zadnjoj deceniji (Pavlović i sar., 1997, 2000, 2010, 2024). S druge strane, došlo je do značajnog povećanja broja vlasničkih pasa, tako da su oni sada postali glavni kontaminanti zelenih i drugih javnih površina (Pavlovic, 2024, 2025).

Uvođenje ekozona, koje su na početku odgovarajuće održavane, dale su pozitivne rezultate i uticale su na smanjenje zagađenosti zelenih i parkovskih površina. S vremenom, kako je popuštao nivo higijene održavanja ekozona i parkova, stanje se značajno pogoršalo.

ZAKLJUČAK

Nepostojanje adekvatne kontrole prema vlasnicima koji ne čiste iza svojih ljubimaca, nedovoljna higijena gradskih parkova i ekozona i nedostatak adekvatnog monitoringa zelenih površina u gradu, dovele su do toga da se nivo parazitske kontaminiranosti vratio na nivo koji je bio kada su ova istraživanja otpočela 1993. godine. Za pravu sliku na terenu dovoljno je prošetati parkovima i ekozonama u svom okruženju, videti njihov higijenski nivo, ponašanje vlasnika pasa i obavezno paziti gde se gazi da ne bi uprljali noge psećim fecesom.

LITERATURA

1. Euzeby, J. (1981). *Diagnostic Experimental des Helminthoses Animales*. ITVS Paris.
2. Laborde, C.E.C. (1980). *Les Ascarides du chien et la sante humaine*. These pour le doctorat veterinaire, Ecole National Veterinaire de Alfort.
3. Macpherson, N.L., Calum, M. Fracois, X., Wandeler, I. (2022). *Dogs, zoonoses and public health*. CABI Digital libery, London.
4. Pavlović, I., (2006). Geohelminths – emerging zoonotic disease in urban areas. *Proceedings of the VIII International Symposium In Animal Clinical Pathology And Therapy Clinica Veterinaria, Neum, Bosna i Hercegovina*, 1-4, (CD rom).
5. Pavlović, I. (2015), Kontaminiranost gradskih površina fecesom i parazitima pasa – rizik i predlozi rešenja na primeru Beograda, *Pristupna beseda u Akademiju veterinarske medicine, Beograd, Srbija*.
6. Pavlović, I. (2017). Metoda ispitivanja zemlje i peska na prisustvo jaja parazita. *Zavod za intelektualnu svojinu Republike Srbije*, sertifikat no. 2770/2017A-0098/2017.
7. Pavlovic, I. (2022), Contamination of public places at central Belgrade municipalities with dogsparasites during 2021. *Proceeding Book 3rd International Latin American Congresses, Universityof Guadalajara Villa Hermosa, Mexico*, 144.

8. Pavlovic, I. (2023). Belgrade experience in control of contamination of public places with dogs parasites. *Book of Abstracts European Vertebrate Pest Management Conference XIII EVP-MC 2023, Florence, Italy*, 135.
9. Pavlovic, I. (2024). Importance of the strategy of the city of Belgrade in solving the problem of unowned dogs and cats for the purpose of environmental health protection. *Book of Proceedings IRASA International Scientific Conference Science, Education, Technology and Innovation SETI VI 2024, Belgrade, Serbia*, 454-461.
10. Pavlovic, I. (2025). Contamination of public places at central Belgrade municipalities with dogs parasites – results of a thirty year study (1993-2023). *Book of Proceeding IRASA International Scientific Conference Science, Education, Technology and Innovation SETI VII 2025, Belgrade, Serbia*, 378-384
11. Pavlović, I. & Surlan N. (2003). Rezultati parazitološkog pregleda zelenih površina opštine Stari grad tokom 2002. godine. *Zbornik radova Stručnog skupa kontrola štetnih organizama u urbanoj sredini, VI beogradska konferencija sa međunarodnim učešćem, Beograd*, 143-150.
12. Pavlović, I., Kulišić, Z. & Milutinović, M. (1997). Rezultati parazitološkog ispitivanja pešćanih igrališta za decu u užem centru Beograda. *Veterinarski glasnik* 51 (1-2), 61-65.
13. Pavlović, I., Milutinović, M., Radenković, B., Janković, Lj., Vučinić, M. & Kulišić Z. (2000) Higijenski aspekt gradskih parkova – rezultati parazitološkog ispitivanja centralnih parkova Beograda. *Zbornik radova XI savetovanja dezinfekcija, dezisekcija i deratizacija u zaštiti životne sredine sa međunarodnim učešćem, Tara*, 233-237.
14. Pavlović, I., Kulišić, Z., Momčilović, J., Mišić, Z. & Krstić D. (2007), Basic measure to control and sanitation of parasitic contamination of green areas in urban environmental condition. *Abstracts of International Conference on Environment and Sustainable Development, Beograd*, 78-79.
15. Pavlović, I., Terzin, V., Terzin, D., Stanković, B. & Ilić, M. (2010). Parazitska kontaminiranost parkova centralnih opština Beograda tokom 2008. godine. *Zbornik radova i kratkih sadržaja XII simpozijuma epizootički dani sa međunarodnim učešćem, Oplenac-Topola*, 177-180.
16. Pavlović, I., Terzin, V., Stanković, B. & Stefanović, S. (2012). Uticaj izgradnje parkova za pse (eko zona) na smanjenje parazitske kontaminiranosti parkova centralnih opština Beograda. *Zbornik radova, XXII Savetovanja dezinfekcija, dezisekcija i deratizacija u zaštiti zdravlja životinja i ljudi sa međunarodnim učešćem, Fruška Gora, Iriški Venac*, 259-264.
17. Pavlović, I., Samokovlija, A., Elezović, M., Marić, J. (2013). Značaj parazitološke kontrole kontaminiranosti zelenih površina u urbanim sredinama. *Veterinarski žurnal Republike Srpske*, XIII, 2, 193-202.
18. Pavlović, I., Tasić, A., Kovačević Jovanović, V., Jovanović, D. & Tambur, Z. (2024). Chapter 14: Parasitic contamination of public places in Belgrade and its control results of a thirty year study (1993-2023). In: E Spers (Eds.) *Estudos em Ciências Agrárias e Ambientais II* (pp.187-215). Atena Editora, Brasil.
19. Pavlović, I., Antić, V., Nedeljković, N., Učajev, I., Učajev, B., Savić, D. & Petković, D. (2025). Role of pet dogs in parasitic pollution of public places in Belgrade area in period 2021-2023. *Conference Abstracts Book 7. International Congress on Contemporary Scientific Research, Rome, Italy*, 85-86.
20. Poglajen, G. & Marchesi B. (2006). Urban faecal pollution and parasitic risk: the Italian skill. *Parassitologia* 48, 117-119.
21. Puccini, V. & Tarsitano, E. (2003a). Introduction to Urban Parasitology. In V. Puccini, E. Tarsitano, (Eds.). *Manual of Urban Parasitology: Cities, Animals and Public Health*, (pp.1-13). Il Sole 24 ORE Edagricole Srl: Bologna.
22. Puccini, V., Tarsitano E. (2003b). Urban Ecosystem. In V. Puccini, E. Tarsitano, (Eds.). *Manual of Urban Parasitology: Cities, Animals and Public Health* (pp.21-36). Il Sole 24 ORE Edagricole Srl: Bologna.
23. Rubel, D. & Wisnivesky, C. (2005). Magnitude and distribution of canine faecal contamination and helminth eggs in two areas of different urban structure, Greater Buenos Aires. *Argentina. Veterinary Parasitology* 133, 339-347.

24. Rinaldi, L., Biggeri, A., Sabrina Carbone S., Musella, V., Dolores Catelan, D., Vincenzo Veneziano, V., Cringoli, G. (2006). Canine faecal contamination and parasitic risk in the city of Naples (southern Italy) *BMC Veterinary Research* 2,29 doi:10.1186/1746-6148-2-29.
25. Tarsitano, E. (2003). Management, prevention and integrated control of urban parassitosis. In V.Puccini, E. Tarsitano,(Eds.). *Manual of Urban Parasitology: Cities, Animals and Public Health* (pp.331-341). Il Sole 24 ORE Edagricole Srl: Bologna.
26. Terzin, V., Čukić, B. Vukićević-Radić, O. Prokić, B., Radenković – Damnjanović, B. Pavlović, I., Dimitrijević, S., Marković, M. & Tufegdžić, N. (2011). Strategija rešavanja problema nevlasničkih pasa i mačaka u urbanim sredinama – primer Beograda. *Zbornik referata i kratkih sadržaja 22. savetovanja veterinara Srbije (sa međunarodnim učešćem)*, Zlatibor, 316-319.
27. Wong, S.K., Feinstein, L.H. & Heidmann, P. (1999) Healthy pets, healthy people. *Journal of American Veterinary Medicine Association* 215, 335-338.

Pregledni rad DOI: 10.5937/DDD26130C

PRIMENA INSEKTICIDA I NJIHOVI EKOTOKSIČNI EFEKTI

APPLICATION OF INSECTICIDES AND THEIR ECOTOXIC EFFECTS

**Vitomir Ćupić^{1*}, Saša Ivanović¹, Indira Mujezinović²,
Andreja Prevendar Crnić³, Saša Vasilev⁴, Romel VeleV⁵,
Dejana Ćupić Miladinović¹**

Kratak sadržaj

Insekticidi su kroz istoriju imali, a i danas imaju veoma značajnu ulogu u zaštiti ljudi i životinja od brojnih štetočina. Ova uloga se sastoji ne samo od zaštite od efekata uznemiravanja brojnih insekata životinja i ljudi, već i suzbijanja zaraznih bolesti, koje ove štetočine mogu preneti. Pored komunalne higijene i veterinarske medicine, ova sredstva su našla svoju primenu i u poljoprivredi, gde su namenjena za zaštitu useva od brojnih štetočina. Pokazalo se da su prinosi u poljoprivredi znatno veći kada se ova sredstva koriste. Koliki je značaj insekticida i njihova primena u navedene svrhe, najbolje pokazuje podatak da danas približno 40% svet-ske populacije živi u područjima sa visokim rizikom od zaražavanja malarijom, a zna se da oko 4 miliona ljudi godišnje umire od ove bolesti, a na stotine miliona teško oboli. Pored malarije, treba spomenuti i Denga groznicu, koju takođe prenosi komarac, i od koje godišnje oboli 35-50 miliona (prema drugim autorima 50-100 miliona) ljudi i veliki broj nažalost umire. Ovde treba spomenuti i tzv. „Rečno slepilo” bolest od koje oboljevaju ljudi u dolini reke Amazon, jer ga izaziva jedna mušica, nakon ujeda za kapak oka. Do danas je u praksu uvedeno nekoliko desetina hiljada hemijskih supstancija, koje se koriste za suzbijanje insekata u poljoprivredi. U cilju povećanja prinosa poljoprivrednih kultura, ali i proizvodnje veće količine mesa, danas se u životnu sredinu godišnje u svetu, unese više miliona tona

¹ Dr sci. vet. med. Vitomir Ćupić, redovni profesor farmakologije i toksikologije u penziji i član akademije veterinarske medicine, dr sci. vet. med. Saša Ivanović, redovni profesor; dr sci. vet. med. Dejana Ćupić Miladinović, asistent, Univerzitet u Beogradu, Fakultet veterinarske medicine, 11000 Beograd, R. Srbija

² Dr Indira Mujezinović, redovni profesor, Univerzitet u Sarajevu, Veterinarski fakultet, BIH

³ Dr Andreja Prevendar Crnić, redovni profesor, Veterinarski fakultet, Sveučilište u Zagrebu, Republika Hrvatska

⁴ Dr Saša Vasilev, viši naučni saradnik, Institut za primenu nuklearne energije – INEP, Univerzitet u Beogradu, R. Srbija

⁵ Dr Romel VeleV, Redovni profesor, Veterinarski fakultet, Univerzitet u Skoplju, Severna Makedonija

* e-mail kontakt osobe: cpcv57@gmail.com

raznih pesticida, od čega značajan deo čine insekticidi. Iako ova sredstva, kao što je već navedeno imaju veoma značajnu pozitivnu ulogu, treba istaći da njihova (često i neracionalna) primena može imati i negativne posledice, koje se ogledaju u razvoju rezistencije kod insekata, pojavi rezidua u hrani, vodi za piće, zemljištu i vazduhu, direktnom ili indirektnom toksičnom delovanju na ljude i životinje, te štetnom delovanju na životnu sredinu i brojne organizme koji žive u njoj.

Ključne reči: veterinarska medicina, životinje, životna sredina, insekticidi, komunalna higijena, ljudi, neželjeni efekti, poljoprivreda

Abstract

Insecticides have historically played, and still play, a very significant role in protecting humans and animals from numerous pests. This role consists not only of protection from the effects of the disturbance caused by numerous insects to animals and humans but also of controlling infectious diseases that these pests can transmit. In addition to public hygiene and veterinary medicine, these agents have found their application in agriculture, where they are intended to protect crops from numerous pests. It has been shown that agricultural yields are significantly higher when these agents are used. The importance of insecticides and their application for the mentioned purposes is best demonstrated by the fact that today approximately 40% of the world's population lives in areas with a high risk of malaria infection, and it is known that about 4 million people die from this disease annually, with hundreds of millions falling seriously ill. In addition to malaria, Dengue fever, which is also transmitted by mosquitoes, should be mentioned, affecting 35-50 million people annually (according to other authors, 50-100 million) and significant A large number unfortunately die. Here, one should also mention the so-called 'River Blindness', a disease that affects people in the Amazon River valley, as it is caused by a certain fly, after it bites the eyelid. To date, several tens of thousands of chemical substances have been introduced into practice, which are used to control insects in agriculture. In order to increase crop yields, as well as the production of larger quantities of meat, today several million tons of various pesticides are introduced into the environment worldwide each year, a significant portion of which are insecticides. Although these substances, as already mentioned, have a very important positive role, it should be emphasized that their (often irrational) use can also have negative consequences, which are reflected in the development of resistance in insects, the occurrence of residues in food, drinking water, soil, and air, direct or indirect toxic effects on humans and animals, as well as harmful effects on the environment and numerous organisms living in it.

Key words: agriculture, animals, communal hygiene, environment, insecticides, people, side effects, veterinary medicine

UVOD

Insekticidi su hemijske supstancije, koje su namenjene za suzbijanje, odnosno kontrolu brojnosti insekata. Na insekte ova sredstva deluju najčešće kontaktno, ali mogu i nakon inhalacije, odnosno ingestijom. Kao i drugi pesticidi,

insekticidi su imali i imaju veoma značajnu ulogu u zaštiti poljoprivrednih kultura od brojnih štetočina. Ne manji značaj (možda čak i veći) ova sredstva imaju i u zaštiti zdravlja ljudi i životinja. Naime, sintezom ovih jedinjenja i njihovim uvođenjem u praksu, (upravo zbog ovog drugog razloga), do danas je u svetu spaseno od smrti više miliona ljudi i životinja (Ćupić i sar., 2019, 2022).

Koliki je njihov značaj, najbolje pokazuje podatak da danas približno 40% svetske populacije živi u područjima sa visokim rizikom od zaražavanja malarijom, a zna se da oko 1-3 miliona, a prema nekim autorima, čak 4 miliona ljudi godišnje umire od ove bolesti, a na stotine miliona teško oboli. Pored malarije, treba spomenuti i Denga groznicu, koju takođe prenosi komarac, i od koje godišnje oboli 50-100 miliona ljudi i veliki broj nažalost umire (Ansari i sar., 2014; Malik i sar., 2014).

Do danas je u praksu uvedeno nekoliko desetina hiljada (prema nekim autorima preko 80.000) hemijskih supstancija, koje se koriste za suzbijanje brojnih štetočina, pre svega u poljoprivredi. Poslednjih nekoliko decenija upotreba pesticida (a time i insekticida) višestruko se povećala. U cilju povećanja prinosa poljoprivrednih kultura, ali i proizvodnje veće količine mesa, danas se u svetu koristi oko 2,6 biliona kg pesticida godišnje, od čega više miliona tona insekticida (Ćupić i sar., 2022).

Osim u poljoprivredi, insekticidi se koriste i u komunalnoj, odnosno javnoj higijeni, šumarstvu, te veterinarskoj i humanoj medicini, gde je njihova primena odigrala, a i danas ima veliki značaj u zaštiti zdravlja ljudi i životinja. Dakle, pesticidi se danas široko koriste, tako da se može slobodno reći da gotovo nema grane ljudske delatnosti gde ova sredstva nisu našla svoju primenu (Ćupić i sar., 2022).

Iako ova sredstva, (kao što je već navedeno) imaju veoma značajnu pozitivnu ulogu, treba istaći da njihova (česta i neracionalna) primena može imati i negativne posledice, koje se ogledaju u razvoju rezistencije kod insekata, pojavi rezidua u hrani, vodi za piće, zemljištu i vazduhu, direktnom ili indirektnom toksičnom delovanju na ljude i životinje, te štetnom delovanju na životnu sredinu i brojne organizme koji žive u njoj (Ansari i sar., 2014).

U mnogim studijama, čiji su rezultati ispitivanja do sada objavljeni, može se videti da postoji povezanost između izloženosti poljoprivrednim hemikalijama i različitih zdravstvenih problema, uključujući i nastajanje onih koji su najteži, kao što su različite vrste kancera (Daniels i sar., 1997; Khuder i Mutgi, 1997; Zahm i Vard, 1998). Osim toga, treba spomenuti i degenerativne bolesti (Engel i sar., 2001; Jenner, 2001) toksične efekte na imunološki, hematološki, nervni, endokrini i reproduktivni sistem (Oजारvi i sar., 2000; Ritz i Iu, 2000; Figa-Talamanca i sar., 2001). Ova jedinjenja su takođe povezana i sa oštećenjem dezoksiribonukleinske kiseline (DNK) tj. mutagenezom, ali i teratogenezom (Gomez-Arroio i sar., 2000; Undeger i Basaran, 2002; Costa i sar., 2007; Ergene i sar., 2007; Muniz i sar., 2008). Kao dokaz za napred navedeno je studija iz 2025. godine u kojoj je dokazano da izlaganje farmera u Brazilu dovodi do oštećenja DNK i brojnih drugih neželjenih i toksičnih efekata (Mancini i sar., 2021).

Osim toga, poznato je da izloženost niskim nivoima insekticida izaziva razne biohemijske promene, od kojih neke mogu biti odgovorne za štetne efekte kod ljudi i životinja (Gupta i sar., 1998; Banerjee i sar., 1999; Panemangalore i sar., 1999). Nasuprot tome, neke biohemijske promene ne moraju nužno dovesti do klinički prepoznatljivih toksičnih simptoma, iako se svi biohemijski odgovori mogu koristiti kao markeri izloženosti, odnosno efekata (Panemangalore i sar., 1999).

Inače, prema podacima Svetske zdravstvene organizacije, svake godine se u svetu otruje raznim pesticidima više miliona ljudi, a preko 200.000 završi letalno i to prvenstveno u zemljama u razvoju, odnosno u regionima sa niskim obrazovanjem (Ansari i sar., 2014; Lah, 2014; Ćupić i sar., 2022).

Iako tako, prekomerna upotreba pesticida, a time i insekticida, može dovesti do uništenja biodiverziteta. Mnoge ptice, vođeni organizmi, korisni insekti (medonosna pčela) i druge životinje se nalaze pod stalnom pretnjom od mogućih štetnih efekata raznih pesticida, a među njima i insekticida koji mogu da ugroze čak i njihov opstanak. Drugim rečima, insekticidi i svi ostali pesticidi su postali jedan od glavnih faktora koji mogu negativno da utiču na održivost životne sredine. Zagađenje je danas uglavnom rezultat prekomerne upotrebe ovih sredstava i dugoročnog uticaja istih na životnu sredinu (Rajveer i sar., 2019).

Dakle, može se zaključiti da je doprinos primene brojnih sredstava, koja se koriste danas za povećanje poljoprivredne proizvodnje, danas već dobro poznat i nesumnjivo veliki. Međutim, uvek treba imati u vidu da ta ista sredstva (naročito ukoliko se ne primenjuju prema Uputstvu i neracionalno) mogu prouzrokovati i brojne štetne efekte u životnoj sredini, uključujući i one kod ljudi i domaćih životinja (Rajveer i sar., 2019).

Zato se danas u svetu (naročito u razvijenim zemljama) uporedo sa proizvodnjom enormno velikih količina insekticida i drugih pesticida radi na pronalaženju i razvoju novih formulacija ovih sredstava. Posebna pažnja se poklanja razvoju onih formulacija, koje imaju mali rizik za korisnike i koje su ekološki prihvatljive (Ćupić, 1998; Rajveer i sar., 2019; Miladinović i Ćupić, 2021).

RAZVOJ I PRIMENA INSEKTICIDA KROZ ISTORIJU

U cilju zaštite sebe, svojih životinja, poljoprivrednih useva, hrane i drugih materijalnih dobara od štetnih efekata insekata, čovek je odavno počeo da koristi razna sredstva. A počeci njihove primene sežu u daleku prošlost. Još 4500 godina pre Hrista, Sumerani su u cilju zaštite useva od insekata koristili sumpor. Postoji podatak da su Kinezi (3200 godina pre Hrista) za suzbijanje vaški i stenica upotrebljavali jedinjenja žive i arsena. I u vreme Rimskog carstva (70 godina nove ere) postoje podaci da se koristio arsen kao sredstvo za ubijanje insekata. Osim toga, u rimsko doba se koristio i bakar za suzbijanje gljivičnih bolesti kod biljaka, a u kombinaciji sa sumporom, bakar se koristio i u zaštiti vinove loze od gusenica (Edwards, 1973; Martinić, 2015). Za suzbijanje insekata u sedamnaestom veku koristio se nikotin-sulfat, ekstrahovan iz lista duvana, a u devetnaestom veku

piretrum, ekstrakt dobijen iz cveta jedne vrste hrizanteme (buhača) i rotenon, dobijen iz korena biljke vrste *Derris*.

Tokom Drugog svetskog rata počeli su da se razvijaju i uvode u praksu sintetički organski insekticidi. Dihlor-difenil-trihlorethan (DDT) i drugi hlorovani ugljovodonični insekticidi pojavili su se na tržištu između 1942. i 1950. godine. DDT je sintetisao nemački hemičar Cajdler, 1874. godine, ali nije korišćen kao insekticid sve do 1939. godine, kada je dr Pol Miler, otkrio njegova izuzetna insekticidna svojstva i za to dobio Nobelovu nagradu 1948. godine. Američki biolog, Rejčel Karson, žena pokretač modernog pokreta za zaštitu okoline, objavila je knjigu „Tiho proleće” 1962. godine, u kojoj stoji da su pesticidi, uključujući DDT, toksični za ljude i životinje. Kao rezultat toga, proizvodnja i prodaja DDT-a je zabranjena u Švedskoj 1970. i SAD 1972. godine (Lear, 2009). Zatim je zabranjena primena DDT-a da se koristi u poljoprivredi i u drugim zemljama u svetu. Međutim, njegova ograničena upotreba u kontroli vektora bolesti nastavljena je u nekim delovima sveta do dana današnjeg (Jabbar i Mallick, 1994; Delaplane, 2000). Nakon organohlorinih jedinjenja, u praksu su uvedeni i brojni drugi, danas poznati sintetički pesticidi, od kojih posebno treba spomenuti organofosfate, karbamate, piretroide, te neonikotinoide i druge (Edwards, 1973; Yamamoto, 1999; Housset i Dickmann, 2009).

KLASIFIKACIJA INSEKTICIDA

Insekticidi obuhvataju veliki broj jedinjenja, koja se mogu podeliti na više načina. Uglavnom se dele prema hemijskoj strukturi, fizičko-hemijskim karakteristikama, putu ulaska u organizam, mehanizmu toksičnog delovanja i stepenu toksičnosti (Ćupić i sar., 2019, 2022, 2023).

Na osnovu hemijske strukture, insekticidi se dele na organohlorina jedinjenja, organofosfate, karbamate, neonikotinoide, piretroide, makrociklične laktone insekticide, derivate benzoilureje, derivate formamidina, derivate arsena, derivate fluora, izoksazolinske insekticide, juvenilne hormone i one koji oponašaju delovanje juvenilnih hormona, milbemicinske insekticide, repelente, atraktante i druge (Martinić, 2015; Tomlin, 2015; Rajveer i sar., 2019; Ćupić i sar., 2019, 2023).

Na osnovu stepena toksičnosti, Svetska zdravstvena organizacija je svrstala insekticide u četiri klase ili grupe: ekstremno opasne, veoma opasne, umereno opasne i malo opasne (Stajkovac i sar., 2009; Ćupić, 2015, Martinić, 2015).

Sintetički insekticidi su (kao što je poznato) uvedeni 1940-ih godina prošlog veka i predstavljaju prilično heterogenu grupu biološki aktivnih jedinjenja. Kao takvi, oni su vrlo brzo postali ključno i široko korišćeno oružje za kontrolu brojnosti insekata, a time i prenošenja zaraznih bolesti (Bolognesi i Merlo, 2011).

Organohlorni insekticidi (aldrin, DDT, lindan, dikofol, endrin, hlordan, dieldrin)

Pesticidi, odnosno insekticidi iz ove grupe imaju različitu hemijsku građu i efekte. U organizam mogu ući na sva tri načina: inhalacijom, ingestijom i preko kože. Zbog velike lipofilnosti tj. rastvorljivosti u mastima ovi pesticidi poseduju afinitet za lipide i organe bogate mastima, gde se mogu deponovati u velikim koncentracijama bez vidljivih posledica. Međutim, u uslovima nagle metaboličke potrošnje masti u organizmu, deponovane količine hloriganih ugljikovodika mogu izazvati simptome akutnog trovanja. Hlorirani ugljikovodonici deluju pre svega na nervno tkivo, odnosno CNS. U zavisnosti od količine otrova koji prodre u organizam, simptomi akutnog trovanja se mogu javiti nakon nekoliko minuta ili nekoliko sati. Pojavljuju se grčevi, mučnina, povraćanje, proliv, glavobolja, vrtoglavica, pojačana salivacija i ponekad krvarenje iz nosa. Osim toga, mogu se pojaviti toničko-klonički grčevi, a smrt obično nastaje usled paralize disanja. Specifičnog antidota nema. Kontaminiranu kožu treba dobro isprati vodom i sapunom. Iako se ova jedinjenja više ne koriste (ili bar ne koriste u većini zemalja sveta), zbog mogućih trovanja, koja se sporadično dešavaju, smatramo da ih je potrebno (zajedno sa simptomima) i dalje navoditi (Ćupić, 2015; Martinić, 2015).

Organofosforni insekticidi (paration, malation, diazinon, fosfamidon i hlorthion)

Organofosfatni pesticidi spadaju takođe u grupu insekticida sa širokim spektrom insekticidnog delovanja. Većina organofosforinih jedinjenja se brzo apsorbira nakon ingestije, inhalacije ili preko intaktne kože. Svi su derivati fosforne kiseline. I ovi pesticidi se (zbog toksičnosti) danas ređe koriste i to samo neki (hlorthion, diazinon). Ulaskom u organizam organofosforni pesticidi uzrokuju ireverzibilnu inhibiciju enzima acetilholinesteraze – enzima, koji razlaganjem acetilholina, utiče na transmisiju nervnih impulsa u parasimpatičkom nervnom sistemu. Trovanje antiholinestraznim jedinjenjima je posledica akumulacije acetilholina, koji onda deluje na muskarinske i nikotinske receptore. Inhibicija holinesteraze dovodi do hiperstimulacije parasimpatičkog nervnog sistema. Znaci akutnog trovanja se karakterišu: kontrakcijom bronhijalnih mišića, pojačanom salivacijom, suženjem, znojenjem, bronhijalnom hipersekrecijom, povećanim motilitetom i sekrecijom u gastrointestinalnom traktu, arefleksijom, cijanozom, edemom pluća, komom, pa čak i uginućem usled asfiksije. Ovi pesticidi su biorazgradivi, uzrokuju minimalno zagađenje životne sredine i na njih se sporo razvija rezistencija kod štetočina. Specifični antidot za muskarinske, a delom i centralne efekte acetilholina je atropin, kao i oksimi, koji se koriste za reaktivaciju acetilholinesteraze (Ćupić, 2015; Martinić, 2015).

Karbamati (karbaril, bendiokarb, aldikarb, propoksur)

Karbamati su po mehanizmu delovanja slični organofosfatima. Međutim, razlikuju se po svom poreklu. Organofosfati su (kao što je već rečeno) derivati fosforne kiseline, dok su karbamati dobijeni iz karbaminske kiseline. Koriste se najčešće kao insekticidi, ali neki poseduju i fungicidno i herbicidno delovanje. I mehanizam delovanja karbamatnih pesticida se zasniva na inhibiciji enzima acetilholinesteraze, ali za razliku od organofosfata, ova inhibicija je reverzibilnog karaktera. Karbamati, takođe u organizam mogu ući preko digestivnog trakta, fumigacijom ili preko kože. Lako se razgrađuju pod dejstvom prirodnih uslova uz minimalno zagađenje životne sredine. Kod otrovanih jedinki mogu se zapaziti simptomi kao što su: pojačana salivacija, pojačano znojenje, premorenost, podrhtavanje mišića i grčevi. Specifični antidot je atropin. Oksimi su kontraindikovani (Ćupić, 2015; Martinić, 2015).

Neonikotinoidi acetamiprid, klotianidin, dinotefuran, imidakloprid, nitenpiram, tiakloprid, tiametksan).

Neonikotinoidi su nastali, tj. razvili su se kad se javila potreba za novim insekticidima koji imaju dobru efikasnost pri malim dozama, da insekti na njih ne postaju rezistentni, da nisu toksični za sisare i da nisu štetni po životnu sredinu. Upravo zbog njihove veće selektivnosti ka insektima u odnosu na sisare, ovi insekticidi su kasnije počeli da se veoma mnogo koriste. Neonikotinoidi su (kao i nikotin) agonisti nikotinskih receptora. Ovi receptori se kod insekata nalaze u CNS-u, dok se kod sisara nalaze i u centralnom i u perifernom nervnom sistemu. Neonikotinoidi dovode do stimulacije ovih receptora, usled čega se (usled trajne depolarizacije) javlja ekscitacija nerava, paraliza i smrt. Inače acetilholin razlaže acetilholinesterazu i dolazi do prestanka nadražaja nerava, ali u ovom slučaju acetilholinesteraza ne može razgraditi neonikotinoide pa je njihova veza sa nervima ireverzibilna. Većina neonikotinoida ima mali afinitet ka nikotinskim receptorima sisara (nAChRs), a visok ka nAChRs insekata usled strukturnih razlika u sastavu receptora. Iako su uvedeni u praksu sa euforijom, vrlo brzo se utvrdilo da ova sredstva imaju i značajne mane. Naime, utvrđeno je da isti veoma toksično deluju na korisne, tj. ekonomski značajne insekte, kao što su pčele. Zato je početno oduševljenje novim insekticidima veoma brzo prestalo i krenulo se u otkrivanje njihovih štetnih efekata, naročito kod insekata koji oprašuju biljke, odnosno pčela. Pošto je prisustvo neonikotinoida utvrđeno u polenu i nektaru, vrlo brzo su zabeležena brojna uginuća pčela, koja se nažalost i dan-danas dešavaju. Utvrđeno je da su neonikotinoidi sa nitro grupom (imidakloprid, klotianidin, tiametoksam, nitenpiram, dinotefuran) toksičniji nego oni sa cijano grupom (acetamiprid, tiakloprid), što se može objasniti njihovom bržom biotransformacijom i prisustvom različitih nAChR subpopulacija. Zbog navedenih toksičnih efekata, skoro svi predstavnici neonikotinoida su zabranjeni za primenu u poljoprivredi. Još se koristi jedino acetamiprid, čije odobrenje u EU traje do

2033. godine. Vrlo brzo su počela masovna istraživanja, a kasnije i povlačenje iz upotrebe pojedinih predstavnika ove grupe insekticida (Ćupić i Ćupić, 2013).

Piretroidi (permetrin, transmetrin, deltametrin, flumetrin)

Piretroidi se danas široko koriste u javnoj higijeni kao insekticidi, odnosno u humanoj i veterinarskoj medicini, kao antiektoparazitici. Za uništavanje insekata često se kombinuju sa piperonil-butoksidom, sa kojim ostvaruju sinergistički efekat. Piretroidi su kontakti insekticidi. Ova jedinjenja veoma brzo deluju na ektoparazite (vaši, buve, muve i krpelje) i kod njih prouzrokuju paralizu, kojoj prethodi muskularna ekscitacija i konvulzije. Ustvari, oni primarno kod parazita menjaju permeabilnost voltažnih natrijumskih kanala u membrani nervnih ćelija, te kao posledica ulaska velike količine jona natrijuma u ćeliju, započinje proces stvaranja akcionog potencijala, odnosno depolarizacije membrane. Isto tako, oni odlažu zatvaranje ovih kanala, pa time produžavaju depolarizaciju, odnosno povećavaju ekscitabilnost membrane. Na taj način nastaje hiperekscitabilnost, a kao posledica toga brza paraliza parazita („knock down effect”) i smrt. Piretroidi spadaju u prilično bezbedne antiektoparazitike i malo su toksični za sisare i ptice. Postoji različita osetljivost pojedinih životinjskih vrsta na piretroide. Goveda i ovce su manje osetljivi od drugih vrsta domaćih životinja, dok su ribe najosetljivije. Kod tretiranih životinja (pre svega pasa i mačaka), mogu se javiti iritacija kože, hipersalivacija, povraćanje, dijareja, tremor mišića, ataksija, hiperekscitabilnost ili depresija, te ukočenost zadnjeg dela tela. Inače kod mačaka se (zbog sporog razlaganja, a samim tim i veće preosetljivosti, te poremećaja u CNS-u) piretroidi ne bi smeli koristiti. Ukoliko se kod tretiranih životinja pojave konvulzije, treba koristiti antikonvulzivne lekove i relaksanse sa centralnim delovanjem, kao što je *metokarbamol*. Specifični antidot ne postoji (Ćupić i sar., 2019, 2023; Ćupić, 2015).

NEGATIVNI UTICAJI INSEKTICIDA NA ŽIVOTNU SREDINU

Značajnija narušavanja u biocenozama registruju se pri sistematskoj primeni visokotoksičnih pesticida (organohlorna i organofosforna jedinjenja, neonikotinoidi). Za navedene pesticide (naročito organohlorne) poznato je da se slabo razlažu u vodi i zemljištu, te da poseduju sposobnost akumulacije u organizmima biljaka i životinja, pa njihova dugotrajna primena u neograničenim količinama ispoljava značajna dejstva na biocenoze. Zbog potencijalnog toksičnog delovanja i dugotrajne perzistencije u prirodi (kao što je već rečeno), organohlorni pesticidi, odnosno insekticidi su uglavnom povučeni iz upotrebe, a u toku je proces povlačenja i organofosfornih jedinjenja. Slična situacija je i sa neonikotinoidima. Iako su organohlorni insekticidi povučeni, danas poseban problem predstavljaju polihlorovani bifenili (piraleni), koji su takođe organohlorne građe. Ova jedinjenja su našla široku upotrebu krajem 20. veka. To su vrlo stabilna jedinjenja sa niskim naponom pare, slabo su zapaljiva i veliki su elektroizolatori.

Međutim, pokazalo se da su polihlorovani bifenili nažalost veoma toksični i opasni, kako po životnu sredinu, tako i za životinje i ljude. Širenje polihlorovanih bifenila je moguće na dva načina: tokom upotrebe slučajnim izlivanjem u zemljište ili vodu, ili nakon upotrebe, prilikom odlaganja i termičke dezintegracije. Ukoliko se izliju u zemlju ili vodu, oni u toj sredini ostaju i do 10 i više godina. Pošto se malo rastvaraju u vodi, prava su opasnost da se trajno zagade određene vodene sredine. Sagorevanjem polihlorovanih bifenila nastaje veoma toksično jedinjenje *dioksin* (2,3,7,8-tetrahlor-dibenzo-dioksid). Inače, polihlorovani bifenili su se (zbog svojih svojstava) najčešće koristili u transformatorskim rashladnim sistemima. Pošto se pokazalo da im je šteta veća od koristi, danas su polihlorovani bifenili zabranjeni u većini zemalja u svetu. Ovom prilikom treba spomenuti i to da je u toku NATO bombardovanja SRJ, usled gađanja trafo-stanica, došlo do teških oblika kontaminacije vode i zemljišta upravo ovim jedinjenjima (Stajkovac i sar., 2009; Martinić, 2015; Ćupić, 2015).

Ubrzo nakon početne primene, rizici povezani sa upotrebom pesticida prevazišli su njihove korisne efekte. Naime, pokazalo se da pesticidi deluju toksično na neciljne vrste i da utiču na biodiverzitet životinja i biljaka, vodene organizme, kao i na lanac ishrane i ekosisteme. Prema Majevskom i Capelu (1995), oko 80–90% primenjenih pesticida može da ispari u roku od nekoliko dana od primene (Majewski i Capel, 1995). Nekontrolisana upotreba insekticida rezultirala je smanjenjem brojnosti nekoliko kopnenih i vodenih životinjskih i biljnih vrsta. Oni su takođe ugrozili opstanak nekih retkih vrsta ptica kao što su neki orlovi i sokolovi (Helfrich i sar., 2009). Pored toga, vazduh, voda i zemljište su u nekim zemljama, kontaminirani ovim hemikalijama do toksičnih nivoa (Anonimus, 2009a; Martinić, 2015).

Do danas su zabeleženi brojni slučajevi uginjavanja ptica na poljima tretiranim insekticidima (Mineau, 2005). Ovo može biti posledica velike i široke primene insekticida, a posebno neonikotinoida i fipronila (Mason i sar., 2012), kao i izbivanja zaraznih bolesti kod slepih miševa i ptica (Mineau i sar., 2005). Smatra se da godišnje zbog insekticida uginu oko 72 miliona ptica u SAD, dok je u Velikoj Britaniji više od 30 vrsta ptica nestalo usled primene insekticida u poljoprivredi (Donald i sar., 2001). Naime, na poljoprivrednim zemljištima u Velikoj Britaniji, broj ptica je između 1980. i 2009. godine opao sa 600 miliona na 300 miliona. Isto tako, u Evropi je poznato da su usled primene insekticida ugrožene brojne vrste ptica (Anonimus, 2012a). Postoji podatak da su u Indiji divlje ptice (rezidentne i selice) bile izložene velikim količinama organohlornih insekticida, te da su njihove rezidue utvrđene svuda u organizmu ovih životinja (Tanabe i sar., 1998). Poznato je da organohlorni pesticidi (pored ostalih toksičnih efekata) izazivaju i stanjivanje ljuske jajeta. Do ovih zapažanja je došlo naročito kod evropskih i severnoameričkih populacija ptica (Vos i sar., 2000). Kao posledica stanjenja ljuske jajeta (zbog tretiranja semena organohlornim insekticidima), tokom 1950-ih i 1960-ih godina, najviše su stradali kobci (ptice iz reda jastrebova) (Bright i sar., 2008).

Treba spomenuti i činjenicu da je stopa mortaliteta ptica pevačica na godišnjem nivou u SAD, iznosila 3–16 ptica pevačica/ha (ukupno 17–91 miliona ptica), kada su polja kukuruza tretirana karbofuranom (Mineau, 2005). Jedno zrno kukuruza tretirano neonikotinoidom može da ubije pticu pevačicu, pa čak i malo zrno pšenice ili repice primenjeno sa neonikotinoidom (imidakloprid) može biti toksično za ptice (Mineau i Palmer, 2013).

Za insekticide je poznato da mogu imati potencijalno negativne uticaje i na organizme u vodenom ekosistemu. Utvrđeno je štetno delovanje na mikroorganizme (DeLorenzo i sar., 2001), beskičmenjake (Castillo i sar., 2006), biljke (Frankart i sar., 2003) i ribe (Grande i sar., 1994). Inače, za organizme koji žive u vodi, insekticidi su toksičniji od herbicida i fungicida. Od posebnog značaja je činjenica da pesticidi mogu delovati štetno, pa čak i ubitačno i na zooplanktone, za koje se zna da su glavni izvori hrane za mnoge mlade ribe (Anonimus, 1999). Usled primene karbarila i smanjenja zooplanktona, kao resursa hrane, utvrđen je negativan uticaj i na brojnost vodozemaca, odnosno daždevnjaka, čiji je broj tada bio smanjen čak za 97% (Metts i sar., 2005). Poznato je da se neke vrste riba hrane insektima, koje mogu uništiti razni insekticidi. Usled toga, ribe mogu biti primorane da migriraju u potrazi za hranom, te na taj način biti izložene riziku od brojnih predatora. Utvrđeno je da jednokratna primena, karbarila, hlorthirifosa, diazinona i endosulfana u koncentraciji od 2–16 ppb kao i mešavina insekticida sa herbicidima, može da utiče štetno na vodene organizme, odnosno zajednice sastavljene od zooplanktona, fitoplanktona, perifitona i larvi vodozemaca, kao što su sive (*Hyla versicolor*) i leopard žabe (*Rana pipiens*) (Relyea, 2009).

Za vreme primene organohlornih insekticida u Severnoj Americi i Evropi objavljeni su slučajevi stradanja vodenih ptica i morskih sisara, koji se hrane ribom (Barron i sar., 1995). Isto tako, kao što je navedeno, primena pesticida širom sveta je uticala na smanjenje populacije vodozemaca.

Vodeni sisari, kao što su delfini imaju sposobnost akumulacije većih količina perzistentnih organskih zagađivača, pre svega zbog učešća u lancu ishrane, ali i relativno niske aktivnosti enzima, koji iste metabolišu (Tanabe i sar., 1998). Iz tog razloga, delfini spadaju među osetljivije vrste na toksične efekte brojnih zagađivača. Tako se smatra da je pad populacije morskih sisara, u nekim regionima bio posledica delovanja organohlornih insekticida (Borrell i sar., 2001). Dokazano je da DDT i polihlorovani bifenili (PCB) imaju negativne efekte na reproduktivne organe i imunološki sistem, kako kod sisara u zatočeništvu, tako i divljih vodenih sisara (Colborn i Smolen, 1996). Značajne koncentracije organohlornih jedinjenja, uključujući lindan, heptahlor, aldrin, heptahlor-epoksid, endosulfan, dieldrin i endrin otkrivene su u organizmu delfina, koji žive u delovima francuskog Mediterana (Wafo i sar., 2012).

Generalno, na osnovu brojnih izveštaja, može se reći da u poljoprivrednim ekosistemima u kojima se koriste pesticidi opada brojnost vodozemaca (Bruhl i sar., 2013). Smatra se da su vodozemci ugroženiji od ptica i sisara. Niske koncentracije insekticida imaju indirektne posledice na neciljne članove zajednice kroz

višestruke trofične nivoe (Hua i Relyea, 2012). Nakon prskanja polja, endosulfanom, zabeleženo je štetno (uz pojavu abnormalnosti u rastu), pa čak i ubitačno delovanje na punoglavce. Takođe, primenom hlorthirifosa, masa punoglavaca je bila smanjena za 20 do 35% (Vidder i Bidvell, 2008). Toksično delovanje organohlorinih i organofosforinih insekticida, a naročito njihovih oksonskih oblika, zabeleženo je i kod žaba (mlade i odrasle jedinke), te puževa (Sparling i sar, 2001; Sparling i Fellers 2007; Wandan i sar, 2010; Bruhl i sar., 2013).

Isto tako, primena insekticida u poljoprivredi takođe može kontaminirati i zemljište na kojem se gaje poljoprivredne kulture (Kaushik i sar, 2010). Ispitivanja su pokazala da insekticidi mogu uticati i smanjiti biodiverzitet zemljišta. Naime, prekomerna upotreba ovih sredstava može delovati štetno pre svega na mikroorganizme, ali i na druge organizme (beskičmenjaci) (Sardar i Kole, 2005). Interesantno je spomenuti da organohlorini insekticidi (za koje se zna da se slabo razlažu u vodi i zemljištu, te da poseduju sposobnost akumulacije u organizmima biljaka i životinja), u dozama koje se preporučuju u borbi protiv zemljišnih štetočina, ne ispoljavaju negativno dejstvo na brojnost mikroorganizama u zemlji. Ustvari, oni u većim dozama u početku izazivaju smanjenje, a zatim stimulišu mikrofloru zemljišta. Pri unošenju u zemljište, u povećanim dozama, dolazi do privremenog pregrupisavanja sastava mikroflora (Stajkovac i sar, 2009). Osim toga, kontaminirano zemljište može da utiče na zdravlje ljudi i životinja, direktnim kontaktom sa zemljištem ili udisanjem para onih zagađivača zemljišta koji isparavaju (Philp, 2013).

ZAKLJUČCI

Suzbijanjem brojnih insekata, insekticidi su svakako u mnogome doprineli i doprinose povećanju prinosa poljoprivrednih kultura, a time i smanjenju cena istih, što opet doprinosi većem standardu kod ljudi.

Insekticidi su uništavanjem insekata (vektora bolesti) odigrali i veliku ulogu u uklanjanju brojnih bolesti, čime je unapređeno i zdravlje kod ljudi i životinja.

Česta i neracionalna primena insekticida, pokazala je da ova jedinjenja mogu delovati toksično, kako na ljude i životinje, tako i na životnu sredinu.

Do danas su objavljeni brojni slučajevi trovanja ljudi širom sveta.

Prema podacima Svetske zdravstvene organizacije, svake godine se u svetu prijavi više miliona ljudi otrovanih insekticidima, od toga nažalost veliki broj završi letalno.

Osim toga, utvrđeno je da insekticidi mogu delovati štetno i na životnu sredinu, odnosno na organizme u vazduhu, zemljištu i vodi.

Imajući sve ovo u vidu, tj. moguće koristi s jedne strane i rizika sa druge strane, u cilju dobijanja maksimalnih (korisnih) efekata, neophodno je da se primena insekticida i drugih pesticida sprovodi strogo u saglasnosti sa Uputstvom za upotrebu.

LITERATURA

1. Anonymous. PECBMS, Pan-European Common Bird Monitoring Scheme Population trends of common European breeding birds 2012. CSO, Prague. [http://www.ebcc.info/wpimages/video/Leaflet 2012.pdf](http://www.ebcc.info/wpimages/video/Leaflet%2012.pdf). 2012a.
2. Anonymous PANNA, Pesticide Action Network North America, pesticides threaten birds and fish in California. Pesticide Action Network Updates Service (PANUPS). http://www.panna.org/legacy/panups/panup_19990604.dv.html. 1999
3. Ansari MS, Moraiet AM and Ahmad S. Insecticides: Impact on the Environment and Human Health. In: Malik A, Grohmann E, Akhta R. Environmental Deterioration and Human Health, Springer Science+Business Media Dordrecht, 2014.
4. Banerjee BD, Seth V, Bhattacharya A, Pasha ST and Chakravorty AS. 1999. Biochemical effects of some pesticides on lipid peroxidation and free-radical scavenger Toxicol. Lett., 1999; 107, pp. 33-47
5. Barron MG, Galbraith H, Beltman D. Comparative reproduction and developmental toxicology of birds. Comp Biochem Physiol. 1995; 112c:1-14
6. Bolognesi C, Merlo FD. Pesticides: human health effects. Encyclop Environ Health, 2012; 438-453.
7. Borrell A, Cantos G, Pastor T, Aguilar A. Organochlorine compounds in common dolphins (*Delphinus delphis*) from the Atlantic Mediterranean waters of Spain. Environ Poll. 2001; 114:265-274.
8. Bright JA, Morris AJ, Winspear R. A review of indirect effects of pesticides on birds and mitigating land-management practices. RSPB (The Royal Society for the Protection of Birds). Res Rep. 2008; No 28, p 66.
9. Brühl CA, Schmidt T, Pieper S, Alscher. Terrestrial pesticide exposure of amphibians: an underestimated cause of global decline? Sci Rep 3, 1135 (online): 2045-2322 <http://www.nature.com/srep/2013/130124/srep01135/full/srep01135.html>. 2013.
10. Castillo LE, Martínez E, Ruepert C, Savage C, Gilek M, Pinnock M, Solis E. Water quality and macroinvertebrate community response following pesticide applications in a banana plantation, Limon, Costa Rica. Sci Environ. 2006; 367(1):418-432.
11. Colborn T, Smolen MJ. Epidemiological analysis of persistent organochlorine contaminants in cetaceans. Rev Environ Contam Toxicol. 1996; 146:91-172
12. Costa C, Silva S, Coelho P, Roma-Torres J, Teixeira JP, Mayan O. Micronucleus analysis in a Portuguese population exposed Environ Sci Pollut Res to pesticides: preliminary survey. Int J Hyg Environ Health. 2007; 210(3- 4):415-418
13. Čupić Dejana., Čupić Vitomir. Neonikotinoidni insekticidi. XXIV Savetovanje dezinfekcija, dez-insekcija i deratizacija – Jedan svet – jedno zdravlje, 23-26. maj, 2013. Country Club Hotel Babe. Zbornik radova., str. 85-92.
14. Čupić V. Pesticidi kao uzročnici epidemijskih trovanja. Archives of toxicology, kinetics and xenobiotic metabolism, 6, 3, 667-674, 1998.
15. Čupić V. Najčešća trovanja u veterinarskoj medicini. Stručna knjiga, Beograd, 2015, str. 367.
16. Čupić V, Ivanović S, Borozan S, Mujezinović I, Prevendar Crnić A, Čupić Miladinović D. Pri-mena pesticida, njihova klasifikacija i uticaj na životnu sredinu. 33. Savetovanje dezinfekcija, dez-insekcija i deratizacija. Bajina Bašta, Hotel Zepter Drina, 26.-29. 05. 2022. Zbornik radova, 135-148.
17. Čupić V, Muminović M, Kopal S, Velev R. Farmakologija za studente veterinarske medicine, III Izdanje, Beograd, Sarajevo, Ljubljana, Skoplje, Naučna KMD, 2019.
18. Čupić V. i grupa autora (Dragica Stojanović, Romel Velev, Dejana Čupić, Miladinović): TOKSI-KOLOGIJA za studente veterinarske medicine, I Izdanje, Beograd, Novi Sad, Skoplje, 2023.
19. Daniels JL, Olshan AF, Savitz DA. Pesticides and childhood cancers. Environ Health Perspect. 1997; 105(10): 1068-77.

21. Delaplane KS. Pesticide usage in the United States: history, benefits, risks, and trends. Cooperative Extension Service. The University of Georgia, College of Agricultural and Environmental Sciences. Bulletin 1121. Reprinted November, 2000. <http://pubs.caes.uga.edu/caespubs/pubs/PDF/B1121.pdf>
22. DeLorenzo ME, Scott GI, Ross PE. Toxicity of pesticides to aquatic microorganisms: a review. *Environ Toxic Chem.* 2001; 20(1):84–98.
23. Donald PF, Green RE, Heath MF. Agricultural intensification and the collapse of Europe's farmland bird populations. *Proc Biol Sci.* 2001; 268(1462):25–29
24. Edwards CA. Environmental pollution by pesticides. Environmental science research. Plenum Press. London and New York, 1973.
25. Engel AK, Fries P, and Singer W. Dynamic predictions: oscillations and synchrony in top-down processing. *Nat. Rev. Neurosci.* 2001; 2, 704–716
26. Ergene S, Cavas T, Celik A, Koleli N, Kaya F. and Karahan A. Monitoring of nuclear abnormalities in peripheral erythrocytes of three fish species from the Goksu Delta (Turkey): Genotoxic in relation to water pollution. *Ecotoxicology.* 2007; 16: 385-391
27. FAO Food and Agricultural Organization (2012) <http://www.fao.org/docrep/016/i3027e/i3027e.pdf>. Accessed on 23 November 2013
28. Figa-Talamanca I, Traina E. and Urbani E. Occupational exposure to chemicals: recent evidence on male reproductive effects and biological markers. *Occup Med (Lond)*; 2001; 51: 174–188.
29. Frankart C, Eullaffroy P, Vernet G. Comparative effects of four herbicides on non-photochemical fluorescence quenching in *Lemna minor*. *Environ Exptl Bot.* 2003; 49:159–168.
30. Grande M, Andersen S, Berge D. Effects of pesticides on fish. *Norwegian J Agric Sci.* 1994; 13:195–209.
31. Gómez AS, Calderón-Segura ME. and Villalobos Pietrini, R. Biomonitoring of pesticides by plant metabolism: an assay base on the induction of sister-chromatid exchanges in human lymphocyte cultures by promutagen activation of *Vicia faba*. 2000. In: Biomonitoring and biomarkers as indicators of environmental change. (FM Butterworth A. Gunatilaka and ME Gonsebatt Eds.). Plenum Press, New York, Vol. 2, pp. 439-455
32. Gupta A, Singh B, Parihar NS. and Bhatnagar A. Pesticide residue in the farm gate samples of bottle gourd, cauliflower, cabbage and fenugreek at Jaipur. *Pesticide Research Journal.* 1998; 10: 86-90
33. Helfrich LA, Weigmann DL, Hipkins P, Stinson ER. Pesticides and aquatic animals: a guide to reducing impacts on aquatic systems. 2009; In: Virginia Polytechnic Institute and State University. Available from <https://pubs.ext.vt.edu/420/420-013/420-013.html>. Accessed Jan 17, 2015
34. Housset P, Dickmann R. A promise fulfilled—pyrethroid development and the benefits for agriculture and human health. *Bayer Crop Sci.* 2009; 62(2):135–144.
35. Hua J, Relyea RA. East coast vs West coast: effects of an insecticide in communities containing different amphibian assemblages. *Freshwater Science.* 2012; 31(3):787–799.
36. Jabbar A, Mallick S. Pesticides and environment situation in Pakistan (Working Paper Series No. 19). 1994; Available from Sustainable Development Policy Institute (SDPI)
37. Jenner P. Parkinson's disease, pesticides and mitochondrial dysfunction. *Trends in Neuroscience.* 2001; 24: 245-246.
38. Kaushik A, Sharma HR, Jain S, Dawra J, Kaushik CP. Pesticide pollution of river Ghaggar in Haryana, India. *Environ Monit Assess* 160:61–69. doi:10.1007/s10661-008-0657-z, 2010.
39. Khuder SA and Mutgi AB. Meta-analyses of multiple myeloma and farming. *Am J Ind Med;* 1997; 32:510-551.
40. Lah K. Effects of pesticides on human health. In: Toxipedia. Available from <http://www.toxipedia.org/display/toxipedia/Effects+of+Pesticides+on+Human+Health>. Accessed Jan 16, 2014.
41. Lear L. Rachel Carson: witness for nature. Mariner Books; Reprint edition, 2009; 688

42. Majewski M, Capel P. Pesticides in the atmosphere: distribution, trends, and governing factors. Pesticides in the hydrologic system, vol 1. Ann Arbor Press Inc., Boca Raton, FL, 1995; p 118.
43. Mancini M, Eduarda Vieira Cerny M, Silva Cardoso N, Batista Cordeiro Deckmann G, Weidner Maluf S. Systemic DNA damage in Brazilian farmers exposed to pesticides. *Academia Molecular Biology and Genomics*. 2025.
44. Martinić Matijas. Opasnosti primene pesticida. Završni rad. Stručni studij sigurnosti i zaštite. Veleučilište u Karlovcu, Hrvatska, 2015.
45. Mason R, Tennekes H, Sánchez-Bayo F, Jepsen PU. Immune suppression by neonicotinoid insecticides at the root of global wildlife declines. *J Environ Immunol Toxicol* X:X, XX-XX; September/October 2012; STM Publications
46. Metts BS, Hopkins WA, Nestor JP. Interaction of an insecticide with larval density in pond-breeding salamanders (*Ambystoma*). *Freshwater Biol*. 2005; 50:685–696.
47. Miladinović Ćupić Dejana, revendar Crnić Andreja, Peković Sanja, Dacić Sanja, Ivanović Saša, Juan Francisco Santibanez, Ćupić Vitomir, Borozan Nevena, Miljković Antonijević Evica, Borozan Sunčica. Recovery of brain cholinesterases and effect on parameters of oxidative stress and apoptosis in quails (*coturnix japonica*) after chlorpyrifos and vitamin B1 administration. *Chemico-Biological Interaction*. 2021; 333 (5): 109312.
48. Mineau P, Downes CM, Kirk DA, Bayne E, Csizy M. Patterns of bird species abundance in relation to granular insecticide use in the Canadian prairies. *Ecosci*. 2005; 12(2):267–278.
49. Mineau P, Palmer C. Neonicotinoid insecticides and birds-the impact of the nation's most widely used insecticides on birds. *Am Bird Conservancy* 97. 2013.
50. Muniz JF, McCauley L, Scherer J, Lasarev M, Koshy M, Kow YW, Nazar-Stewart V. and Kisby GE. Biomarkers of oxidative stress and DNA damage in agricultural workers: A pilot study. *Toxicol Appl Pharmacol*. 2008; 227:97-107.
51. Ojajarvi I, Partanen T, Ahlbom A, Boffetta P, Hakulinen T. and Jourenkova N. Occupational exposures and pancreatic cancer: A meta-analysis. *Occup. Environ. Med.*, 2000; 7: 316-324
52. Panemangalore M, Dowla HA. and Byers M. Occupational exposure to agricultural chemicals: effect on the activities of some enzymes in the blood of farm worker. *Intl. Arch. Environ. Hlth.*, 1999; 72(2): 94–98
53. Philp RB. *Ecosystems and Human Health: Toxicology and Environmental Hazards* (third edition). Boca Raton: Taylor and Francis Group, CRC Press, 2013; pp 440.
54. Rajveer K, Gurjot KM and Shweta R. Pesticides Classification and its Impact on Environment, *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*. 2019; 8 (3): 1889-1897.
55. Relyea RA. A cocktail of contaminants: how mixtures of pesticides at low concentrations affect aquatic communities. *Oecologia*. 2009; 159(2):363–376
56. Ritz B, Yu F. Parkinson's disease mortality and pesticide exposure in California 1984-1994. *Int J Epidemiol* 2000; 29:323–329.
57. Sardar D, Kole RK. Metabolism of chlorpyrifos in relation to its effect on the availability of some plant nutrients in soil. *Chemosphere*. 2005; 61:1273–1280.
58. Sparling DW, Fellers GM, McConnell LL. Pesticides and amphibian population declines in California, USA. *Environ Toxicol and Chem*. 2001; 20 (7):1591–1595.
59. Sparling DW, Fellers G. Comparative toxicity of chlorpyrifos, diazinon, malathion and their oxon derivatives to larval *Rana boylei*. *Environ Poll*. 2007; 147(3):535–539.
60. Stajkovic J, Amidžić B, Biočanin J. Pesticidi i izvori zagađenja u životnoj sredini i značaj remedijacije u sanaciji kontaminacije. 1st International Conference "Ecological safety in post-modern environment". 26-27. Juny 2009. Banja Luka, RS, BiH.
61. Tanabe S, Senthilkumar K, Kannan K, Subramanian AN. Accumulation features of polychlorinated biphenyls and organochlorine pesticides in resident and migratory birds from south India. *Arch Environ Contam Toxicol*. 1998; 34:387–397.
62. Undeger U. and Basaran N. Assessment of DNA damage in workers occupationally exposed to pesticide mixtures by alkaline comet assay. *Archives of Toxicology*. 2002; 76: 430-6

63. Vos JG, Dybing E, Greim HA, Ladefoged O, Lambré C, Tarazona JV, Brandt I, Vethaak AD. "Health Effects of endocrine-disrupting chemicals on wildlife, with special reference to the European situation." *Critic Rev Toxicol.* 2000; 30(1):71–133.
64. Wafo E, Mama C, Risoul V, Schembri T, Dhermain F, Portugal H. Chlorinated pesticides in the bodies of dolphins of the French Mediterranean coastal environment. *Adv Environ Sci Int J of the Bioflux Soc.* 2012; 4(1):29–35.
65. Wandan EN, Elleingand Ef, Koffi E, Clément BN, Charles B. Impact of the insecticide endosulfan on growth of the African giant snail *Achatina achatina* (L.). *Afr Environ Sci Technol.* 2010; 4(10):685–690.
66. Widder PD, Bidwell JR. Tadpole size, cholinesterase activity, and swim speed in four frog species after exposure to sub-lethal concentrations of chlorpyrifos. *Aquat Toxicol.* 2008; 88(1):9–18.
67. WHO World Health Organization. Dengue and dengue haemorrhagic fever. Factsheet No 117, Geneva, WHO, Media centre. <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs117/en/>. 2012.
68. Yamamoto I. Nicotine to Nicotinoids: 1962 to 1997. In: Yamamoto I, Casida J (eds) *Nicotinoid insecticides and the nicotinic acetylcholine receptor*. Springer-Verlag, Tokyo, 1999; pp 3–27.
69. Zahm SH and Ward MH. Pesticides and childhood cancer. *Environ. Health. Perspect.* 1998; 106 (supl. 3):893–908.

III
TEMATSKO ZASEDANJE

DERATIZACIJA I
SLOBODNE TEME

Pregledni rad DOI: 10.5937/DDD26147D

SINERGIJA ETOLOŠKIH, HEMIJSKIH I PREHRAMBENIH ATRAKTANATA U EFIKASNOSTI MEHANIČKIH METODA KONTROLE GLODARA

SYNERGY OF ETHOLOGICAL, CHEMICAL AND DIETARY ATTRACTANTS IN THE EFFECTIVENESS OF MECHANICAL RODENT CONTROL METHODS

**Vladimir Drašković^{1*}, Milica Glišić², Radovan Marčetić¹,
Darja Fjodorov¹, Radislava Teodorović¹, Katarina Nenadović¹,
Marijana Vučinić¹, Milutin Đorđević¹**

Kratak sadržaj

Glodari predstavljaju značajan rezervoar zoonotskih patogena i jednu od najvažnijih grupa štetočina u urbanim i ruralnim sredinama. Njihova kontrola se tradicionalno zasniva na primeni antikoagulantnih rodenticida, koji dominiraju tržištem, posebno u Republici Srbiji, gde čine gotovo 99% registrovanih preparata. Međutim, sve izraženiji problemi povezani sa njihovom primenom, uključujući negativan uticaj na dobrobit životinja, rizik od sekundarnih trovanja i razvoj rezistentnosti, doveli su do potrebe za razvojem alternativnih metoda kontrole. Cilj ovog rada je da, pregledom relevantne literature, analizira efikasnost mehaničkih metoda kontrole i ulogu interakcije etoloških i olfaktornih stimulusa u njihovom unapređenju. Istraživanja potvrđuju da antikoagulanti izazivaju ekstremnu i dugotrajnu patnju kod glodara, dok pravilno konstruisane i sertifikovane mehaničke klopke nude humanije rešenje kroz trenutno usmrćivanje bez suvišne patnje. Rezultati dosadašnjih istraživanja ukazuju da ponašanje glodara snažno zavisi od hemijskih i socijalnih signala, uključujući mirise hrane, feromone i kairomone predatora, kao i rezidualne mirise u klopama. Takođe, prehrambeni atraktanti i specifični hemijski signali mogu značajno povećati uspešnost hvatanja. Kombinovano

¹ Dr sci. vet. med. Vladimir Drašković, docent; dr vet. med. Radovan Marčetić, asistent; dr vet. med. Darja Fjodorov, samostalni stručno tehnički saradnik za rad u laboratorijama; dr sci. vet. med. Radislava Teodorović, redovni profesor; dr sci. vet. med. Katarina Nenadović, vanredni profesor; dr sci. vet. med. Marijana Vučinić, redovni profesor; dr sci. vet. med. Milutin Đorđević, redovni profesor, Univerzitet u Beogradu, Fakultet veterinarske medicine, Katedra za zoohigijenu, Bul. oslobođenja 18, 11 000 Beograd, R. Srbija

² Dr sci. vet. med. Milica Glišić, viši naučni saradnik, Univerzitet u Beogradu, Fakultet veterinarske medicine, Katedra za higijenu i tehnologiju namirnica animalnog porekla, Bul. oslobođenja 18, 11 000 Beograd, R. Srbija

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

delovanje ovih faktora predstavlja važan potencijal za unapređenje mehaničkih metoda kontrole. Literaturni podaci ukazuju da mehaničke metode, uz adekvatnu primenu atraktanata i razumevanje bihevioralnih osobina glodara, predstavljaju održivu i humaniju alternativu hemijskim sredstvima, uz potencijal za njihovu širu integraciju u savremene strategije upravljanja štetočinama.

Ključne reči: Deratizacija, glodari, rodenticidi, mehaničke klopke, atraktanti

Abstract

Rodents represent a significant reservoir of zoonotic pathogens and one of the most important groups of pests in both urban and rural environments. Their control has traditionally been based on the use of anticoagulant rodenticides, which dominate the market, particularly in the Republic of Serbia, where they account for nearly 99% of registered products. However, increasingly pronounced issues associated with their application, including negative impacts on animal welfare, the risk of secondary poisoning, and the development of resistance, have led to the need for alternative control methods. The aim of this paper is to review the relevant literature and analyze the effectiveness of mechanical control methods, as well as the role of interaction of ethological and olfactory stimuli in their improvement. Studies confirm that anticoagulants cause extreme and prolonged rodent suffering, whereas properly designed and certified mechanical traps offer a more humane solution through rapid killing without unnecessary distress. Current research indicates that rodent behavior is strongly influenced by chemical and social signals, including food odors, pheromones, predator kairomones, and residual odors in traps. Furthermore, dietary attractants and specific chemical cues can significantly enhance trapping success. The combine action of these factors represents an important potential for improving mechanical control methods. Literature data suggest that mechanical methods, when combined with appropriate use of attractants and a sound understanding of rodent behavioral traits, constitute a sustainable and more humane alternative to chemical agents, with the potential for broader integration into modern pest management strategies.

Key words: Deratisation, rodents, rodenticides, mechanical traps, attractants

UVOD

Glodari, kao red sa najvećim diverzitetom vrsta među sisarima, predstavljaju primarni rezervoar za najmanje 85 različitih zoonotskih agenasa. Visok epidemiološki značaj ove grupe potvrđuje podatak da je približno 10,7% vrsta (244 od 2220) identifikovano kao rezervoar patogena, što ih čini grupom sa najvećim brojem zoonotskih domaćina među sisarima (Han i sar., 2016). Prime-na antikoagulantnih rodenticida u kontroli komensalnih glodara, prvenstveno kućnog miša (*Mus musculus*), sivog pacova (*Rattus norvegicus*) i crnog pacova (*Rattus rattus*), predstavlja ključni korak u zaštiti zdravlja ljudi i životinja, kao i u sprečavanju ekonomskih šteta koje ove štetočine mogu prouzrokovati (Regnery i sar., 2024).

Analizom zvaničnih podataka, uočava se trend porasta broja registrovanih biocidnih proizvoda na tržištu Republike Srbije. Prema Rešenju o upisu na privremenu listu iz novembra 2024. godine, od ukupno 3173 proizvoda, rodenticidi (grupa PT-14) činili su oko 5% udela sa 167 registrovanih preparata. Do jula 2025. godine ovaj broj je porastao na 183 u okviru proširene liste od 3258 proizvoda. Iako antikoagulantni rodenticidi predstavljaju dominantnu hemijsku metodu suzbijanja glodara u Evropskoj uniji, gde prema procenama Evropske agencije za hemikalije (European Chemicals Agency, ECHA) čine preko 95% svih odobrenih sredstava (Kotthoff i sar., 2019), situacija u Republici Srbiji ukazuje na još izraženiju zastupljenost ovih preparata. Od ukupno 183 registrovana proizvoda na domaćem tržištu, čak 181 (≈99%) su antikoagulantni rodenticidi, pri čemu 177 pripada drugoj generaciji, dok svega četiri čine prvu generaciju.

U cilju smanjenja štetnih uticaja na divlje životinjske vrste, pojedine zemlje su uvele restriktivne mere u pogledu primene najtoksičnijih rodenticida. U Ujedinjenom Kraljevstvu je do nedavno upotreba bromadiolona i difenakuma bila dozvoljena „oko objekata“, dok su se brodifakum i flokumafen mogli koristiti isključivo u zatvorenom prostoru (Buckle, 2013). Međutim, od januara 2025. godine, upotreba svih antikoagulanata druge generacije na otvorenim prostorima (poput polja i deponija) postala je ilegalna (CRRU, 2024). Prateći trend pooštavanja mera, od 2026. godine uvode se dodatni uslovi za profesionalne korisnike koji će, kao preduslov za kupovinu ovih proizvoda, morati da prilože dokaz o kompetentnosti ne stariji od pet godina ili potvrdu o kontinuiranom stručnom usavršavanju (CRRU, 2024).

Nasuprot ovim trendovima, liberalnija regulativa („Sl. glasnik RS“, br. 109/2021) i kontinuirani porast broja registrovanih hemijskih sredstava u Republici Srbiji, uz apsolutnu dominaciju najtoksičnijih jedinjenja, dodatno opravdavaju fokus na alternativne, mehaničke metode kontrole koje su predmet ovog rada. U tom kontekstu, cilj ovog rada je da se pregledom literature sagleda dejstvo etoloških, hemijskih i prehrambenih atraktanata na efikasnost mehaničkih zamki za suzbijanje komensalnih glodara.

Mehaničke metode deratizacije

Iako je rasprostranjeno mišljenje da su hemijske metode prihvatljive pod pretpostavkom da je dobrobit životinja zadovoljena, Baker i sar. (2022) ukazuju na to da rodenticidi, poput antikoagulanata i holekalciferola, uzrokuju najteže i najdugotrajnije oblike patnje, rangirajući ih kao metode sa „ekstremnim“ uticajem na dobrobit koji traje daniima. Nasuprot hemijskim sredstvima, mehaničke klopke sa oprugom navode se kao potencijalno najhumanija opcija, jer deluju nanošenjem fatalnih povreda u predelu vrata ili baze lobanje, čime se izaziva trenutna ili veoma brz gubitak svesti i smrt bez suviše patnje (Parrott i sar., 2009; Baker i sar., 2022). Ipak, efikasnost ovih uređaja znatno varira u zavisnosti od kvaliteta modela, što zahteva strogu regulaciju i testiranje kako bi se izbegle teške povrede uz izostanak ciljnog efekta i osiguralo humanije

suzbijanje štetnih glodara. Iz tog razloga, evropska radna grupa Non-Chemical Alternatives for Rodent Control (NoCheRo) razvila je smernice za sertifikaciju visokokvalitetnih modela klopki, težeći da standardizovanim testiranjem potvrdi efikasnost mehanizama koji izazivaju nepovratni gubitak svesti i tako ih postavi kao humanu alternativu antikoagulantnim rodenticidima (Schlötterburg i sar., 2021).

Efikasnost klopki pre svega zavisi od njihovog redovnog održavanja, pravilnog podešavanja i planskog postavljanja. Kako bi se osigurao brz gubitak svesti i humana smrt, klopke treba postavljati na puteve kretanja glodara, i to upravno na zid ili paralelno uz njega, uz korišćenje zaklona koji životinju usmerava ka mehanizmu (Baker i sar., 2012). Dodatni ključni faktori su upotreba odgovarajućih atraktanata i striktno izbegavanje kontaminacije opreme stranim mirisima.

Uloga olfaktornih stimulusa u regulaciji brojnosti glodara

Ponašanje glodara je u velikoj meri uslovljeno mirisima koji oblikuju njihove socijalne, reproduktivne i nutritivne navike, što se direktno odražava i na njihovu reakciju prema klopka, mamcima i deratizacionim kutijama. Naime, dokazano je da miris hrane prema kojoj miševi pokazuju afinitet, kao i urin mužjaka, povećavaju istraživačku aktivnost suprotnog pola. Naime, potvrđeno je da je unos visokomasne hrane kod ove vrste primarno posredovan mirisnim signalima (Clapperton, 2006). Prema istraživanjima Hursta (1987), tragovi urina ne služe samo za orijentaciju u prostoru, već mogu olakšati i bržu detekciju novih objekata u okruženju.

Efikasnost kontrole štetnih glodara značajno zavisi od rezidualnih mirisa prethodno uhvaćenih jedinki u klopka. Ovaj uticaj je varijabilan i zavisi od pola, starosti i reproduktivnog statusa životinje (Clapperton, 2006). Istraživanje koje su sprovedi Takács i sar. (2017) ukazuje na potencijalnu primenu polnih hormona kao visokoefikasnih atraktanata u kontroli populacije glodara. Rezultati terenskih eksperimenata pokazali su da prisustvo sintetičkog testosterona u zamka čak petnaest puta povećava ulov odraslih ženki miša, dok kombinacija progesterona i estradiola značajno podstiče privlačenje mužjaka, povećavajući broj uhvaćenih jedinki kod miševa osam puta, a kod pacova trinaest puta.

Sa druge strane, mirisi predatora sadrže specifičnu klasu hemijskih signala poznatih kao kairomoni koji kod glodara mogu aktivirati urođeni strah i snažne odbrambene reakcije (Ferrero i sar., 2011). Ovi signali posreduju u komunikaciji između različitih vrsta (npr. u odnosu predator–plen) i pružaju direktnu korist organizmu koji ih detektuje, jer mu omogućavaju da blagovremeno prepozna opasnost i aktivira odbrambene mehanizme. Pomenuta jedinjenja prisutna su u krznu, pljuvački, fecesu i sekretima analnih žlezda različitih predatora, pri čemu urin često predstavlja glavni nosilac ključnih komponenti, poput 2-feniletilamina i određenih sumpornih jedinjenja nastalih razgradnjom životinjskih proteina. Međutim, potrebno je uzeti u obzir da npr. terensko istraživanje Stryjeka i sar. (2018) ukazuje da ovi znaci opasnosti ne rezultiraju

uvek izbegavanjem prostora kod sivog pacova . Naime, nalazi pokazuju da na poznatoj teritoriji pacova i u neposrednoj blizini zaklona ovi signali ne utiču na učestalost prikupljanja hrane, niti podstiču ponašanje povezano sa strahom, što ukazuje na to da miris predatora ima ograničen potencijal kao praktični repelent u divljim populacijama ovih štetočina.

Uticaj stimulusa u mamcima na efikasnost kontrole brojnosti glodara

Komensalni glodari, prvenstveno sivi pacov, crni pacov i kućni miš, klasifikuju se kao omnivorne vrste (Shiels i Pitt, 2014). Ove vrste poseduju visoko razvijeno i funkcionalno čulo ukusa (Yarmolinsky i sar., 2009). Iako ovi glodari poseduju širok spektar nutritivnih afiniteta, Meehan (1984) ističe da je nemoguće definisati namirnicu koja bi bila podjednako atraktivna svim populacijama pacova i da univerzalno efikasan mamac ne postoji. Na specifičnost ishrane utiče i stanište, pri čemu Guiry i Buckley (2018) navode da urbane populacije konzumiraju kvalitetniju i ujednačeniju hranu, dok se ruralne prilagođavaju raznovrsnijim prirodnim resursima. Nadovezujući se na značaj sastava mamaca, Marsh (1988) navodi da su šećeri, kao i biljna i životinjska ulja i masti, najefikasniji aditivi za poboljšanje palatabilnosti i prihvatanja mamaca na bazi žitarica. Nasuprot tome, dodaci različitih aroma često ispoljavaju kontraefekat, rezultirajući smanjenom konzumacijom umesto očekivanog povećanja privlačnosti (Schmolz i Kalle, 2010).

Etološki faktori koji utiču na efikasnost mehaničkih metoda deratizacije

Efikasnost mehaničkih metoda deratizacije štetnih glodara značajno varira kako između vrsta, tako i između jedinki unutar iste vrste. Na primer, sivi pacov pokazuje nižu verovatnoću ulova u poređenju sa drugim komensalnim glodari-ma, što je rezultat kombinacije unutrašnjih faktora i prethodnog iskustva. Kod miševa se javljaju jedinke sklone ulasku u zamke i one koje ih izbegavaju, pri čemu se razlike mogu uočiti i između polova i starosnih kategorija. Pored toga, spoljašnji faktori, kao što su vlažnost, temperatura i vegetacija, dodatno utiču na efikasnost hvatanja (Clapperton, 2006). Uz navedene faktore, na ponašanje glodara u kontekstu sakupljanja hrane i prilaska zamkama utiču i složeni društveni mehanizmi. Jedan od njih je mimetička želja – pojava da jedinka ispoljava afinitet prema objektima koje već poseduje drugi pacov. Li i saradnici (2016) su pokazali da su pacovi, suočeni sa izborom sakupljanja hrane u takmičarskom okruženju, birali one objekte koje je već posedovao drugi pacov. Ovi nalazi ukazuju na to da glutamatergični sistem (*N'*-metil-D-aspartatni receptori – NMDA) obrade informacija igra ključnu ulogu u društveno usmerenom donošenju odluka kod pacova, dok se mehanizmi društvene motivacije razlikuju od onih zasnovanih isključivo na nutritivnoj vrednosti.

ZAKLJUČAK

Dobijeni rezultati ukazuju da održivi i savremeni sistemi kontrole glodara ne mogu biti zasnovani isključivo na hemijskim rodenticidima, s obzirom na njihovu široku primenu, ekološke rizike i negativne efekte na dobrobit životinja. Dominacija antikoagulantnih jedinjenja druge generacije dodatno naglašava potrebu za preispitivanjem postojećih strategija upravljanja populacijama štetnih glodara. Mehaničke metode, posebno kada su podržane standardizovanim dizajnom i pravilnom primenom, predstavljaju realnu i etički prihvatljiviju alternativu, s tim da se mora uzeti u obzir da njihova efikasnost nije univerzalna i da u velikoj meri zavisi od obrazaca ponašanja glodara, koji su pod snažnim uticajem olfaktornih, prehrambenih i socijalnih faktora. Analiza dostupne literature sugerise da integracija atraktanata i razumevanje bihejvioralnih mehanizama značajno mogu unaprediti uspešnost mehaničkih sistema kontrole. U tom kontekstu, budući razvoj strategija suzbijanja glodara trebalo bi da bude zasnovan na principima integrisanog upravljanja štetočinama, uz kombinovanje bioloških saznanja i tehničkih rešenja, čime se omogućava efikasnija, ekološki prihvatljivija i etički održivija kontrola populacije glodara u savremenim uslovima.

Zahvalnica

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

LITERATURA

1. Baker, S. E., Ayers, M., Beausoleil, N. J., Belmain, S. R., Berdoy, M., Buckle, A. P., Cagienard, C., Cowan, D., Fearn-Daglish, J., Goddard, P., Golledge, H. D. R., Mullineaux, E., Sharp, T., Simmons, A., & Schmolz, E. (2022). An assessment of animal welfare impacts in wild Norway rat (*Rattus norvegicus*) management. *Animal Welfare*, 31(1), 51–68.
2. Baker, S. E., Ellwood, S. A., Tagarielli, V. L., & Macdonald, D. W. (2012). Mechanical performance of rat, mouse and mole spring traps, and possible implications for welfare performance. *PLOS ONE*, 7(6), e39334.
3. Buckle, A. (2013). Anticoagulant resistance in the United Kingdom and a new guideline for the management of resistant infestations of Norway rats (*Rattus norvegicus*). *Pest Management Science*, 69(3), 334–341.
4. Clapperton, K. (2006). *A review of the current knowledge of rodent behaviour in relation to control devices* (Science for Conservation No. 263). Department of Conservation.
5. CRRU (Campaign for Responsible Rodenticide Use). (2024, July 3). Guidance changes for gamekeepers on rodenticide use. *Think Wildlife*. <https://www.thinkwildlife.org> (Datum pristupa 04.05.2026)
6. Ferrero, D. M., Lemon, J. K., Fluegge, D., Pashkovski, S. L., Korzan, W. J., Datta, S. R., Spehr, M., Fendt, M., & Liberles, S. D. (2011). Detection and avoidance of a carnivore odor by prey. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 108(27), 11235–11240.
7. Guiry, E., & Buckley, M. (2018). Urban rats have less variable, higher protein diets. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 285(1889), 20181441.
8. Han, B. A., Kramer, A. M., & Drake, J. M. (2016). Global patterns of zoonotic disease in mammals. *Trends in Parasitology*, 32(7), 565–577.
9. Hurst, J. L. (1987). The functions of urine marking in a free-living population of house mice, *Mus domesticus*. *Animal Behaviour*, 35(5), 1433–1442.

10. Kotthoff, M., Rüdell, H., Jürling, H., Severin, K., Hennecke, S., Friesen, A., & Koschorreck, J. (2019). First evidence of anticoagulant rodenticides in fish and suspended particulate matter: Spatial and temporal distribution in German freshwater aquatic systems. *Environmental Science and Pollution Research*, 26(8), 7315–7325.
11. Li, F., Cao, W. Y., Huang, F. L., Kang, W. J., Zhong, X. L., Hu, Z. L., Wang, H. T., Zhang, J., Zhang, J. Y., Dai, R. P., & Li, C. Q. (2016). Roles of NMDA and dopamine in food-foraging decision-making strategies of rats in the social setting. *BMC Neuroscience*, 17, 3.
12. Marsh, R. E. (1988). Bait additives as a means of improving acceptance by rodents. *EPPO Bulletin*, 18(2), 195–202.
13. Meehan, A. P. (1984). *Rats and mice: Their biology and control*. Rentokil Ltd.
14. Parrott, D., Quy, R., van Driel, K., Lurz, P., Rushton, S., Gurnell, J., Aebischer, N., & Reynolds, J. (2009). *Review of red squirrel conservation activity in northern England* (Natural England Commissioned Report NECR019). Natural England.
15. Regnery, J., Rohner, S., Bachtin, J., Möhlenkamp, C., Zinke, O., Jacob, S., Wohlsein, P., Siebert, U., Reifferscheid, G., & Friesen, A. (2024). First evidence of widespread anticoagulant rodenticide exposure of the Eurasian otter (*Lutra lutra*) in Germany. *Science of The Total Environment*, 907, 167938.
16. Schlötelburg, A., Geduhn, A., Schmolz, E., Friesen, A., Baker, S., Martenson, N., Le Laidier, G., Urzinger, M., Klute, O., Schröer, D., & Puschmann, M. (2021). *NoCheRo-guidance for the evaluation of rodent traps. Part A: Break back/snap traps*. German Environment Agency.
17. Schmolz, E., & Kalle, A. (2010). Effect of addition of artificial flavour on rodent bait attractiveness. *Proceedings of the Vertebrate Pest Conference*, 24, 192–194.
18. Shiels, A. B., & Pitt, W. C. (2014). A review of invasive rodent (*Rattus* spp. and *Mus musculus*) diets on Pacific islands. *Proceedings of the Vertebrate Pest Conference*, 26, 156–160.
19. Stryjek, R., Mioduszevska, B., Spaltabaka-Gędek, E., & Juszcak, G. R. (2018). Wild Norway rats do not avoid predator scents when collecting food in a familiar habitat: A field study. *Scientific Reports*, 8, 9475.
20. Takács, S., Gries, R., & Gries, G. (2017). Sex hormones function as sex attractant pheromones in house mice and brown rats. *ChemBioChem*, 18(14), 1391–1395.
21. Yarmolinsky, D. A., Zuker, C. S., & Ryba, N. J. (2009). Common sense about taste: From mammals to insects. *Cell*, 139(2), 234–244.
22. Zakon o biocidnim proizvodima. (2021). *Službeni glasnik RS*, br. 109/2021.

Pregledni rad DOI: 10.5937/DDD26154G

SAVREMENI PRISTUPI U KONTROLI GLODARA U PREHRAMBENOJ INDUSTRIJI

MODERN APPROACHES IN RODENT CONTROL IN THE FOOD INDUSTRY

*Siniša Grubač¹, Ivan Pušić¹, Mira Majkić², Slobodan Knežević¹,
Vladimir Polaček¹, Milenko Rikić¹, Jasna Prodanov-Radulović¹*

Kratak sadržaj

Glodari predstavljaju jedan od najznačajnijih biotičkih hazarda u objektima prehrambene industrije. Njihovo prisustvo može uzrokovati direktnu kontaminaciju hrane fekalijama, urinom i dlakom, kao i indirektnu kontaminaciju putem prenošenja patogenih mikroorganizama poput *Salmonella* spp., *Listeria monocytogenes* i *Leptospira* spp. Ekonomske štete koje nanose glodari uključuju oštećenje zaliha, ambalaže, infrastrukture i opreme. Savremeni standardi bezbednosti hrane (HACCP, BRC, IFS, ISO 22000) obavezuju prehrambena preduzeća na uspostavljanje sistemskog pristupa kontroli štetočina zasnovanog na principima integrisanog upravljanja štetočinama (Integrated Pest Management–IPM). IPM pristup integriše kontinuirani monitoring populacije štetočina, preventivne i sanitarne mere, kao i ciljnu primenu kontrolnih metoda uz minimalnu upotrebu rodenticida. U poslednjoj deceniji beležimo intenzivan razvoj alternativnih metoda kontrole, uključujući CO₂ klopke, električne barijere, elektromehaničke uređaje i digitalne sisteme monitoringa zasnovane na IoT tehnologiji. Cilj ovog preglednog rada je kritički prikaz aktuelnih naučnih saznanja i praktičnih dostignuća u oblasti kontrole glodara u prehrambenoj industriji, sa posebnim akcentom na implementaciju IPM koncepta i primenu inovativnih tehnoloških rešenja.

Ključne reči: bezbednost hrane, glodari, deratizacija, IPM, monitoring štetočina, prehrambena industrija, rodenticidi

¹ Dr sci. vet. med. Siniša Grubač, naučni saradnik; dr sci. vet. med. Ivan Pušić, viši naučni saradnik; dr sci. vet. med. Slobodan Knežević, viši naučni saradnik; dr sci. vet. med. Vladimir Polaček, naučni savetnik; dr sci. vet. med. Milenko Rikić, istraživač pripravnika; dr sci. vet. med. Jasna Prodanov-Radulović, naučni savetnik, Naučni institut za veterinarstvo „Novi Sad”, 21000 Novi Sad, R. Srbija

² Dr sci. vet. med. Mira Majkić, docent, Univerziteta u Novom Sadu, Poljoprivredni fakultet, Departman za veterinarsku medicinu, 21000 Novi Sad, R. Srbija

* e-mail kontakt osobe: grubac@niv.ns.ac.rs

Abstract

Rodents represent one of the most significant biotic hazards in food industry facilities. Their presence can cause direct contamination of food with feces, urine, and hair, as well as indirect contamination through the transmission of pathogenic microorganisms such as Salmonella spp., Listeria monocytogenes, and Leptospira spp. Modern food safety standards (HACCP, BRC, IFS, ISO 22000) require food businesses to establish a systematic pest control approach based on the principles of Integrated Pest Management (IPM). This review presents current scientific knowledge and practical achievements in the field of rodent control in the food industry.

Key words: food industry, food safety, IPM, pest monitoring, rodents, rodent control, rodenticides

UVOD

Kontrola štetočina predstavlja jedan od ključnih elemenata sistema bezbednosti hrane u prehrambenoj industriji. Glodari, naročito sivi pacov (*Rattus norvegicus*), crni pacov (*Rattus rattus*) i kućni miš (*Mus musculus*), svrstani su u grupu najznačajnijih biotičkih hazarda u lancima prehrambene proizvodnje i distribucije.

Procenjuje se da glodari godišnje unište između 1% i 20% svetskih zaliha hrane, pri čemu su direktne kontaminacije fekalijama, urinom i dlakom posebno problematične u kontekstu normi mikrobiološke bezbednosti hrane (Meerburg i sar., 2009). Pored direktnih ekonomskih gubitaka, glodari su poznati kao rezervoari i vektori više od 35 zaraznih bolesti ljudi i životinja, uključujući salmonelezu, leptospirozu, hantavirusne infekcije i tularemiju (Himsworth i sar., 2013).

Savremeni standardi bezbednosti hrane, kao što su Analiza opasnosti i kritične kontrolne tačke (HACCP), *British Retail Consortium* (BRC), *International Featured Standards* (IFS) i ISO 22000, eksplicitno zahtevaju uspostavljanje dokumentovanog programa kontrole štetočina u okviru preduslova programa (PRP). Ovaj zahtev podrazumeva implementaciju Integrisanog upravljanja štetočinama (*Integrated Pest Management* – IPM), koncepta koji kombinuje preventivne, sanitarne, mehaničke i hemijske mere u cilju dugoročne i ekološki održive kontrole populacije štetočina (FAO/WHO, 2003; Buckle i Smith, 2015).

Cilj ovog preglednog rada je kritička analiza savremenih naučnih saznanja i praktičnih dostignuća u oblasti kontrole glodara u prehrambenoj industriji, sa posebnim osvrtom na implementaciju IPM koncepta i primenu inovativnih tehnoloških rešenja u sistemu monitoringa i suzbijanja populacija glodara.

NAJZNAČAJNIJE VRSTE GLODARA U PREHRAMBENOJ INDUSTRIJI I NJIHOV SANITARNI ZNAČAJ

***Rattus norvegicus* – sivi (norveški) pacov**

Sivi pacov (*Rattus norvegicus*) je kosmopolitska vrsta i ujedno najčešće zastupljena štetočina u urbanim i industrijskim sredinama. Odlikuje se robusnom

građom tela (telesna masa 200–500 g), karakteristično kopajućim ponašanjem i sklonosti ka zadržavanju u podrumskim etažama, kanalizacionim sistemima i otpadnim prostorima objekata prehrambene industrije (Buckle i Smith, 2015). Vrsta je omnivornog karaktera, konzumira do 30 g hrane dnevno i može kontaminirati višestruko veće količine hrane od potrošene. Reproductivni potencijal je visok: ženka rađa 5–10 legala godišnje sa prosečno 8 mladunaca po leglu, što može dovesti do eksponencijalnog rasta populacije u povoljnim uslovima.

***Rattus rattus* – crni pacov**

Crni pacov (*Rattus rattus*) je agilnija i vitkija vrsta u poređenju sa sivim pacovom, prilagođena životu u višim zonama objekata – na tavanima, krovnim konstrukcijama i regalnim sistemima skladišta. Odlikuje se izraženom sposobnošću penjanja duž vertikalnih površina i kablova, što ga čini posebno problematičnim u modernim industrijskim postrojenjima. Istorijski je poznat kao vektor kuge (*Yersinia pestis*) posredstvom buva, a danas se smatra rezervoarom različitih hantavirusa i leptospira (Himsworth i sar., 2013).

***Mus musculus* – kućni miš**

Kućni miš (*Mus musculus*) je najmanji i ujedno najtolerantniji na prisustvo čoveka od tri ekonomski značajne vrste. Zbog svojih malih dimenzija (telesna masa 15–30 g) sposoban je da se provuče kroz otvore prečnika svega 6–7 mm, što otežava primenu isključivo fizičkih barijera kao metode kontrole. Miš konzumira 3–5 g hrane dnevno, ali kontaminira neuporedivo veće površine izmetom (do 80 fekalnih peleta dnevno), što ga čini posebno hazardnim u proizvodnim pogonima (Meerburg i sar., 2009).

ZDRAVSTVENI I EKONOMSKI ZNAČAJ

Sva tri navedena glodara su zoonotski relevantne vrste koje mogu direktno ugroziti zdravlje radnika i potrošača. Najznačajniji patogeni mikroorganizmi koje prenose su:

- *Salmonella* spp. – uzročnik salmoneloze, jedne od vodećih alimentarnih infekcija u Evropi;
- *Listeria monocytogenes* – oportunistički patogen posebno opasan za trudnice, starije i imunokompromitovane osobe;
- *Leptospira* spp. – uzročnik leptospiroze, sistemske zoonoze sa mogućim smrtnim ishodom;
- *Hantavirusi* – uzročnici hemoragijske groznice sa renalnim sindromom;
- *Toxoplasma gondii* – uzročnik toksoplazmoze.

Ekonomski gubici prouzrokovani glodarima obuhvataju direktne gubitke od uništenih sirovina i gotovih proizvoda, troškove sanacije i dezinfekcije, oštećenje ambalaže i opreme, kao i indirektno gubitke u vidu povlačenja proizvoda sa tržišta, kazni regulatornih organa i narušavanja ugleda preduzeća (Corrigan, 2001).

INTEGRISANO UPRAVLJANJE ŠTETOČINAMA (IPM) U PREHRAMBENOJ INDUSTRIJI

Konceptualni okvir IPM pristupa

Integrirano upravljanje štetočinama (*Integrated Pest Management* – IPM) je naučno zasnovana strategija kontrole štetočina koja nastoji da minimizira zdravstvene, ekonomske i ekološke rizike kroz primenu kombinirane palete preventivnih i kontrolnih mera. IPM pristup se zasniva na principu da hemijska kontrola treba biti poslednje, a ne prvo sredstvo u borbi sa štetočinama, primenjujući je isključivo kada su preventivne mere nedovoljne i kada su pragovi štetnosti prekoračeni (Buckle i Smith, 2015).

U prehrambenoj industriji IPM ima poseban regulatorni i reputacioni značaj. Relevantna evropska legislativa (Uredba EC 1107/2009, Direktiva 2009/128/EC o održivoj upotrebi pesticida) eksplicitno propisuje obavezu primene integrisanog pristupa u upravljanju štetočinama za sve objekte koji rukuju hranom.

Tabela 1. Osnovni elementi IPM sistema u prehrambenoj industriji

Element IPM sistema	Opis	Primeri mera
Monitoring i inspekcija	Sistematsko praćenje aktivnosti štetočina i identifikacija rizičnih zona	Klopke za monitoring, UV-svetlosni uređaji, vizuelni pregled, tragovi, fekalije
Preventivne mere	Eliminacija faktora koji pogoduju naseljavanju glodara	Zatvaranje ulaznih tačaka, zaštitne mreže, čelične ploče na bazi vrata
Sanitarne mere	Uklanjanje izvora hrane, vode i skrovišta	Pravilno skladištenje, upravljanje otpadom, čišćenje perifernih zona
Mehaničke metode	Fizičko hvatanje ili eliminacija glodara	Klopke s živim hvatanjem, CO ₂ klopke, električne klopke
Hemijska kontrola	Primena rodenticida u slučaju aktivne infestacije	Antikoagulantni rodenticidi (1. i 2. generacije), akutni rodenticidi
Dokumentacija i evaluacija	Vođenje evidencije i procena efikasnosti programa	Karte rasporeda klopki, izveštaji o aktivnosti, trend analiza

Monitoring kao osnova IPM sistema

Kontinuirani monitoring aktivnosti glodara predstavlja temelj svakog efikasnog IPM programa. Pravilno postavljen sistem monitoringa omogućava rano otkrivanje prisustva štetočina, procenu veličine i prostornog rasporeda populacije, identifikaciju ulaznih tačaka i migracionih koridora, kao i evaluaciju efikasnosti primenjenih kontrolnih mera (Corrigan, 2001).

U praksi se monitoring sprovodi kombinacijom metoda: mehaničkih klopki za monitoring bez toksičnih mamaca (tzv. blokovi bez otrova), ploča za otiske stopala, luminiscentnih prahova koji fluoresciraju pod UV svetlom, kao i vizuelnih inspekcija prema standardizovanim protokolima. Sve uočene aktivnosti unose se u digitalnu mapu objekta koja omogućava identifikaciju *hot-spot* zona i praćenje trendova.

PREVENTIVNE I SANITARNE MERE – KLJUČ DUGOROČNE KONTROLE

Ekskluzioni pristup (fizičko isključivanje glodara iz objekata) smatra se najefikasnijom dugoročnom merom kontrole. Glodari ulaze u objekte kroz otvore veće od 6 mm (miševi) ili 12 mm (pacovi), duž cevovoda, kablovskih instalacija, kroz neadekvatno zaptivene prolaze i kroz nepravilno postavljene podne slivnike. Sistematska inspekcija i sanacija svih potencijalnih ulaznih tačaka, u kombinaciji sa instalacijom čeličnih barijera i odgovarajućih vrata sa gumenim pregradama pri dnu, predstavlja prioritetnu meru u svakom IPM programu (Buckle i Smith, 2015).

Sanitarne mere uključuju pravilno upravljanje otpadom (zatvorenost kontejnera, redovno pražnjenje), eliminaciju nakupina debrisu u perifernim zonama objekata koje služe kao skrovišta, adekvatno skladištenje sirovina na paletima na minimalnoj visini od 15 cm od poda i na odstojanju od zidova, kao i eliminaciju izvora stajaće vode.

SAVREMENE I ALTERNATIVNE METODE KONTROLE GLODARA

Resistencija na rodenticide – izazov savremene deratizacije

Antikoagulantni rodenticidi su dugi niz decenija predstavljali primarni alat hemijske kontrole glodara. Međutim, nekontrolisana i neselektivna primena ovih jedinjenja, naročito rodenticida druge generacije (bromadiolon, brodifakum, difetialon), doprinela je pojavi i širenju rezistencije kod populacija *R. norvegicus* i *R. rattus* u brojnim evropskim zemljama (Buckle i Smith, 2015).

Genetska osnova rezistencije na antikoagulantne rodenticide je u velikoj meri razjašnjena – radi se o mutacijama u genu VKORC1 koji kodira enzim vitamin K 2,3-epoksid reduktaza, koji je meta dejstva antikoagulantnih rodenticida. Različite mutacije ovog gena konstatovane su u populacijama glodara iz Srbije, čime je potvrđena lokalna relevantnost ovog fenomena (Meerburg i sar., 2009). Pojava rezistencije dodatno naglašava potrebu za rotacijom aktivnih supstanci i primenom alternativnih metoda kontrole.

Alternativne metode kontrole

U odgovoru na izazove rezistencije na rodenticide i sve strože propise o upotrebi biocida u blizini hrane, razvijene su brojne alternativne metode kontrole glodara pogodne za primenu u prehrambenoj industriji:

Tabela 2. *Savremene alternativne metode kontrole glodara – prikaz karakteristika i primene*

Metoda	Princip dejstva	Prednosti	Ograničenja
CO ₂ klopke	Gušenje ugljendioksidom pri aktiviranju senzora	Humano, bez hemikalija, selektivno, automatski reset	Viša nabavna cena, potreban izvor CO ₂
Električne klopke	Visokona. strujni impuls pri prolasku glodara	Brzo i humano uklanjanje, bez otrova, lako pražnjenje	Ograničen kapacitet, nije za vlažna mesta
Električne barijere	Elektrostatičko polje sprečava prolaz glodara	Preventivna zaštita, bez hemikalija, dugotrajna	Primena u ograničenim zonama
Digitalne klopke (IoT)	Senzori šalju alarm pri aktivaciji putem WiFi/GSM	Monitoring u realnom vremenu, ušteda inspekcija, analitika	Zahteva stabilnu mrežu i softver
Video AI monitoring	Algoritmi mašinskog učenja prepoznaju glodare	Neinvazivno, 24/7 detekcija, prostorna analiza	Visoka inicijalna investicija, zahteva IT podršku
Biološka kontrola	Korišćenje prirodnih predatora (mačke, sove)	Ekološki prihvatljivo, preventivno	Ograničena efikasnost, nije prihvatljivo u pogonima
Elektromehanički uređaji	Senzorska aktivacija, napajanje iz baterije	Bez hemikalija, biološki prihvatljivo i humano, Hvatanje više jediniki	Veoma velik fizički uređaj

DIGITALIZACIJA KONTROLE ŠTETOČINA – IoT i AI SISTEMI

Digitalna transformacija sistema kontrole štetočina predstavlja jedan od najznačajnijih trendova u savremenom upravljanju štetočinama. Razvoj WiFi-baziranih i IoT (*Internet of Things*) klopki omogućio je automatsko prikupljanje podataka o aktivnosti štetočina, eliminišući potrebu za fizičkim obilascima inspekcije i time smanjujući operativne troškove programa kontrole štetočina (WHO, 2020).

Prednosti digitalnih sistema monitoringa su višestruke: mogućnost praćenja aktivnosti u realnom vremenu sa mobilnih uređaja, automatsko generisanje izveštaja u formatima kompatibilnim sa zahtevima bezbednosnih standarda, trendovska analiza aktivnosti štetočina po zonama objekta, kao i integracija sa sistemima upravljanja kvalitetom (QMS). U nekim naprednim sistemima implementirani su i algoritmi veštačke inteligencije koji automatski razlikuju aktivnosti glodara od lažnih alarma uzrokovanih insektima ili prašinom.

Video-bazirani sistemi zasnovani na dubokom učenju (*deep learning*) predstavljaju najsavremeniji pristup, omogućavajući trodimenzionalnu prostornu analizu kretanja glodara unutar objekata bez direktnog kontakta sa štetočinama. Pilot projekti implementacije ovih sistema u objektima prehrambene industrije u Skandinaviji i Ujedinjenom Kraljevstvu pokazali su smanjenje troškova inspekcije za 40–60% uz istovremeno povećanje stope detekcije infestacija u ranoj fazi.

REGULATORNI I SERTIFIKACIONI ZAHTEVI

Kontrola glodara u prehrambenoj industriji Srbije regulisana je nizom propisa i standarda. Na nacionalnom nivou, Zakon o bezbednosti hrane (Sl. glasnik RS, br. 41/2009) i prateći podzakonski akti propisuju obavezu primene sistema kontrole štetočina u svim objektima u kojima se rukuje hranom. Pravilnik o higijeni hrane (preuzeto prema Uredbi EC 852/2004) eksplicitno navodi kontrolu štetočina kao deo Preduslovnih programa.

Međunarodni sertifikacioni standardi BRC *Global Standard for Food Safety* (verzija 9, 2022) i IFS *Food Standard* (verzija 8, 2023) sadrže detaljne zahteve koji se odnose na dokumentovani IPM program, uključujući: pisanu proceduru kontrole štetočina, mape sa ucrtanim klopama, zapise o inspekcijama i aktivnostima štetočina, analizu trendova, kvalifikacije *pest control* servisa i dokaze o efikasnosti programa. Auditovanjem ovih aspekata može se ostvariti od 5% do 10% ukupnih poena u scoring sistemu sertifikacionih tela.

DISKUSIJA

Kontrola glodara u prehrambenoj industriji predstavlja kompleksan multidisciplinarni izazov koji integriše znanja iz veterinarske, javnozdravstvene i inženjersko-ekološke oblasti. Pregled aktuelne literature ukazuje da primena isključivo hemijskih metoda (rodenticida) bez komplementarnih preventivnih mera dugoročno nije efikasna, a pojava i širenje rezistencije na antikoagulantne rodenticide dodatno komplikuje situaciju.

IPM pristup se nameće kao naučno validiran i regulatorno prihvaćen okvir za upravljanje populacijama glodara. Njegova efikasnost je višestruko dokumentovana u literaturi: studija Meerburg i sar. (2009) pokazala je da implementacija sveobuhvatnog IPM programa smanjuje populaciju glodara u prehrambenim objektima za 60–80% u roku od 6 meseci, uz istovremenu redukciju upotrebe rodenticida za više od 50%.

Razvoj digitalnih sistema monitoringa i AI-baziranih rešenja otvara nove mogućnosti u optimizaciji IPM programa. Automatizacija prikupljanja podataka i analitika zasnovana na velikom broju podataka (*big data analytics*) omogućava preciznije predviđanje infestacija i pravovremenu intervenciju, što je posebno važno u kontekstu FSMA (*Food Safety Modernization Act*) i sličnih preventivno orijentisanih regulatornih okvira.

Ključni izazovi u implementaciji naprednih IPM sistema u Srbiji odnose se na edukaciju i sertifikaciju *pest control* servisa, troškove uvođenja digitalnih rešenja za srednja i mala prehrambena preduzeća, kao i potrebu za standardizacijom procedura monitoringa i izveštavanja na nacionalnom nivou.

ZAKLJUČAK

Na osnovu pregleda dostupnih naučnih podataka i praktičnih iskustava u kontroli glodara u prehrambenoj industriji, mogu se izvesti sledeći zaključci:

- Glodari (*R. norvegicus*, *R. rattus*, *M. musculus*) predstavljaju značajan sanitarni, javnozdravstveni i ekonomski rizik u objektima prehrambene industrije, posredujući u prenosu brojnih zoonotskih patogena.
- IPM pristup, zasnovan na kombinaciji monitoringa, preventivnih, sanitarnih i kontrolnih mera, predstavlja savremeni standard i regulatorni zahtev u kontroli štetočina u prehrambenoj industriji.
- Pojava i širenje rezistencije na antikoagulantne rodenticide potvrđena je u brojnim populacijama glodara, uključujući Srbiju, što naglašava imperativ primene integrativnih pristupa koji smanjuju oslanjanje na hemijsku kontrolu.
- Alternativne metode kontrole (CO₂ klopke, električne klopke i barijere, digitalni IoT sistemi, AI video monitoring) nude ekološki prihvatljivija i potencijalno efikasnija rešenja u regulatorno zahtevnim okruženjima prehrambene industrije.
- Digitalizacija kontrole štetočina kroz IoT i AI tehnologije omogućava monitoring u realnom vremenu, smanjenje operativnih troškova i unapređenje dokumentacije u skladu sa zahtevima sertifikacionih standarda.
- Dalja istraživanja treba usmeriti ka validaciji efikasnosti digitalnih sistema monitoringa u lokalnim uslovima, epidemiološkim studijama rasprostranjenosti rezistencije u populacijama glodara u Srbiji i razvoju edukativnih programa za *pest control* stručnjake.

LITERATURA

1. Buckle, A.P., Smith, R.H. (2015). Rodent Pests and Their Control (2nd ed.). CABI Publishing, Wallingford, UK.
2. Corrigan, R.M. (2001). Rodent Control: A Practical Guide for Pest Management Professionals. GIE Media, Cleveland, OH.
3. European Parliament (2009). Directive 2009/128/EC establishing a framework for Community action to achieve the sustainable use of pesticides. Official Journal of the European Union.
4. European Parliament (2009). Regulation (EC) No 1107/2009 of the European Parliament and of the Council concerning the placing of plant protection products on the market. Official Journal of the European Union.
5. FAO/WHO (2003). Assuring Food Safety and Quality: Guidelines for Strengthening National Food Control Systems. FAO Food and Nutrition Paper 76, Rome.
6. Himsworth, C.G., Parsons, K.L., Jardine, C., Patrick, D.M. (2013). Rats, cities, people, and pathogens: A systematic review and narrative synthesis of literature regarding the ecology of rat-associated zoonoses in urban centers. Vector-Borne and Zoonotic Diseases, 13(6): 349–359.

7. Meerburg, B.G., Singleton, G.R., Kijlstra, A. (2009). Rodent-borne diseases and their risks for public health. *Critical Reviews in Microbiology*, 35(3): 221–270.
8. Uredba (EC) br. 852/2004 Evropskog parlamenta i Saveta o higijeni prehrambenih proizvoda. Preuzeta u pravni sistem Srbije.
9. WHO (2020). *Food Safety Management Systems: Key Principles and Guidance for Implementation*. World Health Organization, Geneva.
10. Zakon o bezbednosti hrane (2009). Službeni glasnik RS, br. 41/2009.

Originalni naučni rad DOI: 10.5937/DDD26163S

PROCENA RIZIKA OD INFESTACIJE GLODARIMA NA FARMAMA – PREDLOG MODELA I NJEGOVA PRIMENA U PLANIRANJU DERATIZACIJE

RISK ASSESSMENT OF RODENT INFESTATION ON FARMS – A MODEL PROPOSAL AND ITS APPLICATION IN RODENT CONTROL PLANNING

**Marko Stojiljković¹*, Ilija Jovanović¹, Miloš Arsić¹, Vladimir
Marjanović¹, Marija Stojiljković¹, Miloš Petrović¹**

Kratak sadržaj

Glodari predstavljaju značajan epizootiološki i ekonomski rizik u proizvodnji hrane životinjskog porekla, ali se njihova kontrola na farmama često sprovodi bez standardizovane procene rizika. Cilj ovog rada bio je razvoj praktičnog i fleksibilnog modela za procenu rizika od infestacije glodarima, koji omogućava kvantitativnu procenu rizika i njegovo direktno povezivanje sa izborom i intenzitetom mera deratizacije. Model je zasnovan na modularnom pristupu i obuhvata pet grupa faktora: resurse za opstanak glodara na farmi, infrastrukturu glodara, aktivnost glodara, okruženje farme i mere kontrole glodara na farmi. Procena rizika vrši se primenom sistema bodovanja (0–3) za svaki parametar, uz klasifikaciju u četiri nivoa rizika. Model uključuje mogućnost stručne interpretacije rezultata, kao i korektivno pravilo koje daje prioritet parametrima aktivnosti glodara u slučajevima potencijalnog potcenjivanja rizika. Funkcionalnost modela prikazana je kroz simulaciju primene na farmi sa visokim početnim rizikom. Rezultati su pokazali da model adekvatno odražava dinamičnu prirodu rizika, uključujući njegovo smanjenje nakon primene mera, ali i ponovno povećanje usled pogoršanja pojedinih faktora. Primena korektivnog pravila omogućila je realniju procenu u uslovima izražene aktivnosti glodara.

Predloženi model predstavlja jednostavan i praktično primenljiv alat koji omogućava unapređenje planiranja i efikasnosti mera kontrole glodara na farmama. Dalja istraživanja treba da budu usmerena na njegovu terensku validaciju i adaptaciju različitim tipovima proizvodnih sistema.

¹ Spec. dr vet. med. Marko Stojiljković, viši stručni saradnik, spec. dr vet. med. Ilija Jovanović, viši stručni saradnik, dr sci. vet. med. Miloš Arsić, naučni saradnik, dr sci. vet. med. Vladimir Marjanović, viši stručni saradnik; dr sci. vet. med. Marija Stojiljković, naučni saradnik, dr sci. vet. med. Miloš Petrović, naučni saradnik, Veterinarski specijalistički institut Niš, ul. Dimitrija Tucovića br. 175, 18000 Niš, R. Srbija

* e-mail kontakt osobe: markovsinis@gmail.com

Ključne reči: biosigurnost, deratizacija, farme, glodari, kontrola štetočina, procena rizika

Abstract

Rodents represent a significant epizootiological and economic risk in animal food production; however, their control on farms is often carried out without a standardized risk assessment approach. The aim of this study was to develop a practical and flexible model for assessing the risk of rodent infestation, enabling quantitative risk evaluation and its direct linkage to the selection and intensity of rodent control measures. The model is based on a modular approach and includes five groups of factors: resources for rodent survival, farm infrastructure, rodent activity, environmental conditions, and rodent control practices. Risk assessment is performed using a scoring system (0–3) for each parameter, with classification into four risk levels. The model incorporates expert interpretation of results, as well as a corrective rule that prioritizes rodent activity parameters in cases of potential risk underestimation. The functionality of the model was demonstrated through a simulation applied to a farm with a high initial risk level. The results showed that the model adequately reflects the dynamic nature of risk, including its reduction following control measures, as well as its subsequent increase due to deterioration of specific factors. The application of the corrective rule enabled a more realistic assessment under conditions of high rodent activity. The proposed model represents a simple and practically applicable tool for improving the planning and efficiency of rodent control measures on farms. Future research should focus on field validation of the model and its adaptation to different types of production systems.

Key words: rodents, risk assessment, rodent control, farms, biosecurity, pest control

UVOD

Glodari predstavljaju jednu od najznačajnijih grupa štetočina u proizvodnji hrane životinjskog porekla, kako sa aspekta zdravlja životinja i ljudi, tako i sa ekonomskog stanovišta. Njihovo prisustvo na farmama povezano je sa direktnim gubicima usled konzumacije i kontaminacije hrane, oštećenjem objekata i opreme, ali i sa značajnim epizootiološkim rizikom, s obzirom na njihovu ulogu rezervoara i vektora brojnih patogena (Janković i sar., 2019; Jahan i sar., 2021). Poseban problem predstavlja činjenica da glodari mogu učestvovati u održavanju i širenju uzročnika zoonoza i alimentarnih infekcija, čime direktno utiču na bezbednost hrane i javno zdravlje (Jahan i sar., 2021).

Na farmama, prisustvo glodara najčešće je uslovljeno dostupnošću osnovnih resursa neophodnih za njihov opstanak, kao što su hrana, voda i sklonište, koji su u intenzivnim sistemima farmske proizvodnje gotovo uvek dostupni u dovoljnoj meri. Istovremeno, strukturne karakteristike objekata, neadekvatne biosigurnosne mere i upravljanje otpadom dodatno doprinose povećanju pogodnosti

sredine za razvoj populacije glodara. Zbog visoke reproduktivne sposobnosti i adaptabilnosti, populacije glodara mogu brzo dostići visoke gustine, što značajno otežava njihovu kontrolu (Capizzi i sar., 2014).

Uprkos očiglednom značaju problema, kontrola glodara na farmama u praksi se često sprovodi reaktivno, bez jasnih kriterijuma za procenu rizika i bez standardizovanog pristupa planiranju mera. Odluke o sprovođenju deratizacije najčešće se donose na osnovu subjektivne procene prisustva ili brojnosti glodara, što može dovesti do neadekvatnog ili zakasnelog reagovanja (Meerburg, 2010). Dodatno, tradicionalni pristupi upravljanju populacijama glodara uglavnom su usmereni na procenu njihove brojnosti, dok se posledice infestacije i nivo rizika koji ona predstavlja za proizvodnju i zdravlje često zanemaruju (Himsworth i Byers, 2025).

U Republici Srbiji, kontrola glodara na farmama propisana je kroz Pravilnik o utvrđivanju Programa mera zdravstvene zaštite životinja, kojim je predviđeno sprovođenje deratizacije najmanje dva puta godišnje. Iako ovakav pristup obezbeđuje određeni nivo kontrole, u praksi se često pokazuje kao nedovoljno efikasan za uspešno suzbijanje populacija glodara, posebno u uslovima kontinuirane dostupnosti hrane i skloništa, kao i visoke reproduktivne sposobnosti ovih životinja. Vremenski fiksno definisan pristup ne uzima u obzir stvarni nivo rizika na pojedinačnim farmama, što može dovesti do neadekvatne dinamike i intenziteta sprovođenja mera, odnosno do njihove nedovoljne efikasnosti.

Savremeni pristupi proceni rizika u oblasti zaštite bilja i zdravlja životinja ukazuju na značaj kvantifikacije verovatnoće pojave, uspostavljanja i širenja štetnih organizama, kao i procene njihovog uticaja, uz istovremeno razmatranje efikasnosti mera za smanjenje rizika (EFSA, 2018). Međutim, ovakvi koncepti retko su primenjeni u obliku jednostavnih i praktično primenljivih alata za procenu rizika od infestacije glodarima na farmama.

Polazeći od navedenog, cilj ovog rada je razvoj praktičnog i fleksibilnog modela za procenu rizika od infestacije glodarima na farmama, koji omogućava kvantifikaciju rizika na osnovu definisanih faktora, kao i direktno povezivanje procenjenog nivoa rizika sa izborom i intenzitetom mera deratizacije. Predloženi model osmišljen je tako da bude prilagodljiv različitim tipovima farmi i uslovima proizvodnje, sa krajnjim ciljem unapređenja efikasnosti i racionalnosti programa kontrole glodara.

MATERIJAL I METODE

Model procene rizika od infestacije glodarima na farmama razvijen je kao praktičan, kvantifikovan i adaptivan alat zasnovan na principima procene rizika (EFSA, 2018), integrisanog upravljanja štetočinama (CEN, 2014) i identifikovanih faktora koji utiču na prisustvo i brojnost glodara u proizvodnim sistemima (Moran, 2008). Poseban akcenat stavljen je na prelazak sa procene brojnosti glodara ka proceni ukupnog rizika koji infestacija predstavlja za proizvodnju i zdravlje (Himsworth i Byers, 2025).

Model je koncipiran kao modularni sistem koji omogućava procenu rizika na osnovu više grupa faktora, njihovu kvantifikaciju putem bodovanja, kao i direktno povezivanje procenjenog nivoa rizika sa izborom i intenzitetom mera kontrole. Pored toga, model uključuje dinamičku komponentu, koja podrazumeva ponovljenu procenu rizika nakon sprovođenja mera i prilagođavanje programa deratizacije u skladu sa postignutim efektima.

Model se sastoji od pet osnovnih modula koji obuhvataju ključne determinante pojave i održavanja populacija glodara na farmama:

1. Resursi za opstanak glodara (atraktivnost sredine) – dostupnost hrane, vode i skloništa;
2. Infrastruktura (mogućnost pristupa) – strukturne karakteristike objekata koje omogućavaju ulazak i boravak glodara;
3. Aktivnost glodara – indikatori prisustva i intenziteta infestacije;
4. Okruženje farme (eksterni faktori)
5. Kontrola glodara – postojeće mere deratizacije, monitoring i biosigurnost.

Svaki modul sadrži unapred definisane parametre koji se ocenjuju na terenu, čime se obezbeđuje standardizovan pristup proceni.

Procena rizika zasniva se na standardizovanom sistemu bodovanja unapred definisanih parametara, pri čemu se svaki parametar ocenjuje diskretnom skalom od 0 do 3 (Tabela 1).

Ukupan nivo rizika dobija se na osnovu zbira bodova za sve parametre obuhvaćene modelom, pri čemu maksimalna vrednost iznosi 60 bodova. Na osnovu ostvarenog broja bodova, nivo rizika klasifikuje se u četiri kategorije: nizak (0–15 bodova), umeren (16–30 bodova), visok (31–45 bodova) i veoma visok (46–60 bodova). U tabeli 2. prikazane su preporučene mere kontrole glodara u odnosu na ukupan broj bodova i ocenu nivoa rizika od infestacije glodarima na farmama, na osnovu primene opisanog modela procene rizika.

U slučajevima kada se ukupan rezultat (broj bodova) nalazi u zoni graničnih vrednosti (± 2 boda) između dve kategorije, konačnu odluku donosi stručno lice na osnovu ukupne procene stanja na farmi. Pri inicijalnoj proceni primenjuje se princip predostrožnosti, tako da se u graničnim slučajevima farma svrstava u višu kategoriju rizika, dok se nakon sprovođenja mera i ponovne procene klasifikacija zasniva na objektivno utvrđenom broju bodova.

Konačna interpretacija rezultata procene rizika zasniva se na ukupnom broju bodova, ali uključuje i stručno tumačenje u kontekstu specifičnih uslova na farmi, pri čemu stručno lice može korigovati procenjeni nivo rizika ukoliko pojedinačni parametri imaju veći značaj u odnosu na tip farme i proizvodni sistem.

U cilju izbegavanja potcenjivanja rizika, uvedeno je korektivno pravilo koje se odnosi na parametre aktivnosti glodara, prema kojem, u slučajevima kada pojedinačni parametri iz ovog modula imaju visoke ili maksimalne vrednosti koje ukazuju na prisustvo aktivne infestacije, nivo rizika ne može biti niži od visokog, bez obzira na ukupan broj bodova.

Tabela 1. Sistem bodovanja koji je primenjen u modelu procene rizika od infestacije glodarima na farmama

Modul	Parametar	Broj bodova			
		0	1	2	3
Resursi za opstanak populacije glodara	Dostupnost hrane	Nema prosute hrane, skladištenje zatvoreno	Povremeno prosipanje, brzo uklonjeno	Često prisutna prosuta hrana	Stalno dostupna hrana
	Organski otpad	Nema otpada	Male količine, lokalizovano	Veće količine na više mesta	Velike količine, kontinuirano
	Dostupnost vode	Nema izvora	Povremena vlaga	Više izvora vode	Stalni izvori vode
	Skloništa	Nema skloništa	Ograničena	Više pogodnih mesta	Obilje skloništa
Infrastruktura farme	Pukotine i otvori	Nema oštećenja	Manje pukotine	Više pukotina	Veliki otvori
	Vrata i prozori	Zaptiveni	Delimično zaptiveni	Loši ili često otvoreni	Bez zaštite
	Ventilacioni otvori	Zaštićeni	Delimično oštećeni	Više nezaštićenih	Potpuno nezaštićeni
	Kanalizacija/drenaža	Zatvorena	Manji nedostaci	Delimično otvorena	Direktan ulaz
Aktivnost / prisustvo glodara na farmi	Izmet	Nema	Sporadičan	Više mesta	Velike količine
	Tragovi	Nema	Retki	Vidljive staze	Intenzivne staze
	Rupe/gnezda	Nema	Pojedinačne	Više aktivnih	Veliki broj
	Vizuelno prisustvo	Nema	Retko	Povremeno	Često
Okruženje farme (eksterni faktori)	Vegetacija oko objekata	Nema vegetacije	Minimalna, kontrolisana	Umerena, delimično nekontrolisana	Gusta, nekontrolisana
	Spoljne površine	Uređeno, bez otpada	Manji nered	Više neuređenih zona	Izražen nered i otpad
	Blizina drugih objekata/farmi	Izolovana farma	Manji broj objekata u blizini	Više objekata u okolini	Gusto naseljeno područje
	Prisustvo divljih glodara	Nema dokaza	Retko prisutni	Povremeno prisutni	Stalno prisutni
Kontrola glodara na farmi	Program deratizacije	Redovan i efikasan	Redovan ali slab	Neredovan	Ne postoji
	Monitoring	Sistematski	Povremen	Retko	Ne postoji
	Prethodne infestacije	Nema	Retke	Česte	Kontinuirane
	Biosigurnost	Visok nivo	Srednji nivo	Nizak nivo	Veoma nizak nivo

Tabela 2. Preporučene mere kontrole glodara u odnosu na rezultate procene rizika na farmama

Nivo rizika	Opseg (bodovi)	Preporučene mere kontrole	Ponovna procena
Nizak	0–15	Preventivne mere; održavanje higijene i biosigurnosti; uklanjanje potencijalnih izvora hrane i skloništa; periodični monitoring; deratizacija u skladu sa važećim propisima	180 dana
Umeren	16–30	Ciljane mere kontrole; postavljanje mamaka i klopki na kritičnim tačkama; pojačan nadzor; identifikacija i uklanjanje faktora rizika; parcijalna sanacija objekata	90 dana
Visok	31–45	Aktivna kontrola glodara; povećana gustina mamaka; redovne kontrole; sistematsko uklanjanje faktora infestacije; sanacija infrastrukturnih nedostataka	30 dana
Veoma visok	46–60	Intenzivna i integrisana deratizacija; kontinuirano sprovođenje mera; kombinacija hemijskih i nehemijskih metoda; visoka frekvencija kontrole; obavezne korektivne mere u svim segmentima sistema	7–14 dana

REZULTATI

U cilju procene funkcionalnosti i primenljivosti predloženog modela izvršena je simulacija njegove primene na farmi sa izraženim početnim rizikom od infestacije glodarima. Simulacija je obuhvatila inicijalnu procenu, sprovođenje mera kontrole i više uzastopnih ponovnih procena, uz praćenje promena u vrednostima pojedinačnih parametara i ukupnog skora rizika. Poseban akcenat stavljen je na dinamiku promene rizika kroz vreme i uticaj pojedinačnih modula na konačnu klasifikaciju. Rezultati simulacije promene nivoa rizika kroz uzastopne procene prikazani su u Tabeli 3., a rezultati simulacije primene korektivnog pravila interpretacije rezultata u slučaju visokih vrednosti parametara aktivnosti glodara prikazani su u Tabeli 4.

Tabela 3. Simulacija promene nivoa rizika od infestacije glodara kroz uzastopne procene na posmatranoj farmi

Procena rizika (dan simulacije)	Modul	Parametar 1	Parametar 2	Parametar 3	Parametar 4	Ukupno bodova	Nivo rizika
Prva procena (1. dan)	Resursi	Dostupnost hrane (3)	Organski otpad (3)	Dostupnost vode (2)	Skloništa (3)	11	52 boda – veoma visok
	Infrastruktura	Pukotine i otvori (3)	Vrata i prozori (2)	Ventilacioni otvori (2)	Kanalizacija (2)	9	
	Aktivnost	Izmet (3)	Tragovi (3)	Rupe (3)	Vizuelno (2)	11	
	Okruženje	Vegetacija (3)	Spoljne površine (2)	Blizina (2)	Divlji glodari (3)	10	
	Kontrola glodara	Deratizacija (3)	Monitoring (3)	Istorija (3)	Biosigurnost (2)	11	

Procena rizika (dan simulacije)	Modul	Parametar 1	Parametar 2	Parametar 3	Parametar 4	Ukupno bodova	Nivo rizika
Druga procena (7. dan)	Resursi	Hrana (1 ↓)	Otpad (1 ↓)	Voda (1 ↓)	Skloništa (2 ↓)	5	38 bodova – visok
	Infrastruktura	Pukotine (2 ↓)	Vrata (1 ↓)	Ventilacija (2 –)	Kanalizacija (2 –)	7	
	Aktivnost	Izmet (2 ↓)	Tragovi (2 ↓)	Rupe (2 ↓)	Vizuelno (1 ↓)	7	
	Okruženje	Vegetacija (3 –)	Spoljne (2 –)	Blizina (2 –)	Divlji (3 –)	10	
	Kontrola glodara	Deratizacija (1 ↓)	Monitoring (1 ↓)	Istorija (3 –)	Biosigurnost (1 ↓)	6	
Treća procena (37. dan)	Resursi	Hrana (1 –)	Otpad (1 –)	Voda (1 –)	Skloništa (1 ↓)	4	28 bodova – umeren
	Infrastruktura	Pukotine (1 ↓)	Vrata (1 –)	Ventilacija (1 ↓)	Kanalizacija (2 –)	5	
	Aktivnost	Izmet (1 ↓)	Tragovi (1 ↓)	Rupe (2 –)	Vizuelno (1 –)	5	
	Okruženje	Vegetacija (3 –)	Spoljne (2 –)	Blizina (2 –)	Divlji (3 –)	10	
	Kontrola glodara	Deratizacija (1 –)	Monitoring (1 –)	Istorija (2 ↓)	Biosigurnost (1 –)	5	
Četvrta procena (127. dan)	Resursi	Hrana (3 ↑)	Otpad (2 ↑)	Voda (1 –)	Skloništa (2 ↑)	8	35 bodova – visok
	Infrastruktura	Pukotine (1 –)	Vrata (1 –)	Ventilacija (1 –)	Kanalizacija (2 –)	5	
	Aktivnost	Izmet (2 ↑)	Tragovi (2 ↑)	Rupe (2 –)	Vizuelno (2 ↑)	8	
	Okruženje	Vegetacija (3 –)	Spoljne (3 ↑)	Blizina (2 –)	Divlji (3 –)	11	
	Kontrola glodara	Deratizacija (1 –)	Monitoring (1 –)	Istorija (2 –)	Biosigurnost (1 –)	5	
Peta procena (157. dan)	Resursi	Hrana (1 ↓)	Otpad (1 ↓)	Voda (1 –)	Skloništa (1 ↓)	4	22 boda – umeren (blizu niskog)
	Infrastruktura	Pukotine (1 –)	Vrata (1 –)	Ventilacija (1 –)	Kanalizacija (1 ↓)	4	
	Aktivnost	Izmet (1 ↓)	Tragovi (1 ↓)	Rupe (1 ↓)	Vizuelno (1 ↓)	4	
	Okruženje	Vegetacija (3 –)	Spoljne (2 ↓)	Blizina (2 –)	Divlji (3 –)	10	
	Kontrola glodara	Deratizacija (1 –)	Monitoring (1 –)	Istorija (2 –)	Biosigurnost (1 –)	5	

Legenda: ↑ povećanje vrednosti, ↓ smanjenje vrednosti, – bez promene u odnosu na prethodnu procenu

Rezultati prikazani u Tabeli 3. ukazuju na smanjenje nivoa rizika nakon sprovođenja mera kontrole, sa početnih 52 na 38, a zatim na 28 bodova. U narednoj proceni dolazi do ponovnog povećanja na 35 bodova, pre svega usled pogoršanja u segmentu resursa i spoljašnjeg okruženja. Nakon sprovođenja dodatnih korektivnih mera, rizik je ponovo smanjen na 22 boda. Ovakav tok ukazuje na dinamičnu prirodu rizika i potrebu za kontinuiranim praćenjem.

Tabela 4. Simulacija procene rizika sa primenom korektivnog pravila za parametre aktivnosti glodara pri interpretaciji rezultata procene rizika

Modul	Parametar 1	Parametar 2	Parametar 3	Parametar 4	Ukupno bodova	Ukupna ocena rizika
Resursi	Hrana (1)	Otpad (1)	Voda (1)	Skloništa (1)	4	27 bodova – visok (korektivno pravilo)
Infrastruktura	Pukotine (1)	Vrata (1)	Ventilacija (1)	Kanalizacija (1)	4	
Aktivnost	Izmet (3)	Tragovi (3)	Rupe (3)	Vizuelno (2)	11	
Okruženje	Vegetacija (1)	Spoljne (1)	Blizina (1)	Divlji (1)	4	
Kontrola glodara	Deratizacija (1)	Monitoring (1)	Istorija (1)	Biosigurnost (1)	4	

Rezultati prikazani u Tabeli 4. pokazuju da, uprkos ukupnom zbiru od 27 bodova koji odgovara umerenom nivou rizika, visoka aktivnost glodara dovodi do korekcije konačne ocene na visok nivo rizika. Ovaj nalaz potvrđuje značaj parametara aktivnosti u proceni rizika.

DISKUSIJA

Rezultati ovog istraživanja ukazuju da predloženi model omogućava standardizovanu kvantifikaciju rizika od infestacije glodarima na farmama na osnovu jasno definisanih i operativno primenljivih parametara. Za razliku od tradicionalnih pristupa koji se zasnivaju pre svega na proceni brojnosti glodara, ovde je fokus stavljen na procenu ukupnog rizika koji infestacija predstavlja za proizvodnju i zdravlje, čime se obezbeđuje funkcionalniji i praktično primenljiv okvir za donošenje odluka.

Dobijeni rezultati potvrđuju da je rizik od infestacije glodarima dinamična kategorija koja se menja u zavisnosti od uslova na farmi i kontinuiteta sprovođenja mera kontrole. U prikazanom scenariju uočeno je značajno smanjenje nivoa rizika nakon primene mera, ali i njegovo ponovno povećanje usled pogoršanja pojedinih parametara, pre svega u segmentu dostupnosti resursa i spoljašnjeg okruženja. Ovakav tok ukazuje da jednokratna ili povremena primena mera nije dovoljna za dugoročno održavanje niskog nivoa rizika, već da je neophodan kontinuiran i prilagodljiv pristup upravljanju populacijom glodara.

Poseban značaj u okviru modela imaju parametri koji se odnose na aktivnost glodara, s obzirom na to da predstavljaju direktan indikator prisustva infestacije. Rezultati simulacije pokazali su da u određenim situacijama ukupni broj bodova može ukazivati na umeren nivo rizika, iako pojedinačni parametri jasno ukazuju na izraženu aktivnost glodara. U takvim slučajevima, u skladu sa definisanom metodologijom, konačna procena rizika ne zasniva se isključivo na zbiru bodova, već uključuje i stručno tumačenje rezultata u kontekstu konkretnih uslova na farmi.

Uvođenje korektivnog pravila interpretacije rezultata dodatno doprinosi sprečavanju potcenjivanja rizika, jer omogućava da visoke vrednosti parametara

aktivnosti glodara imaju prioritet u konačnoj klasifikaciji rizika. Na taj način model zadržava kvantitativnu osnovu, ali istovremeno obezbeđuje dovoljno fleksibilnosti za adekvatnu procenu u situacijama kada pojedinačni indikatori imaju veći epizootiološki značaj.

Dobijeni rezultati su u saglasnosti sa navodima iz literature koji ističu značaj dostupnosti hrane, vode i skloništa kao ključnih faktora za održavanje populacija glodara na farmama, kao i njihov značaj kao rezervoara i vektora patogena (Meerburg, 2010; Jahan i sar., 2021). Takođe, rezultati potvrđuju potrebu za primenom pristupa zasnovanog na proceni rizika, kako je definisano u smernicama EFSA (2018). Predloženi model predstavlja pokušaj operacionalizacije ovih principa u obliku jednostavnog i praktično primenljivog alata.

Sa praktičnog aspekta, model omogućava prilagođavanje intenziteta i dinamike sprovođenja mera kontrole u odnosu na stvarni nivo rizika na farmi, čime se prevazilazi ograničenje fiksno vremenski definisanih programa deratizacije. Na taj način omogućava se racionalnije korišćenje sredstava za kontrolu glodara i efikasnije usmeravanje mera na kritične tačke u sistemu. Ovakav pristup može doprineti smanjenju prekomerne i nesvrishodne upotrebe rodenticida, čime se smanjuje i potencijalni negativan uticaj na životnu sredinu.

Ograničenja primene predloženog modela se ogledaju u nekoliko tačaka. Procena pojedinačnih parametara u određenoj meri zavisi od subjektivne procene stručnog lica, što može dovesti do varijabilnosti rezultata. Dodatno, specifičnosti različitih tipova farmi i proizvodnih sistema mogu uticati na relativni značaj pojedinačnih parametara, što ukazuje na potrebu za daljom adaptacijom modela. Nije izvršena validacija primene modela na realnim farmama, već je njegova funkcionalnost prikazana kroz simulaciju, što predstavlja važan naredni korak.

Buduća istraživanja trebalo bi da obuhvate terensku validaciju modela na različitim tipovima farmi, kao i razvoj digitalnih alata koji bi omogućili njegovu jednostavniju primenu u praksi. Takođe, postoji mogućnost integracije predloženog modela u šire sisteme biosigurnosti i upravljanja rizikom, čime bi se dodatno unapredila njegova primenljivost i značaj u kontroli štetnih organizama u proizvodnji hrane.

ZAKLJUČAK

Predloženi model omogućava standardizovanu kvantifikaciju rizika od infestacije glodarima na farmama na osnovu jasno definisanih i operativno primenljivih parametara, uz direktno povezivanje procenjenog nivoa rizika sa izborom i intenzitetom mera kontrole.

Rezultati simulacije ukazuju da model uspešno odražava dinamičnu prirodu rizika, uključujući njegovo smanjenje nakon primene mera, ali i mogućnost ponovnog povećanja usled pogoršanja pojedinih faktora.

Primena korektivnog pravila za parametre aktivnosti glodara i mogućnost stručne interpretacije rezultata omogućavaju izbegavanje potcenjivanja rizika i doprinose realnijoj proceni stanja na farmi.

Predloženi pristup predstavlja praktičan i fleksibilan alat koji se može primeniti u različitim proizvodnim sistemima, sa ciljem unapređenja efikasnosti, racionalnosti i ciljane primene mera kontrole glodara. Dalja istraživanja treba da budu usmerena na terensku validaciju modela i njegovu adaptaciju specifičnostima različitih tipova farmi.

LITERATURA

1. Blažić, T., Stojnić, B., Milanović, S., & Jokić, G. (2024). A strategy to improve rodent control while reducing rodenticide release into the environment. *Heliyon*, 10, e29471. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e29471>
2. Capizzi, D., Bertolino, S., & Mortelliti, A. (2014). Rating the rat: Global patterns and research priorities in impacts and management of rodent pests. *Mammal Review*, 44(3–4), 148–162. <https://doi.org/10.1111/mam.12019>
3. CEN. (2014). *Pest management services – Requirements and competences (FprEN 16636)*. European Committee for Standardization. Dostupno na: Final Draft prEN 16636 Pest Management Services – Requirements & Competences.pdf
4. EFSA Panel on Plant Health (PLH). (2018). Guidance on quantitative pest risk assessment. *EFSA Journal*, 16(8), 5350. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2018.5350>
5. Hamel, D. (2010). Rodents – health risk and control measures. International European Symposium on Stored Product Protection "Stress on chemical products", *Julius-Kühn-Archiv*, 429.
6. Himsworth, C. G., & Byers, K. A. (2025). Risk metrics vs. rat metrics: An alternative approach to measuring and managing urban rat infestations. *Journal of Wildlife Management*, 89, e70052. <https://doi.org/10.1002/jwmg.70052>
7. Jahan, N. A., Lindsey, L. L., & Larsen, P. A. (2021). The role of peridomestic rodents as reservoirs for zoonotic foodborne pathogens. *Vector-Borne and Zoonotic Diseases*, 21(3), 133–149. <https://doi.org/10.1089/vbz.2020.2640>
8. Janković, Lj., Drašković, V., Pintarič, Š., Mirilović, M., Đurić, S., Tajdić, N., & Teodorović, R. (2019). Rodent pest control. *Veterinarski Glasnik*, 73(2), 85–99. <https://doi.org/10.2298/VETGL190507020J>
9. Meerburg, B. G. (2010). Rodents are a risk factor for the spreading of pathogens on farms. *Veterinary Microbiology*, 142(3–4), 464–465. <https://doi.org/10.1016/j.vetmic.2009.06.038>
10. Moran, S. (2008). Rodent management in animal farms by anticoagulant rodenticides. In E. N. Burton & P. V. Williams (Eds.), *Crop protection research advances* (pp. 95–117). Nova Science Publishers.

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 dezinfekcionih sredstava, 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, mlekara 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 dezinflektione i minimizacije negativnih efekata na životnu sredinu (Zhu i sar., 2025). U tom kontekstu, preporučuje se primena integrisanog pristupa koji obuhvata optimizaciju procesa dezinflektione, kontrolu formiranja dezinflektionih nusprodukata (DBPs) i unapređenje tehnologija tretmana voda.

Jedna od ključnih mera odnosi se na optimizaciju procesa sprovođenja dezinflektione, 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 dezinflektione, 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 dezinflektione 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 dezinflektione, 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.

Prikaz slučaja DOI: 10.5937/DDD26182L

**PRIKAZ SLUČAJA DIROFILARIOZE KOD SIVOG VUKA U
ZOOLOŠKOM VRTU PALIĆ, SA POSEBNIM OSVRTOM NA
ZNAČAJ DEZINSEKCIJE I DRUGIH BIOSIGURNOSNIH MERA I
DOBROBITI ŽIVOTINJA**

**REPORT OF A CASE OF DIROFILARIOSIS IN A GRAY WOLF
IN THE PALIĆ ZOO, WITH SPECIAL REFERENCE TO THE
IMPORTANCE OF DISINSECTION AND OTHER BIOSECURITY
MEASURES AND ANIMAL WELFARE**

**Marko Lazić^{1*}, Vladimir Drašković², Katarina Nenadović²,
Slobodan Stevanov³, Mirko Gajić³, Milutin Đorđević²**

Kratak sadržaj

*U Zoološkom vrtu Palić borave tri jedinke sivog vuka (*Canis lupus*). Tokom februara 2026. godine, kod jednog mužjaka dijagnostikovana je dirofilarioza uz tešku kliničku sliku. Nakon sprovedenog terapijskog protokola, opšte stanje jedinke je znatno poboljšano, a tretman se nastavlja do potpune eliminacije adultnih oblika parazita. Uprkos primeni preventivnih mera, širenje dirofilarioze na ovom području predstavlja ozbiljan izazov. Specifičnost problema leži u činjenici da je stanište za vukove projektovano pre pojave azijskog tigrastog komarca (*Aedes albopictus*), koji se pokazao kao izuzetno potentan vektor. S obzirom na to da su klimatski i ekološki uslovi Palića pogodni za širenje ovih invazivnih vrsta, neophodno je planirati nove strategije biosigurnosti i zaštite kako bi se osigurala maksimalna dobrobit životinja.*

Ključne reči: sivi vuk, Zoološki vrt Palić, dirofilarioza, azijski tigrasti komarac, prevencija

Summary

*The Palić Zoo is home to three grey wolves (*Canis lupus*). In February 2026, dirofilariosis was diagnosed in one male, accompanied by a severe clinical picture.*

¹ Dr vet. med. Marko Lazić, Zoološki vrt Palić, 24000 Subotica, R. Srbija

² Dr sci. vet. med. Vladimir Drašković, docent; dr sci. vet. med. Katarina Nenadović, vanredni profesor; dr sci. vet. med. Milutin Đorđević, redovni profesor, Univerzitet u Beogradu, Fakultet veterinarske medicine, Katedra za zoohigijenu, Bulevar oslobođenja 18, 11000 Beograd, R. Srbija

³ Dr vet. med. Slobodan Stevanov; dr vet. med. Mirko Gajić, Privatna veterinarska stanica „Pan-vet” d.o.o. 24000 Subotica, R. Srbija

* e-mail kontakt osobe: marko.lazic.zoopalic@gmail.com

*Following the implementation of a therapeutic protocol, the individual's general condition significantly improved, and treatment is ongoing until the complete elimination of adult parasite forms. Despite the application of preventive measures, the spread of dirofilariosis in this region presents a serious challenge. The specificity of the problem lies in the fact that the wolf habitat was designed before the emergence of the Asian tiger mosquito (*Aedes albopictus*), which has proven to be an extremely potent vector. Given that the climatic and ecological conditions of Palić are favorable for the spread of these invasive species, it is necessary to plan new biosecurity and protection strategies to ensure maximum animal welfare.*

Key words: gray wolf, Palić Zoo, dirofilariasis, Asian tiger mosquito, prevention

UVOD

Dirofilarioza u Srbiji

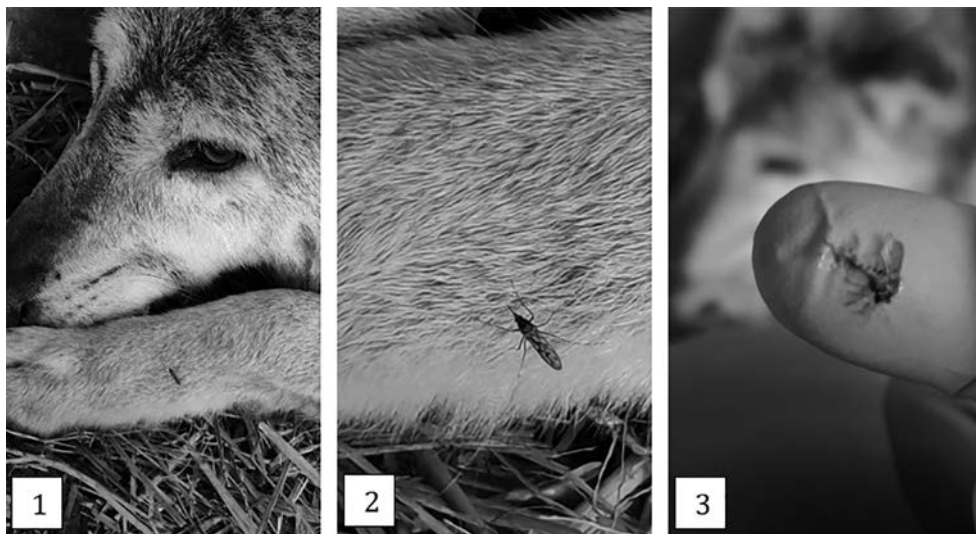
Dirofilarioza je parazitsko oboljenje uzrokovano nematodama iz roda *Dirofilaria*. Na teritoriji Vojvodine endemski su prisutne vrste *Dirofilaria immitis* i *Dirofilaria repens*. Ovo su paraziti pasa i mnogih drugih kanida poput vuka, šakala, lisica, kao i mačaka (3). S obzirom na to da je oboljenje detektovano i kod ljudi, dirofilarioza ima značajan zoonotski karakter (3). Bolest pripada grupi vektorskih oboljenja, jer se ne prenosi direktno, odnosno za prenos sa jednog domaćina na drugog neophodni su komarci ili drugi prelazni domaćini. U komarcima se odvija deo sazrevanja larvi. Kada se komarac hrani krvlju infestiranog pravog domaćina, sa njom unosi mikrofilarije, odnosno larve L1 stadijuma. Dalji razvoj larvi do infektivnog L3 stadijuma unutar komarca traje od 10 do 14 dana. Ovaj proces u velikoj meri zavisi od abiotičkih faktora, prvenstveno temperature (optimalno 27 °C) i vlažnosti vazduha (oko 80%) (3). Što je viša temperatura u spoljašnjoj sredini, razvoj larvi je brži.

Prilikom sledećeg hranjenja ženka komarca ubodom prenosi infektivne larve u nove domaćine, gde one nastavljaju dalji razvoj. Na ovaj način se jednim hranjenjem komarac u pravog domaćina može uneti desetak infektivnih L3 larvi, koje se dalje razvijaju u potkožnom tkivu, masnom tkivu i mišićima. U periodu od oko 70 dana, larve sazrevaju do preadultnog stadijuma i putem krvotoka migriraju do plućnih arterija. Otprilike 120 dana nakon infekcije, paraziti postaju polno zreli. Odrasle jedinke naseljavaju arterije kaudalnih reznjeva pluća (predilekciono mesto), ali u slučajevima jakog intenziteta infekcije mogu dospeti u desnu pretkomoru, komoru srca i šuplju venu (*vena cava*). Polno zrele ženke počinju da oslobađaju mikrofilarije (L1) u krvotok 6–9 meseci nakon inicijalne invazije. Mikrofilarije u krvi domaćina mogu živeti i do tri godine, a odrasli paraziti mogu živeti i do sedam godina u domaćinu. Dokazano je prisustvo endosimbionta, bakterije *Wolbachia pipientis*, koja kod parazita ima važnu ulogu u embriogenezi, pa je terapija protiv srčanog crva usmerena i na suzbijanje ove bakterije (3). Prvi sličajevi dirofilarioze pasa i ljudi zabeleženi su u Srbiji tokom devedesetih godina prošlog veka (2). Nakon prve zvanične detekcije

1999. godine, u narednoj deceniji zabeležen je nagli porast prevalencije kod pasa, koja danas iznosi 49,22% (3). Kod populacije vukova u Srbiji, zabeležena prevalencija iznosi 1,43% (10).

Vrste komaraca koje su zastupljene u Srbiji

Sve vrste komaraca koje postoje u Srbiji mogu preneti dirofilariozu pravim domaćinima. Oni mogu biti vektori za obe detektovane vrste dirofilarija (*Dirofilaria repens* i *Dirofilaria immitis*). Najznačajniji i najzastupljeniji rod komaraca u Srbiji je rod *Culex*, koji su među najzastupljenijim u urbanoj sredini. Iz ovog roda je najznačajnija vrsta *Culex pipiens* ili kuličnikomarac koji se smatra najznačajnim prenosnikom dirofilarioze u Srbiji, što su potvrdila istraživanja rađena na teritoriji Vojvodine. Pored ove zastupljena je i vrsta *Culex modestus* takođe navedena u literaturi kao podoban prenosilac dirofilarioze. Iz roda *Aedes*, prisutno je nekoliko vrsta *Aedes albopictus*, *A. vexans*, *A. caspius* i *A. japonicus*. Ove vrste su poznate po svojoj aktivnosti tokom celog dana, sve su invazivne i veoma brzo se šire na teritoriji cele zemlje. Tigrasti komarac koji pripada ovom rodu je u Srbiji prvi put detektovan 2009. godine. Smatra se da je donesen transportnim sredstvima ljudi prilikom prevoza robe, a najvećim delom u polovnim automobilskim gumama. Jaja ovih komaraca su veoma otporna na isušivanje i mogu ostati vitalna mesecima bez vode. Veoma mala količina vode je dovoljna ovim komarcima da se uspešno razmnožavaju i razvijaju. Danas su rasprostranjeni na teritoriji cele zemlje i imaju stabilne populacije. Ova vrsta komarca se smatra za najznačajniju za prenos dirofilarioze, zbog načina hranjenja i velike adaptabilne sposobnosti na razne uslove sredine. Rod *Anopheles* (malarični komarci) obuhvata vrste koje se smatraju visokopotentnim vektorima za obe vrste dirofilarija.



Slike 1, 2 i 3: Jedinka komarca uočena na sivom vuku prilikom davanja terapije (18.04.2026. godine)

U Srbiji su najzastupljenije *Anopheles maculipennis* i *A. plumbeus*. Dodatno, u specifičnim ekosistemima Panonske nizije značajna je vrsta *Coquillettidia richiardii*, kod koje je zabeležena visoka prevalencija larvi dirofilarija.

MATERIJAL I METODE

Vukovi u Zoološkom vrtu Palić

U Zoološkom vrtu Palić postoji šest jedinki vukova. Tri jedinke pripadaju sivim vukovima (*Canis lupus*) i sve su mužjaci. Preostale tri jedinke pripadaju podvrsti arktički vuk (*Canis lupus arctos*) od kojih su dva mužjaka i jedna ženka. Sivi vukovi (*Canis lupus*) rođeni su u Zoološkom vrtu Palić 9. maja 2010. godine, u istom leglu. Njihova majka rođena je u Zoološkom vrtu Palić 1. aprila 2004. godine, a uginula je 16. novembra 2015. godine, u jedanaestoj godini života. Otac je rođen u Beo Zoo vrtu 2005. godine, a uginuo je 15. jula 2023. godine, u osamnaestoj godini života. Tri siva vuka sada imaju blizu 16 godina, što je i najčešći prosečan životni vek vukova u zoološkim vrtovima (9). U prirodi sivi vukovi mogu živeti i do trinaest godina, ali najčešći prosečni vek vukova u prirodi je 5 do 6 godina. Kada odrastu u divljini ukoliko ne uginu od starosti najčešće uginjavaju zbog povreda nastalih prilikom lova ili međusobnih borbi. Najduži zabeleženi životni vek vuka u zatočeništvu bio je 20 godina.

Stanište za sive vukove u Zoološkom vrtu Palić

Vukovi su smešteni u staništu koje je izgrađeno pre više od 30 godina. Objekat se nalazi u južnom delu zoološkog vrta, koji je najbliži jezeru Palić i nalazi se pored veštačkog jezera sa ostrvom koje je napravljeno proširivanjem Tapšinog kanala, tokom faze modernizacije zoološkog vrta u skladu sa savremenim standardima držanja životinja bez veštačkih barijera (8). Procenjuje se da je napravljeno između 1980. i 1990. godine. Ovakva mikrolokacija, karakteristična po blizini stajaćih i sporotekućih voda, predstavlja idealno stanište za razvoj populacija različitih vrsta komaraca.

Stanište za vukove je izgrađeno od čvrste žice, sa betonskim šipovima koji su ukopani 80 cm u zemlju. Ima natkriveni deo koji je posebno ograđen i može služiti za odvajanje vukova iz čopora. Podloga je prirodna, zemljana. U staništu za vukove se nalazi prirodna vegetacija, drveće i nisko žbunasto rastinje, koje okružuje objekat i sa spoljašnje strane i delom čini barijeru između objekata i posetilaca. U okviru staništa se nalazi betonski zidani objekat koji služi za zaklon i takođe ima jedan prostor za odvajanje. Površina staništa za sive vukove je 360 m².

Prikaz slučaja dirofilarioze kod vuka u Zoološkom vrtu Palić

Dana 8. februara 2026. godine, timaritelj zadužen za brigu o vukovima prijavio je da se jedan mužjak sivog vuka (*Canis lupus*) ne oseća dobro, da leži i odbija hranu. Tokom prethodnih dana vuk nije pokazivao nikakve simptome bolesti i

ponašao se uobičajeno. Pri pokušaju prilaska, životinja je pokušavala da pobegne. Nakon pregleda utvrđeno je da je vuk izrazito slab i malaksao, sa otežanim kretanjem. Tokom kretanja brzo se zamara, otežano diše i dahće. Doneta je odluka da se izdvoji u poseban boks u okviru staništa, koji je ogradom odvojen od osnovnog ispusta. Ovaj boks je inače namenjen za odvajanje životinja prilikom lečenja ili bilo kakvih intervencija. Kako se radi o starom vuku koji ima preko 15 godina i veoma je slab, odlučeno je da se ne sedira jer je visoko rizično ovakve jedinke uvoditi u anesteziju. Vuk je fiksiran pomoću metalne omče i dobio je preventivno antibiotike kombinaciju amoksicilina i enrofloksacina, vitaminsku potporu i analgetik (metamizol natrijum). Doziranje je usklađeno sa smernicama iz ZIMS (Zoological Information Management System) baze podataka, pod pokroviteljstvom Evropske asocijacije zooloških vrtova i akvarijuma – EAZA. Prilikom aplikacije terapije i pri svakom kontaktu, vuk reagovao je izrazito burno i pokazivao znake jakog stresa. Svakodnevним pregledima, postepeno se navikavao na dodir i aplikaciju lekova. Povratio mu se apetit i počeo je da uzima sve više hranu. Dana 14. februara 2026. godine izvršen je i pregled rad srca i disanja pomoću stetoskopa. Kod vuka u mirovanju utvrđeno je 75 otkucaja u minuti i 12 respiracija u minuti. Telesna temperatura iznosila je 37,7 °C. Na osnovu ovih nalaza potvrđena je sumnja na postojanje srčane slabosti, što je u skladu sa starosnom dobi jedinke.



Slike 4 i 5. Klinički pregled i merenje trijasa kod jedinke sivog vuka, obolelog od dirofilarioze

Dana 18. februara 2026. godine uspešno je uzet uzorak krvi od vuka iz vene safene (v. *saphena*) zadnje leve noge. Za postizanje venske kompresije korišćena je gumena cev postavljena u predelu butine. U veterinarskoj stanici „Panvet” u Subotici, sa kojom Zoološki vrt Palić ima Ugovor o poslovno-tehničkoj saradnji, urađena je analiza krvi. Svi krvni elementi su bili u graničnim vrednostima, osim

eozinofila koji su bili sniženi, granulociti su bili blizu najviše dozvoljene vrednosti, ali je nisu prelazili, što može biti i zbog delovanja antibiotske terapije koju je dobijao pre analiziranja krvi, zbog svih okolnosti i specifičnosti samog slučaja. Biohemijska analiza krvi je pokazala niže vrednosti albumina i amilaze u serumu. Urađen je test i na dirofilariozu CHW Ag test koji je bio pozitivan, sa indeksom granične vrednosti od 31,46, što je ukazivalo na prisustvo jake infestacije i većeg broja zrelih ženki *Dirofilaria immitis* u organizmu. Prognoza je bila veoma nepovoljna, s obzirom na starost jedinke vuka, kao i na opšte stanje slabosti i prisutnu srčanu insuficijenciju.

Započeta je terapija, sivom vuku je aplikovan ivermektin pod kožu. Započeto je sa najnižom preporučenom dozom ivermektina, s obzirom na veoma jaku infestaciju, kao i na opšte stanje jedinke. Svakodnevno je dobijao i doksiciklin, u dozi prilagođenoj starosti i opštem stanju jedinke. Doksiciklin je važan kako bi se smanjilo prisustvo *Wolbachia* priprdnog simbiota *Dirofilaria* sp. koji omogućava, pravilne metaboličke procese kod parazita. Smatra se da je najefikasniji tetraciklin u borbi protiv *Wolbachia* (3). Doksiciklin dovodi do sterilizacije ženki i njihovog povlačenja iz cirkulacije, što je bitno kako bi se zaustavilo dalje širenje parazita i smanjenje mogućnosti pojave tromboembolije.

Radi sigurnog unosa antibiotika, s obzirom na to da je jedini način primene bio peroralni, osmišljen je metod aplikacije pomoću šprica veće zapremine (10–20 ml), kojem je prethodno uklonjen vrh. Špric je bio napunjen mesnatom paštetom u koju su bile uronjene kapsule leka. Na ovaj način sadržaj šprica istiskivan je direktno u usnu duplju, u prostor iza zuba, ka korenu jezika, čime je omogućeno da vuk bezbedno proguta terapiju.



Slika 6 i 7. Peroralno davanje medikamenata uz minimalnu fiksaciju.

S obzirom da je apetit vuka oscilirao u prethodnim danima i da nije bilo sigurno da će svakog dana pojesti kompletan obrok ponuđenog mesa, ovo je bio jedini način da se lek sa sigurnošću unese u organizam. Veoma često se događa, naročito kod zveri i primata, da kada jednom osete miris i ukus leka u hrani, više nikada neće da uzmu takav obrok. U ovoj situaciji, uzete su u obzir sve mere bezbednosti i opšte stanje životinje, starost i slabost organizma, tako da se mora pristupati individualno za svaku jedinku, jer u nekim drugim slučajevima ovakav način aplikacije leka može biti visoko rizičan, odnosno životinja može ozbiljno povrediti čoveka koji aplikuje lek. Zato je veoma važno dobro poznavanje svake jedinke, kada govorimo o divljim životinjama u zatočeništvu i prilagođavanje svih radnju svakoj jedinki individualno. U prilog celom ovom slučaju je išlo i to što je vuk bio izolovan u poseban prostor, koji mu je ograničavao kretanje i omogućavao mirovanje, što je bilo jako važno, naročito u početku aplikovanja terapije protiv adultnih parazita kada je s obzirom na okolnosti pojava tromboembolija bila najviše moguća. Pored navedenih lekova vuk je dobijao i furosemid, čija je doza prilagođavana u odnosu na kliničku sliku i kao potpurnu terapiju probiotike za mesojede i suplementaciju kalijumom.

Do dana zaključenja ovog rada, opšte stanje vuka se značajno popravilo. Postao je mnogo aktivniji, poboljšan je apetiti, kao i rad srca i disanje.

REZULTATI

Tabela 1. Praćenje stanja trijasa, tokom davanja terapije sivom vuku. Izdvojene su vrednosti koje pokazuju značajno poboljšanje trijasa kod vuka sa dirofilariozom tokom vremena.

Red. broj	Datum merenja tijasa	Telesna temperatura	Broj otkucaja srca u minutu	Broj udisaja u minutu
1.	14.02.2026. godine	37,7	75	12
2.	26.02.2026. godine	38,1	82	14
3.	22.03.2026. godine	38,3	92	16
4.	07.04.2026. godine	38,6	96	19
5.	18.04.2026. godine	39,0	108	26

Tokom sprovođenja terapijskog protokola, opšte stanje vuka se poboljšavalo. U početku se malo kretao po boksu u kome je izolovan, a kasnije je bio sve aktivniji. Posebno značajan indikator oporavka bilo je ponovno ispoljavanje tipičnih obrazaca ponašanja za vrstu, poput nagona za kopanjem i vokalizacije (oglašavanja). U narednom periodu se planira vraćanje vuka u čopor, ali će se nastaviti sa terapijom do postizanja cilja, odnosno potpunog izlečenja i odsustva parazita iz organizma.

DISKUSIJA

U Zoološkom vrtu Palić stanište za vukove je izgrađeno tokom devedesetih godina, kada na ovom podneblju nije bilo zabeleženih slučajeva dirofilarioze. Izgrađen je pored veštačkog jezera koje je napravljeno još ranije. U ovom periodu nije bila detektovana dirofilarioza, kao ni pojava azijskog tigrastog komarca (*Aedes albopictus*), kao jednog od najznačajnijih i najpotentnijih prenosnika dirofilarioze. Ovo je dobar primer kako se i uz najbolje planiranje ne može predvideti sa kakvim biosigurnosnim izazovima se možemo susresti u budućnosti.

Klimatske promene i antropogeni faktori (globalna trgovina i transport) omogućili su ovim invazivnim vrstama da prošire svoj areal znatno severnije od primarnih staništa i uspešno se adaptiraju na nove uslove. Ovakva situacija nameće potrebu za redefinisanjem strategija zaštite životinja. Prilikom planiranja i modernizacije zooloških vrtova, neophodno je uzeti u obzir ne samo trenutno prisutne biološke agense (biološke nokse), već i potencijalne pretnje koje mogu nastati usled klimatskih oscilacija, ekonomskih migracija i geopolitičkih promena.

U okviru Zoološkog vrta Palić, 4 do 7 puta godišnje se radi tretman protiv komaraca, koji uslužno sprovodi registrovana služba za obavljanje poslova dezinfekcije, sa kojom zoološki vrt ima ugovor o poslovno-tehničkoj saradnji. Tretman se vrši primenom ULV tehnike (*Ultra Low Volume*) sa zemlje, pomoću atomizera koji raspršuju insekticid u obliku fine magle do 15 m u okolinu. Koriste se preparati na bazi deltametrina.

S obzirom na to da mikrolokacija obiluje prirodnim i veštačkim vodenim površinama, kao i močvarnim ekosistemima koji predstavljaju idealna legla, trenutne metode adulticidnog tretmana nisu dovoljne. Neophodno je implementirati integralni sistem kontrole vektora koji bi obuhvatio larvicidni tretman (primenu selektivnih larvicida direktno u vodene površine), postavljanje savremenih klopki za adultne ženke, kao i kontinuirani biosigurnosni nadzor radi monitoringa invazivnih vrsta. Uz navedene mere dezinfekcije, od presudnog je značaja i uvođenje redovne medikamentozne profilakse za sve prijemčive kategorije životinja (kanide i felide) tokom sezone kada su vektori aktivni, kako bi se obezbedila dvostruka barijera zaštite.

Prema etogramu vukova, oni su socijalne životinje sa veoma izraženom hijerarhijom u okviru čopora (9). To podrazumeva i izraženu hijerarhiju prilikom hranjenja, tako da dominantne jedinke u čoporu prve biraju hranu. Veoma je izazovno sprovesti individualne tretmane protiv dirofilarioze pomoću hrane, jer nije sigurno da će svaka jedinka dobiti odgovarajuću količinu leka. Ovaj slučaj je pokazao da je moguće naučiti vukove da im se preparati aplikuju individualno, uz odgovarajući trening, koji je neophodno sprovesti sa svakom jedinkom posebno. U budućnosti se svakako mora pratiti situacija i prilagođavati svim novonastalim uslovima sredine. U ovakvim slučajevima kada je velika verovatnoća i rizik od pojave oboljenja, koje znatno može ugroziti zdravstveno stanje, a samim

tim i dobrobit životinje, potrebno je razmisliti o uvođenju dodatnih preventivnih mera, promeni staništa ili ukoliko ne postoji mogućnost adekvatne zaštite, potrebno je razmisliti i o zameni vrste nekom drugom koja nije prijemčiva na ove parazite.

ZAKLJUČAK

Savremeni koncepti zooloških vrtova podrazumevaju poštovanje i obezbeđivanje dobrobiti životinja za svaku jedinku o kojoj brinu. Ovo podrazumeva ispunjavanje pet domena ili sloboda, odnosno slobodu od gladi i žeđi, slobodu od neugodnosti, bola i bolesti, slobodu da ispoljavaju prirodno ponašanje i slobodu od stresa i straha. Kako bi se dobrobit obezbedila svakoj životinji, neophodno je dobro poznavanje etograma svake vrste, ali i sprovođenje preventivnih, zoohigijenskih i biosigurnosnih mera, koje se neprestano moraju unapređivati i prilagođavati novim izazovima koji nastaju usled različitih promena u životnoj sredini.

LITERATURA

1. Pajković D. i sar. – Praćenje pojave dirofilarioze kod radnih pasa u službi vojske Srbije; Arhiv veterinarske medicine, vol. 3, br. 2, 53-58, 2010.
2. Savić S. i sar. – Vektorske zoonoze pasa u Vojvodini; Arhiv veterinarske medicine, vol. 5, br. 1, 77-87, 2012.
3. Liviu Miron i sar. – Dirofilarioza, vodič kroz glavne invazijske bolesti koje se prenose sa životinja na ljude – dirofilarioza u ljudi i životinja; Edukativni materijal nastao u okviru programa Erasmus+Strateškog partnerstva za visoko obrazovanje; Online tečaj s videomaterijalima iz veterinarske medicine o prevenciji, dijagnostici i liječenju bolesti koje se prenose za životinja na ljude; Ref. no. 2016-1-RO01-KA203-024732
4. Alice Vismarra and co. – Preliminary data on the vector competence of *Aedes caspius* for *Dirofilaria immitis* in traditionally endemic area of northern Italy; Vismarra et al. *Parasites & Vectors* (2025) 18:210; <https://doi.org/10.1186/s13071-025-06828-6>
5. Domenico O. And co. – Zoonotic nematodes of wild carnivores; ELSEVIER; *IJP: Parasites and Wildlife*
6. Barton E. S. and co. – *Albachtia endosymbionts and human disease control*; ELSEVIER; *Molecular & Biochemical Parasitology*
7. Species 360 – ZIMS base and ZIMS Medical base; Zoološki vrt Palić korisnik
8. Arhiva Zoološkog vrta Palić
9. https://animaldiversity.org/accounts/Canis_lupus/
10. Penezić A. and co. – First findings and prevalence of adult heartworms (*Dirofilaria immitis*) in wild carnivores from Serbia
11. Moroni B. And co. – *Dirofilaria immitis* in wolves recolonizing northern Italy: are wolves competent hosts?; Moroni et al. *Parasites Vectors*; (2020)13:482; <https://doi.org/10.1186/s13071-020-04353-2>
12. Dantas – Torres F. and co. – *Dirofilariosis in Americas: more virulent Dirofilaria immitis?*; Dantas-Torres and Otranto; *Parasites & Vectors* 2013, 6:288; <http://www.parasitesandvectors.com/content/6/1/288>
13. Fuehrer H.P. and co. – *Dirofilaria* in Humans, Dogs, and Vectors in Austria (1978-2014) – From Imported Pathogens to the Endemicity of *Dirofilaria repans*; PLOS; *Neglected tropical diseases*

14. Heym E.C. and co. – Molecular detectio of vector-borne pathogens from mosquitoes collected in two zoological gardens in Germany; Arthropods and medical entomology – original paper; Parasitology Research (2019) 118:2097-2105
15. Gavrilović P. And co. – Case Report of dirofilariasis in grey wolf in Serbia; Research note; DOI: 10.1515/ap-2015-0025; W.Stefanski Institute of Parasitology, PAS; Acta Parasitologica, 2015, 60(1), 175-178; ISSN 1230-2821

Pregledni rad DOI: 10.5937/DDD26192F

METODE KONTROLE ZAŠTIĆENIH I STROGO ZAŠTIĆENIH VRSTA IZ REDA RODENTIA

CONTROL METHODS FOR PROTECTED AND STRICTLY PROTECTED SPECIES OF THE ORDER RODENTIA

**Darja Fjodorov^{1*}, Radovan Marčetić¹, Vladimir Drašković¹,
Radislava Teodorović¹, Marijana Vučinić¹, Katarina Nenadović¹,
Ljiljana Janković¹, Milutin Đorđević¹**

Kratak sadržaj

Glodari iz reda Rodentia predstavljaju ključnu komponentu biodiverziteta doprinoseći funkcionisanju ekosistema putem aeracije i poboljšanja same strukture zemljišta, rasprostranjivanja plodova koji omogućavaju prirodnu obnovu vegetacije, kao i formiranja staništa za druge vrste kroz izgradnju složenih podzemnih kanala i brana. U Republici Srbiji, brojne vrste iz ovog reda pripadaju zaštićenim i strogo zaštićenim vrstama, zbog čega kontrola ovih vrsta umesto klasične deratizacije zahteva primenu mera ekološkog upravljanja zasnovanih na kontinuiranom monitoringu i preventivnom delovanju. Primenom ovih metoda omogućava se efikasna kontrola kao i neophodan balans između nesmetanog obavljanja ljudskih aktivnosti i očuvanja zdravlja i opstanka zaštićenih i strogo zaštićenih vrsta.

Ključne reči: Biodiverzitet, neinvazivne mere kontrole, Rodentia.

Abstract

Rodents (order Rodentia) represent a key component of biodiversity, contributing to ecosystem functioning through soil aeration and the improvement of soil structure, the dispersal of seeds and fruits that enable natural vegetation regeneration, and the creation of habitats for other species through the construction of complex underground burrow systems and dams. In the Republic of Serbia, numerous species from this order are classified as protected and strictly protected, which is why their control requires the implementation of ecological management

¹ Dr vet. med. Darja Fjodorov, samostalno stručno tehnički saradnik za rad u laboratorijama; dr vet. med. Radovan Marčetić, asistent; 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: darja.fjodorov@vet.bg.ac.rs

measures based on continuous monitoring and preventive action instead of conventional pest control (deratization). The application of these methods enables effective control and establishes a necessary balance between the undisturbed conduct of human activities and the preservation of the health and survival of protected and strictly protected species.

Keywords: Biodiversity, non-invasive control measures, Rodentia.

UVOD

Skoro 40% svih vrsta sisara čine glodari, što ovu grupu čini ubedljivo najbrojnijom (Reeder i Wilson, 2007). Uprkos uopštenom shvatanju glodara kao štetočina i vektora različitih bolesti, brojni predstavnici ovog reda imaju ključnu ulogu u održavanju ekosistema. Kopanjem složenih podzemnih kanala, glodari utiču na fizičke karakteristike zemljišta, a ujedno mogu predstavljati ključnu kariku u lancima ishrane brojnih ugroženih vrsta grabljivica. U Srbiji i širem regionu, zaštićene vrste glodara suočavaju se sa značajnim opadanjem brojnosti, koje je najčešće posledica antropogenog uticaja. Glavni uzroci najčešće su gubitak prirodnih staništa usled urbanizacije i promene načina korišćenja zemljišta, intenzivna poljoprivreda, kao i sve češća upotreba pesticida i drugih hemijskih sredstava (Puzović i sar., 2015). Zbog toga su ove vrste obuhvaćene posebnim zakonskim kategorijama zaštite koje imaju za cilj očuvanje njihovih populacija i staništa.

U Republici Srbiji, zaštita glodara regulisana je Zakonom o zaštiti prirode, dok je precizna podela na nivoe zaštite definisana Pravilnikom o proglašenju i zaštiti strogo zaštićenih i zaštićenih divljih vrsta biljaka, životinja i gljiva. Prema ovom Pravilniku, vrste iz roda *Rodentia* dele se na dve ključne kategorije od kojih svaka zahteva drugačiji pristup u kontroli i upravljanju. Strogo zaštićene vrste predstavljaju one vrste kojima je neophodan najviši stepen zaštite jer su u neposrednoj opasnosti od izumiranja ili se njihova brojnost nalazi na izrazito niskom nivou. Zakonom je zabranjeno svako njihovo uznemiravanje, hvatanje, ubijanje ili uništavanje njihovog staništa. Ovoj grupi pripada tekunica (*Spermophilus citellus*), slepo kuće (*Spalax leucodon*), stepski skočimiš (*Sicista subtilis*), dabar (*Castor fiber*), snežna voluharica (*Chionomys nivalis*), dinarska voluharica (*Dinaromys bogdanovi*), velika voluharica (*Microtus liechtensteini*), hrčak (*Cricetus cricetus*) i patuljasti miš (*Micromys minutus*). Zaštićene vrste nisu neposredno ugrožene kao prethodna grupa, ali su pod stalnim nadzorom kako bi se sprečila redukcija njihove brojnosti. Ovu grupu čine puhovi (*Dryomys nitedula* i *Muscardinus avellanarius*) i veверice (*Sciurus vulgaris*) („Službeni glasnik RS”, br. 36/2009, 88/2010, 91/2010 – ispr., 14/2016, 95/2018 – dr. zakon i 71/2021; 5/2010, 47/2011, 32/2016 i 98/2016).

Sprovođenje specifičnih metoda monitoringa i upravljanja ovim populacijama, ključno je za njihovu efikasnu kontrolu i obezbeđivanje uslova za nesmetan opstanak ovih vrsta u njihovim prirodnim staništima.

BIOLOŠKE KARAKTERISTIKE VRSTA IZ REDA *RODENTIA*

Specifičnost upravljanja strogo zaštićenim i zaštićenim vrstama zahteva sagledavanje njihove biologije kao i interakcije sa ljudskim aktivnostima, jer se govori o vrstama koje teško podnose promene u njihovim staništima, kao i vrstama čiji je reproduktivni ciklus znatno sporiji.

Tekunica (*S. citellus*) predstavlja dnevno aktivnu vrstu koja živi u kolonijama i čiji je život potpuno prilagođen smenama godišnjih doba. Pod zemljom provode oko 6 do 7 meseci, dovodeći njihove životne funkcije u stanje mirovanja. Aktivni period počinje u rano proleće, gde se prvo bude mužjaci, nakon čega sledi sezona parenja. Ženke imaju samo jedan okot godišnje, sa prosečno dva do 9 mladunaca (Kryštufek i sar., 2009). Kritični period za njih predstavljaju letnji meseci, jer mladi moraju da sakupe dovoljno masnih rezervi kako bi preživeli dugu i jaku zimu (Strauss i sar., 2007). Slepo kuće (*S. leucodon*) je strogo podzemni sisar prilagođen životu u zemljištu. Za razliku od tekunica, aktivni su tokom cele godine. Njegovo prisustvo može se uočiti po humkama izbačene zemlje koje prave dok šire svoje tunele u potrazi za hranom. Životni ciklus ove vrste je spor i skriven. Ženke rađaju samo jednom godišnje, obično jedno do četiri mladunčeta. Odlikuje ih neverovatna dugovečnost, dok miševi žive svega godinu ili dve, slepo kuće može doživeti i preko 10 godina (Davidson i sar., 2012).

Specifičan način života ovih vrsta dovodi do kompleksnog odnosa sa ljudskim aktivnostima u poljoprivredi. Izgradnja podzemnih sistema može dovesti do oštećenja korenovog sistema biljaka, dok humke koje formira slepo kuće mogu smanjiti efikasnost obrade zemljišta. Sa druge strane, tim aktivnostima zemljištu se doprinosi aeracija, struktura i prozračnost, čime se unapređuje kvalitet staništa (Liu i sar., 2025). Takođe, mogu činiti značajan izvor hrane za ugrožene grabljivice poput orla krstaša (*Aquila heliaca*), zbog čega njihov opstanak direktno uslovljava stabilnost čitavog ekosistema (Ronen i sar., 2025).

Stepski skočimiš (*S. subtilis*) predstavlja jednu od najređih i najugroženijih vrsta glodara u Srbiji. Za razliku od prethodnih vrsta on ne naseljava klasične pašnjake, već netaknute stepe sa gustom vegetacijom. Životni ciklus karakteriše izuzetno duga hibernacija koja može trajati i do 8 meseci. Reproductivni potencijal ove vrste je izuzetno nizak. Ženke rađaju jednom godišnje, 5 do 8 mladunčadi. Skočimiš ne uzrokuje nikakve ekonomske štete, naprotiv njegovo prisustvo predstavlja direktan pokazatelj očuvanja staništa u prirodnom obliku (Cserkesz i sar., 2015; Rusin i sar., 2018).

Evropski dabar (*C. fiber*) pripada glodarima koji naseljavaju isključivo reke i priobalna staništa. Njegov život isključivo je vezan za vodu gde gradi brane i kanale, menjajući izgled prirode oko sebe. Na taj način stvara nova močvarna područja koja postaju staništa za druge vrste životinja. Karakteriše ih izražena monogamija, ženke rađaju jednom godišnje, jedno do četiri mladunaca. Porastom brojnosti i širenjem areala sve češće naseljavaju područja sa intenzivnim uticajem čoveka. Izgradnja brana može uzrokovati plavljenje poljoprivrednih

zemljišta i infrastrukture, dok kopanje kanala može ugroziti stabilnost nasipa (Curran i Cannatelli, 2014; Orazi i sar., 2022; Ciach i sar., 2023). Takođe, najnovija istraživanja ukazuju na to da dabrovi mogu biti rezervoari različitih zoonotskih patogena. Prisustvo parazita *Toxoplasma gondii* zabeleženo je u značajnom procentu jedinki, naročito u populacijama koje borave u blizini urbanih sredina. Pored toga, mogu biti rezervoari bakterije *Francisella tularensis*, kao i različitih crevnih parazita poput *Giardia duodenalis* (Scherrer i sar., 2024; Herrera-Rodríguez i sar., 2024). U takvim okolnostima javlja se potreba za primenom odgovarajućih mera upravljanja koje imaju za cilj da ublaže negativne posledice i uspostave ravnotežu između očuvanja vrste i zaštite ljudskih aktivnosti.

Snežne voluharice (*C. nivalis*), dinarske voluharice (*D. bogdanovi*) i velike voluharice (*M. liechtensteini*) predstavljaju grupu glodara koji su klasični primer vrsta koje se prilagođavaju specifičnim staništima poput visokih planinskih vrhova i dubokih kraških pukotina. Zajednička karakteristika ovih vrsta je sporiji životni ciklus, imaju mali broj potomaka i sporije sazrevaju. Dinarska voluharica predstavlja endemičnu vrstu isključivo za Balkansko poluostrvo, dok velika voluharica naseljava vlažna staništa i šume, a njen životni ciklus je usko vezan za vegetaciju i kvalitet zemljišta u kojem kopa sisteme tunela (Krystufek i sar., 2007). Pojedina naučna istraživanja ukazuju na to da materije iz gnezda i izmeta snežne voluharice imaju efekte slične hormonima, koji mogu stimulisati klijanje i rast specifičnih planinskih biljaka (Pizzeghello i sar., 2015). Iako ne uzrokuju nikakvu ekološku štetu, mogu biti rezervoari različitih patogena (Mishra i sar., 2022). Zbog toga je neophodno vršiti nadzor kako bi se sprečilo prenošenje bolesti na ljude ili na životinje na visokoplaninskim ispašama.

Hrčak (*C. cricetus*), poznatiji kao evropski ili poljski hrčak naseljava plodne stepe i obradiva zemljišta. Njegov životni ciklus karakteriše duboka hibernacija pod zemljom, od oktobra do marta, tokom koje se budi na svakih nekoliko dana kako bi se hranio zalihama koje je sakupio. Reproductivni potencijal im je visok, ali podaci ukazuju na drastičan pad broja potomaka usled uticaja savremenih tehnoloških sredstava. Usled aktivnosti čoveka na njihovo uništavanje staništa, jedinke bivaju sprečene da završe svoj reproduktivni ciklus (Tomsin i sar., 2025). Patuljasti miš (*M. minutus*) naseljava visoke trave i žitna polja. Jedini je evropski glodar koji koristi rep kako bi se hvatao za stabljike. Ima brz životni ciklus, sa više okota tokom letnjeg perioda, ali su izuzetno osetljivi na promene u vegetaciji. Hrčak kopanjem dubokih i složenih kanala doprinosi vertikalnom mešanju slojeva zemljišta i aeraciji, što poboljšava strukturu tla. Sa druge strane, patuljasti miš služi kao važan bioindikator vlažnih staništa (Ancillotto i sar., 2023). Njegovo prisustvo ukazuje na očuvanost prirodnih barijera koji su ključni u sprečavanju erozije. Obe vrste predstavljaju neophodan plen za grabljivice poput vetruške i raznih vrsta sova. Kontrola ovih vrsta, naročito hrčka koji naseljava poljoprivredna polja, vrši se radi praćenja potencijalnih zoonoza poput tularemije i leptospiroze (Rosli i sar., 2023). Posebno u predelima gde ljudi dolaze u direktan kontakt sa tlom (građevinski radnici) i usevima (poljoprivrednici).

Šumski puh (*D. nitedula*), puh lešnikar (*M. avellanarius*) i evropska veverica (*S. vulgaris*) predstavljaju vrste čiji je opstanak direktno vezan za šumske ekosisteme. Puhovi su noćne životinje poznate po izuzetno dugoj hibernaciji koja može trajati od 7 do 9 meseci. Tokom ovog perioda, borave u podzemnim rupama na dubini oko 60 cm kako bi izbegli smrzavanje. Reprodukcijska im je strogo uslovljena prirodom. Imaju sposobnost da predvide rodnu godinu drveća, međutim izostankom iste izostaje i njihovo parenje (Ruf i Bieber, 2020). Veverice naseljavaju šumska i urbana staništa. Sakupljajući plodove žira i lešnika, skladište ih u zemlji ili dupljama drveća, čime igraju značajnu ulogu u prirodnoj obnovi šuma (Jansen i Forget, 2001). Puhovi često naseljavaju tavane, krovne konstrukcije i ostave, što može dovesti do oštećenja izolacije i instalacija. Ove vrste mogu biti značajan izvor krpelja koji prenose uzročnike Lajmske bolesti (Herrero Cofreces, 2021).

METODE KONTROLE ZAŠTIĆENIH I STROGO ZAŠTIĆENIH VRSTA IZ REDA RODENTIA

Kontrola ove populacije glodara koje su svrstane u kategoriju zaštićenih i strogo zaštićenih vrsta zahteva suštinsko razumevanje razlike između ekološkog upravljanja i klasične deratizacije. Pod pojmom deratizacije podrazumeva se skup mera usmerenih na redukciju populacije štetnih glodara radi zaštite javnog zdravlja, infrastrukture i životne sredine, dok metode kontrole zaštićenih vrsta predstavljaju sistemski nadzor i preventivno delovanje koje ne narušava biološki integritet jedinki.

U Republici Srbiji zaštita ovih vrsta regulisana je Zakonom o zaštiti prirode, kao i Pravilnikom o proglašenju i zaštiti strogo zaštićenih i zaštićenih divljih vrsta biljaka, životinja i gljiva, koji strogo zabranjuju namerno hvatanje, ubijanje ili uznemiravanje ovih životinja, kao i uništavanje njihovih staništa („Službeni glasnik RS”, br. 36/2009, 88/2010, 91/2010 – ispr., 14/2016, 95/2018 – dr. zakon i 71/2021; 5/2010, 47/2011, 32/2016 i 98/2016). Mere kontrole ovih vrsta nisu usmerene na njihovu eliminaciju, već na pronalaženje načina da se izbegnu problemi koje oni mogu izazvati. Suština je postizanje ravnoteže u kojoj ljudske populacije mogu nesmetano da obavljaju svoje aktivnosti, a da pritom ne ugroze opstanak i zdravlje ovih zaštićenih vrsta.

Monitoring zaštićenih i strogo zaštićenih vrsta glodara predstavlja osnovni preduslov kada je reč o merama kontrole ovih vrsta jedinki. Kako su ove vrste strogo zaštićene zakonom, praćenje njihove brojnosti obavlja se isključivo metodama koje ne zahtevaju fizički kontakt. Na taj način dobijamo precizne podatke bez stvaranja ikakvog stresa kod jedinki ili ugrožavanja staništa u kojima borave. Najzastupljenija metoda kod vrsta poput tekunice i poljskog hrčka jeste prebrojavanje aktivnih rupa (Tomsin i sar., 2025). Kod slepog kućeta, gustina populacije utvrđuje se brojanjem humki izbačene zemlje na određenoj površini, dok se kod dabra prati broj i aktivnost formiranih brana (Puttock i sar., 2021).

Kod noćnih i skrivenih vrsta, poput puhova ili skočimiša koriste se kamere sa senzorima pokreta koje omogućavaju kontinuirano praćenje aktivnosti tokom 24 sata. Na taj način pruža se uvid o reproduktivnom uspehu, broju mladunaca, aktivnosti, kao i mestima na kojima dolaze u kontakt sa objektima u kojima borave ljudi (Hughes i sar., 2026).

Pored video nadzora, pasivni akustični monitoring omogućava prepoznavanje specifičnih oglašavanja životinja, što je značajno u proceni gustine naseljenosti i socijalne strukture zajednice. Ovo je posebno značajno kod vrsta koje su vokalno aktivne tokom perioda parenja (Gibb i sar., 2019).

Savremeni monitoring sve više uključuje upotrebu bespilotnih letelica (dronova) opremljenih termovizijskim kamerama koje omogućavaju brzo mapiranje staništa i identifikaciju aktivnih zona na velikim površinama bez potrebe za direktnim ulaskom u ekosisteme u kojima ove jedinke borave (Povlsen i sar., 2023).

Pojedine metode podrazumevaju analizu DNK iz tragova koje jedinke ove vrste ostavljaju u prirodi, poput fecesa, urina, dlaka itd. Na taj način omogućava se identifikacija svake jedinke kao i praćenje zdravstvenog stanja čitave populacije, što je ključno u ranom otkrivanju patogena bez fizičkog uznemiravanja životinja (Qu i Stewart, 2019).

Pored monitoringa, upravljanje zaštićenim vrstama glodara primarno se oslanja na preventivne mere koje fizički sprečavaju nastanak štete sa ciljem da se jedinka ne ugrozi. Ovaj pristup obuhvata širok spektar mera, poput mehaničkih barijera, agrotehničkih mera, specijanih sistema za kontrolu vodostaja i drugo.

Kada je reč o zaštiti stabala od dabrova, puhova i veverica, postavljaju se mehaničke barijere u vidu metalnih mrežica ili polipropilenskih obloga. One fizički onemogućavaju glodanje kore stabla, čime se održava njihova vitalnost (Kiffner i sar., 2020).

Na otvorenim poljoprivrednim površinama koje naseljavaju vrste poput tekunice i poljskog hrčka, primenjuju se agrotehničke mere. Usklađivanjem poljoprivrednih radova prirodnim ciklusu životinja, poput ostavljanja nepokošenih pojaseva vegetacije, jedinkama se omogućava neophodan zaklon (Fischer i Schröder, 2014).

Na područjima gde aktivnost dabra dovodi do plavljenja poljoprivrednog zemljišta, primenjuju se specijalni sistemi za kontrolu vodostaja. Ovi sistemi regulišu nivo vode u branama, sprečavajući poplave, dok istovremeno jedinkama omogućavaju odgovarajuće uslove za opstanak u staništu (Puttock i sar., 2021).

Kada preventivne mere nisu u potpunosti primenjive, pribegava se upotrebi repelenata koji deluju na čula životinje, odvrćajući ih od određenog prostora bez izazivanja povrede istih. Savremeni pristup podrazumeva upotrebu olfaktornih repelenata zasnovanih na mirisu prirodnih predatora, koji kod jedinki aktiviraju urođeni instinkt straha i primoravaju ih na promenu kretanja (Apfelbach i sar., 2015). Takođe, primenjuju se i gustatorni repelenti, koji se aplikuju

direktno na sadnice ili poljoprivredne kulture, čime se sprečava upotreba istih. Za razliku od klasičnih rodenticida, ovi agensi su biorazgradivi, što je ključno u očuvanju njihovih prirodnih staništa (Hansen i sar., 2016).

Ključni element održive kontrole je i edukacija lokalnog stanovništva. Uključivanjem građana u prijavljivanje lokacija zaštićenih vrsta dobijaju se dragoceni podaci o rasprostranjenosti, dok se istovremeno podiže svest o važnosti očuvanja biološke raznovrsnosti.

PRAVNI OKVIR I KAZNE NE MERE

Obzirom da su glodari iz reda *Rodentia* u Republici Srbiji zaštićeni najvećim stepenom zaštite, svako postupanje suprotno ekološkom upravljanju smatra se ozbiljnim kršenjem zakona. Prema Zakonu o zaštiti prirode, za radnje poput namernog uznemiravanja, hvatanja, ubijanja ili uništavanja staništa zaštićenih vrsta, predviđene su visoke novčane kazne. Za pravna lica ona se kreću od 500.000 do 2.000.000 dinara, dok se za odgovorno lice u pravnom licu i fizičko lice kazne kreću od 50.000 do 150.000 dinara („Službeni glasnik RS”, br. 36/2009, 88/2010, 91/2010 – ispr., 14/2016, 95/2018 – dr. zakon i 71/2021).

Pored kazne, počilnic je dužan da nadoknadi štetu državi po svakoj stradalolj jedinki prema Pravilniku o odšletnom cenovniku za utvrđivanje visine naknade štete prouzrokovane nedozvoljenom radnjom u odnosu na strogo zaštićene i zaštićene divlje vrste. Krivični zakonik Republike Srbije u članu 265. definiše „Uništenje, oštećenje, iznošenje u inostranstvo i unošenje u Srbiju zaštićenog prirodnog dobra”. Ko uništi ili oštetiti posebno zaštićeno prirodno dobro, kazniće se zatvorom od šest meseci do pet godina. Ukoliko je delo učinjeno iz nehata, učinilac će se kazniti novčanom kaznom ili zatvorom do šest meseci. Pored zatvorske kazne, sud može izreći i visoke novčane kazne, dok se šteta naneta populacijama strogo zaštićenih vrsta nadoknađuje državi prema posebnom cenovniku („Službeni glasnik RS”, br. 85/2005, 88/2005 – ispr., 107/2005 – ispr., 72/2009, 111/2009, 121/2012, 104/2013, 108/2014, 94/2016 i 35/2019; 37/2010).

Ovakav rigorozan zakonski okvir služi kao preventivni mehanizam koji primorava subjekte koji se bave održavanjem infrastrukture i poljoprivrede da se u potpunosti oslone na neinvazivne metode monitoringa i zaštite, umesto na zakonom zabranjene metode istrebljenja.

ZAKLJUČAK

Metode kontrole zaštićenih i strogo zaštićenih vrsta glodara iz reda *Rodentia* u Republici Srbiji predstavljaju kompleksan stručni izazov koji ne zahteva upotrebu klasičnih rodenticida već implementaciju neinvazivnih strategija i mera preventivne kontrole. Osnovni cilj ne podrazumeva redukciju brojnosti, već uspostavljanje održive ravnoteže između ljudskih aktivnosti i očuvanja biološkog integriteta ovih ekosistemske značajnih vrsta.

Primenom neinvazivnih metoda monitoringa dobijamo precizan uvid u stanje populacije, dok implementacijom preventivnih mera efikasnu zaštitu infrastrukture i poljoprivrednih dobara uz poštovanje zakonske regulative. Poseban izazov predstavlja nedostatak svesti o ekološkom značaju ovih vrsta, zbog čega je neophodna edukacija lokalnog stanovništva kako bi se smanjio rizik od neadekvatnih i zakonski kažnjivih radnji. Holističkim pristupom, koji obuhvata sve navedene mere uz striktno pridržavanje kaznenih odredbi, osigurava se dugoročan opstanak ovih zaštićenih vrsta kao i stabilnost samog ekosistema.

Zahvalnica

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

LITERATURA

1. Reeder, D. M., Helgen, K. M., and Wilson, D. E. (2007). Global trends and biases in new mammal species discoveries.
2. Pravilnik o proglašenju i zaštiti strogo zaštićenih i zaštićenih divljih vrsta biljaka, životinja i gljiva. Službeni glasnik Republike Srbije, br. 5/2010, 47/2011, 32/2016 i 98/2016.
3. Zakon o zaštiti prirode. Službeni glasnik Republike Srbije, br. 36/2009, 88/2010, 91/2010 – ispr., 14/2016, 95/2018 – dr. zakon i 71/2021.
4. Puzović, S., and Panjković, B. (Ur.). (2015). Upravljanje prirodnom baštinom u Vojvodini. Pokrajinski zavod za zaštitu prirode.
5. Strauss, A., Hoffmann, I. E., and Millesi, E. (2007). Effects of nutritional factors on juvenile development in male European ground squirrels (*Spermophilus citellus*). *Mammalian Biology*, 72(6), 354-363.
6. Kryštufek, B., Bryja, J., and Bužan, E. V. (2009). Mitochondrial phylogeography of the European ground squirrel, *Spermophilus citellus*, yields evidence on refugia for steppic taxa in the southern Balkans. *Heredity*, 103(2), 129-135.
7. Liu, W., Bo, T., Zhao, N., Hu, B., Li, G., and Xiao, Z. (2025). Small mammal activities structure fine-scale soil microbial communities and coordinate rodenticide effects in the typical steppes of China. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 302, 118560.
8. Ronen, N., Brook, A., and Charter, M. (2025). Assessing birds of prey as biological pest control: A comparative study with hunting perches and rodenticides on rodent activity and crop health. *Biology*, 14(9), 1108.
9. Davidson, A. D., Detling, J. K., and Brown, J. H. (2012). Ecological roles and conservation challenges of social, burrowing, herbivorous mammals in the world's grasslands. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 10(9), 477-486.
10. Rusin, M., Lebedev, V., Matrosova, V., Zemlemerova, E., Lopatina, N., and Bannikova, A. (2018). Hidden diversity in the Caucasian mountains: An example of birch mice (Rodentia, Sminthidae, Sicista). *Hystrix*, 29(1), 61.
11. Cserkesz, T., Aczel-Fridrich, Z., Hegyeli, Z., Sugar, S., Czaban, D., Horvath, O., and Sramko, G. (2015). Rediscovery of the Hungarian birch mouse (*Sicista subtilis* trizona) in Transylvania (Romania) with molecular characterisation of its phylogenetic affinities. *Mammalia*, 79(2), 215-224.
12. Scherrer, P., Ryser-Degriorgis, M. P., Frey, C. F., and Basso, W. (2024). *Toxoplasma gondii* infection in the Eurasian beaver (*Castor fiber*) in Switzerland: Seroprevalence, genetic characterization, and clinicopathologic relevance. *The Journal of Wildlife Diseases*, 60(1), 126-138.

13. Herrera-Rodríguez, D., Jareño-Moreno, S., Buch-Cardona, C., Mougeot, F., Luque-Larena, J. J., and Vidal, D. (2024). Water and mosquitoes as key components of the infective cycle of *Francisella tularensis* in Europe: a review. *Critical reviews in Microbiology*, 50(5), 922-936.
14. Orazi, V., Hagge, J., Gossner, M. M., Müller, J., and Heurich, M. (2022). A biodiversity boost from the Eurasian beaver (*Castor fiber*) in Germany's oldest national park. *Frontiers in Ecology and Evolution*, 10, 873307.
15. Curran, J. C., and Cannatelli, K. M. (2014). The impact of beaver dams on the morphology of a river in the eastern United States with implications for river restoration. *Earth Surface Processes and Landforms*, 39(9), 1236-1244.
16. Ciach, M., Wrazidło, D., and Fedyń, I. (2023). Ecosystem engineers enter the city: Habitat characteristics influencing the distribution of Eurasian beavers *Castor fiber* in a human-transformed landscape. *Landscape and Urban Planning*, 240, 104893.
17. Pizzeghello, D., Cocco, S., Francioso, O., Ferrari, E., Cardinali, A., Nardi, S., Agnelli, A., and Corti, G. (2015). Snow vole (*Chionomys nivalis* Martins) affects the redistribution of soil organic matter and hormone-like activity in the alpine ecosystem: ecological implications. *Plant and Soil*, 390(1-2), 341-355.
18. Krystufek, B., Buzan, E. V., Hutchinson, W. F., and Hänfling, B. (2007). Phylogeography of the rare Balkan endemic Martino's vole, *Dinaromys bogdanovi*, reveals strong differentiation within the western Balkan Peninsula. *Molecular ecology*, 16(6), 1221-1232.
19. Mishra, C., Samelius, G., Khanyari, M., Srinivas, P. N., Low, M., Esson, C., ... and Johansson, Ö. (2022). Increasing risks for emerging infectious diseases within a rapidly changing High Asia. *Ambio*, 51(3), 494-507.
20. Tomsin, I., Duthie, A. B., Bunnefeld, N., Leirs, H., Casaer, J., and Beenaerts, N. (2025). Evaluating Management Scenarios for the European Hamster (*Cricetus cricetus*) Using Quantitative Models. *Ecology and Evolution*, 15(10), e72353.
21. Ancillotto, L., Viviano, A., Baratti, M., Sogliani, D., Ladurner, E., and Mori, E. (2023). Every branch in its niche: intraspecific variation in habitat suitability of a widely distributed small mammal, the harvest mouse *Micromys minutus*. *Mammal Research*, 68(4), 575-585.
22. Rosli, M. Z., Mohd-Taib, F. S., Khoo, J. J., Chee, H. Y., Wong, Y. P., Shafie, N. J., ... and Nor, S. M. (2023). A multi-landscape assessment of *Leptospira* prevalence on a diversity of small mammals. *EcoHealth*, 20(2), 208-224.
23. Ruf, T., and Bieber, C. (2020). Physiological, behavioral, and life-history adaptations to environmental fluctuations in the edible dormouse. *Frontiers in Physiology*, 11, 423.
24. Jansen, P. A., and Forget, P. M. (2001). Scatterhoarding rodents and tree regeneration. In *Nouragues: dynamics and plant-animal interactions in a neotropical rainforest* (pp. 275-288). Dordrecht: Springer Netherlands.
25. Herrero Cofreces, S. (2021). Ecology and public health: rodents as reservoirs of zoonoses in the farmland of northwestern Spain.
26. Puttock, A., Graham, H. A., Ashe, J., Luscombe, D. J., and Brazier, R. E. (2021). Beaver dams attenuate flow: A multi-site study. *Hydrological processes*, 35(2), e14017.
27. Tomsin, I., Duthie, A. B., Bunnefeld, N., Leirs, H., Casaer, J., and Beenaerts, N. (2025). Evaluating Management Scenarios for the European Hamster (*Cricetus cricetus*) Using Quantitative Models. *Ecology and Evolution*, 15(10), e72353.
28. Hughes, L. N., Hughes, T., and White, P. J. (2026). Comparing two methods for surveying nocturnal arboreal mammals in a tropical forest—thermal observations from an elevated platform and arboreal camera traps. *Mammal Research*, 71(2), 24.
29. Qu, C., and Stewart, K. A. (2019). Evaluating monitoring options for conservation: comparing traditional and environmental DNA tools for a critically endangered mammal. *The Science of Nature*, 106(3), 9.
30. Kiffner, C., Thomas, S., Speaker, T., O'Connor, V., Schwarz, P., Kioko, J., & Kissui, B. (2020). Community-based wildlife management area supports similar mammal species richness and densities compared to a national park. *Ecology and evolution*, 10(1), 480-492.

31. Puttock, A., Graham, H. A., Ashe, J., Luscombe, D. J., and Brazier, R. E. (2021). Beaver dams attenuate flow: A multi-site study. *Hydrological processes*, 35(2), e14017.
32. Fischer, C., and Schröder, B. (2014). Predicting spatial and temporal habitat use of rodents in a highly intensive agricultural area. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 189, 145-153.
33. Gibb, R., Browning, E., Glover-Kapfer, P., and Jones, K. E. (2019). Emerging opportunities and challenges for passive acoustics in ecological assessment and monitoring. *Methods in Ecology and Evolution*, 10(2), 169-185.
34. Povlsen, P., Bruhn, D., Pertoldi, C., and Pagh, S. (2023). A novel scouring method to monitor nocturnal mammals using uncrewed aerial vehicles and thermal cameras—a comparison to line transect spotlight counts. *Drones*, 7(11), 661.
35. Apfelbach, R., Parsons, M. H., Soini, H. A., and Novotny, M. V. (2015). Are single odorous components of a predator sufficient to elicit defensive behaviors in prey species?. *Frontiers in Neuroscience*, 9, 263.
36. Hansen, S. C., Stolter, C., Imholt, C., and Jacob, J. (2016). Plant secondary metabolites as rodent repellents: a systematic review. *Journal of Chemical Ecology*, 42(9), 970-983.
37. Pravilnik o odštetnom cenovniku za utvrđivanje visine naknade štete prouzrokovane nedozvoljenom radnjom u odnosu na strogo zaštićene i zaštićene divlje vrste. „Službeni glasnik RS”, br. 37/2010.
38. Krivični zakonik Republike Srbije. „Službeni glasnik RS”, br. 85/2005, 88/2005 – ispr., 107/2005 – ispr., 72/2009, 111/2009, 121/2012, 104/2013, 108/2014, 94/2016 i 35/2019.

IV
TEMATSKO ZASEDANJE

BIOSIGURNOST I
DOBROBIT ŽIVOTINJA

Pregledni rad DOI: 10.5937/DDD26205V

UTICAJ PASA NA ŽIVOTNU SREDINU

ENVIRONMENTAL IMPACT OF DOGS

**Marijana Vučinić^{1*}, Milutin Đorđević¹, Vladimir Drašković¹,
Radovan Marčetić¹, Darja Fjodorov¹, Radislava Teodorović¹,
Katarina Nenadović¹**

Kratak sadržaj

Ovaj rad istražuje kompleksan odnos između rasta populacije pasa i njihovog merljivog uticaja na životnu sredinu. Rad kvantifikuje negativne efekte zagađivača kroz životni ciklus psa prosečne veličine i prosečnog životnog veka. Istaknuto je da dijetarni otisak i ekskrementi (feces i urin) predstavljaju najveće izvore zagađenja. Transformacija statusa psa u „člana porodice” dovela je do intenziviranja resursno zahtevnih praksi koje značajno doprinose globalnim klimatskim promenama i degradaciji životne sredine. Ovo znači da su vlasnici pasa zahtevali proizvodnju hrane za pse od istog kvaliteta sirovina kao i za proizvodnju sopstvene hrane i da većina vlasnika uglavnom prekomerno hrani životinje plašeći se da ne budu gladne. Proizvodnja hrane za kućne ljubimce, dominantno mesnog sastava, odgovorna je za značajan deo zagađenja iz poljoprivrede. Pseći ekskrementi (feces i urin) predstavljaju direktan izvor zagađenja zemljišta i voda, narušavajući otpornost gradskog zelenila i doprinoseći eutrofizaciji slatkih voda putem nutrijenata i toksičnih materija. Psi utiču i na biodiverzitet. Pored direktnog uznemiravanja divljih vrsta, identifikovan je problem ispiranja akaricida i insekticida u vodotokove i njihovo prisustvo u gnezdima ptica, što direktno ugrožava reproduktivni uspeh divljih populacija. Rad razmatra održivije modele proizvodnje hrane za pse i inovativne metode upravljanja otpadom, poput kompostiranja fecesa. Uzimajući u obzir sve izneto, neophodno je preusmeriti fokus sa individualnog posmatranja psa kao ljubimca na populacioni nivo sa jasno merljivim ekološkim učinkom. Strategije za ublažavanje negativnih efekata moraju uključiti optimizaciju ishrane, strože upravljanje otpadom i edukaciju vlasnika o ekološkim posledicama vlasništva nad psima.

Ključne reči: ekološki otisak, ekskrementi, pas

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

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

Abstract

This paper explores the complex relationship between the growing dog population and its measurable environmental impact. It quantifies the negative effects of pollutants throughout the life cycle of an average-sized dog with a standard lifespan. Dietary footprint and excrement (feces and urine) are identified as the primary sources of pollution. The transformation of the dog's status into a "family member" has intensified resource-demanding practices that significantly contribute to global climate change and environmental degradation. Owners increasingly demand pet food produced from human-grade raw materials, often leading to overfeeding. Pet food production, which is predominantly meat-based, accounts for a significant portion of agricultural pollution. Furthermore, canine excreta serve as direct sources of soil and water contamination, compromising the resilience of urban greenery and contributing to freshwater eutrophication through nutrient and toxic substance loading. Dogs also impact biodiversity; beyond direct wildlife disturbance, the leaching of acaricides and insecticides into waterways and their presence in bird nests pose a direct threat to the reproductive success of wild populations. This paper discusses more sustainable models for dog food production and innovative waste management methods, such as fecal composting. It is essential to shift the focus from viewing dogs as individual companions to a population-level perspective with clearly measurable ecological outcomes. Mitigation strategies must include dietary optimization, stricter waste management, and owner education regarding the environmental consequences of dog ownership.

Keywords: ecological footprint, excrement, dog.

UVOD

Psi u savremenom društvu imaju mnogobrojne uloge. Oni nisu samo kućni ljubimci, životinje za razonodu, zabavu i društvo već imaju bitnu ulogu i u stočarstvu kao čuvari ili goniči, kao radne životinje (vuča saonica), službene životinje u policiji i vojsci, čuvari imovine i pružaoci lične zaštite, vodiči, tragači, krvoslednici, eksperimentalni psi (nezamenjiv animalni model u proučavanju starenja), psi za potporu osoba koje se otežano kreću kao što im se pripisuju i mnoge druge uloge. Učestvovanje u animoterapiji je jedna od savremenih uloga pasa, koja podleže dualnim raspravama – za i protiv (McDowall i sar., 2023). Ovu poslednju ulogu ostvaruju u mnogobrojnim domaćinstvima sa osobama koje imaju određene fizičke ili mentalne poteškoće, u bolnicama, staračkim domovima i institucijama za mentalne poremećaje. Međutim, kako su savremeni trendovi formirali jasnu sliku života mladih, koji kasno stupaju u brakove, kasno dobijaju decu ili se odlučuju da nemaju decu, psi sve više dobijaju ulogu dece u porodici. Ovo važi i za starije bračne parove bez dece, ali imaju i ulogu surogata za člana porodice. Zato se u mnogim savremenim društvima vlasnici pasa smatraju njihovim roditeljima (Barina-Silvestri i sar., 2024; Dye, 2025). Promoviisanje zdravlja i prevencije bolesti je starija preporuka za ostvarenje interakcije čovek-pas, koja se ostvaruje svakodnevnom fizičkom aktivnosti provedenom u

šetanju pasa (Richards i sar, 2016). Pored navedenih i mnogobrojnih drugih koristi od pasa, zabrinut za globalne klimatske promene i posledice za život na Zemlji u skoroj budućnosti, danas čovek i nauka na koju se oslanja pokušavaju da u lanac globalnih zagađivača umetne kućne ljubimce, a posebno pse i njihove negativne učinke na životnu sredinu (Martens i sar., 2019; Alexander i sar., 2020; Krawczyk i sar., 2025).

BROJ PASA – KUĆNIH LJUBIMACA U SVETU

Pretpostavlja se da danas u svetu ima približno oko jedne milijarde pasa uključujući i vlasničke i pse lutalice. Populacija kućnih ljubimaca u svetu približno broji oko 700 miliona pasa i 900 miliona mačaka (Cowan i sar., 2024). Računa se da preko 50% domaćinstava u svetu poseduje psa ili mačku (Alexander i sar., 2020). Prema podacima iz 2022. godine (Global Animal Health Association, 2022) najveću populaciju pasa imali su SAD (85 miliona), Kina (74 miliona) i Brazil (54 miliona), dok je populacija mačaka bila najveća u Kini (67 miliona), zatim u SAD (65 miliona) i u Brazilu (24 miliona).

Prema godišnjem izveštaju za 2025. godinu (na osnovu statistike iz 2023. godine) Evropske federacije za proizvodnju hrane za ljubimce (<https://europe-anpetfood.org/>) u Evropi se beleži stabilan porast vlasnika kućnih ljubimaca. Broj kućnih ljubimaca u Evropi iznosi 299 miliona i u stalnom je porastu. U odnosu na 2024. godinu (na osnovu statistike iz 2022. godine) populacija kućnih ljubimaca se uvećala za tri miliona, kada je iznosila 296 miliona. Najveći broj ljubimaca čine mačke (108 miliona), a zatim psi (90 miliona). Ostali ljubimci su ukrasne ptice (48,2 miliona), sitni sisari, akvarijumske ribice i gmizavci, koji su najmalobrojniji (10,7 miliona). Oko 139 miliona domaćinstava u Evropi poseduje najmanje jednog ljubimca, od kojih 25% ima najmanje jednog psa, a 26% ima najmanje jednu mačku. Najveći broj domaćinstava sa psima se nalazi u Mađarskoj (50%), dok se najveći broj domaćinstava, koje imaju bar jednu mačku nalazi u Rumuniji (48%). U Srbiji, najmanje 24% domaćinstava ima bar jednog psa i najmanje 26% domaćinstava ima bar jednu mačku.

UTICAJ PASA NA ŽIVOTNU SREDINU

Rastući trend broja ljubimaca dovodi u pitanje njihov uticaj na klimatske promene i životnu sredinu, a posebno zarad toga što se do skora obraćalo malo pažnje na postojanje ovog problema dok su nauka i praksa bile usmerene samo na globalne negativne uticaje iz stočarske proizvodnje. Međutim, istraživanja zagađenje životne sredine iz stočarstva stvorila su osnovu za proučavanje negativnih ekoloških uticaja, koje ostvaruju psi, a posebno sa aspekta zagađenja zemljišta, voda i vazduha. Pored fecesa, koji ima potencijal zagađenja zemljišta i voda, potencijal zagađivača životne sredine ima i otpad od ambalaže za hranu, kese za sakupljanje fecesa kao i dodatna oprema (povodci, igračke, plastične hranilice i pojilice (Tabela 1). Dokazi pokazuju da izbori vlasnika, koji se odnosi

na sastav hrane, u odnosu na izvore proteina i izbor proizvoda, direktno utiču na ekološki uticaj pasa na životnu sredinu. Krawczyk i sar. (2025) predlažu strategije ublažavanja negativnog uticaja pasa na životnu sredinu uključujući optimizaciju ishrane radi smanjenja izlučivanja hranljivih materija, primenu aditiva za hranu razvijenih za farmske životinje i poboljšanje upravljanja otpadom kroz kompostiranje ili primenu zakonskih propisa za smanjenje emisija zaključujući da pse više ne treba posmatrati samo kao pojedinačne kućne pratioce, već kao populaciju sa merljivim ekološkim učinkom.

U SAD je procenjeno da psi i mačke zajedno troše čak 33% od celokupne energije životinjskog porekla koju ljudi konzumiraju. Na nacionalnom nivou, to znači da su odgovorni za skoro jednu trećinu kontaminacije životne sredine iz stočarske proizvodnje uključujući kontaminaciju zemljišta, vode i ostalih resursa, kao i emisije gasova staklene bašte. Ove životinje takođe proizvode više od 5 miliona tona izmeta godišnje – što iznosi približno 30% ukupnog ljudskog izmeta u SAD (Okin, 2017). Na osnovu procene životnog ciklusa (Yavor i sar., 2020), utvrđeno je da vlasnički psi doprinose sa otprilike 7% godišnjeg otiska ugljenika prosečnog građanina u Evropskoj uniji. Otisak ugljenika je mera emisije ugljen-dioksida i drugih gasova staklene bašte, koju izaziva pojedinac.

Uticaji iz različitih aktivnosti na životnu sredinu se mere ekološkim otiskom (EO). Ekološki otisak je mera ekološke održivosti i podrazumeva ukupnu površinu proizvodnog zemljišta i voda, koje služe za kontinuiranu proizvodnju svih resursa koje koristi čovek i koja asimilira sav otpad određene populacije u bilo kom delu sveta gde se ta površina nalazi (Martens i sar., 2019). Kada je reč o kućnim ljubimcima, tada se koristi izraz „ekološki otisak šape”, a u tom smislu, „dijetarni ekološki otisak” predstavlja meru, koja pokazuje koja površina biološki aktivnog zemljišta se koristi za proizvodnju hrane za životinje. Hrana za kućne ljubimce, pse i mačke, uglavnom je životinjskog porekla, tj. mesnog sastava. Za proizvodnju mesa potrebno je znatno više vode i energije i zato ima veći ekološki uticaj od proizvodnje hrane biljnog porekla. Zato, dijetarni ekološki otisak i emisija gasova staklene bašte za pse na ishrani suvom komercijalnom hranom su mnogo viši u poređenju sa psima koji se hrane kućnom hranom. Na primer, u Kini, dijetarni ekološki otisak, izražen kroz emisiju ugljenika, koji nastaje konzumiranjem komercijalne hrane za pse jednak je otisku koji stvara ishrana od 34 do 107 miliona Kineza. Psi i mačke u Japanu konzumiraju između 3,6% i 15,6% ukupne količine hrane, koju pojedu Japanci, čime oslobađaju između 2,5 miliona i 10,7 miliona tona gasova staklene bašte godišnje. U SAD, psi i mačke potroše jednu petinu ukupne energije koju pojedu Amerikanci, čime su odgovorni za emisiju 80 miliona tona metana i oksida azota. Kvalitet hrane animalnog porekla, koja se koristi za proizvodnju hrane za kućne ljubimce je izjednačen sa kvalitetom hrane za ljude. Uz činjenicu da je u zapadnim zemljama sveta sve više prisutna ishrana kućnih ljubimaca većom količinom hrane nego što im je potrebno i posledičnom gojaznosti, može se zaključiti da je dijetarni ekološki otisak kućnih ljubimaca u ukupnom ekološkom otisku značajan. Sve napred navedeno stavlja

zahtev pred proizvođače hrane za ljubimce da nađu održivije načine proizvodnje uzimajući u obzir sastav proizvoda i proizvodne procese (npr. proizvodni pogoni koji rade na obnovljivoj energiji ili tzv. zelenim lancima snabdevanja). Štaviše, povećanje bioraspoloživosti i svarljivosti hrane za kućne ljubimce takođe može pomoći u smanjenju nepotrebnog i beskorisnog razbacivanja hrane. U ovom pravcu, osnovna tehnologija proizvodnje hrane za ljubimce treba da se zasniva na smanjenju sadržaja proteina animalnog porekla. To može da se postigne ili zamenom animalnih proteina, za čiju je proizvodnju potrebno više energije (goveđe meso), proteinima za čiju je proizvodnju potrebno manje energije (meso živine i ribe) ili zamenom biljnim (Nicholles i Knight, 2025) i drugim alternativnim proteinima kao što su mahunarke (oprez zbog alergije), morski korov i alge (spirulina i hlorela), insekti (crna vojnička muva, žuti brašnar, kućni cvrčak), sintetičko meso („laboratorijsko meso“, „čisto meso“, „meso iz ćelijskih kultura“) i mikroproteini dobijeni fermentacijom pomoću mikroorganizama (Carrillo-Huerta i sar., 2025; Klinmalai i sar., 2025). Mada su proizvođači hrane za ljubimce posebno zainteresovani za zamenu animalnih proteina sintetičkim mesom, njegova upotreba u funkcionaloj hrani i hrani premium kvaliteta nije dozvoljena. Održivija proizvodnja hrane za ljubimce znači i nabavku žitarica (za hranu kojoj se dodaju žitarice) od dobavljača koji u proizvodnji žitarica koriste manje đubriva. Zamena plastičnih kesa za pakovanje hrane biorazgradivim materijalom je još jedna ekološka opcija koja je na raspolaganju proizvođačima hrane za ljubimce. Međutim, jedno istraživanje je pokazalo, da kada se vlasnicima predoči mogućnost zamene ili snižavanja sadržaja animalnih proteina u hrani za pse, oni bi tu mogućnost pre prihvatili iz zdravstvenih razloga i prednosti za pse nego zarad manjeg negativnog uticaja na životnu sredinu (Van Prooijen i sar., 2024).

Kako se većina hrane za kućne ljubimce zasniva na sekundarnim proizvodima iz industrije ljudske hrane, posebno sastojcima životinjskog porekla, ekološki uticaji tih sastojaka nisu isti kao oni koje konzumiraju ljudi, već iznose 25 do 30% ukupnog učinka proizvodnje hrane animalnog porekla za čoveka (Okin, 2017). Mada ti sekundarni proizvodi iz industrije hrane za ljude životinjskog porekla imaju manji uticaj na životnu sredinu, oni nisu zanemarljivi. Alexander i sar. (2020) su ustanovili da je proizvodnja suve hrane za kućne ljubimce, na godišnjem nivou, odgovorna za emisiju 56–151Mt CO₂ ekvivalenta (1,1% do 2,9% ukupne emisije iz poljoprivrede), 41–58 Mha korišćenja poljoprivrednog zemljišta (0,8–1,2% globalnog korišćenja poljoprivrednog zemljišta) i 5–11 km³ vode (0,2–0,4% ukupne količine vode koja se koristi u poljoprivredi). Ovakav ekološki otisak proizvodnje hrane za kućne ljubimce jednak je ekološkom otisku koji stvara dvostruko uvećana površina Velike Britanije i emisiji gasova staklene bašte koju stvaraju Mozambik ili Filipini.

Nemački istraživači (Yavor i sar., 2020) su izračunali da pas prosečne mase od 15 kg, koji prosečno živi oko 13 godina, koji pojede oko 883 g vlažne hrane dnevno i koji dnevno izluči 0,2 kg fecesa i 0,4 kg urina, za ceo životni vek izluči 1000 kg fecesa i 2000 l urina. Ovi istraživači (Yavor i sar., 2020) su izračunali

da ovim karakteristikama, pas ima potencijal da kontaminira životnu sredinu i time utiče na klimatske promene i to proizvodnjom 8200 kg CO₂ ekvivalenta i eutrofikacijom voda sa 5 kg ekvivalenta fosfora (Peq). Najveći uticaj na životnu sredinu ima proizvodnja hrane za pse, a tek zatim izlučeni ekskrementi (urin i feces). Veći broj pasa znači i viši nivo zagađenja životne sredine. U gradovima je evidentno da je porast broja pasa u vezi sa smanjenjem zelenih površina jer urin pasa čini drveće manje otpornim na bolesti (Kasielke i Buch, 2011). Istraživači su takođe uputili na tri različita scenarija, koje treba uzeti u obzir pri razmatranju kontaminacije životne sredine fecesom i urinom pasa: 1) feces pasa sakupljaju vlasnici u plastične kese i odlažu u kante za tu namenu, a one su dalje predmet higijenske obrade od strane gradskih službi za to zaduženih; 2) feces se direktno uklanja sa javnih površina sakupljanjem od strane službi za to zaduženih zajedno sa ostalim otpadom i odvozi na mesto obrade ili neškodljivog uklanjanja otpada i 3) feces se ne uklanja. Ova tri scenarija se razlikuju po direktnoj emisiji zagađivača (feces, plastične kese, održavanje higijene kanti, gorivo za transportna sredstva itd.).

Međutim, ekskrementi pasa sadrže i toksične materije, tako da se javlja potencijal zagađenja zemljišta i voda kancerogenim i nekancerogenim zagađivačima (Yavor i sar., 2020).

Tabela 1. Izvori uticaja pasa na životnu sredinu

Izvor kontaminacije	Grupe kontaminenata	Način delovanja na životnu sredinu
Ulaganje u čuvanje psa kao ljubimca	Hrana	Proizvodnja hrane, uključujući ambalažu za pakovanje i transport, prekomerno hranjenje psa, uklanjanje ambalaže iz domaćinstva
	Hranilice/Pojilice	Proizvodnja osnovne opreme, opreme za pakovanje, transport, pranje, uklanjanje iz domaćinstva
	Dodatna oprema	Proizvodnja povodaca, igraćaka, prostirke za odmor, opreme za pakovanje, uklanjanje
Pas kao generator kontaminacije (feces, urin)	Kese za sakupljanje fecesa	Proizvodnja, transport
		Sakupljanje otpada
		Tretman otpada
	Pranje javnih površina	Voda
		Kanalizacija
		Kolektori za otpad
	Direktna kontaminacija	Zemljište, vode – feces
		Zemljište, vode – urin

MOGUĆNOST KOMPOSTIRANJA FECESA PASA

Postoji mogućnost kompostiranja fecesa pasa i mačaka (Wuthisuthimethavee i sar., 2024). U poređenju sa fekalnom otpadnom materijom iz stočarstva, obrađeni ekskrementi pasa i mačaka sadrže veću koncentraciju hranljivih materija za biljke. Međutim, sam proces kompostiranja mora da bude sanitarno i ekološki bezbedan i da garantuje dobijanje kvalitetnog đubriva. Činilac koji određuje efikasnost kompostiranja je odnos ugljenika i azota (C:N). Efikasno kompostiranje se postiže odnosom 25-30:1 (npr. fekalni otpad iz svinjarstva ima odnos 30:1). Visok sadržaj ugljenika i nizak sadržaj azota sprečavaju gubitak azota. Međutim, odnos C:N u otpadnoj materiji fekalnog porekla pasa je 8:1. To znači, da bi se obezbedilo efikasno kompostiranje, fecesu pasa je neophodno dodati materijal sa visokim sadržajem ugljenika kao što su strugotina, slama ili suvo lišće. Jedan od problema koji treba da se prevaziđe kompostiranjem je i sadržaj patogena u otpadnoj materiji fekalnog porekla pasa (jaja parazita i mikroorganizmi). Smatra se da temperatura koja se razvija u toku termofilne faze kompostiranja ($>55^{\circ}\text{C}$) inaktiviše većinu patogena. Sledeći problem se odnosi na prisustvo rezidua lekova, plastičnih ili biorazgradivih kesa za sakupljanje fecesa, koji mogu da utiču na dinamiku kompostiranja jer termofilni uslovi nisu dovoljni da razgrade ovaj materijal. Usled nedostatka istraživanja, čiji bi rezultati potvrdili da kompostirani feces pasa može bezbedno da se koristi sa zdravstvenog i ekološkog aspekta u poljoprivrednoj proizvodnji zahteva brojna i dalekosežna istraživanja. Ipak, postoji mogućnost njegove primene u procesu melioracije zemljišta degradiranog delatnostima čoveka. Druga mogućnost je sakupljanje psećeg fecesa lopaticama ili birazgradivim kesicama i kompostiranje za kućnu upotrebu, odnosno za nejestive biljke, kakva je praksa u Australiji (Bryson i sar., 2024a; Bryson i sar., 2024b).

UTICAJ NA DIVLJE ŽIVOTINJE – BIODIVERZITET

Psi kao najpopularniji ljubimci čoveka mogu da naruše kvalitet životne sredine na nekoliko načina. Prvi je, svakako, uticaj na biodiverzitet. Psi koji se kreću bez nadzora vlasnika ili podivljali psi i psi litalice ugrožavaju divlje vrste kroz predatorstvo, hibridizaciju, konkurenciju za resurse i prenošenjem patogena (Nayeri i sar., 2022). Oni direktno ubijaju i uznemiravaju više vrsta divljih životinja i ptica, posebno obalnih ptica, ali i samo njihovo prisustvo, čak i kada su na povodcu, može uznemiriti ptice i sisare, uzrokujući da napuste područja gde se psi šetaju. Štaviše, tragovi mirisa i urin i feces koje ostavljaju psi mogu prolongirati ovaj efekat čak i kada psi nisu prisutni. Feces i urin mogu preneti zoonoze na divlje životinje i, kada se akumuliraju, mogu kontaminirati vodne tokove i uticati na rast biljaka. Psi u vlasništvu koji ulaze u otvorene vode doprinose njihovom toksičnom zagađenju i to ispiranjem primenjenih hemijskih sredstava protiv ektoparazita. Konačno, sam broj pasa doprinosi globalnim emisijama ugljenika (otisak ugljenika) i zagađenju zemljišta i voda putem fecesa, proizvodnje hrane

za pse i prateće opreme – kese za sakupljanje fecesa, ambalaža za hranu, igračke, povodci, posude za hranu i vodu, prostirke za odmor pasa i dr. (Bateman i Gilson, 2025). Do 86% fipronila, insekticida protiv buva i krpelja, koji se primenjuju topikalno (*spot-on*) na psima, ispira se kada se pas opere ili uđe u vodu i toksičan je za vodene beskičmenjake u niskim koncentracijama (Teerlink i sar., 2017).

Topikalna sredstva protiv ektoparazita, buva i krpelja, koja sadrže fipronil, imidakloprid i permetrin mogu trajati nekoliko nedelja. Kada se psi četkaju u prirodi, vlasnici obično bacaju dlaku u blizini mesta četkanja pasa. Ovu bačenu dlaku koriste ptice za izgradnju gnezda, a ona može ostvariti svoj toksični potencijal. Najnovije istraživanje, koje su sprovedi Tassin de Montaigu i sar. (2025) pokazalo je da gnezda plavih senica (*Cyanistes caeruleus*) i velikih senica (*Parus major*), koja su sadržala veći broj vrsta ili veću koncentraciju insekticida su imala veću verovatnoću da imaju mrtvo potomstvo ili neizlegla jaja.

Čak i kada psi fizički nisu prisutni u nekom području, oni i dalje mogu imati negativan uticaj na divlje životinje. Psi ostavljaju mirisne i druge tragove, kojima obeležavaju teritoriju i efikasno ukazuju na prisustvo predatora (miris perianalnih žlezda, urin, feces) kako to tumače divlje životinje, koje izbegavaju područja obeležena psećim tragovima ili se na njima kraće zadržavaju, odnosno manje su aktivne (Lenth i sar., 2008).

UTICAJ NA DOMAĆE ŽIVOTINJE

U mnogim društvima su registrovani napadi pasa na domaće životinje (Gonzaga i sar., 2024; Sarenbo i Doane, 2025), ali se uglavnom pripisuju vukovima ili drugim divljim predatorima. Mada su napadi pasa dokumentovani u celoj Evropi (Lino i sar., 2023), tačne procene nisu dostupne jer nijedna država nema centralizovanu bazu podataka o ovim događajima. Psi mogu delovati solitarno ili u grupama, ali se ponašaju drugačije od divljih predatora. Oni trče uz bok plena i grizu mnogo puta gde god mogu, butine, noge, leđa, vrat, obično nisko, dok su divlji predatori znatno veštiji i uzrokuju manje ujeda na određenim mestima napada, koji se nalaze obično više na telu nego ujedi pasa (Jennens, 2002). Rane od ujeda mogu izgledati manje na površini, ali mogu izazvati značajna unutrašnja oštećenja i infekcije u osnovnim tkivima koje nisu odmah vidljive. Kao rezultat toga, povrede od ugriza skoro uvek zahtevaju hitan tretman antibioticima ili, u nekim slučajevima, eutanaziju kako bi se osigurala dobrobit životinje. Psi domaće životinje napadaju najčešće u leto i jesen, a najčešće žrtve su ovce, živina i konji. Ovce napadaju na pašnjacima, živinu u živinarnicima, a konje čak dok se kreću u zaprezi (Sarenbo i Doane, 2025).

ZAKLJUČAK

Na osnovu sveobuhvatne analize literature i kvantifikovanih podataka o ekološkom otisku, može se zaključiti da populacija pasa u savremenom društvu više ne predstavlja samo izolovanu grupu ljubimaca čoveka, već značajan ekološki

entitet sa merljivim uticajem na globalne klimatske promene i lokalne ekosisteme. Transformacija psa iz radne životinje u „surogat člana porodice“ dovela je do neodrživih obrazaca potrošnje, gde dijetarni otisak, zasnovan na sirovinama visokog kvaliteta i prekomernom hranjenju, postaje jedan od ključnih faktora poljoprivrednog zagađenja. Pokazatelji zagađenja životne sredine („ekološki otisak šape“) po jedinki tokom životnog ciklusa, jasno ukazuju na to da vlasništvo nad psima nosi direktnu odgovornost za emisiju gasova staklene bašte i zagađenje zemljišta i slatkih voda. Posebnu zabrinutost izaziva toksikološki pritisak na biodiverzitet, gde hemijska sredstva za zaštitu od ektoparazita prodiru duboko u lanac ishrane divljih vrsta, ugrožavajući njihovu reprodukciju i opstanak. Rešavanje ovog problema zahteva hitnu promenu obrazaca u ponašanju prema psima kao ljubimcima i to ne samo vlasnika već čitavog lanca učesnika u obezbeđenju njihove dobrobiti. U tom pravcu, neophodno je optimizovati ishranu uvođenjem alternativnih proteina i smanjenjem nepotrebnog gubitka resursa kroz prekomerno hranjenje; unaprediti menadžment otpada kroz inovativne metode poput kompostiranja fecesa, čime se organski otpad transformiše u resurs cirkularne ekonomije, a edukacija vlasnika mora postati integralni deo veterinarske prakse, kako bi se svest o „ekološkom otisku šape“ integrisala u koncept odgovornog vlasništva. Neprocenjiva je uloga prodavaca i u radnjama za kućne ljubimce, koji bi mogli da usmeravaju vlasnike kao „ekološki podobnijim“ proizvodima za pse kao što je od neprocenjive važnosti i uloga vlasnika ovih prodavnica kroz nabavku ekoloških proizvoda za pse. Samo kroz ovakav multidisciplinarni pristup, koji povezuje dobrobit životinja sa ekološkom održivošću, moguće je osigurati zajednički život ljudi i pasa, posebno u urbanim sredinama, bez dugoročnog narušavanja planetarnog zdravlja.

Zahvalnica

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

LITERATURA

1. Alexander, P., Berri, A., Moran, D., Reay, D., & Rounsevell, M. D. A. (2020). The global environmental paw print of pet food. *Global Environmental Change*, 65, Article 102153. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2020.102153>
2. Barina-Silvestri, M., Díaz-Videla, M., & Delgado-Rodríguez, R. (2024). Pet parenting: A systematic review of its characteristics and effects on companion dogs. *Journal of Veterinary Behavior*, 72, 33–45. <https://doi.org/10.1016/j.jveb.2024.03.004>
3. Bateman, P. W., & Gilson, L. N. (2025). Bad dog? The environmental effects of owned dogs. *Pacific Conservation Biology*, 31, Article PC24071. <https://doi.org/10.1071/PC24071>
4. Bryson, E., Anastasi, A., Bricknell, L., & Kift, R. (2024a). What do Australians do with their dog poo? A survey of dog-owning household practices and attitudes. *Australasian Journal of Environmental Management*, 31(2), 238–259. <https://doi.org/10.1080/14486563.2024.2336974>
5. Bryson, E., Anastasi, A., Bricknell, L., & Kift, R. (2024b). Household dog fecal composting: Current issues and future directions. *Integrated Environmental Assessment and Management*. Advance online publication. <https://doi.org/10.1002/ieam.4970>

6. Carrillo-Huerta, Y. D., Gutiérrez-Chávez, A. J., Pérez-Zavala, M. L., Casados-Vázquez, L. E., & Barboza-Corona, J. E. (2025). Alternative proteins: An innovative approach to dog food production. *Frontiers in Animal Science*, 6, Article 1701677. <https://doi.org/10.3389/fanim.2025.1701677>
7. Christian, H., Bauman, A., Epping, J. N., Levine, G. N., McCormack, G., Rhodes, R. E., Richards, E., Rock, M., & Westgarth, C. (2016). Encouraging Dog Walking for Health Promotion and Disease Prevention. *American journal of lifestyle medicine*, 12(3), 233–243. <https://doi.org/10.1177/1559827616643686>
8. Cowan, N., Brownlie, W., Tomlinson, S., Carnell, E., Drewer, J., Dragosits, U., & Spears, B. M. (2024). A global assessment of nitrogen and phosphorus generated in the waste streams of domesticated cats and dogs. *Sustainable Environment*, 10(1), Article 2415181. <https://doi.org/10.1080/27658511.2024.2415181>
9. Dye, H. (2025). Exploring Associations Between Empathy, Anthropomorphizing, and Psychological Distress in Dog Parents. *Pets*, 2(3), 31. <https://doi.org/10.3390/pets2030031>
10. Global Animal Health Association. (2022). Global trends in the pet population. *HealthforAnimals*. <https://healthforanimals.org/reports/pet-care-report/global-trends-in-the-pet-population/>
11. Gonzaga, M. D. C., Borges, J. R. J., Alves, T. S., de Sousa, D. E. R., de Castro, M. B., & Câmara, A. C. L. (2024). Domestic dog attacks on livestock referred to a Veterinary Teaching Hospital. *Frontiers in veterinary science*, 11, 1342258. <https://doi.org/10.3389/fvets.2024.1342258>
12. Jennens, G. (2002). Domestic dog attacks on sheep in the urban fringe areas of Perth, Western Australia. Murdoch: Division of veterinary and biomedical sciences. Murdoch University.
13. Kasielke, T., & Buch, C. (2011). Urbane Böden im Ruhrgebiet. *Online-Veröffentlichungen des Bochumer Botanischen Vereins*, 3, 85–96. https://www.botanik-bochum.de/publ/OVB-BV3_7_Kasielke_Buch_UrbaneBoedenRuhrgebiet.pdf
14. Klinmalai, P., Kamonpatana, P., Thongpech, A., Sodsai, J., Promhuad, K., Srisa, A., Laorenza, Y., Kovitvadh, A., Areerat, S., Seubsai, A., Sablani, S. S., & Harnkarnsujarit, N. (2025). Comprehensive Review of Alternative Proteins in Pet Food: Research Publications, Patents, and Product Trends in Plant, Aquatic, Insect, and Cell-Based Sources. *Foods (Basel, Switzerland)*, 14(15), 2640. <https://doi.org/10.3390/foods14152640>
15. Krawczyk, A., Nowakowicz-Dębek, B., Chmielowiec-Korzeniowska, A., & Bis-Wencel, H. (2025). Environmental Pawprint of Dogs as a Contributor to Climate Change. *Animals : an open access journal from MDPI*, 15(21), 3152. <https://doi.org/10.3390/ani15213152>
16. Lenth, B. E., Knight, R. L., & Brennan, M. E. (2008). The effects of dogs on wildlife communities. *Natural Areas Journal*, 28(3), 218–227. [https://doi.org/10.3375/0885-8608\(2008\)28\[218:TEDOWC\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.3375/0885-8608(2008)28[218:TEDOWC]2.0.CO;2)
17. Lino, S., Rossa, M., Fernandes, J. M., Barros, T., Lino, A., Hipólito, D., & et al. (2023). Dog in sheep's clothing: Livestock depredation by free-ranging dogs may pose new challenges to wolf conservation. *European Journal of Wildlife Research*, 69(6), Article 107. <https://doi.org/10.1007/s10344-023-01740-9>
18. Martens, P., Su, B., & Deblomme, S. (2019). The ecological paw print of companion dogs and cats. *BioScience*, 69(6), 467–474. <https://doi.org/10.1093/biosci/biz044>
19. McDowall, S., Hazel, S. J., Cobb, M., & Hamilton-Bruce, A. (2023). Understanding the Role of Therapy Dogs in Human Health Promotion. *International journal of environmental research and public health*, 20(10), 5801. <https://doi.org/10.3390/ijerph20105801>
20. Nayeri, D., Mohammadi, A., Qashqaei, A. T., Vanak, A. T., & Gompper, M. E. (2022). Free-ranging dogs as a potential threat to Iranian mammals. *Oryx*, 56(3), 383–389. <https://doi.org/10.1017/S0030605321000090>
21. Nicholles, B., & Knight, A. (2025). The environmental sustainability of meat-based versus vegan pet food. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 9, Article 1569372. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2025.1569372>

22. Okin, G. S. (2017). Environmental impacts of food consumption by dogs and cats. *PLOS ONE*, 12(8), Article e0181301. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0181301>
23. Sarenbo, S., & Doane, M. (2025). Dog attacks on livestock: Insights from Swedish news articles and experiences of farmers and inspectors. *Frontiers in Veterinary Science*, 12, Article 1629966. <https://doi.org/10.3389/fvets.2025.1629966>
24. Tassin de Montaigu, C. T., Glauser, G., Guinchard, S., & Goulson, D. (2025). High prevalence of veterinary drugs in bird's nests. *Science of the Total Environment*, 964, Article 178439. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.178439>
25. Teerlink, J., Hernandez, J., & Budd, R. (2017). Fipronil washoff to municipal wastewater from dogs treated with spot-on products. *Science of the Total Environment*, 599-600, 960-966. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.04.219>
26. Van Prooijen, A. M., Smeets, A. E. M. J., Yang, K. X., & Hoppezak, P. (2024). Consumer considerations of carbon paw prints in evaluations of dog food products. *Society & Animals*. Advance online publication. <https://doi.org/10.1163/15685306-bja10168>
27. Wuthisuthimethavee, S., Prempramote, J., Boonhoh, W., Promwee, A., Hayakijkosol, O., & Wongtawan, T. (2024). Do not throw pet faeces away: Composted manures obtained from dog and cat faeces contain high nutrients and effectively cultivate plants. *Recycling*, 9(6), Article 123. <https://doi.org/10.3390/recycling9060123>
28. Yavor, K. M., Lehmann, A., & Finkbeiner, M. (2020). Environmental impacts of a pet dog: An LCA case study. *Sustainability*, 12(8), Article 3394. <https://doi.org/10.3390/su12083394>

Pregledni rad DOI: 10.5937/DDD26216N

DIGITALNI SISTEMI ZA KONTROLU BIOSIGURNOSTI I DOBROBITI FARMSKIH ŽIVOTINJA

DIGITAL SYSTEMS FOR BIOSECURITY AND WELFARE CONTROL OF FARM ANIMALS

**Katarina Nenadović^{1*}, Marijana Vučinić¹, Milutin Đorđević¹,
Vladimir Drašković¹, Radislava Teodorović¹, Radovan Marčetić¹,
Darja Fjodorov¹, Dejan Bugarski²**

Kratak sadržaj

Porast svetske populacije do 2050. godine nameće potrebu za značajnim povećanjem proizvodnje hrane, pri čemu stočarski sektor ima ključnu ulogu u obezbeđivanju održive i bezbedne proizvodnje namirnica životinjskog porekla. Savremeni razvoj digitalnih tehnologija, uključujući automatizaciju, precizno stočarstvo (PLF), Internet stvari (IoT) i analizu velikih podataka, omogućava unapređenje produktivnosti, zdravlja i dobrobiti životinja, kao i efikasnije upravljanje resursima. Ove tehnologije doprinose smanjenju troškova rada, optimizaciji proizvodnih procesa i smanjenju negativnog uticaja na životnu sredinu. Integracija naprednih sistema u stočarstvu predstavlja osnovu razvoja „pametne poljoprivrede“, koja omogućava održivu, efikasnu i transparentnu proizvodnju hrane u skladu sa globalnim izazovima.

Ključne reči: biosigurnost, digitalni sistemi, dobrobit životinja, farmske životinje

Abstract

The increase in the world's population until 2050 imposes the need for a significant increase in food production, with the livestock sector playing a key role in ensuring sustainable and safe production of food of animal origin. Contemporary developments in digital technologies, including automation, precision livestock farming (PLF), the Internet of Things (IoT) and big data analytics, enable im-

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

² Dr Dejan Bugarski, Naučni institut za veterinarstvo „Novi Sad“, 21000 Novi Sad, R. Srbija

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

proved productivity, animal health and welfare, as well as more efficient resource management. These technologies contribute to reducing labor costs, optimizing production processes and reducing the negative impact on the environment. The integration of advanced systems in animal husbandry is the basis of the development of "smart agriculture", which enables sustainable, efficient and transparent food production in accordance with global challenges.

Key words: biosecurity, digital systems, animal welfare, farm animals

UVOD

Do 2050. godine svetska populacija će dostići oko 9,8 milijardi ljudi (UNDE-SA, 2017), a proizvodnja hrane moraće da se poveća za približno 70% kako bi se zadovoljile rastuće potrebe za hranom. Stočarski sektor imaće važnu ulogu u zadovoljavanju sve veće globalne potrošnje hrane životinjskog porekla kroz održivu proizvodnju koja promoviše bezbednost hrane, smanjenje siromaštva, unapređenje javnog zdravlja i sigurnost snabdevanja hranom (Tedeschi i sar., 2015). Kako bi se odgovorilo na izazove koje donosi rast svetske populacije i ostvarili Ciljevi održivog razvoja Ujedinjenih nacija, tehnološki napredak i inovacije moraće da imaju ključnu ulogu u transformaciji sektora hrane i poljoprivrede.

Digitalizacija u poljoprivredi i stočarstvu poslednjih godina ima sve značajniju ulogu u unapređenju proizvodnje, zdravlja životinja i sigurnosti hrane. Kako se veličina stada i jata povećava, a metode proizvodnje postaju sve intenzivnije i specijalizovanije, tehnologije automatizovane identifikacije, hranjenja, čišćenja i klanja značajno su se razvile. One omogućavaju poljoprivrednoj industriji da zadrži ili čak poveća profitabilnost lanca proizvodnje hrane. Od automatskih sistema za mužu, koji su uobičajeni na mlečnim farmama u zemljama sa višim prihodima, do automatizovanih sistema za omamljivanje u vodenim kupatilima i sečenje vrata u klanicama živine, automatizacija – koju možemo definisati kao proces koji se odvija brzo i ponavljajuće uz minimalnu direktnu ljudsku intervenciju – predstavlja istovremeno i posledicu i pokretačku snagu savremenog stočarstva (Buller i sar., 2020). Po definiciji, automatizacija predstavlja smanjenje direktne intervencije ljudi (farmera) u svakodnevnom životu životinja na farmi. Za mnoge autore i stručnjake, automatizacija je široko prihvaćena kao način da se farmeri oslobode barem dela ponavljajućeg i često fizički zahtevnog rada u stočarstvu (Lunner-Kolstrup i sar., 2018), čime se doprinosi poboljšanju njihove dobrobiti i smanjenju troškova rada.

Napredna stočarska tehnologija obuhvata širok spektar inovacija, uključujući preciznu poljoprivredu, analizu podataka, genetski inženjering i inteligentne sisteme upravljanja (Subach i Shmeleva, 2022). Ova dostignuća imaju za cilj rešavanje izazova sa kojima se suočava stočarska industrija, kao što su ishrana rastuće globalne populacije, smanjenje uticaja na životnu sredinu i obezbeđivanje dobrobiti životinja. Precizna poljoprivreda u oblasti stočarstva podrazumeva

stratešku primenu informacionih tehnologija, podataka o satelitskom pozicioniranju i senzorskih tehnologija (Confessore i sar., 2022). Ovi alati pomažu poljoprivrednicima da optimizuju upravljanje svojim resursima, od distribucije hrane do praćenja zdravlja životinja, sa ciljem maksimiziranja produktivnosti uz minimiziranje otpada i negativnog uticaja na životnu sredinu. Pojava analitike velikih podataka uvela je novu eru u stočarstvu. Alati za analizu podataka omogućavaju obradu velikih količina informacija prikupljenih iz različitih izvora, kao što su nosivi uređaji za praćenje životinja, senzori za praćenje uslova životne sredine i drugi digitalni sistemi za upravljanje farmama. Automatizovani roboti za mužu u štalama za mlečne krave kontinuirano prikupljaju pokazatelje zdravstvenog stanja krava, dok precizni sistemi za hranjenje u živinarskim objektima pažljivo prilagođavaju obroke hrane na osnovu detaljnih podataka o rastu jata i zdravstvenim parametrima. Ove tehnologije dodatno podržavaju IoT (Internet stvari) senzori (Neethirajan, 2023), uređaji za daljinsko praćenje zdravlja, sistemi za kontrolu mikroklimе i veterinarske intervencije vođene veštačkom inteligencijom, što zajedno pokreće novu eru poznatu kao „pametna poljoprivreda” ili „Poljoprivreda 4.0”. Ovaj integrisani pristup povećava efikasnost proizvodnje, unapređuje dobrobit životinja, smanjuje negativan uticaj na životnu sredinu i podstiče razvoj transparentnih lanaca snabdevanja „od farme do trpeze”.

Digitalni uređaji i sistemi za obezbeđenje biosigurnosti i dobrobiti životinja

Stočarski sektor se suočava sa brojnim izazovima, među kojima zarazne bolesti predstavljaju jedno od ključnih ograničenja zbog svog uticaja na morbiditet i mortalitet životinja, gubitke u proizvodnji i povećane troškove povezane sa upravljanjem bolestima (Brown i sar., 2021). Ova ograničenja su često povezana sa neadekvatnim upravljanjem stočarskom proizvodnjom, intenzivnim interakcijama između ljudi, životinja i životne sredine, kao i sa sve većom intenzifikacijom proizvodnje na malim stočarskim farmama. Zbog toga se na farmama u današnje vreme koriste različiti digitalni uređaji i sistemi za biosigurnost, koji pomažu u sprečavanju širenja bolesti, kontroli higijenskih uslova i praćenju zdravlja i dobrobiti životinja.

Intenzivno upravljanje farmskih životinja važno je za zadovoljavanje rastuće potražnje za animalnim proizvodima. Međutim, kompaktni i prenaseljeni uslovi u stočarskim objektima stvaraju izazove za poljoprivrednike u praćenju zdravlja i dobrobiti životinja. Rastući uticaji klimatskih promena dodatno će povećati prijemчивost životinja na bolesti, toplotni stres i druge zdravstvene rizike (Ndue i Pál, 2022). Shodno tome, biće sve veća potreba za brzim identifikovanjem zdravstvenih problema i epidemija bolesti, razumevanjem načina njihovog širenja i sprovođenjem preventivnih mera radi ublažavanja značajne ekonomske štete. Pored toga, rastuća zabrinutost za dobrobit životinja, transparentnost i ekološku održivost zajedno sa navedenim izazovima, dovela je do povećanog interesovanja za digitalizaciju stočarstva primenom PLF tehnologija (digitalne

tehnologije preciznog gajenja domaćih životinja) (Klerkx i sar., 2019). PLF tehnologije primenjuju tehnike procesnog inženjerstva za automatizaciju stočarstva. Ovo omogućava poljoprivrednicima da efikasno prate dobrobit i zdravlje velikih populacija životinja, brzo identifikuju probleme kod pojedinačnih jedinki, pa čak i da predvide moguće probleme analizom prethodnih podataka (Benjamin i Yik, 2019).

Nedavni razvoji PLF tehnologija obuhvataju različite primene, kao što su praćenje ponašanja krava, detekcija vokalizacija (npr. vriskova kod svinja), praćenje kašlja kod različitih životinja radi identifikacije respiratornih bolesti, kao i otkrivanje graviditeta kod goveda na osnovu promena telesne temperature. PLF tehnologije mogu pomoći poljoprivrednicima u praćenju zaraznih bolesti u stočarstvu, čime se povećavaju bezbednost i dostupnost hrane. Njihova primena može doprineti poboljšanju dobrobiti životinja, smanjenju problema u vezi sa bezbednošću hrane i efikasnijem korišćenju resursa (Norton i sar., 2019).

Pametni poljoprivredni sistemi predstavljaju koncept koji kombinuje različite tehnologije u cilju unapređenja i prevazilaženja izazova u stočarskoj proizvodnji. Ovi sistemi obuhvataju primenu senzora, komunikacionih i nadzornih sistema, robotike i veštačke inteligencije (Kopler i sar., 2023).

Pametni poljoprivredni sistemi i PLF predstavljaju dva međusobno povezana koncepta koji koriste napredne tehnologije za optimizaciju upravljanja proizvodnjom svinja, kao i za unapređenje njihove dobrobiti i zdravlja. Ovi koncepti zasnivaju se na primeni tehnologija kao što su Internet stvari, veštačka inteligencija i napredna analiza podataka u realnom vremenu. Iako imaju slične ciljeve, PLF i pametni poljoprivredni sistemi imaju različite oblasti primene. PLF, na primer, koristi širok spektar tehnologija (Schillings i sar., 2021; Schillings i sar., 2023), dok se pametni sistemi najčešće fokusiraju na određene segmente proizvodnje i uglavnom primenjuju sisteme za praćenje zasnovane na veštačkoj inteligenciji (Hasan i sar., 2024).

Glavne prepreke u efikasnom praćenju dobrobiti životinja su tri osnovna elementa: troškovi, pouzdanost i vreme posmatranja. Većina postojećih strategija je definisana kao dugotrajna, zahteva značajnu količinu rada i stoga je skupa (Jorquera-Chavez i sar., 2019). Farmeri često zavise od zapažanja kako bi identifikovali probleme sa zdravljem i dobrobiti životinja. Međutim, brojni komercijalni objekti imaju značajan disbalans između broja farmera i broja životinja. Na primer, na komercijalnoj farmi svinja, odnos farmera i svinja je često 1:300 (Benjamin i Yik, 2019). Čak i najpažljiviji i najveštiji farmer mogu propustiti da primete životinje u kritičnom stanju. Programi revizije treće strane pružaju detaljne procene nege životinja, ali su često skupi i dugotrajni.

Implementacija PLF tehnologija, naime biometrijskih senzora, omogućila bi farmerima da prate dobrobit životinja u realnom vremenu sa tačnošću, objektivnošću i regularnošću. Ovo bi olakšalo rano otkrivanje problema i blagovremenu primenu preventivnih mera kako bi se izbegli ozbiljni problemi. PLF tehnologije pružaju neinvazivno uzorkovanje, omogućavajući poljoprivrednicima i

istraživačima da prikupe tačna merenja koja se mogu koristiti za rešavanje problema dobrobiti životinja (Jorquera-Chavez i sar., 2019). PLF tehnologije imaju potencijal da smanje upotrebu resursa, posebno antibiotika.

IMPLEMENTACIJA TEHNOLOGIJE

1. Identifikacija životinja – RFID i elektronske identifikacione oznake

Uređaj za radiofrekventni identifikator (RFID) jedan je od najčešće korišćenih uređaja za individualnu identifikaciju životinja. Koristi radio talase za prenos podataka između uređaja i oznake, omogućavajući brzu i tačnu identifikaciju svake pojedinačne životinje (Thölke i Wolf, 2022). RFID transponderi mogu biti skriveni u ušnim oznakama, ogrlicama, ubrizgani u vrat ili oralno primenjeni bolusi. Međutim, primena RFID oznaka povezana je sa značajnim nedostacima. Jedan od njih je bol i stres koji mogu nastati prilikom pričvršćivanja oznaka na svinje. Pored toga, RFID oznake se mogu oštetiti ili izgubiti tokom vremena, što ih čini beskorisnim za predviđene svrhe praćenja (Gómez i sar., 2021). Takođe, jedan od glavnih nedostataka RFID tehnologije je njen ograničeni operativni dolet do 100m (Curran i Norrby, 2009).

Sa druge strane, kada je reč o biosigurnosti, RFID omogućava preciznu i pouzdanu identifikaciju svake jedinke. Svaka životinja dobija jedinstveni elektronski identifikator, čime se smanjuje mogućnost grešaka u evidenciji (Marić i sar., 2025). Ova tehnologija takođe omogućava praćenje kretanja životinja i njihovih međusobnih kontakata, što je od ključnog značaja u slučaju pojave zaraznih bolesti. U situacijama epidemije, RFID sistemi omogućavaju brzu identifikaciju zaraženih i rizičnih životinja, kao i efikasno sprovođenje mera poput izolacije i karantina. Pored toga, obezbeđuje se potpuna sledljivost proizvoda „od farme do trpeze”, što povećava bezbednost hrane i poverenje potrošača.

Sa aspekta dobrobiti životinja, RFID tehnologija smanjuje potrebu za fizičkim rukovanjem životinjama, čime se smanjuje stres i rizik od povreda. Integracijom sa savremenim sistemima za nadzor, omogućeno je kontinuirano praćenje zdravstvenog stanja, uključujući parametre kao što su aktivnost, unos hrane i telesna temperatura. Ovo omogućava rano otkrivanje bolesti i pravovremenu reakciju (Herlin i sar., 2021). Takođe, RFID omogućava individualizovan pristup ishrani i nezi, jer automatizovani sistemi mogu prepoznati svaku životinju i prilagoditi tretman njenim potrebama. Praćenje reproduktivnog ciklusa dodatno doprinosi boljem upravljanju stadom i unapređenju ukupnog zdravlja životinja.

2. Globalni navigacioni satelitski sistemi (GNSS) i globalni sistem za pozicioniranje (GPS)

Globalni navigacioni satelitski sistemi (GNSS) oslanjaju se na radio signale sa specijalizovanih satelita dostupnih u datom trenutku pozicioniranja. GNSS, kao što je globalni sistem za pozicioniranje (GPS), koristi se više od 30 godina

za praćenje domaćih životinja. Ekolozi su ih koristili za praćenje i nadgledanje bihejvioralne ekologije životinja koje se slobodno kreću, ali i za praćenje kretanja krava na pašnjacima (Liao, i sar., 2018). GNSS sistemi najbolje funkcionišu na otvorenom prostoru, gde postoji neometana linija vidljivosti prema satelitima. Međutim, slabljenje radio-signala usled prepreka, kao što su zidovi i objekti, dovodi do slabijih performansi standardnih GNSS prijemnika u zatvorenim prostorima. Ipak, razvoj novih tehnologija koje pojačavaju GNSS signal u zatvorenom prostoru ukazuje na potencijal za unapređenje njegove primene i u takvim uslovima. Jedan od izazova u primeni GNSS tehnologije jeste smanjena tačnost usled slabog signala, kao i pojava grešaka u određivanju položaja, naročito kada su životinje neaktivne, poput krava tokom odmora (Hofstra i sar., 2022).

Sa aspekta biosigurnosti, GPS sistemi omogućavaju precizno praćenje lokacije svake životinje. Na taj način farmeri mogu brzo uočiti neuobičajena kretanja, kao što su bekstvo iz ograđenog prostora ili kontakt sa drugim stadima, što može predstavljati rizik za širenje zaraznih bolesti (McIntosh i sar., 2022). U slučaju pojave bolesti, podaci o kretanju omogućavaju identifikaciju potencijalno zaraženih jedinki i područja koja su bila u kontaktu, što olakšava sprovođenje mera kontrole i sprečavanje daljeg širenja infekcije. Takođe, GPS sistemi doprinose zaštiti od krađe i gubitka životinja, što je posebno značajno u ekstenzivnom uzgoju.

Kada je reč o dobrobiti životinja, GPS ogrlice omogućavaju praćenje njihovog ponašanja i aktivnosti, kao što su kretanje, odmor i ispaša (De Weerd i sar., 2015; McIntosh i sar., 2022). Promene u obrascima ponašanja mogu ukazivati na zdravstvene probleme, stres ili povrede, što omogućava pravovremenu reakciju i intervenciju. Ovi sistemi takođe pomažu u optimizaciji uslova držanja, jer farmeri mogu analizirati kako životinje koriste prostor i resurse, poput pašnjaka i vode. Na osnovu tih podataka moguće je unaprediti organizaciju ispaše i smanjiti pritisak na određene delove zemljišta, čime se poboljšava i životna sredina i kvalitet života životinja.

3. Senzori kvaliteta životne sredine (IoT senzori)

Odgovarajući uslovi životne sredine u smeštaju za stoku su neophodni za obezbeđivanje dobrobiti i produktivnosti životinja (Qi i sar., 2023). Trenutno se pažnja posvećuje faktorima životne sredine, posebno u vezi sa klimatskim promenama, jer povećana temperatura, koncentracije čestica i amonijaka (NH_3) mogu negativno uticati na životinje (Ma i sar., 2023). Glavni faktori koji se razmatraju su temperatura, vlažnost i u nekim slučajevima, brzina vazduha, ali uslovi životne sredine u smeštaju za stoku treba da uključuju i faktore kao što su intenzitet svetlosti, koncentracije gasova i nivoi buke (Provolo i sar., 2025).

Senzori za životnu sredinu na farmama stoke igraju ključnu ulogu u praćenju klimatskih i ekoloških uslova, uključujući temperaturu, vlažnost i kvalitet vazduha. Podaci dobijeni sa ovih senzora olakšavaju održavanje optimalne mikroklimе za dobrobit i zdravlje stoke, smanjujući rizik od toplotnog stresa i drugih problema povezanih sa klimom.

Parametri poput koncentracije štetnih gasova (amonijak, ugljen-dioksid), temperature i vlažnosti vazduha direktno utiču na zdravlje životinja i mogu doprineti razvoju respiratornih i drugih bolesti. Pravovremeno detektovanje odstupanja od optimalnih vrednosti omogućava brzu reakciju, poput ventilacije prostora ili prilagođavanja grejanja i hlađenja, čime se smanjuje rizik od širenja bolesti. Na taj način, IoT sistemi doprinose održavanju stabilnog i bezbednog okruženja u objektima.

Kada je reč o dobrobiti životinja, optimalni mikroklimatski uslovi su od ključnog značaja za njihov rast, produktivnost i opšte zdravstveno stanje. IoT senzori omogućavaju automatsko upravljanje uslovima u objektu, čime se obezbeđuje konstantna temperatura i kvalitet vazduha prilagođen potrebama životinja. Na primer, sprečavanje pregrevanja direktno smanjuje stres kod životinja, dok adekvatna ventilacija smanjuje prisustvo štetnih gasova i poboljšava kvalitet disanja. Toplotni stres remeti homeostazu životinja zbog prekomerne temperature, što rezultira višom telesnom temperaturom od normalne i povećanim respiratornim i srčanim ritmom (Yan i sar., 2021). Ovo stanje utiče na različite fiziološke funkcije, uključujući metabolizam, endokrini sistem, imuni sistem i reprodukciju. Na osnovu istraživanja mnogih autora toplotni stres značajno utiče na metabolizam i imunološku funkciju životinja, što dovodi do pada opšteg zdravlja i produktivnosti (Das i sar., 2016; Yan i sar., 2021). Kontinuirano prikupljanje podataka takođe omogućava analizu i optimizaciju uslova držanja, što dugoročno doprinosi poboljšanju dobrobiti i profitabilnosti farme.

4. Nosivi biosenzori

Nosivi biosenzori predstavljaju naprednu tehnologiju koja omogućava kontinuirano praćenje bihevioralnih parametara životinja u realnom vremenu. Ovi uređaji koji se najčešće postavljaju kao ogrlice, narukvice ili implantati, koriste najsavremenije senzore, uključujući akcelerometre, RFID oznake, GPS prijemnike, mikrofone, žiroskope i magnetometre, kako bi obezbedili neinvazivan uvid u realnom vremenu (Lamanna i sar., 2025). Na taj način doprinose unapređenju dobrobiti životinja, optimizaciji korišćenja resursa i podršci donošenju odluka u upravljanju stočarskom proizvodnjom. Akcelerometri postavljeni na ogrlicama oko vrata široko se koriste za detekciju aktivnosti krava, položaja tela i pokreta glave (Shen i sar., 2021). Senzori za lokalizaciju (zasnovani, na primer, na GPS tehnologiji) često se kombinuju sa akcelerometrima radi praćenja položaja životinja i nadzora prostornog kretanja stada (Cabezas i sar., 2022). Žiroskopi i magnetometri, takođe postavljeni u predelu vrata, pružaju dodatne informacije o ugaonim kretanjima i orijentaciji glave (Li i sar., 2022). Pored toga, vokalizacija životinja može se pratiti pomoću mikrofona pričvršćenih za ogrlicu. Identifikacija krava može se efikasno obaviti upotrebom RFID oznaka integrisanih u ogrlicu (Lamanna i sar., 2025).

Sa aspekta biosigurnosti, nosivi biosenzori omogućavaju rano otkrivanje zdravstvenih problema i potencijalnih zaraznih bolesti. Praćenjem parametara

kao što su telesna temperatura, srčana frekvencija, nivo aktivnosti i unos hrane, moguće je uočiti odstupanja od normalnog stanja još u ranim fazama bolesti (Benaissa i sar., 2023). To omogućava brzu intervenciju, izolaciju obolelih jedinki i sprečavanje širenja infekcija unutar stada. Kontinuirani nadzor smanjuje potrebu za čestim fizičkim pregledima, čime se dodatno smanjuje rizik od prenosa patogena.

U pogledu dobrobiti životinja, biosenzori doprinose boljem razumevanju njihovog ponašanja i potreba. Analiza podataka o kretanju, odmoru i ishrani omogućava pravovremeno prepoznavanje stresa, bola ili nelagodnosti. Hromost kod krava može se detektovati i pomoću podloga sa senzorima pritiska, koje su sposobne da uoče promene u koraku i raspodeli telesne težine, što predstavlja ključne indikatore potencijalnih problema sa papcima (Van Nuffel i sar., 2016). Senzori omogućavaju prenos podataka u realnom vremenu, što farmerima omogućava blagovremenu reakciju i intervenciju kada je to potrebno. Ovakav pristup praćenju ponašanja doprinosi poboljšanju produktivnosti i dobrobiti životinja, kao i efikasnijem donošenju odluka (Liu i sar., 2023). Za ovu svrhu postoji više vrsta senzora, koji su najčešće integrisani u ogrlice, trake za noge ili ušne marke. Pedometri su elektronski uređaji koji se pričvršćuju za nogu krave i beleže njeno kretanje. Sa svakim korakom koji životinja napravi, uređaj povećava brojčani u internom memoriji. Ukupni dnevni broj koraka, zajedno sa identifikacionim kodom krave, prenosi se na prijemnik nakon što se životinja identifikuje putem antene u štali. Takođe, ovi sistemi omogućavaju individualizovan pristup nezi i ishrani, jer se svaka životinja prati zasebno. Time se obezbeđuje optimalan nivo brige i poboljšava ukupno zdravstveno stanje životinja (Lamanna i sar., 2025).

5. Automatski sistemi za hranjenje (AFS)

Hranjenje predstavlja značajno finansijsko opterećenje za farme mlečnih goveda, čineći do 50% ukupnih operativnih troškova, i drugi je najzahtevniji zadatak po utrošku vremena, odmah nakon muže. Automatizacija procesa hranjenja uglavnom podrazumeva primenu automatskih hranilica za koncentrovanu hranu kod krava i svinja, kako bi se nadoknadili nutritivni nedostaci koji se ne mogu u potpunosti obezbediti potpuno mešanim obrocima. Istovremeno, automatski sistemi za ishranu teladi omogućavaju da svaka jedinka dobije precizno odmeren obrok prilagođen svojim nutritivnim potrebama (Lamanna i sar., 2025). Nedavna istraživanja pokazala su da primena ove tehnologije može smanjiti zavisnost od fizičkog rada i povećati fleksibilnost radnog rasporeda (Tangorra i sar., 2020). Takođe, doprinosi povećanju aktivnosti hranjenja kod krava, većem unosu suve materije i podsticanju prirodnog ponašanja u ishrani, obezbeđujući češće i ravnomernije obroke (Pompe i sar., 2007). Primena ovih tehnologija smanjuje vreme potrebno za pripremu i distribuciju hrane, dok istovremeno unapređuje mogućnost praćenja zdravstvenog stanja pojedinačnih krava i teladi. Andretta i sar., (2016) su otkrili da precizno hranjenje tovnih svinja ima uticaj na izlučivanje azota i lizina. Autori su izvestili o smanjenju unosa lizina

za 26% i smanjenju izlučivanja azota za 30%. Precizno hranjenje povećava produktivnost životinja, ima veliki pozitivan efekat na životnu sredinu i poboljšava ekonomsku održivost

Sa aspekta biosigurnosti, AFS sistemi smanjuju potrebu za direktnim kontaktom između ljudi i životinja, čime se umanjuje rizik od unošenja i širenja patogena u objektu. Automatizovana distribucija hrane omogućava kontrolu kvaliteta i količine hrane, čime se sprečava kontaminacija i obezbeđuje zdravstvena ispravnost obroka. Pored toga, precizno doziranje i evidencija unosa hrane omogućavaju rano uočavanje odstupanja u ponašanju životinja, što može biti indikator zdravstvenih problema (Vlaicu i sar., 2024).

U pogledu dobrobiti životinja, automatski sistemi za hranjenje omogućavaju individualizovan pristup ishrani, prilagođen potrebama svake životinje. Redovna i ujednačena dostupnost hrane smanjuje stres, konkurenciju i agresivno ponašanje među jedinkama. Takođe, optimalan unos hrane doprinosi boljem zdravlju, produktivnosti i reproduktivnim performansama. Savremeni AFS sistemi često su povezani sa senzorima i softverom za praćenje, što omogućava kontinuiranu analizu podataka i dodatnu optimizaciju ishran (Vlaicu i sar., 2024).

6. Termalne kamere

Poslednjih decenija, studije su se fokusirale na dobijanje pouzdanih podataka o telesnoj temperaturi bez značajne manipulacije životinjom. Kao rezultat toga, rektalno određivanje telesne temperature kod svinja se sve manje koristi, posebno u intenzivnim sistemima uzgoja. Zhang i sar., (2019) su otkrili da je jedna od najekonomičnijih i najefikasnijih metoda upotreba infracrvene tehnologije, koja omogućava kontinuirano praćenje termičkog biološkog odgovora ili termičkih promena u telu životinje. To je beskontaktna, neinvazivna metoda zasnovana na principu detekcije infracrvenog zračenja i njegovog pretvaranja u električne impulse. Rezultati su termalne slike koje prikazuju raspodelu temperature površine tela (Chem i sar., 2022). Termovizijske kamere se koriste u različitim oblastima proizvodnje svinja, npr. za otkrivanje bolesti i estrus (Lee i sar., 2019), za praćenje zdravlja i dobrobiti (Papadopoulos i sar., 2025) i za merenje telesne temperature bez upotrebe rektalnog termometra (Zhang i sar., 2024). Prednosti korišćenja termalnih kamera su visoka tačnost temperature, stabilnost i jednostavnost sistema. Rektalna termometrija i termometrija sa ugrađenim temperaturnim senzorima su konvencionalne metode za praćenje temperature kod svinja, ali imaju nekoliko nedostataka (Zhang i sar., 2024). Njihova upotreba povećava rizik od prenosa bolesti putem opreme ili uređaja i istovremeno povećava fiziološki odgovor na stres, uzrokujući nelagodnost i ugrožavajući dobrobit životinja. Ove kamere se mogu instalirati u robote za kontinuirano praćenje temperature svih životinja. Još jedan inovativni instrument je iBut-tonne®, samostalni sistem za merenje i snimanje temperature i vlažnosti. Može se pričvrstiti na identifikacionu oznaku na uhu svake životinje, uspostavljajući direktan kontakt sa unutrašnjim uhom, koje je osetljivo na temperaturne fluktuacije, obezbeđujući visoku

tačnost merenja (Sánchez-Giménez i sar., 2024). Postoje i različiti implantabilni i nosivi uređaji, kao što su potkožno primenjeni mikročipovi ili senzori ugrađeni u ušne oznake, koji nude visoku preciznost uz kontinuirano prikupljanje podataka (Himu i Raihan, 2024).

Sa aspekta biosigurnosti, termalne kamere omogućavaju rano otkrivanje bolesti, jer povećanje telesne temperature često predstavlja jedan od prvih simptoma infekcije (Noh i sar., 2021). Kontinuirano praćenje temperature omogućava brzu identifikaciju potencijalno obolelih jedinki i njihovu pravovremenu izolaciju, čime se smanjuje rizik od širenja zaraznih bolesti u stadu. Pored toga, ova tehnologija smanjuje potrebu za fizičkim kontaktom sa životinjama, što dodatno doprinosi smanjenju prenosa patogena (McManus i sar., 2022).

U pogledu dobrobiti životinja, termalne kamere omogućavaju praćenje stresa, povreda i upalnih procesa. Lokalizovane promene temperature mogu ukazivati na zapaljenja, povrede ili probleme kao što je mastitis kod mlečnih krava (McManus i sar., 2022). Takođe, praćenje temperature pomaže u otkrivanju toplotnog stresa, što je od velikog značaja u uslovima visokih temperatura. Važno je prepoznati uticaj klimatskih promena, koje povećavaju izloženost životinja bolestima, toplotnom stresu i brojnim zdravstvenim rizicima. Jedan od glavnih uzroka toplotnog stresa kod svinja je njihova ograničena sposobnost termoregulacije. Ekstremne temperature dovode do pregrevanja njihovog tela, što ima brojne negativne posledice i za životinje i za proizvođače. Upotreba pametnih tehnologija za praćenje unosa hrane, telesne temperature, brzine disanja i pokretljivosti životinja može pomoći u sprečavanju toplotnog stresa i direktno poboljšati dobrobit i produktivnost životinja (Papadopoulos i sar., 2025). Pravovremena reakcija na ove promene doprinosi smanjenju bola i nelagodnosti kod životinja i poboljšava njihovo opšte zdravstveno stanje. Praćenje fluktuacija telesne temperature je od velikog značaja za obezbeđivanje optimalnih reproduktivnih performansi, jer povećava stopu uspeha veštačkog osemenjavanja (Chung i sar., 2010). Prema Sharifuzzaman i sar., (2024), reproduktivni neuspeh zbog neprepoznatog estrusa jedan je od glavnih uzroka izlučivanja krmača. Pouzdano otkrivanje estrusa je moguće praćenjem telesne temperature, obrazaca kretanja i promena u ponašanju, uključujući vokalizacije i aktivnost.

7. Automatski sistemi za dezinfekciju

Tradicionalne farme svinja uglavnom koriste mašine za čišćenje objekata i životinja, koje se zasnivaju na ručnim ili poluautomatskim metodama rada. Ovakvi sistemi nemaju visok stepen automatizacije, inteligencije i efikasnosti, a njihove funkcije su ograničene. Tokom njihove primene često se javljaju sledeći problemi:

- a) Visoki troškovi rada – pranje svinja, čišćenje objekata i dezinfekcija zahtevaju značajan angažman radne snage, što povećava troškove i dovodi do neefikasnog korišćenja ljudskih resursa.

- b) Nepotpuno čišćenje – zbog ograničenja ručnog rada, teško je obezbediti temeljno i ujednačeno čišćenje svih površina.
- c) Rasipanje vodnih resursa – tradicionalne metode čišćenja često podrazumevaju prekomernu potrošnju vode, kao i neracionalnu upotrebu sredstava za čišćenje.
- d) Otežano određivanje ciklusa čišćenja – ove metode imaju nisku efikasnost i ne omogućavaju pravovremeno praćenje promena u okruženju. Zbog toga su ciklusi čišćenja najčešće fiksni i ne mogu se prilagoditi stvarnim potrebama u objektu.

Kako bi se poboljšao nivo čišćenja životinja i farmi, rešili problem kao što su troškovi rada i rasipanja vode, razvijeni su inteligentni integrisani sistemi za pranje i dezinfekciju, prilagođeni savremenim uslovima stočarske proizvodnje. Ovaj sistem koristi pokretne mlaznice za precizno usmeravanje procesa čišćenja, dok integrisani inteligentni sistem upravljanja omogućava automatizovanu kontrolu i praćenje celokupnog procesa pranja i dezinfekcije (Wang i Gu, 2024). Prednosti ovog sistema su višestruke:

- a) Smanjenje potrebe za radnom snagom – primenom elektronske kontrole omogućeno je inteligentno i automatizovano čišćenje, čime se značajno smanjuje angažovanje ljudskog rada.
- b) Potpuna pokrivenost prostora – sistem omogućava istovremen rad više mlaznica, čime se obezbeđuje efikasno čišćenje i dezinfekcija, uključujući i teško dostupna mesta.
- c) Racionalno korišćenje resursa – precizna kontrola protoka vode, pritiska i koncentracije dezinfekcionog sredstva smanjuje nepotrebnu potrošnju.
- d) Inteligentno upravljanje ciklusima – sistem automatski podešava cikluse pranja i dezinfekcije na osnovu detektovanih promena u okruženju, omogućavajući prilagođavanje realnim potrebama.
- e) Višenamenska funkcija – pored pranja i dezinfekcije, sistem poseduje i funkciju zaštite od požara, što ga čini ekonomičnim i praktičnim rešenjem.

Inteligentni integrisani sistem pranja i dezinfekcije predstavlja bezbedno, efikasno i ekološki prihvatljivo rešenje za savremene farme (npr. svinja, živine), jer objedinjuje funkcije pranja, dezinfekcije i protivpožarne zaštite u jedan sistem (Wang i Gu, 2024).

Sa aspekta biosigurnosti, automatski sistemi za dezinfekciju značajno smanjuju rizik od unošenja i širenja patogena. Oni se primenjuju na ulazima u objekte, u zonama za prolaz životinja, kao i na opremi i vozilima. Automatizacija procesa obezbeđuje doslednu i pravilnu primenu dezinfekcije, čime se izbegavaju propusti koji se mogu javiti kod ručne primene. Redovna i efikasna dezinfekcija doprinosi smanjenju prisustva mikroorganizama u okruženju i sprečavanju pojave zaraznih bolesti.

U pogledu dobrobiti životinja, ovi sistemi doprinose održavanju čistog i zdravog okruženja, što direktno utiče na smanjenje stresa i pojave bolesti. Smanjeno prisustvo patogena u objektu znači manji rizik od infekcija, posebno kod

osetljivih kategorija kao što su telad ili životinje u laktaciji. Pored toga, automatizovani sistemi omogućavaju primenu dezinfekcionih sredstava u kontrolisanim količinama, čime se izbegava prekomerna upotreba hemikalija i potencijalni negativni uticaji na zdravlje životinja.

ZAKLJUČAK

Širom sveta, dalji razvoj sistema preciznog stočarstva (PLF) doprinosi poboljšanju uslova držanja farmskih životinja, povećanju kvaliteta proizvoda, smanjenju emisije ugljenika po životinji, kao i značajnim uštedama energije u pogledu unosa hrane, njene konverzije i rasta. Ovaj napredak treba da bude praćen kontinuiranom edukacijom poljoprivrednika, kako bi primena novih tehnologija bila razumljivija i dostupnija u praksi. Ubrzan razvoj digitalnih tehnologija transformiše stočarsku proizvodnju, čineći je održivom i pozitivno utičući na dobrobit, zdravlje i produktivnost životinja. Prikupljanje i analiza podataka u realnom vremenu tokom proizvodnog procesa omogućavaju donošenje pravovremenih odluka, što dovodi do efikasnijeg upravljanja i boljih proizvodnih rezultata. Saradnja između poljoprivrednika, istraživača i stručnjaka iz oblasti interneta stvari (IoT) ključna je za uspešnu primenu ovih tehnologija, čime se obezbeđuje njihova praktičnost, ekonomska isplativost i dugoročna održivost.

Zahvalnica

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

LITERATURA

1. Andretta, I., Pomar, C., Kipper, M., Hauschild, L., Rivest, J. (2016). Feeding behavior of growing–finishing pigs reared under precision feeding strategies. *J. Anim. Sci.* 94, 3042–3050.
2. Benaissa, S., Tuytens, F.A.M., Plets, D., Martens, L., Vandaele, L., Joseph, W., Sonck, B. (2023). Improved cattle behaviour monitoring by combining ultra-wideband location and accelerometer data. *Animal*. 17, 100730.
3. Benjamin, M., Yik, S. (2019). Precision livestock farming in swine welfare: a review for swine practitioners. *Animals*. 9, 133.
4. Brown, V.R., Miller, R.S., McKee, S.C., et al. (2021). Risks of introduction and economic consequences associated with African swine fever, classical swine fever and foot-and-mouth disease: a review of the literature. *Transbound. Emerg. Dis.* 68, 1910–1965.
5. Buller, H., Blokhuis, H., Lokhorst, K., Silberberg, M., Veissier, I. (2020). Animal welfare management in a digital world. *Animals*. 10, 1779.
6. Cabezas, J., Yubero, R., Visitación, B., Navarro-García, J., Algar, M.J., Cano, E.L., Ortega, F. (2022). Analysis of accelerometer and GPS data for cattle behaviour identification and anomalous events detection. *Entropy*. 24, 336.
7. Chem, V., Mun, H.S., Ampode, K.M.B., Mahfuz, S., Chung, I.B., Dilawar, M.A., Yang, C.J. (2022). Heat detection of gilts using digital infrared thermal imaging camera. *Adv. Anim. Vet. Sci.* 10, 2142–2147.
8. Chung, T.H., Jung, W.S., Nam, E.H., Kim, J.H., Park, S.H., Hwang, C.Y. (2010). Comparison of rectal and infrared thermometry for obtaining body temperature of gnotobiotic piglets in conventional portable germ free facility. *Asian-Australas. J. Anim. Sci.* 23, 1364–1368.

9. Confessore, A., Sirtori, B., Pugliese, C. (2022). Precision livestock farming technologies in pasture-based livestock systems. *Animal*. 16, 100429.
10. Curran, K., Norrby, S. (2009). RFID-enabled location determination within indoor environments. *Int. J. Ambient Comput. Intell.* 1, 63–86.
11. Das, R., Sailo, L., Verma, N., Bharti, P., Saikia, J., Imtiwati Kumar, R. (2016). Impact of heat stress on health and performance of dairy animals: a review. *Vet. World*. 9, 260.
12. De Weerd, N., Van Langevelde, F., Van Oeveren, H., Nolet, B.A., Kölzsch, A., Prins, H.H.T., De Boer, W.F. (2015). Deriving animal behaviour from high-frequency GPS: tracking cows in open and forested habitat. *PLoS ONE*. 10, e0129030.
13. Gómez, Y., Stygar, A.H., Boumans, I.J., Bokkers, E.A., Pedersen, L.J., Niemi, J.K., Llonch, P. (2021). A systematic review on validated precision livestock farming technologies for pig production and its potential to assess animal welfare. *Front. Vet. Sci.* 8, 660565.
14. Hasan, M.K., Mun, H.S., Ampode, K.M.B., Lagua, E.B., Park, H.R., Kim, Y.H., Yang, C.J. (2024). Transformation toward precision large-scale operations for sustainable farming: A review based on China's pig industry. *J. Adv. Vet.* 11, 1076.
15. Herlin, A., Brunberg, E., Hultgren, J., Högborg, N., Rydberg, A., Skarin, A. (2021). Animal welfare implications of digital tools for monitoring and management of cattle and sheep on pasture. *Animals*. 11, 829.
16. Himu, H.A., Raihan, A. (2024). Digital transformation of livestock farming for sustainable development. *J. Vet. Med.* 1, 1–8.
17. Hofstra, G., Roelofs, J., Rutter, S.M., van Erp-van der Kooij, E., de Vlieg, J. (2022). Mapping welfare: location determining techniques and their potential for managing cattle welfare—A review. *Dairy*. 3, 776–788.
18. Jorquera-Chavez, M., Fuentes, S., Dunshea, F.R., Jongman, E.C., Warner, R.D. (2019). Computer vision and remote sensing to assess physiological responses of cattle to pre-slaughter stress, and its impact on beef quality: A review. *Meat Sci.* 156, 11–22.
19. Klerkx, L., Jakku, E., Labarthe, P. (2019). A review of social science on digital agriculture, smart farming and agriculture 4.0: new contributions and a future research agenda. *NJAS-Wageningen J. Life Sci.* 90, 100315.
20. Kopler, I., Marchaim, U., Tikász, I.E., Opaliński, S., Kokin, E., Mallinger, K., Banhazi, T. (2023). Farmers' perspectives of the benefits and risks in precision livestock farming in the EU pig and poultry sectors. *Animals*. 13, 2868.
21. Lamanna, M., Bovo, M., Cavallini, D. (2025). Wearable collar technologies for dairy cows: a systematized review of the current applications and future innovations in precision livestock farming. *Animals*. 15, 45.
22. Lee, J.H., Lee, D.H., Yun, W., Oh, H.J., An, J.S., Kim, Y.G., Cho, J.H. (2019). Quantifiable and feasible estrus detection using the ultrasonic sensor array and digital infrared thermography. *J. Anim. Sci. Technol.* 61, 163.
23. Li, Y., Shu, H., Bindelle, J., Xu, B., Zhang, W., Jin, Z., Guo, L., Wang, W. (2022). Classification and analysis of multiple cattle unitary behaviours and movements based on machine learning methods. *Animals*. 12, 1060.
24. Liao, C., Clark, P.E., Shibia, M., DeGloria, S.D. (2018). Spatiotemporal dynamics of cattle behavior and resource selection patterns on East African rangelands: evidence from GPS-tracking. *Int. J. Geogr. Inf. Sci.* 32, 1523–1540.
25. Liu, N., Qi, J., An, X., Wang, Y. (2023). A review on information technologies applicable to precision dairy farming: focus on behavior, health monitoring, and the precise feeding of dairy cows. *Agriculture*. 13, 1858.
26. Lunner-Kolstrup, C., Hörndahl, T., Karttunen, J.P. (2018). Farm operators' experiences of advanced technology and automation in Swedish agriculture: a pilot study. *J. Agromed.* 23, 215–226.
27. Ma, H., Xie, Y., Li, A., Zhang, T., Liu, Y., Luo, X. (2023). A review on the effect of light-thermal-humidity environment in sow houses on sow reproduction and welfare. *Reprod. Domest. Anim.* 58, 1023–1045.

28. Marić, K., Gvozdanović, K., Djurkin Kušec, I., Kušec, G., Margeta, V. (2025). Smart pig farms: integration and application of digital technologies in pig production. *Agriculture*. 15, 937.
29. McIntosh, M.M., Cibils, A.F., Estell, R.E., Gong, Q., Cao, H., Gonzalez, A.L., Nyamuryekung'e, S., Spiegall, S.A. (2022). Can cattle geolocation data yield behavior-based criteria to inform precision grazing systems on rangeland? *Livest. Sci.* 255, 104801.
30. McManus, R., Boden, L.A., Weir, W., Viora, L., Barker, R., Kim, Y., McBride, P., Yang, S. (2022). Thermography for disease detection in livestock: a scoping review. *Front. Vet. Sci.* 9, 965622.
31. Ndue, K., Pál, G. (2022). Life cycle assessment perspective for sectoral adaptation to climate change: environmental impact assessment of pig production. *Land*. 11, 827.
32. Neethirajan, S. (2023). Artificial intelligence and sensor technologies in dairy livestock export: charting a digital transformation. *Sensors*. 23, 7045.
33. Noh, J.Y., Kim, K.J., Lee, S.H., Kim, J.B., Kim, D.H., Youk, S., Song, C.S., Nahm, S.S. (2021). Thermal image scanning for the early detection of fever induced by highly pathogenic avian influenza virus infection in chickens and ducks and its application in farms. *Front. Vet. Sci.* 8, 616755.
34. Norton, T., Chen, C., Larsen, M.L.V., Berckmans, D. (2019). Precision livestock farming: building 'digital representations' to bring the animals closer to the farmer. *Animal*. 13, 3009–3017.
35. Papadopoulos, G., Papantonatou, M.Z., Uyar, H., Kriezi, O., Mavrommatis, A., Psiroukis, V., Kasimati, A., Tsiplakou, E., Fountas, S. (2025). Economic and environmental benefits of digital agricultural technological solutions in livestock farming: a review. *Smart Agric. Technol.* 10, 100783.
36. Pompe, J.C.A.M., Alders, D.H.J., Heutinck, L.F.M., Lokhorst, C. (2007). Automatic individual feeding systems for dairy cows: observations of facility utilization. In: Cox, S. (Ed.), *Precision Livestock Farming*. Wageningen Academic Publishers, Skiathos, Greece, pp. 45–51.
37. Provolo, G., Brandolese, C., Grotto, M., Marinucci, A., Fossati, N., Ferrari, O., Beretta, E., Riva, E. (2025). An Internet of Things framework for monitoring environmental conditions in livestock housing to improve animal welfare and assess environmental impact. *Animals*. 15, 644.
38. Qi, F., Zhao, X., Shi, Z., Li, H., Zhao, W. (2023). Environmental factor detection and analysis technologies in livestock and poultry houses: a review. *Agriculture*. 13, 1489.
39. Sánchez-Giménez, P., Martínez-Nicolas, A., Madrid, J.A., Fernández, R., Martínez-Alarcón, L., Murciano, F., Munoz, A., Ramis, G. (2024). Circadian temperature rhythm in breeding sows: differences between days in oestrus and anoestrus after weaning. *Porc. Health Manag.* 10, 20.
40. Schillings, J., Bennett, R., Rose, D.C. (2021). Exploring the potential of precision livestock farming technologies to help address farm animal welfare. *Front. Anim. Sci.* 2, 639678.
41. Schillings, J., Bennett, R., Wemelsfelder, F., Rose, D.C. (2023). Digital livestock technologies as boundary objects: investigating impacts on farm management and animal welfare. *Anim. Welf.* 32, e17.
42. Sharifuzzaman, M., Mun, H.S., Ampode, K.M.B., Laguna, E.B., Park, H.R., Kim, Y.H., Hasan, M.K., Yang, C.J. (2024). Technological tools and artificial intelligence in estrus detection of sows—a comprehensive review. *Animals*. 14, 471.
43. Shen, W., Sun, Y., Zhang, Y., Fu, X., Hou, H., Kou, S., Zhang, Y. (2021). Automatic recognition method of cow ruminating behaviour based on edge computing. *Comput. Electron. Agric.* 191, 106495.
44. Subach, T.I., Shmeleva, Z.N. (2022). Introduction of digital innovations in livestock farming. *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.* 1112, 012079.
45. Tangorra, F.M., Agazzi, A., Perricone, V., Costa, A. (2020). Precision feeding e automazione. In: Ronchi, G., Savoini, M., Marinucci, T. (Eds.), *Manuale di Nutrizione dei Ruminanti da Latte*. Edises Università, Napoli, Italy, pp. 365–374.
46. Tedeschi, L.O., Muir, J.P., Riley, D.G., Fox, D.G. (2015) The role of ruminant animals in sustainable livestock intensification programs. *Int. J. Sustain. Dev. World Ecol.* 22, 452–465.
47. Thölke, H., Wolf, P. (2022). Economic advantages of individual animal identification in fattening pigs. *Agriculture*. 12, 126.

48. United Nations Department of Economic and Social Affairs, Population Division (2017). World population prospects: the 2017 revision, key findings and advance tables. UNDESA, New York, USA, 53 pp.
49. Van Nuffel, A., Van De Gucht, T., Saeys, W., Sonck, B., Opsomer, G., Vangeyte, J., Mertens, K.C., De Ketelaere, B., Van Weyenberg, S. (2016). Environmental and cow-related factors affect cow locomotion and can cause misclassification in lameness detection systems. *Animal*. 10, 1533–1541.
50. Vlaicu, P.A., Gras, M.A., Untea, A.E., Lefter, N.A., Rotar, M.C. (2024). Advancing livestock technology: intelligent systemization for enhanced productivity, welfare, and sustainability. *AgriEngineering*. 6, 1479–1496.
51. Wang, X., Gu, Y. (2024) Design and research of intelligent washing and disinfection integrated system for pigsties. *Processes* 12, 2705.
52. Yan, G., Liu, K., Hao, Z., Shi, Z., Li, H. (2021). The effects of cow-related factors on rectal temperature, respiration rate, and temperature-humidity index thresholds for lactating cows exposed to heat stress. *J. Therm. Biol.* 100, 103041.
53. Zhang, Z., Zhang, H., Liu, T. (2019). Study on body temperature detection of pig based on infrared technology: a review. *Artif. Intell. Agric.* 1, 14–26.
54. Zhang, B., Xiao, D., Liu, J., Huang, S., Huang, Y., Lin, T. (2024). Pig eye area temperature extraction algorithm based on registered images. *Comput. Electron. Agric.* 217, 108549.

Pregledni rad DOI: 10.5937/DDD26231R

ULOGA HIGIJENE HRANE U ZAŠTITI DOBROBITI GOVEDA**THE ROLE OF FEED HYGIENE IN CATTLE WELFARE PROTECTION**

**Renata Relić^{1*}, Nikola Mileusnić¹, Aleksandra Ivetić²,
Željana Prijić³, Ivan Pavlović⁴**

Kratak sadržaj

Kvalitetna ishrana predstavlja osnovni činilac zdravlja ljudi i životinja. Na kvalitet hrane za životinje utiču svi postupci od prikupljanja hraniva do njegovog davanja životinjama, kao i sadržaj određenih supstanci. Materije prisutne u hrani za životinje mogu da se nađu u animalnim proizvodima i da dospeju u ljudski organizam. Zato je ishrana životinja koje služe za proizvodnju hrane dozvoljena isključivo hranom koja poseduje propisana fizička, hemijska i nutritivna svojstva, u kojoj ne smeju da se nađu supstance potencijalno štetne za zdravlje životinja, ljudi ili za životnu sredinu. Neodgovarajuća higijena hrane za životinje ispoljava se kao prisustvo primesa (nečistoća) ili kvarenje. Posledice po goveda koja konzumiraju kontaminiranu hranu su različite – od blagih i postepenih u vidu smanjenog uzimanja hrane i pada proizvodnje, pa sve do uginuća. U ovom radu razmatrane su posledice prisustva pojedinih štetnih činilaca, neadekvatne pripreme i davanja hrane na zdravstveno stanje, reprodukciju, proizvodne osobine i ponašanje goveda, kao pokazatelje njihove dobrobiti.

Ključne reči: dobrobit, goveda, higijena hrane, opasnosti

Abstract

Quality nutrition is a fundamental factor in both human and animal health. The quality of animal feed is influenced by all processes from the collection of feed to its administration to animals, as well as by the content of specific substances. Substances present in animal feed can be found in animal products and subsequently enter the human body. Therefore, animals used for food production may

¹ Dr Renata Relić, Redovni profesor; dr vet. med. Nikola Mileusnić, asistent; Univerzitet u Beogradu, Poljoprivredni fakultet, 11000 Beograd, R. Srbija

² Dr Aleksandra Ivetić, viši naučni saradnik, Institut za primenu nauke u poljoprivredi, 11000 Beograd, R. Srbija

³ Dr Željana Prijić, viši naučni saradnik, Institut za proučavanje lekovitog bilja „Dr Josif Pančić“, 11000 Beograd, R. Srbija

⁴ Dr Ivan Pavlović, naučni savetnik, Naučni institut za veterinarstvo Srbije, 11000 Beograd, R. Srbija

*e-mail kontakt osobe: rrelic@agrif.bg.ac.rs

be fed only with feed that meets prescribed physical, chemical, and nutritional standards, and must not contain substances potentially harmful to animal health, human health, or the environment. Poor hygiene in animal feed is indicated by the presence of impurities or spoilage. The consequences for cattle consuming contaminated feed vary, ranging from mild and gradual effects such as reduced feed intake and decreased production, to death. This paper discusses the effects of certain harmful factors, as well as inadequate preparation and administration of feed, on the health status, reproduction, production characteristics, and behavior of cattle, as indicators of their well-being.

Keywords: *welfare, cattle, feed hygiene, hazards*

UVOD

Konzumiranje hrane i vode predstavlja osnovnu potrebu živih bića, koja ima za svrhu nadoknadu hranljivih materija i tečnosti u organizmu. Njihov kvalitet direktno utiče na efikasnost metabolizma, fizioloških funkcija i imunog odgovora, zbog čega je kvalitetna ishrana osnovni činilac zdravlja ljudi i životinja. Na kvalitet hrane za životinje utiče tretman prikupljanja hraniva, način i dužina skladištenja, postupci konzerviranja, higijena i sadržaj određenih supstanci. Smernice koje obezbeđuju kvalitet i bezbednost hrane za životinje, kao i granične vrednosti za pojedine supstance u hrani prikazane su u odgovarajućoj zakonskoj legislativi. U praktičnim uslovima obezbeđuje ih primena tzv. „dobrih praksi”. Među njima treba istaći *dobru higijensku praksu*, koja se odnosi na uslove skladištenja i higijenske mere neophodne da se osigura upotrebljivost stočne hrane u svim fazama od proizvodnje do upotrebe, kao i *dobru praksu u ishrani životinja*, koja obezbeđuje pravilnu upotrebu hrane za životinje na farmi, tako da se opasnost od kontaminacije hraniva, životinja i animalnih proizvoda svodi na najmanju moguću meru (Vukašinović i sar., 2007; Anon., 2010; Gawande i Heinzl, 2023).

Materije prisutne u hrani za životinje mogu da se nađu u mesu, mleku ili jajima, a konzumiranjem animalnih proizvoda dospevaju i u ljudski organizam. Zato je ishrana životinja koje služe za proizvodnju hrane dozvoljena isključivo hranom koja poseduje propisana fizička, hemijska i nutritivna svojstva, u kojoj ne smeju da se nađu supstance potencijalno štetne za zdravlje životinja, ljudi ili za životnu sredinu (Anon., 2017). Hrana može da postane „nebezbedna” ili opasna za životinje ukoliko se u njoj nalazi neki štetni činilac, ili je ona u obliku ili stanju koje može da izazove štetno dejstvo po zdravlje životinja, odnosno bolest ili povredu. Uticajem na fizičko zdravlje i mentalno stanje, odnosno ponašanje životinja, ishrana životinja direktno utiče na njihovu dobrobit (FAO, 2012). U ovom radu razmatrane su posledice prisustva pojedinih štetnih činilaca, neadekvatne pripreme i davanja hrane na zdravstveno stanje, reprodukciju, proizvodne osobine i ponašanje goveda, kao pokazatelje njihove dobrobiti.

POTENCIJALNE OPASNOSTI U HRANI ZA ŽIVOTINJE

Higijenu hrane za životinje čine mere, postupci i uslovi koji su neophodni za kontrolu opasnosti i obezbeđenje bezbedne hrane za životinje u skladu sa njenom namenom (Anon., 2010). Prema svojim karakteristikama i poreklu, opasnosti (engl. *hazards*) mogu da budu fizičke, hemijske i biološke, a uključuju i stanje hrane za životinje koje može potencijalno da izazove štetno dejstvo na zdravlje (Anon., 2019). Pod fizičkim opasnostima podrazumevaju se strana tela u hrani, kao i neadekvatno usitnjena ili temperirana hrana. Hemijske opasnosti su supstance ili njihovi metaboliti u hrani sa štetnim farmakološkim dejstvom na organizam životinja i/ili ljudi. Biološke opasnosti čine živi agensi (bakterije, virusi, gljivice, paraziti i prioni), poreklom iz sirovina i aditiva, kontaminirane sredine, opreme i vode za pripremu hrane, ili od ljudi koji su uključeni u procese obrade, pripreme i distribucije hrane (Relić i Hristov, 2016).

Neodgovarajuća higijena hrane za životinje ima za posledicu prisustvo primesa (nečistoća) ili kvarenje. Od fizičkih primesa, u hrani su redovno prisutni zemlja, pesak ili prašina, a od hemijskih ostaci teških metala, polihloriranih bifenila (engl. polychlorinated biphenyls – PCBs), dioksina, pesticida, veštačkih đubriva, hormona i antibiotika, dezinfekcionih sredstava, aditiva u količini iznad propisane, toksičnih biljaka, uslovno otrovnih sastojaka i drugo. Štetne hemijske supstance mogu da izazovu poremećaje rada organa, simptome trovanja i uginuće životinje; moguće je i taloženje u životinjskim tkivima ili izlučivanje iz tela putem mleka. U slučaju pojave kvara dolazi do razgradnje organskih komponenti delovanjem plesni i bakterija, umnožavanja patogena i nakupljanja toksina. Plesniva i pokvarena hrana, ili njena kontaminacija mikotoksinima, mogu da izazovu intoksikacije, oslabe imunitet životinje i smanje apetit, odnosno takvu hranu životinje nerado uzimaju. Unošenjem patogenih mikroorganizama iz hrane u digestivni trakt životinja nastaju tzv. alimentarne infekcije, a unošenjem razvojnih oblika parazita nastaju alimentarne invazije. Hranom se kod goveda mogu preneti bakterijske bolesti (npr. antraks, bruceloza, salmoneloza, listerioza), virusne (npr. slinavka i šap, kuga goveda), gljivične (npr. kriptokokoza), parazitske bolesti (npr. cisticerkoza) i bolesti izazvane prionima (npr. bovina spongioformna encefalopatija, BSE). Posledica loše higijene hrane za životinje, takođe, jeste umanjeње njene nutritivne vrednosti (Relić i Hristov, 2016; Gawande i Heinzl, 2023).

POSLEDICE PRISUSTVA STRANIH TELA U HRANI ZA GOVEDA

Kod goveda, češće nego kod malih preživara, dobro je poznata pojava gutanja oštih predmeta zajedno s hranom. Goveda su podložnija jer neselektivno uzimaju hranu ne koristeći usne, i češće od ovaca i koza dobijaju usitnjenu hranu u kojoj se mali fragmenti mogu lako prikriti. Posledična pojava *traumatskog retikuloperikarditisa*, ili *sindroma stranog tela*, u slabije razvijenim zemljama prijavljuje se kao rezultat zanemarivanja kvaliteta ishrane, manje dostupnih dija-

gnostičkih metoda i drugih razloga. U razvijenim zemljama, ovaj problem često se povezuje sa mehanizacijom poljoprivrede i drugih sektora. Metalni predmeti (igle, žice, ekseri i sl.) mogu na razne načine da dospeju u hraniva ili u valove, jaslje i druge površine za hranjenje, a naročito prilikom izvođenja građevinskih radova ili popravki u staji. Metalni fragmenti mogu biti poreklom iz trošnih ograda, električnih instalacija, starih guma koje drže plastične folije na silosima (raspadanjem guma ispadaju čelična vlakna), pa čak i od pohabanih čeličnih četki mašine za čišćenje snega sa piste na aerodromu. U poslednjem slučaju, žice sa četki pokupljene su zajedno sa snegom koji je odnesen i rasut po polju sa kojeg je, posle nekoliko meseci, prikupljena travna masa za seno i silažu. Od njih je pravljen miks obrok (engl. *Total Mixed Ration*, TMR) za krave sa obližnje farme, a u njemu se našla i usitnjena žica (Braun i sar., 2009; Mushonga i sar., 2015; Braun, 2024).

Strana tela iz retikuluma, kroz dijafragmu najčešće prodiru u perikardijalnu kesu. Na svom putu izazivaju perforacije i upalne procese, kao i posledično taloženje fibrina i moguće slepljivanje susednih organa (npr. retikuluma sa dijafragmom, pleurom ili jetrom). Sa stranim telom unose se i po organizmu šire bakterije, izazivajući septičke promene. Kod traumatskog retikulo-perikarditisa nakuplja se serozni ili fibrinozni inflamatorni eksudat u srčanoj kesi, dolazi do toksemije i srčane insuficijencije. Eventualni nalaz stranog tela u plućima uključuje bronhopneumoniju, intersticijalni emfizem i pojavu gnojnih embolijskih žarišta (plućni apcesi), a u jetri hepatitis i abscese. Klinički simptomi mogu biti od gotovo neprimetnih do znatno izraženih: smanjen apetit i pokretljivost buraga, pad mlečnosti i progresivno mršavljenje, nesvareni delovi hrane u izmetu, nerado stajanje i kretanje, groznica, otežano disanje, kašalj, neuobičajena vokalizacija i drugi znaci prisustva bola, eventualno i uginuće (de Souza i sar., 2021; Braun, 2024).

U predželuze goveda, osim metalnih, često dospevaju predmeti od drugih materijala. Prema Mushonga i sar. (2015), približno 72% stranih predmeta je od plastike, i to su uglavnom plastične kese i kanapi za baliranje (manilu) i vezivanje vreća. Nalaz uključuje i užad od prirodnih materijala, kožu, predmete od gume, pamučnu posteljinu, komade olovnih cevi, korpe od slame, nakupine dlake i biljnih vlakana (bezoari). Uobičajene posledice su poremećaji u varenju i iskorišćavanju hrane, postepeno slabljenje i pad mlečnosti (Mushonga i sar., 2015; Duresa i sar., 2022).

Strana tela u nekim slučajevima ne dospevaju u predželuze, već se zaglave u jednjaku. Nalaz stranih tela pri potpunoj opstrukciji jednjaka uključuje komade tkanine, gume i kože, naročito plastične kese sa ostacima hrane. Međutim, isti problem može nastati gutanjem nedovoljno usitnjenih hraniva, kao što su glavica kupusa i klip kukuruza. Klinički simptomi kod goveda uključuju jak nadun, poteškoće s disanjem i nemogućnosti gutanja, uz stvaranje obilne količine pljuvačke. Smrt može da nastupi usled teške abdominalne depresije sa nemogućnosti izbacivanja gasova iz buraga, kao i respiratornog distresa (Semieka, 2015; Shivaraju i sar., 2021).

Namerna ingestija nejestivih predmeta kod goveda može biti posledica oskudice u hrani (Mushonga i sar., 2015), dosade/nedovoljne stimulacije, ili poremećaja hranidbenog ponašanja (lat. *pica*). Izopačen apetit ispoljava se lizanjem i/ili ingestijom zemlje, kamenja, kostiju, drveta, fecesa i sl. Kao uzroci ove pojave navode se: opšta neuhranjenost, prisustvo parazita ili hroničnog bola u stomaku, bolesti koje utiču na centralni nervni sistem (uključujući besnilo, ketozu/acetonemiju i trovanje olovom), kao i hronični nedostatak fosfora, natrijuma, hlora, gvožđa ili vlakana u obroku (Nikvand i sar., 2018).

POSLEDICE UNOŠENJA MIKROPLASTIKE U ORGANIZAM GOVEDA

Izuzetno važan, ali još uvek potcenjen problem u stočarstvu predstavlja prisustvo mikro- (i nano-) plastike u hrani i vodi za životinje. U pitanju su komadići plastike manji od 5 mm. Preživari mogu da ih unose direktno, konzumiranjem kontaminirane hrane i vode. Kontaminacija može nastati u kontaktu hrane i vode s plastičnom ambalažom, ili atmosferskim taloženjem mikroplastike putem vetra, kiše i snega, i njenoj akumulaciji u zemljištu, biljkama na poljima i uskladištenim hranivima. Indirektan način podrazumeva unos većih komada plastike u digestivni trakt, koji se tokom procesa varenja razlažu u mikroplastiku. To su obično nepravilno odložene plastične kese, konopci ili ambalaža (npr. plastične folije za pokrivanje silaže u silo-trenčevima ili za baliranje sena) koja se nalazi u njihovom okruženju, a goveda ih pojedu sa hranom (Petrucchio i sar., 2025).

Nakon unošenja u digestivni trakt, plastika u buragu i retikulumu može da stvori velike, nesvarljive kuglice koje izazivaju fizičke blokade, smanjuju funkcionalnost buraga i efikasnost ishrane. Smanjen unos hrane zbog „lažne sitosti” može da izazove neuhranjenost i metaboličke poremećaje. Prisustvo plastike iritira sluzokožu buraga, izazivajući ruminitis. Osim toga, umanjuje dostupnost hranljivih materija mikroorganizmima buraga, što rezultira smanjenjem proizvodnje isparljivih masnih kiselina, odnosno fermentacione funkcije mikroorganizama i unosa energije. U crevima preživar, čestice mikroplastike se akumuliraju u zavojima. Mešanjem s ostacima hrane formiraju veće polimere, što može da izazove opstrukciju, ometa normalan transport crevnog sadržaja, zatvor i bol u stomaku kod životinja, a moguća je perforacija creva i peritonitis (Su i sar., 2025).

Deo mikroplastike većeg dijametra može proći kroz digestivni trakt i izbaciti se fecesom, dok čestice čiji je prečnik $<150\ \mu\text{m}$ mogu da prođu kroz sluzokožu creva i krvotokom dospeju do različitih organa i tkiva. Kod preživar, osim u fecesu, mikroplastika je pronađena u krvi, folikularnoj tečnosti i spermi, ali i u mleku, mesu, jetri i škembićima za ljudsku upotrebu. Mikroplastika u tkivima ima citotoksično dejstvo, izaziva hroničnu upalu i oksidativni stres, što oštećuje organe poput jetre i bubrega. Utvrđena je i geno- i imunotoksičnost, a negativne efekte pojačava vezivanje mikročestica plastike s molekulima teških metala, pesticida i drugih supstanci. Aditivi koji se koriste u proizvodnji plastike (bisfenol A – BPA, ftalati i polihlorovani bifenil 153 – PCB 153) deluju kao endokrini

ometači. Smatra se da trend smanjenja stope plodnosti i reproduktivne efikasnosti kod farmskih životinja može biti posledica akutne ili dugotrajne izloženosti ovim materijama (Urli i sar., 2023; Petrucco i sar., 2025).

Osim fizičkog i hemijskog, mikroplastika predstavlja i mikrobiološki rizik, jer se na njenu površinu mogu vezati gljivice, alge, diatomi (mikroalge) i bakterije (Mammo i sar., 2020). Adhezija nastaje zahvaljujući različitim elektrostatičkim naelektrisanjima između mikroorganizama (negativno) i mikroplastike (pozitivno naelektrisanje). Dodatni negativni efekat u organizmu nastaje usled kontakta vezanih bakterija sa hemijskim materijama na površini plastike, kao što su antibiotici i teški metali, što može rezultirati stvaranjem sojeva otpornih na ove supstance. Morska voda je, zahvaljujući mikroplastici, identifikovana kao globalni rezervoar za gene otpornosti na antibiotike (engl. *antibiotic resistance genes* – ARG) i za gene otpornosti na metale (MRG) (Yang i sar., 2019). Najvažniji izvori ARG u slatkoj vodi, su otpadne vode iz bolnica (koje se prečišćavaju kao i otpadne vode iz domaćinstava pre nego dospeju u reku) i otpadne vode iz stočarstva (Rodriguez-Mozaz i sar., 2015). Kosuth i sar. (2018) utvrdili su prisustvo čestica mikroplastike prečnika <5 mm kod 81% uzoraka vode za piće iz česme, prikupljenih širom sveta.

POSLEDICE PROPUSTA U PRIPREMI I KORIŠĆENJU SILAŽE

Silaža je jedno od glavnih hraniva za pripremu TMR-a za visokomlečne krave, koje se dobija kontrolisanim vrenjem silirane biljne mase u odsustvu vazduha. Za dobijanje kvalitetne silaže potreban je silos odgovarajuće veličine (ne suviše velik), izgrađen na oceditom mestu i sa nepropusnim dnom i zidovima. Njegovo punjenje treba da traje što kraće, uz ravnomerno sabijanje biomase i izbegavanje unošenja zemlje. Nakon punjenja, silos treba da bude hermetički zatvoren. Procesi koji se odvijaju u silosu u toku njegovog korišćenja mogu se svrstati u četiri faze: 1. početna aerobna faza odmah nakon punjenja, 2. faza fermentacije, 3. faza stabilnog skladištenja u silosu i 4. faza korišćenja silaže za ishranu životinja, kada je silos delom otvoren a silirani materijal izložen vazduhu (Borreani i sar., 2018).

Propusti tokom pripreme, fermentacije ili korišćenja mogu da dovedu do kvarenja silaže. Kvar najčešće izaziva prisustvo kiseonika iz vazduha koji pospešuje aerobnu aktivnost mikroorganizama i time dovodi do prekomernog zagrevanja mase, pojave plesni i gubitka hranljive vrednosti. Vazduh može da zaostane u „džepovima” zbog neadekvatnog sabijanja mase prilikom punjenja silosa, što se može desiti ako biljke nisu dovoljno usitnjene. Ukoliko punjenje silosa dugo traje, biomasa se zagreva pre pokrivanja, što je takođe nepovoljno. Vazduh i padavine mogu prodrati kroz oštećenu ili loše postavljenu foliju i tako dovesti do propadanja gornjih slojeva, a ako se folija ne optereti dovoljno, podiže je vetar i vazduh ulazi ispod nje. Do prodora kiseonika i sekundarne fermentacije dovodi i neravnomerno uzimanje silaže i ostavljanje rastresite površine kada se silos otvori (Borreani i sar., 2018).

Ukoliko je masa za siliranje previše vlažna, može doći do buterne fermentacije, dok previše suva masa otežava sabijanje i dozvoljava ulazak vazduha. Buterna fermentacija je anaerobni proces mikrobnog razlaganja ugljenih hidrata do buterne kiseline dejstvom najčešće *Clostridium* vrsta, koje dospevaju u silose sa zemljom koja je na biljnoj masi ili na točkovima traktora. Antifungalna svojstva buterne kiseline mogu poboljšati aerobnu stabilnost, ali njeno prisustvo u silaži može povećati probleme sa ketozom unutar stada. Proteolitičkim aktivnostima *Clostridium* spp. dolazi do povećanja koncentracije amonijaka i rastvorljivosti proteina, što proteine silaže čini manje pogodnim za visokoproduktivne krave. Biogeni amini koji takođe nastaju tokom klostridijalne proteolize (kadaverin, glukozamin, histamin, putrescin i tiramin) u velikoj meri se mogu razgraditi u buragu, ali su potencijalno toksični. Mnoga od ovih jedinjenja, koja su povezana sa procesima truljenja, imaju neprijatan miris i čine silažu neukusnom, što utiče na smanjenje unosa hrane, a time i na proizvodnju (Llonch i sar., 2018; Queiroz i sar., 2018). *Clostridium* spp. inače čine normalnu floru digestivnog trakta preživara, ali stres vezan za ishranu, povrede i prisustvo parazita mogu uticati na proizvodnju toksina koji izazivaju iznenadne napade bolova u stomaku, dijareju, ulceracije, pa čak i smrt kod teladi (McGuirk, 2008). *C. perfringens* tip A često se nalazi kod krava sa hemoragičnim sindromom creva. Pojava *C. botulinum* u silažama je retka, ali su prijavljene epidemije botulizma B kod goveda nakon što su hranjena senažom i silažom od ljulja (Rings, 2004).

Bakterijske spore se najčešće stvaraju u spoljnom sloju baliranih silosa i gornjem sloju silo-trenčeva. Spore *Paenibacillus*, *Bacillus* i *Clostridium* vrsta, zajedno sa silažom ulaze u TMR, tako da ih krave unose hranom u digestivni trakt, a odatle se izlučuju fecesom. Ukoliko papile vimena tokom muže dođu u kontakt s kontaminiranim fecesom, spore mogu dospeti u pomuženo mleko i nakon klijanja mogu da izazovu kvar prerađenog mleka i mlečnih proizvoda. Isklijale spore klostridija mogu izazvati naknadno naduvavanje sira, a velike količine proizvedene buterne kiseline dovode do užeglog mirisa i neprijatnog ukusa sira. Spore *Bacillus cereus* mogu smanjiti rok trajanja pasterizovanog mleka i pavlake (Colin i sar., 2004; Queiroz i sar., 2018; Borreani i sar., 2019).

Od ostalih patogena, u silaži su često prisutne *Escherichia coli* (naročito *E. coli* O157:H7), *Listeria monocytogenes* i *Salmonella* spp. Sve ove bakterije mogu da izazovu ozbiljne zdravstvene probleme kod ljudi. Njihov opstanak u silaži je posledica loše fermentacije i previsoke pH vrednosti silirane mase. Krmno bilje za siliranje obično se kontaminira preko tečnog stajnjaka koji se rasipa po poljima kao đubrivo, ili preko zemljišta tokom žetve. Kontaminacija sirovog mleka je fekalnog porekla (Queiroz i sar., 2018), mada je utvrđeno da se *L. monocytogenes* može izlučivati direktno mlekom krava sa subkliničkim mastitisom (Hunt i sar., 2012).

Goveda su rezervoar i asimptomatski nosioci *E. coli* O157:H7. Neurološki simptomi infekcije sa *L. monocytogenes* kod goveda su zabeleženi ređe nego kod ovaca (Queiroz i sar., 2018) i podsećaju na besnilo (Sheppard, 2024). Infekcija

materice rezultira sporadičnim ili višestrukim pobačajima u stadu, uglavnom pred sam kraj graviditeta krava hranjenih loše konzerviranom silažom, a telad se rađa kao slabo vitalna (Smith, 1976). Kod tovne junadi zabeležena je pojava enterične listerioze sa manifestnom dijarejom i uginućima (García i sar., 2016), s tim što ova bakterija može da bude prisutna u silaži u kojoj nisu uočljive promene koje ukazuju na kvar (Sheppard, 2024). *Salmonella enterica* kod goveda izaziva simptome u vidu vodenastog ili krvavog proliva, dehidracije, groznice i depresije, kao i loše proizvodne performanse (Queiroz i sar., 2018).

POSLEDICE PRISUSTVA MIKOTOKSINA U HRANI ZA GOVEDA

Najuočljiviji pokazatelj kvara silaže i koncentrovanih hraniva predstavlja promena boje, teksture i konzistencije usled razvoja plesni. Prisustvo plesni menja ukus i nutritivnu vrednost hraniva, a prisustvo mikotoksina predstavlja ozbiljan zdravstveni rizik. Preživari su manje osetljivi od monogastričnih životinja zbog aktivnosti mikroorganizama i enzima u buragu koji razgrađuju ili transformišu mikotoksine pre nego što se apsorbuju u krvotok. Međutim, ovaj mehanizam ne pruža potpunu zaštitu.

Aflatoksin B1, koga proizvode sojevi *Aspergillus flavus*, obično je u najvećoj koncentraciji prisutan u hranivima i smatra se najtoksičnijim i najonkogenijim među svim aflatoksinima. Njegov metabolit, aflatoksin M1, može se naći u tkivima, mleku i mlečnim proizvodima životinja koje su konzumirale kontaminiranu hranu (Jouany i sar., 2009; Hof, 2016). Apsorpcija može nastati u usnoj duplji ili jednaku mlečnih krava, odnosno pre nego što aflatoksini uđu u burag. Iz gastrointestinalnog trakta ulaze u hepatični portalni sistem, a iz tela se eliminišu putem žuči, urina, fecesa i mleka. Klinički znaci hronične aflatoksikoze kod goveda uključuju smanjen apetit i lošu kondiciju, nižu proizvodnju mleka i primetne znake žutice. Hepatični enzimi su obično povišeni, a protrombinsko vreme može biti produženo. Negativan uticaj na imunološki odgovor ima za posledicu neuspeh vakcinacija ili neadekvatan odgovor na antibiotsku terapiju. Prolaskom kroz placentu, aflatoksini mogu da oštete fetalno tkivo (Radko i sar., 2026).

Ohratoksine proizvode *Aspergillus* i neke *Penicillium* vrste, a najrasprostranjeniji i najtoksičniji je ohratoksin A (OTA). Mikroorganizmi buraga, prvenstveno protozoe, pretvaraju OTA u netoksičnu formu, s tim što hrana bogata proteinima smanjuje stopu detoksikacije. OTA se uglavnom eliminiše urinom, a u mleku su pronađene male vrednosti samo kod hroničnog izlaganja goveda kontaminiranoj hrani. Ohratoksini pokazuju imunosupresivne, nefrotoksične i potencijalno kancerogene efekte; inhibiraju sintezu proteina, utiču na aktivnost imunoglobulina i mogu izazvati oksidativni stres. Toksični efekat se javlja u slučaju hroničnog izlaganja niskim dozama, u vidu uremije, teške dijareje, dehidracije, anoreksije, depresije i hipotermije, a čest je i letalan ishod (Radko i sar., 2026).

Trihotecene čine četiri grupe mikotoksina (A, B, C i D) koje proizvode vrste iz roda *Fusarium*. Veoma su stabilni i ostaju u hrani za životinje dugi niz godina u visokim koncentracijama. Zdravstveni problemi na farmama goveda najčešće

su povezani sa kontaminacijom hrane deoksinivalenolom (DON-om), mikotoksinom iz grupe B. Dugotrajna izloženost niskim nivoima DON-a dovodi do značajnog smanjenja konzumacije hrane (najraniji znak), smanjene proizvodnje mleka/mesa i slabljenja imuniteta. Česta je pojava dijareje, kao rezultat morfoloških i funkcionalnih oštećenja sluzokože creva. DON izaziva i poremećaje u fermentaciji buraga i smanjuje količinu svarljivih proteina koji dospevaju do dvanaestopalačnog creva. Tovna goveda su tolerantnija na više nivoe DON-a u hrani u poređenju sa mlečnim govedima (Radko i sar., 2026). T-2 i HT-2 toksini iz grupe A spadaju među najtoksičnije trihotecene. Klinički simptomi trovanja kod goveda uglavnom su slični kao kod DON-a (Schrenk i sar., 2022). Ovi trihoteceni ne bi smeli da se nađu u hrani za krave u laktaciji i dojilje, jer mogu proći kroz placentu i dovesti do pobačaja, a učestalija neonatalna uginuća povezuju se sa hranjenjem majki plesnivim kukuruzom (Radko i sar., 2026).

Gljivice roda *Fusarium* proizvode i zearalenon (ZEA), mikotoksin sa estrogenim dejstvom. Klinički znaci uključuju produženi ili izostali estrus, edem vulve, povećan vaginalni iscedak, hipertrofiju mlečnih žlezda, povećanu učestalost pobačaja, neplodnosti i smanjenog libida. Ženska grla su osetljivija na ZEA u hrani. Metaboliti ZEA se izlučuju u žuči i urinom, a u nekim slučajevima i fecesom. Dugotrajno hranjenje krava hranom kontaminiranom visokim nivoima ZEA može dovesti do prisustva ovog mikotoksina u mleku (Radko i sar., 2026).

Fusarium i neke *Aspergillus* vrste proizvode fumonizine, među kojima FB1 pokazuje najveću toksičnost, a FB2 je potencijalni kancerogen. Fumonizini su termički stabilna jedinjenja, koja se prvenstveno izlučuju fecesom. Prisustvo kombinovanih koncentracija fumonizina B1 i B2 u hrani rezultira smanjenim prinosom i kvalitetom mleka, smanjenom svarljivošću hrane i oslabljenim imunitetom kod mlečnih krava (Radko i sar., 2026).

U hrani može istovremeno da bude prisutno više mikotoksina (npr. fumonizini, deoksinivalenol i zearalenon koje proizvode gljivice iz roda *Fusarium*), što može da dovede do aditivnih (sinergističkih) efekata sa hroničnim, iscrpljujućim kliničkim simptomima i mogućim uginućem, čak i kada koncentracije pojedinačnih mikotoksina ne premašuju propisane granice (Obremski i sar., 2009; Radko i sar., 2026). Dodatni izazov je i pojava novih, kao i konjugovanih oblika (*maskirani* ili *vezani mikotoksini*), koji mogu pokazivati različitu bioraspoloživost i toksičnost u poređenju sa svojim matičnim jedinjenjima. Od mikotoksina koji su identifikovani u skorije vreme u hrani za životinje, izloženost preživara eniatinima (ENN) A, A1, B i B1 i bovericinu (BEA), koje prvenstveno proizvode gljivice roda *Fusarium*, može imati negativan uticaj na reprodukciju i imuni odgovor (Radko i sar., 2026).

ZAKLJUČAK

Održavanje visokog nivoa higijene hrane za životinje u praksi nailazi na brojne izazove. Oni su delom rezultat činilaca na koje je teže uticati, kao što su meteorološki uslovi i sve veći broj novoizolovanih patogena, ali u najvećoj meri su

podređeni ljudskom faktoru i primenjenim tehnologijama na farmi. Otežavajući faktor je i sve veće zagađenje životne sredine, tako da se čak i uz pravilnu primenu dobrih odgajivačkih i higijenskih praksi ne može u potpunosti obezbediti hrana i voda za životinje bez određenih primesa.

Propusti u vezi higijene hrane, kod goveda mogu imati za posledicu stanja koja se ponekad zanemaruju, moguće zbog blagih simptoma i nedovoljne svesti o mogućim posledicama, ili se primarno povezuju sa drugim uzrocima, na primer, kada je u pitanju šepavost. Osim toga, simptomi su obično nespecifični, jer uključuju metaboličke probleme, hormonski disbalans, upalna stanja, oslabljen imuni odgovor, poremećaje varenja, smanjenu produktivnost, reproduktivne probleme i promene u ponašanju. Ukoliko se ne uzmu u obzir svi aspekti ishrane kao mogući razlog za ova stanja, mere preduzete u pravcu ublažavanja simptoma kod životinja i povećanja proizvodnje ne mogu doneti zadovoljavajući rezultat.

Iz svega navedenog može se zaključiti da je, generalno, za upravljanje ishranom farmskih životinja i rešavanje problema koji mogu biti povezani sa higijenom hrane za životinje, potreban sveobuhvatan, planski pristup i stalan adekvatan nadzor. Značajan doprinos može dati edukacija odgajivača, stručnjaka i šire javnosti u pogledu higijene hrane za životinje, prepoznavanja simptoma bolesti i promenjenog ponašanja goveda, značaja zaštite životne sredine, potencijalnim zagađivačima, pravilnom odlaganju otpada, alternativama za korišćenje manje štetnih hemijskih supstanci i sličnih tema.

Zahvalnica

Rad je podržan sredstvima Ministarstva nauke, tehnološkog razvoja i inovacija Republike Srbije (Ugovor 451-03-34/2026-03/200116).

LITERATURA

1. Anon. 2010. Pravilnik o opštim i posebnim uslovima higijene hrane za životinje. „Sl. glasnik RS” br. 78/2010.
2. Anon. 2017. Pravilnik o kvalitetu hrane za životinje. „Sl. glasnik RS” 4/2010, 113/2012, 27/2014, 25/2015, 39/2016 i 54/2017.
3. Anon. 2019. Zakon o bezbednosti hrane. „Sl. glasnik RS” br. 41/2009 i 17/2019.
4. Borreani G., Tabacco E., Schmidt R.J., Holmes B.J., Muck R.E. 2018. Silage review: Factors affecting dry matter and quality losses in silages, *Journal of Dairy Science*, 101(5): 3952-3979. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-13837>
5. Borreani G., Ferrero F., Nucera D., Casale M., Piano S., Tabacco E. 2019. Dairy farm management practices and the risk of contamination of tank milk from *Clostridium spp.* and *Paenibacillus spp.* spores in silage, total mixed ration, dairy cow feces, and raw milk. *Journal of Dairy Science*, 102(9): 8273-8289. <https://doi.org/10.3168/jds.2019-16462>
6. Braun U. 2024. Traumatic Reticuloperitonitis in Cattle. MSD Veterinary manual. <https://www.msdevetmanual.com>
7. Braun U., Milicevic A., Forster E., Irmer M., Reichle S., Previtali M., Gautschi A., Steininger K., Thoma R., Zeller S., Lazzarini A., Manzoni C., Ohlerth S. 2009. An unusual cause of traumatic reticulitis/reticuloperitonitis in a herd of Swiss dairy cows nearby an airport. *Schweizer Archiv für Tierheilkunde*, 151(3): 127-131. <https://doi.org/10.1024/0036-7281.151.3.127>

8. Bunčić S. (ur.) 2009. Vodič za razvoj i primenu preduslovnih programa i principa HACCP u proizvodnji hrane. I. Priroda i opšti principi preduslovnih programa i HACCP planova. Ministarstvo poljoprivrede, šumarstva i vodoprivrede – Uprava za veterinu, R Srbija.
9. de Souza V.L., Pinto A.M.S.V., Queiroz C.R.R., de Castro M.B., Borges J.R.J., Soto-Blanco B., Câmara A.C.L. 2021. Traumatic reticuloperitonitis combined with embolic pneumonia and hepatitis as unusual symptoms of foreign body syndrome in a Holstein bull. *Veterinary Medicine and Science*, 7(1):136-140. <https://doi.org/10.1002/vms3.341>
10. Cocolin L., Innocente N., Biasutti M., Comi G. 2004. The late blowing in cheese: a new molecular approach based on PCR and DGGE to study the microbial ecology of the alteration process. *International Journal of Food Microbiology*, 90(1): 83-91. [https://doi.org/10.1016/S0168-1605\(03\)00296-4](https://doi.org/10.1016/S0168-1605(03)00296-4)
11. Duresa L.A., Kiteša J.D., Feyissa C.T. 2022. Prevalence of indigestible foreign bodies and its associated potential risk factors in rumen and reticulum of domestic ruminants at Bishoftu Elfora Export Abattoir. *Veterinary Medicine and Science*, 8: 2623–2630. <https://doi.org/10.1002/vms3.952>
12. FAO 2012. Impact of animal nutrition on animal welfare – Expert Consultation 26–30 September 2011, FAO Headquarters, Rome, Italy. Animal Production and Health Report. No. 1. Rome. <https://www.fao.org/4/i3148e/i3148e00.pdf>
13. García J.A., Micheloud J.F., Campero C.M., Morrell E.L., Odriozola E.R., Moreira A.R. 2016. Enteric listeriosis in grazing steers supplemented with spoiled silage. *Journal of Veterinary Diagnostic Investigation*, 28(1):65-9. <https://doi.org/10.1177/1040638715616658>
14. Gawande V., Heinzl I. 2023. Feed hygiene protects animals and humans. EW nutrition. <https://ew-nutrition.com>
15. Hof H. 2016. Mycotoxins in milk for human nutrition: Cow, sheep and human breast milk. *GMS Infectious Diseases*, 4, Doc03. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/30671317/>
16. Hunt K., Drummond N., Murphy M., Butler F., Buckley J., Jordan K. 2012. A case of bovine raw milk contamination with *Listeria monocytogenes*. *Irish Veterinary Journal*, 65:13. <http://www.irishvetjournal.org/content/65/1/13>
17. Jouany J.P., Yiannikouris A., Bertin G. 2009. Risk assessment of mycotoxins in ruminants and ruminant products. *Options Méditerranéennes, Series A*, 85: 205–224.
18. Lange M.E., Uwiera R.R.E., Inglis G.D. 2022. Enteric *Escherichia coli* O157:H7 in Cattle, and the Use of Mice as a Model to Elucidate Key Aspects of the Host-Pathogen-Microbiota Interaction: A Review. *Frontiers in Veterinary Science*, 9:937866. <https://doi.org/10.3389/fvets.2022.937866>
19. Kosuth M., Mason S.A., Wattenberg E.V. 2018. Anthropogenic contamination of tap water, beer, and sea salt. *PLoS ONE*, 13(4): e0194970. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0194970>
20. Llonch P., Mainau E., Ipharraguerre I.R., Bargo F., Tedó G., Blanch M., Manteca X. 2018. Chicken or the Egg: The Reciprocal Association Between Feeding Behavior and Animal Welfare and Their Impact on Productivity in Dairy Cows. *Frontiers in Veterinary Science*, 5:305. <https://doi.org/10.3389/fvets.2018.00305>
21. Mammo F.K., Amoah I.D., Gani K.M., Pillay L., Ratha S.K., Bux F., Kumari S. 2020. Microplastics in the environment: Interactions with microbes and chemical contaminants. *Science of the Total Environment*, 743:140518. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140518>
22. McGuirk S.M. 2008. Disease Management of Dairy Calves and Heifers. *Veterinary Clinics Food Animal Practice*, 24: 139–153. doi:10.1016/j.cvfa.2007.10.003
23. Nikvand A.A., Rashnavadi M., Tabandeh M.R. 2018. A study of pica in cattle in Iran. *Journal of Veterinary Behavior*, 23: 15-18. <https://doi.org/10.1016/j.jveb.2017.10.006>
24. Obremski K., Zielonka Ł., Gajęcka M., Jakimiuk E., Gajęcki M. 2009. Mycotoxins—Dairy cattle breeding problem. A case report. *Bulletin of the Veterinary Institute in Puławy*, 53: 221–224.
25. Patrucco S.G., Abid K., Rivoira L., Bruzzoniti M.C., Bracco P., Kaihara H., Barbera S., Tassone S. 2025. Microplastics contamination in ruminant feeds of Northwestern Italy: a preliminary assessment. *Science of the Total Environment*, 1001:180479. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2025.180479>

26. Queiroz O.C.M., Ogunade I.M., Weinberg Z., Adesogan A.T. 2018. Silage review: Foodborne pathogens in silage and their mitigation by silage additives. *Journal of Dairy Science*, 101(5): 4132-4142. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-13901>
27. Radko L., Dudek K., Żakowicz P., Smulski S., Kozdrowski R. 2026. Health Problems with Mycotoxins in Cattle — A Review. *Molecules*, 31(1), 43. <https://doi.org/10.3390/molecules31010043>
28. Relić R., Hristov S. 2016. Praktikum iz zoohigijene. Univerzitet u Beogradu, Poljoprivredni fakultet.
29. Rings D.M. 2004. Clostridial disease associated with neurologic signs: tetanus, botulism, and enterotoxemia, *Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice*, 20(2): 379-391. <https://doi.org/10.1016/j.cvfa.2004.02.006>.
30. Rodriguez-Mozaz S., Chamorro S., Marti E., Huerta B., Gros M., Sánchez-Melsió A., Borrego C.M., Barceló D., Balcázar J.L. 2015. Occurrence of antibiotics and antibiotic resistance genes in hospital and urban wastewaters and their impact on the receiving river. *Water Research*, 69: 234-242. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2014.11.021>
31. Schrenk D., Bignami M., Bodin L., Chipman J.K., Del Mazo J., Grasl-Kraupp B., Hogstrand C., Leblanc J.C., Nielsen E., Ntzani E., et al. 2022. Assessment of information as regards the toxicity of T-2 and HT-2 toxin for ruminants. *EFSA Journal*, 20, e07564. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2022.7564>
32. Semieka M.A. 2015. Standing Position Esophagotomy in Cattle and Buffaloes. *Journal of Advanced Veterinary Research*, 5(4): 176-178.
33. Shivaraju S., Darshan K.G.T., Shivakumar M.U., Divya M., Kalaiselvan E., Swapan K.M., Aswathy G. 2021. Impaction of the oesophagus in bovine and its surgical management in field condition – A report of 4 cases. *Large Animal Review*, 27(2): 109-111.
34. Sheppard G. 2024. Listeriosis in cattle. Texas A&M Veterinary Medical Diagnostic Lab. <https://tvmdl.tamu.edu/case-studies/listeriosis-in-cattle/>
35. Smith R.E. 1976. *Listeria monocytogenes*—Induced abortion. *Theriogenology*, 5(3):123-127, [https://doi.org/10.1016/0093-691X\(76\)90034-0](https://doi.org/10.1016/0093-691X(76)90034-0)
36. Su M., Gan S., Gao R., Du C., Wei C., Shah A.M., Ma J. 2025. Toxicity Mechanisms of Microplastic and Its Effects on Ruminant Production: A Review. *Biomolecules*, 15(4):462. <https://doi.org/10.3390/biom15040462>
37. Urli S., Corte Pause F., Crociati M., Baufeld A., Monaci M., Stradaoli G. 2023. Impact of Microplastics and Nanoplastics on Livestock Health: An Emerging Risk for Reproductive Efficiency. *Animals*, 13(7): 1132. <https://doi.org/10.3390/ani13071132>
38. Vukašinović M., Lević J., Sredanović S., Đuragić O. 2007. Projekat „Dobra proizvođačka praksa u proizvodnji hrane za životinje – GMP“, Veterinarski specijalistički institut "Kraljevo".
39. Yang Y., Liu G., Song W., Ye C., Lin H., Li Z., Liu W. 2019. Plastics in the marine environment are reservoirs for antibiotic and metal resistance genes. *Environment International*, 123: 79-86. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2018.11.061>

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 mehanički prenosioци patogena, 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 gustinom 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*.

Originalni naučni rad DOI: 10.5937/DDD26253M

KVANTIFIKACIJA BIOSIGURNOSNOG RIZIKA U PRIMARNOJ PROIZVODNJI BROJLERA KAO ALAT ZA KONTROLU *CAMPYLOBACTER* SPP.

QUANTIFICATION OF BIOSECURITY RISK IN PRIMARY BROILER PRODUCTION AS A TOOL FOR *CAMPYLOBACTER* SPP. CONTROL

**Jelena Maletić^{1*}, Jasna Kureljušić¹, Nemanja Zdravković¹,
Oliver Radanović¹, Vladimir Radosavljević¹, Nenad Katanić²,
Branislav Kureljušić¹**

Kratak sadržaj

Campylobacter spp. predstavlja vodeći uzročnik bakterijskih gastroenteritisa u Evropi, pri čemu se kontrola infekcije u proizvodnji brojlera dominantno oslanja na monitoring koji se sprovodi na klanici, dok su mogućnosti ranog upravljanja rizikom na nivou primarne proizvodnje ograničene. Cilj ovog istraživanja bio je razvoj i validacija integrisanog modela za kvantifikaciju biosigurnosnog rizika na farmi brojlera i njegova povezanost sa prisustvom *Campylobacter* spp. u proizvodnom lancu. Istraživanje je sprovedeno u tri komercijalne farme iste proizvodne kompanije i obuhvatilo je procenu biosigurnosti primenom Biocheck. UGent™ sistema, mikrobiološki monitoring i razvoj višekriterijumskog (MADM) modela za procenu rizika. Biosigurnosne ocene (skorovi) su transformisani u jedinstveni indeks rizika (R) primenom ponderisanog modela koji integriše 11 kategorija biosigurnosti, podeljenih na spoljašnju (0,60) i unutrašnju biosigurnost (0,40), u skladu sa njihovim epizootiološkim značajem. Model je validovan u realnim uslovima proizvodnje kroz poređenje izračunatog rizika sa laboratorijskim nalazima *Campylobacter* spp. u fecesu i na koži vrata trupova brojlera. Rezultati su pokazali da viši nivoi biosigurnosti koreliraju sa smanjenim mikrobiološkim nalazima, dok model istovremeno omogućava diskriminaciju farmi različitog epizootiološkog statusa. Prisustvo patogena nije bilo striktno linearno povezano sa numeričkim indeksom rizika, što ukazuje na kompleksnu i multifaktorijalnu

¹ Dr sc. Jelena Maletić, naučni suradnik; dr sc. Jasna Kureljušić, viši naučni suradnik; dr sc. Nemanja Zdravković, viši naučni suradnik; dvm spec. Oliver Radanović, stručni savetnik; dr sc. Vladimir Radosavljević, naučni savetnik; dr sc. Branislav Kureljušić, naučni savetnik, Naučni institut za veterinarstvo Srbije, 11000 Beograd, R. Srbija;

² Dr sc. Nenad Katanić, naučni saradnik, Ministarstvo poljoprivrede, šumarstva i vodoprivrede, 11000 Beograd, R. Srbija

* e-mail kontakt osobe: jelena.maletic@nivs.rs

prirodu kolonizacije. Razvijeni model predstavlja integrisani alat za procenu biosigurnosnog rizika koji prevazilazi deskriptivne pristupe Biocheck.UGent™ sistema, i omogućava kvantitativno i epizootiološko predstavljanje procenjenog rizika. Njegova primena omogućava prelazak sa reaktivnog na proaktivni pristup u upravljanju biosigurnim merama na farmama brojlera i predstavlja osnovu za razvoj ciljanih intervencija u oblasti biosigurnosti na farmama.

Ključne reči: *Campylobacter* spp., brojleri, biosigurnost, višekriterijumska analiza, procena rizika

Abstract

Campylobacter spp. is a leading cause of bacterial gastroenteritis in Europe. In broiler production, infection control predominantly relies on monitoring conducted at slaughterhouses, while opportunities for early risk management at the primary production level remain limited. This study aimed to develop and validate an integrated model for quantifying biosecurity risk on broiler farms and to examine its association with the presence of *Campylobacter* spp. within the production chain. The study was conducted on three commercial farms belonging to the same production company and included a biosecurity assessment using the Biocheck.UGent™ system, microbiological monitoring, and the development of a multi-criteria decision-making (MADM) model for risk evaluation. Biosecurity scores were transformed into a single risk index (R) using a weighted model integrating 11 biosecurity categories, divided into external (0.60) and internal biosecurity (0.40), according to their epizootiological relevance. The model was validated under real production conditions by comparing calculated risk values with laboratory findings of *Campylobacter* spp. in feces and on broiler neck skin. The results demonstrated that higher levels of biosecurity were associated with reduced microbiological detection, while the model simultaneously enabled discrimination between farms with different epizootiological statuses. The presence of the pathogen was not strictly linearly associated with the numerical risk index, indicating the complex and multifactorial nature of colonization. The developed model represents an integrated tool for biosecurity risk assessment that extends beyond the descriptive approach of the Biocheck.UGent™ system, enabling a quantitative and epizootiological representation of estimated risk. Its application facilitates a shift from a reactive to a proactive approach to managing biosecurity measures on broiler farms and provides a foundation for developing targeted biosecurity interventions.

Keywords: *Campylobacter* spp., broilers, biosecurity, multi-criteria analysis, risk assessment

UVOD

Campylobacter spp. predstavlja jedan od vodećih uzročnika bakterijskih gastroenteritisa u Evropi i najčešće prijavljivanu zoonozu u okviru Evropske unije od 2005. godine (EFSA i ECDC, 2025). Epizootiološki značaj ovog patogena proizlazi iz njegove široke distribucije u primarnoj proizvodnji živine, niske

infektivne doze i efikasnog prenosa kroz lanac proizvodnje hrane, pri čemu je konzumacija mesa brojlera identifikovana kao primarni put infekcije kod ljudi (Teunis i sar., 2018; EFSA i ECDC, 2025).

Kontrola *Campylobacter* spp. u Evropskoj uniji zasniva se na integrisanom pristupu, koji obuhvata celokupan lanac proizvodnje hrane „od farme do stola”. Evropska regulativa je 2018. godine doživela značajnu promenu uvođenjem mikrobiološkog kriterijuma higijene procesa (PHC) za *Campylobacter* na trupovima brojlera u okviru Uredbe (EC) br. 2073/2005 (EC, 2005; 2017b). Mera predstavlja prvu pravno obavezujuću intervenciju na nivou EU i uvedena je kao odgovor na ranija istraživanja koja su pokazala visoku stopu kontaminacije trupova u Evropi (EFSA, 2010a, b). Ovaj pristup, iako je standardizovan i široko se primenjuje, pre svega predstavlja stanje u završnoj fazi proizvodnje i ne pruža direktan uvid u procese kolonizacije i puteve prenosa u primarnoj proizvodnji.

U Republici Srbiji, program kontrole mesa i proizvoda od mesa, propisuje obavezno ispitivanje trupova brojlera na prisustvo *Campylobacter* spp. („Službeni glasnik RS”, br. 30/2024). Međutim, program se takođe primarno odnosi na aktivnosti koje se sprovode tokom faze klanja. Ovakav pristup, iako pravno usklađen, ostaje ograničen u smislu mogućnosti utvrđivanja izvora kontaminacije i ranih epizootičkih signala na nivou farme.

Savremeni pristupi u kontroli *Campylobacter* spp. sve više ukazuju na to da se ključni momenti kolonizacije jata odvijaju u primarnoj proizvodnji, u kojoj interakcija između biosigurnosnih mera, okruženja i praksi upravljanja određuje verovatnoću unosa i perzistencije patogena (FAO/WHO, 2024). Zbog toga se razvijaju modeli koji prelaze iz deskriptivnog u kvantitativni i prediktivni okvir procene rizika. U tom kontekstu, osnovni problem ovog istraživanja jeste odsustvo integrisanog, kvantitativnog modela koji omogućava povezivanje biosigurnosnog statusa farme sa realnim rizikom od kolonizacije *Campylobacter* spp. i njegovim posledičnim efektima u finalnoj fazi proizvodnje.

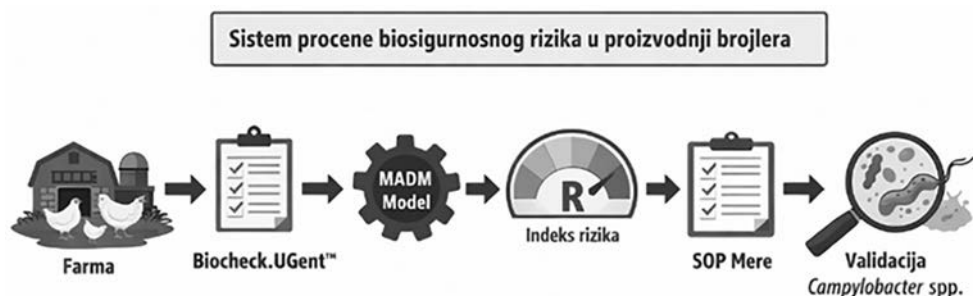
Ovo istraživanje uvodi integrisani pristup u proceni biosigurnosnog rizika u proizvodnji brojlera, koji kombinuje standardizovani Biocheck.UGent™ sistem sa višekriterijumskim metodom odlučivanja (MADM), kao i transformacijom ocena primenjenih biosigurnosnih mera u kvantitativni epizootički indeks rizika. Za razliku od postojećih pristupa koji se zasnivaju na deskriptivnom prikazu rezultata ocene primenjenih biosigurnosnih mera, razvijeni model omogućava njihovu matematičko objedinjavanje u jedinstvenu numeričku meru rizika (R), uz eksplicitno uključivanje težinskih koeficijenata zasnovanih na epizootičkom značaju pojedinačnih kategorija. Dodatni doprinos rada jeste povezivanje modela sa mikrobiološkim podacima iz realnih uslova proizvodnje. Na taj način se uspostavlja veza između procenjene biosigurnosti i stvarnog prisustva *Campylobacter* spp. u lancu proizvodnje. Ovaj pristup prevazilazi ograničenja postojećih programa kontrole na nivou klanice, uvodeći preventivni, prediktivni okvir za upravljanje biosigurnosnim rizikom na nivou primarne proizvodnje.

MATERIJAL I METODE

Dizajn istraživanja

Istraživanje je sprovedeno kao kombinovani longitudinalno-analitički dizajn na tri komercijalne farme brojlera iste proizvodne kompanije. Cilj je bio kvantifikacija biosigurnosnog rizika, identifikacija kritičnih tačaka i njegova validacija u odnosu na prisustvo *Campylobacter* spp.

Istraživanje je obuhvatilo: procenu biosigurnosti, program mikrobiološke kontrole, razvoj i validaciju višekriterijumskog modela rizika, i integraciju modela u operativne biosigurnosne protokole (slika 1.).



Slika 1. Sematski prikaz sistema procene biosigurnosnog rizika u proizvodnji brojlera

Procena biosigurnosti

Procena biosigurnosti sprovedena je primenom Biocheck.UGent™ sistema, koji obuhvata 79 pitanja grupisanih u 11 kategorija, u okviru spoljašnje i unutrašnje biosigurnosti. Svaka kategorija ocenjena je na skali 0-100, prema standardizovanoj metodologiji (<https://biocheckgent.com>). Tokom evaluacije, odgovori su dodatno verifikovani opservacijom na terenu radi povećanja pouzdanosti podataka.

Mikrobiološka ispitivanja

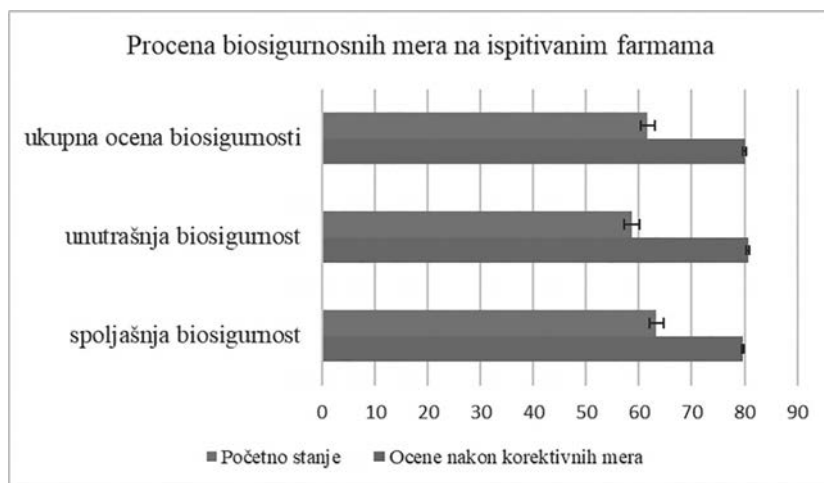
Detekcija *Campylobacter* spp. sprovedena je prema standardu SRPS EN ISO 10272-1:2017. Uzorci fecesa su analizirani direktnim zasejavanjem na mCCD agar u mikroaerofilnim uslovima na 41,5 °C, nakon čega su sumnjive kolonije identifikovane na osnovu morfologije, mikroskopske pokretljivosti i oksidazne aktivnosti, uz dalju biohemijsku potvrdu (katalaza, hidroliza hipurata i indoksil-acetata). Za kvantifikaciju kontaminacije kože vrata primenjena je metoda u skladu sa standardima SRPS EN ISO 10272-1:2017 i SRPS EN ISO 10272-2:2017, a rezultati su interpretirani u skladu sa važećim Pravilnikom o mikrobiološkim kriterijumima za hranu („Službeni glasnik RS”, br. 30/2024) i procesnim higijenskim kriterijumom (PHC) za *Campylobacter* spp. na trupovima brojlera nakon hlađenja, pri čemu referentna vrednost iznosi 1000 CFU/g. Vrednosti iznad ove granice ukazuju na nedovoljnu kontrolu higijene procesa klanja i potrebu za sprovođenjem korektivnih mera.

STATISTIČKA ANALIZA

Podaci iz upitnika su objedinjeni u tabelu u programu Microsoft Excel®. Deskriptivnom statistikom procenjen je nivo primene biosigurnosnih mera, kao i koje se mere najviše, a koje najmanje sprovode. Radi utvrđivanja mogućih povezanosti i razlika između farmi, odgovori su dalje analizirani korišćenjem t-testa za nezavisne uzorke ($\alpha = 0,05$) u softveru GraphPad Prism v9.4.1.

REZULTATI

Početnom analizom je utvrđen srednji nivo biosigurnosti na svim farmama (slika 2.), sa izraženim varijacijama u ocenama između pojedinih kategorija. Najniže vrednosti zabeležene su u kategoriji upravljanja stajnjakom i leševima, procedura čišćenja i dezinfekcije, kao i u segmentu kontrole vode i organizacije kretanja ljudi i vozila.



Slika 2. Procena biosigurnosnih mera na ispitivanim farmama

U okviru spoljašnje biosigurnosti, dominantni nedostaci su se odnosili na:

- ✓ neadekvatno upravljanje organskim otpadom,
- ✓ nedovoljno definisane biosigurnosne zone (ukrštanje čistih i prljavih puteva na farmi),
- ✓ nedoslednu kontrolu ulaza transportnih vozila i posetilaca.

Unutrašnja biosigurnost bila je ograničena pre svega neoptimalnim protokolima čišćenja i dezinfekcije, kao i periodima odmora između dva proizvodna ciklusa.

Nakon definisanja i sprovođenja korektivnih mera zabeleženo je statistički značajno poboljšanje ukupne ocene primenjenih biosigurnosnih mera ($p = 0,0288$), pri čemu je najizraženije povećanje ocene uočeno u kategorijama koje se odnose na upravljanje stajnjakom i leševima, procedurama čišćenja i dezinfekcije, i kontroli vode i hrane.

Rezultati mikrobioloških ispitivanja ukazuju na efekat sprovedenih biosigurnosnih mera. *Campylobacter* nije izolovan iz uzoraka fecesa ni u jednom od ispitivanih objekata, što ukazuje na odsustvo kolonizacije jata u trenutku klanja. Analizom uzoraka kože vrata utvrđeno je da su svi ispitani uzorci (100%, 180/180) bili negativni ili su sadržali manje od 10 CFU/g *Campylobacter* spp., što ukazuje na nizak nivo kontaminacije trupova tokom procesa klanja.

Rezultati ove faze korišćeni su kao osnova za identifikaciju ključnih faktora rizika i razvoj modela procene biosigurnosnog rizika u narednoj fazi.

RAZVOJ MODELA BIOSIGURNOSNOG RIZIKA

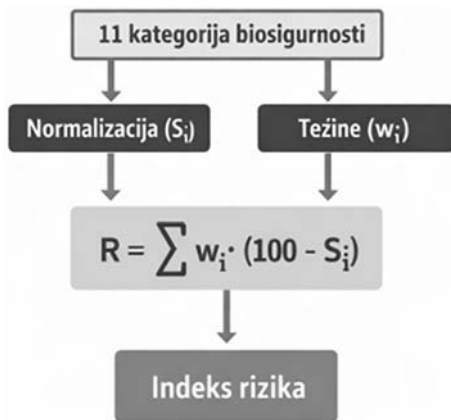
Na osnovu rezultata prve faze istraživanja identifikovane su kategorije u okviru biosigurnosnih protokola koje su imale najveća odstupanja i varijabilnost, posebno one koje imaju direktan ili indirektan uticaj na pojavu i perzistenciju *Campylobacter* spp. u sistemu proizvodnje. Rezultati pokazuju da biosigurnost ne deluje kroz odvojene komponente, već kroz međusobno povezane faktore koji zajedno određuju epizootiološki ishod. Ukupni biosigurnosni rizik ne potiče iz pojedinačnih faktora, već iz njihovog međusobnog delovanja, pri čemu kategorije različito doprinose ukupnom riziku. Na osnovu objedinjavanja ovih podataka definisani su težinski koeficijenti koji odražavaju značaj pojedinih kategorija, a njihova primenljivost dodatno je potvrđena validacijom modela. Za kvantifikaciju zajedničkog doprinosa riziku uveden je višekriterijumski pristup odlučivanju (*Multi-Criteria Decision Making* – MCDM), koji omogućava transformaciju biosigurnosnog sistema u jedinstvenu numeričku meru rizika. Metodološki okvir zasniva se na MCDM pristupu, koji se primenjuje na procenu unapred definisanih kriterijuma, kakvi su biosigurnosni indikatori Biocheck. UGent sistema (Mourits i sar., 2010).

U okviru ovog pristupa sprovedeni su sledeći koraci: definisanje cilja (procena biosigurnosnog rizika), izbor kriterijuma (biosigurnosne kategorije), kvantifikacija (skorovi 0-100), određivanje težina, objedinjavanje u jedinstveni indeks i interpretacija rezultata. Na ovaj način biosigurnosne mere se sagledavaju kroz njihov relativni doprinos u ukupnom riziku, što omogućava kvantitativnu analizu kompleksnog epizootiološkog sistema i postavlja osnovu za matematičku formulaciju modela. Model je u narednoj fazi validovan u realnim uslovima proizvodnje, čime je omogućena njegova praktična primena u donošenju odluka na nivou farme.

Polazna osnova je Biocheck.UGent sistem, koji omogućava standardizovano bodovanje biosigurnosti, ali bez direktnog tumačenja u pogledu rizika. Zbog toga je izvršena transformacija skorova u jedinstveni indeks rizika (slika 3.). Procena rizika obuhvata verovatnoću unosa, uspostavljanja i širenja patogena, kao i njegove posledice (WOAH, 2021), pa model ima karakter polu-kvantitativne procene rizika.

Ukupni rizik (R) definisan je kao:
$$R = \sum_{i=1}^n w_i \cdot (100 - S_i)$$

Gde je R ukupan biosigurnosni rizik (0-100), S_i skor biosigurnosti za kategoriju i (0-100), w_i – težinski koeficijent značaja kategorije, $(100 - S_i)$ je inverzna vrednost koja predstavlja rizik.



Slika 3. Šematski prikaz modela za kvantifikaciju biosigurnosnog rizika

Model obuhvata 11 biosigurnosnih kategorija, strukturisanih u:

- spoljašnju biosigurnost (0,60),
- unutrašnju biosigurnost (0,40).

Ova podela ukazuje na dominantnu ulogu spoljašnjih faktora u inicijalnoj kolonizaciji jata.

TEŽINSKI KOEFICIJENTI I EPIZOOTIOLOŠKA

Distribucija težina definisana je na osnovu literaturnih podataka i ekspertске procene. Horizontalni prenos *Campylobacter* spp. iz spoljašnjih izvora identifikovan je kao primarni put infekcije (Kaakoush i sar., 2015; Sahin i sar., 2002), pri čemu su voda, hrana, vektori i ljudski faktor ključni putevi prenosa. Unutrašnja biosigurnost ima ulogu u ograničavanju sekundarnog širenja patogena unutar objekta, posebno kroz čišćenje i dezinfekciju, higijenu osoblja i period odmora između dva proizvodna ciklusa (Luyckx i sar., 2015; EFSA, 2020). U skladu s tim, uveden je odnos 0,60:0,40 između spoljašnje i unutrašnje biosigurnosti.

VALIDACIJA MODELA

Model je validovan na više farmi u okviru iste kompanije. Proračun i transformacija podataka za izračunavanje ukupnog rizika sproveden je u programu Microsoft Excel. Dobijene vrednosti ukupnog rizika kretale su se u rasponu $R=13,83-23,52$, pri čemu su uočene razlike između farmi u skladu sa nivoom primene biosigurnosnih mera. Rezultati mikrobioloških analiza, pokazali su da prisustvo *Campylobacter* spp. nije u linearnoj vezi sa numeričkim indeksom rizika, već odražava složenu, multifaktorsku epizootiologiju infekcije. Uprkos tome,

model je pokazao sposobnost razlikovanja proizvodnih sistema različitog nivoa biosigurnosti, čime je potvrđena njegova epizootiološka i praktična primenljivost.

UVOĐENJE MODELA U OPERATIVNU PRAKSU

Na osnovu modela razvijena je integrisana standardna operativna procedura (SOP), u kojoj su biosigurnosne mere usmerene na kategorije sa najvećim doprinosom u ukupnom riziku. Ovakav pristup omogućava da se procena rizika neposredno primeni u praksi, odnosno da se efikasno upravljanje biosigurnošću usmeri sa opšteg, na ciljano sprovođenje kontrolnih mera.

DISKUSIJA

Rezultati ovog istraživanja pokazuju da je biosigurnosni rizik u proizvodnji brojlera složen, višefaktorski sistem u kojem pojedinačne kategorije ne deluju odvojeno, već su međusobno povezane i zajedno utiču na verovatnoću unosa i održavanja bakterija iz roda *Campylobacter* spp. Takav nalaz je u saglasnosti sa savremenim epizootiološkim shvatanjima, prema kojima se biosigurnost posmatra kao dinamičan sistem, a ne kao skup međusobno nezavisnih mera. (EFSA BIOHAZ Panel, 2011; Newell i sar., 2011).

Standardni Biocheck.UGent™ sistem predstavlja široko primenjivan alat za procenu biosigurnosti u živinarskoj proizvodnji, pri čemu se u dosadašnjim studijama njegova primena uglavnom zasnivala na deskriptivnoj interpretaciji rezultata i poređenju („benchmarking”) između farmi (Mourits i sar., 2010; Malletić i sar., 2023; Kabeta i sar., 2024). Međutim, ovakav pristup ne omogućava neposredno epizootiološko tumačenje u smislu procene rizika, niti povezivanje biosigurnosnih skorova sa mikrobiološkim ishodima. U tom kontekstu, ključni doprinos ovog istraživanja ogleda se u transformaciji Biocheck skorova u jedinstveni kvantitativni indeks rizika (R), čime se omogućava njihovo direktnije tumačenje u epizootiološkom okviru.

Za razliku od deskriptivnih modela, razvijeni pristup uvodi višekriterijumski okvir odlučivanja, koji omogućava objedinjavanje različitih biosigurnosnih faktora u jedinstvenu numeričku meru. Višekriterijumski modeli su i ranije primenjivani u veterinarskoj epizootiologiji i proceni rizika u stočarskoj proizvodnji, naročito u kontekstu rangiranja farmi i procene zdravstvenog statusa (Saaty, 2008; Mourits i sar., 2010). Međutim, većina postojećih pristupa ostaje ograničena na klasifikaciju i rangiranje sistema, bez jasne veze sa ishodima vezanim za konkretne patogene, kao što je prisustvo *Campylobacter* spp. u proizvodnom lancu.

U literaturi su opisani različiti modeli procene rizika za *Campylobacter* spp. u proizvodnji brojlera, koji se dominantno zasnivaju na statističkim ili determinističkim epizootiološkim pristupima i analiziraju pojedinačne faktore rizika kao što su sezonalnost, higijena, prisustvo vektora ili kontaminacija okoline

(Sahin i sar., 2002; Newell i sar., 2011; Ellis-Iversen i sar., 2012; Kaakoush i sar., 2015; Hakeem i Lu, 2021). Ipak, integracija standardizovanih biosigurnosnih sistema, kao što je Biocheck.UGent™, sa višekriterijumskim modelima procene rizika i njihovom mikrobiološkom verifikacijom i dalje je nedovoljno istražena. Upravo taj nedostatak u literaturi predstavlja osnovni naučni okvir na koji se ovaj rad oslanja.

Dominantna uloga spoljašnje biosigurnosti u inicijalnoj kolonizaciji jata ukazuje da je unos patogena iz okoline ključni epizootiološki događaj. Ovo se može objasniti činjenicom da su glavni putevi transmisije (voda, hrana, vektori i ljudski faktor) direktno povezani sa eksternim pritiskom infekcije (Hald i sar., 2007; Ellis-Iversen i sar., 2012; Tawakol i sar., 2023), dok unutrašnje mere deluju tek nakon uspostavljanja kontaminacije (Gibbens i sar., 2001; Luyckx i sar., 2015). Slični obrasci opisani su u EFSA izveštajima, gde se spoljašnji faktori identifikuju kao primarni izvor infekcije u živinarskoj proizvodnji (EFSA, 2020). Za razliku od ranijih pristupa, razvijeni model omogućava jasno ponderisanje biosigurnosnih kategorija prema njihovom epizootiološkom značaju, pri čemu spoljašnja biosigurnost ima veći udeo u ukupnom riziku (0,60) u odnosu na unutrašnju (0,40). Ovakav odnos odražava dominantnu ulogu faktora unosa u početnoj kolonizaciji jata, što je u skladu sa dostupnim epizootiološki podacima za *Campylobacter* spp. u živinarskoj proizvodnji. Važan nalaz ovog istraživanja jeste da prisustvo *Campylobacter* spp. nije u direktnoj linearnoj vezi sa numeričkim indeksom rizika, već odražava složenu i sporadičnu prirodu infekcije, što je u skladu sa ranijim izveštajima EFSA i dostupnom literaturom koja ukazuje na visoku varijabilnost kolonizacije jata (EFSA BIOHAZ Panel, 2011). Ipak, uočena je jasna sposobnost modela da razlikuje sisteme prema nivou rizika, pri čemu su niže vrednosti indeksa u većini slučajeva povezane sa odsustvom patogena, što ukazuje na njegovu epizootiološku relevantnost.

Posebna vrednost razvijenog pristupa ogleda se u tome što može da funkcioniše kao sistem ranog upozorenja, odnosno da prepozna farme sa povećanim rizikom pre nego što se kontaminacija može uočiti kliničkim pregledom ili analizama na nivou klanice. Time se ostvaruje značajan pomak u odnosu na postojeće sisteme nadzora u klanicama, koji su po svojoj prirodi retrospektivni (FAO/WHO, 2024). Iako model pokazuje dobru operativnu i epizootiološku primenljivost, potrebno je istaći i određena ograničenja. Pre svega, težinski koeficijenti su definisani na osnovu kombinacije ekspertske procene i dostupne literature, što unosi određeni stepen subjektivnosti. Pored toga, model se oslanja na Biocheck.UGent™ sistem, pa njegova tačnost zavisi od doslednosti u primeni i kvaliteta prikupljenih podataka. Takođe, mikrobiološka verifikacija je sprovedena u ograničenom vremenskom periodu i ne obuhvata dugoročne promene u dinamici kolonizacije jata. U tom smislu, budući pravci istraživanja trebalo bi da obuhvate validaciju na većem broju farmi i u različitim proizvodnim sistemima, kao i statističku optimizaciju težinskih koeficijenata. Dodatno, uključivanje sezonskih i klimatskih faktora, kao i razvoj vremenski zavisnih modela rizika, predstavlja

važan pravac daljeg unapređenja. Poseban potencijal ima povezivanje ovakvih modela sa digitalnim sistemima monitoringa u realnom vremenu, kao i njihova integracija sa ekonomskim parametrima proizvodnje, čime bi se omogućila istovremena procena biosigurnosnog i ekonomskog rizika.

ZAKLJUČAK

Razvijen je integrisani višekriterijumski model za procenu biosigurnosnog rizika u proizvodnji brojlerskog mesa, zasnovan na Biocheck.UGent™ sistemu i MADM metodologiji. Model omogućava kvantifikaciju biosigurnosnog statusa i njegovo svodenje na jedinstveni indeks rizika koji se može epizootiološki tumačiti. Validacija u realnim uslovima proizvodnje pokazala je da model može da razlikuje različite nivoe biosigurnosnog rizika i prepozna kritične tačke u sistemu. Model predstavlja dopunu klasičnom mikrobiološkom nadzoru i omogućava prelazak sa reaktivnog na proaktivan pristup upravljanju biosigurnošću u proizvodnji brojlera.

Zahvalnica

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

LITERATURA

1. Ellis-Iversen J, Ridley A, Morris V, Sowa A, Harris J, Atterbury R, Sparks N, Allen V. (2012). Persistent environmental reservoirs on farms as risk factors for *Campylobacter* in commercial poultry. *Epidemiology and Infection*, 140, 916–924. <https://doi.org/10.1017/S095026881100118X>
2. European Commission (EC). (2005). Commission Regulation (EC) No 2073/2005 of 15 November 2005 on microbiological criteria for foodstuffs. Consolidated version 08/03/2020. <http://data.europa.eu/eli/reg/2005/2073/oj>
3. European Commission (EC). (2017). Regulation (EU) 2017/625 of the European Parliament and of the Council of 15 March 2017 on official controls... Consolidated version 28/01/2022. <http://data.europa.eu/eli/reg/2017/625/oj>
4. European Food Safety Authority (EFSA). (2010a). Analysis of the baseline survey on the prevalence of *Campylobacter* in broiler batches... Part A. *EFSA Journal*, 8(3), 1503. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2010.1503>
5. European Food Safety Authority (EFSA). (2010b). Analysis of the baseline survey on the prevalence of *Campylobacter* in broiler batches... Part B. *EFSA Journal*, 8(8), 1522. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2010.1522>
6. European Food Safety Authority (EFSA). (2011). Scientific opinion on *Campylobacter* in broiler meat production. *EFSA Journal*, 9(4), 2105. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2011.2105>
7. European Food Safety Authority (EFSA) & European Centre for Disease Prevention and Control (ECDC). (2025). The European Union One Health 2024 Zoonoses Report. *EFSA Journal*, 23(12), e9759. <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2025.9759>
8. EFSA Panel on Biological Hazards (BIOHAZ) et al. (2020). Update and review of control options for *Campylobacter* in broilers at primary production. *EFSA Journal*, 18(4), e06090.
9. FAO & WHO. (2024). Measures for the control of *Campylobacter* spp. in chicken meat – Meeting report. Microbiological Risk Assessment Series No. 46. Rome. <https://doi.org/10.4060/cc9607en>

10. Gibbens J. C., Pascoe S. J., Evans S. J., Davies R. H., Sayers A. R. (2001). A trial of biosecurity as a means to control *Campylobacter* infection of broiler chickens. *Preventive Veterinary Medicine*, 48(2), 85–99. [https://doi.org/10.1016/S0167-5877\(00\)00189-6](https://doi.org/10.1016/S0167-5877(00)00189-6)
11. Hakeem M. J., Lu X. (2021). Survival and control of *Campylobacter* in poultry production environment. *Frontiers in Cellular and Infection Microbiology*, 10, 615049. <https://doi.org/10.3389/fcimb.2020.615049>
12. Hald B., Sommer H. M., Skovgård H. (2007). Use of fly screens to reduce *Campylobacter* spp. introduction in broiler houses. *Emerging Infectious Diseases*, 13(12), 1951–1953. <https://doi.org/10.3201/eid1312.070488>
13. Kaakoush N. O., Castaño-Rodríguez N., Mitchell H. M., Man S. M. (2015). Global epidemiology of *Campylobacter* infection. *Clinical Microbiology Reviews*, 28(3), 687–720. <https://doi.org/10.1128/CMR.00006-15>
14. Kabeta T., Tolosa T., Nagara A., Chantziaras I., Croubels S., Van Immerseel F., Antonissen G. (2024). Awareness of poultry farmers of interconnected health risks: A Cross-Sectional Study on Mycotoxins, Biosecurity, and Salmonellosis in Jimma, Ethiopia. *Animals*, 14(23), 3441. <https://doi.org/10.3390/ani14233441>
15. Luyckx K., Dewulf J., Van Weyenberg S., et al. (2015). Comparison of sampling procedures. *Poultry Science*, 94(4), 740–749. <https://doi.org/10.3382/ps/pev019>
16. Maletić J., Spalević Lj., Milićević V., Glišić D., Kureljušić B., Kureljušić J., Maletić M. (2023). Assessment of biosecurity measures implemented on broiler farms... *Veterinarski Glasnik*, 77(2), 125–136. <https://doi.org/10.2298/VETGL230403003M>
17. Mourits M. C., van Asseldonk M. A., Huirne R. B. (2010). Multi criteria decision making to evaluate control strategies... *Preventive Veterinary Medicine*, 96(3–4), 201–210. <https://doi.org/10.1016/j.prevetmed.2010.06.010>
18. Newell D. G., Elvers, K. T., Dopfer, D., Hansson, I., Jones, P., James, S., Gittins, J., Stern, N. J., Davies, R., Connerton, I., Pearson, D., Salvat, G., Allen, V. M. (2011). Biosecurity-based interventions and strategies to reduce *Campylobacter* spp. on poultry farms. *Applied and Environmental Microbiology*, 77(24), 8605–8614. <https://doi.org/10.1128/AEM.01090-10>
19. Pravilnik o opštim i posebnim uslovima higijene hrane i mikrobiološkim kriterijumima za hranu. (2024). Službeni glasnik RS, br. 30/2024.
20. Sahin O., Morishita T. Y., Zhang Q. (2002). *Campylobacter* colonization in poultry... *Animal Health Research Reviews*, 3(2), 95–105. <https://doi.org/10.1079/AHRR200244>
21. Saaty T. L. (2008). Decision making with the analytic hierarchy process. *International Journal of Services Sciences*, 1, 83–98. <https://doi.org/10.1504/IJSSCI.2008.017590>
22. SRPS EN ISO 10272-1:2017. Mikrobiologija lanca hrane — Horizontalna metoda za otkrivanje i određivanje broja *Campylobacter* spp. — Deo 1.
23. SRPS EN ISO 10272-2:2017. Mikrobiologija lanca hrane — Horizontalna metoda za otkrivanje i određivanje broja *Campylobacter* spp. — Deo 2.
24. Tawakol M. M., Nabil N.M., Samir A., M H.H., Yonis A.E., Shahein M.A., Elsayed M.M. (2023). The potential role of migratory birds in the transmission of pathogenic *Campylobacter*. *BMC Microbiology*, 23, 66. <https://doi.org/10.1186/s12866-023-02794-0>
25. Teunis P. F. M., Bonačić Marinović A., Tribble D.R., Porter C.K., Swart A. (2018). Acute illness from *Campylobacter jejuni* may require high doses while infection occurs at low doses. *Epidemics*, 24, 1–20. <https://doi.org/10.1016/j.epidem.2018.02.001>
26. WOA. (2021). *Terrestrial Animal Health Code*. World Organisation for Animal Health.
27. Biocheck.UGent. <https://biocheckgent.com>

Prikaz slučaja DOI: 10.5937/DDD26264T

ULOGA I ZNAČAJ BIOSIGURNOSNIH MERA U KONTROLI AFRIČKE KUGE SVINJA NA INDIVIDUALNIM GAZDINSTVIMA, ISKUSTVA SA TERENA - PRIKAZ SLUČAJA

THE ROLE AND IMPORTANCE OF BIOSECURITY MEASURES IN THE CONTROL OF AFRICAN SWINE FEVER ON SMALLHOLDER FARMS, FIELD EXPERIENCES - CASE REPORT

**Aleksandar Tanacković^{1*}, Nikola Milutinović¹, Slobodan Vujinović¹,
Srđan Tomić¹, Stefan Novaković¹, Slobodan Maksimović¹**

Kratak sadržaj

Proizvodnja svinja ima važnu ulogu u obezbeđivanju izvora proteina za ishranu ljudi. U Mačvanskom i Kolubarskom okrugu, na individualnim gazdinstvima, svinje se dominantno gaje u malim, tradicionalnim sistemima gajenja, često za sopstvene potrebe. Pojavom Afričke kuge svinja 2023. godine u Mačvanskom okrugu, a tokom 2024. godine i u Kolubarskom okrugu, ovakav način gajenja kao i navike držalaca svinja doprineli su širenju bolesti i značajno otežavaju njenu eradikaciju. Uzimajući u obzir etiologiju, epizootiologiju i patogenezu bolesti, kao i izostanak efikasne imunoprofilakse, ključnu ulogu u suzbijanju i kontroli AKS-a imaju biosigurnosne mere i njihova konstantna primena. Na epizootiološkom području VSI „Šabac“, služba za DDD učestvuje u suzbijanju i kontroli AKS. Tokom 2023. godine u selu Provo, opština Vladimirci, AKS je potvrđen na 113 gazdinstava i eutanazirano je 1480 svinja. Sva gazdinstva su gajila i hranila svinje na tradicionalan način, uz odsustvo ili simbolične mere biosigurnosti. U centru Prova se nalazi farma za tov svinja, kapaciteta 400 svinja i dok je trajala krizna situacija, uz strogu primenu biosigurnosnih protokola uspela je očuvati zdravstveni status. Takođe, 2023. godine u istom periodu je utvrđen jedan slučaj AKS u selu Crna Bara, u opštini Bogatić. Tri svinje su držane na ranču na obali reke Save. Takav način je tradicionalan u tom selu. Radom epizootiološke službe i veterinarske inspekcije, usled nepovoljne situacije u susednim državama, ostali vlasnici svinja su svoje zapate pravovremeno transportovali na svoja gazdinstva u samom selu, uz pojačane biosigurnosne mere. Međutim, tokom 2025. godine, mimo svih preporuka, usled navike i relativno mirne epizootiološke situacije, svinje su ponovo boravile na rančevima, gde dolazi do pojave AKS-a i njenog širenja ka ostatku sela. Bolest je potvrđena na

¹ Spec. dr vet. Aleksandar Tanacković; dr vet. Nikola Milutinović; dr sci. vet. med Slobodan Vujinović; spec. dr vet. Srđan Tomić; dr vet. Stefan Novaković; spec. dr vet. Slobodan Maksimović, Veterinarski specijalistički institut Šabac, 15000 Šabac, R. Srbija

* e-mail kontakt osobe: vsitanackovic@gmail.com

25 gazdinstava, eutanazirano je 958 svinja. Uzimajući u obzir ovakve primere, neophodno je da svi učesnici u proizvodnom lancu, od samih gazdinstava, kupaca, mesne industrije, veterinaru, nadležnih institucija, zajednički koordiniraju i sprovede biosigurnosne protokole, uz njihovu neprekidnu kontrolu. Glavni preduslov je stvaranje međusobnog poverenja svih aktera uključenih u očuvanje zdravstvenog stanja svinja, ekonomska održivost gazdinstava i očuvanje prehrambene sigurnosti zemlje.

Ključne reči: biosigurnost, AKS, svinje, individualna gazdinstva, kontrola

Abstract

Pig production represents a significant source of animal protein for human nutrition. In the Mačva and Kolubara districts, pig farming is predominantly practiced on smallholder farms within traditional production systems, primarily for household consumption. Following the emergence of African swine fever (ASF) in 2023 in the Mačva district, and subsequently in 2024 in the Kolubara district, this type of production, together with established husbandry practices, contributed to the rapid spread of the disease and significantly impeded its control and eradication. Considering the etiology, epizootiology, and pathogenesis of ASF, as well as the absence of effective immunoprophylaxis, the implementation and strict adherence to biosecurity measures represent the cornerstone of disease prevention and control. Within the epizootiological area under the jurisdiction of the Veterinary Specialized Institute "Šabac", the disinfection, disinsection, and deratization (DDD) service plays an active role in ASF control. During 2023, in the village of Provo (Vladimirci municipality), ASF was confirmed on 113 farms, resulting in the euthanasia of 1,480 pigs. All affected holdings were characterized by traditional rearing and feeding practices, with minimal or only symbolic implementation of biosecurity measures. In contrast, a commercial fattening farm located in the center of the village, with a capacity of 400 pigs, successfully maintained its health status throughout the outbreak due to the consistent and rigorous application of biosecurity protocols. In the same year, during the same period, a single ASF case was confirmed in the village of Crna Bara (Bogatić municipality), where three pigs were kept on a riverside ranch along the Sava River, representing a long-standing traditional practice. Through the coordinated activities of the epizootiological service and veterinary inspection, and in response to the unfavorable epizootiological situation in neighboring countries, pig owners promptly returned their animals to village holdings while implementing enhanced biosecurity measures. However, in 2025, despite previous experience and recommendations, and due to habitual practices combined with a temporarily favorable epizootiological situation, pigs were again kept on open ranches. This resulted in the re-emergence of ASF and its subsequent spread throughout the village, with the disease confirmed on 25 farms and 958 pigs euthanized. Based on these field observations, it is evident that effective ASF control requires coordinated action among all stakeholders involved in the production chain, including farmers, traders, the meat industry, veterinarians, and competent authorities. The consistent implementation, supervision, and continuous improvement of biosecurity measures are essential. Furthermore, the

establishment of mutual trust among stakeholders represents a key prerequisite for safeguarding animal health, ensuring the economic sustainability of pig production, and maintaining national food security.

Keywords: biosecurity, African swine fever, pigs, smallholder farms, disease control

UVOD

Potrošnja svinjskog mesa posmatrano globalno je povećana za 77%, sa 63,5 miliona tona 1990. godine na 113 miliona tona 2022. godine, dok su živina i govedina zabeležile povećanje od 287%, odnosno 49% u istom periodu. Sa rastućom svetskom populacijom i ekonomskim razvojem, ovaj trend povećanja potrošnje svinjetine će se sasvim sigurno nastaviti (Sung Woo Kim i sar., 2024). Proizvodnja svinja je jedan od najvažnijih elemenata stočarskog sektora u Srbiji (Zavod za statistiku R. Srbije, 2025) Svinjarska proizvodnja je najvažnija u regionima Mačve i Srema. Mačva je region sa najvećim nivoom proizvodnje svinja zbog povoljnih prirodnih uslova (Sanjin Ivanović i sar., 2023). Afrička kuga svinja (AKS) je trenutno najvažnija virusna zarazna bolest koja pogađa domaću proizvodnju svinja širom sveta (Jasna Prodanov-Radulović i sar., 2023). Afrička kuga svinja je zarazna bolest životinja koju izaziva virus afričke kuge svinja. Odsustvo bezbedne komercijalne vakcine protiv AKS prvenstveno proizilazi iz izazova u identifikaciji imunogenih virusnih antigena, nedovoljno razjašnjene patogeneze AKS i ograničenog razumevanja mehanizama pomoću kojih virus izbegava imunološki nadzor organizma (Zi-bin i sar., 2025).

Biosigurnost je od strane Svetske organizacije za zdravlje životinja (WOAH), definisana kao skup upravljačkih i fizičkih mera osmišljenih da smanje rizik od unošenja, nastanka i širenja bolesti kod životinja (WOAH, 2024). Sprovođenje biosigurnosnih mera duž celog proizvodnog lanca minimizira rizik od unošenja novih patogena na farme, kao i njihovog širenja unutar farmi. Ipak, sprovođenje održivih programa biosigurnosti i njihovo kontinuirano unapređenje i dalje predstavlja izazov za mnoge farme svinja (Laura Valeria Alarcon i sar., 2021). U Srbiji preovlađuje ekstenzivni sistem držanja životinja na malim gazdinstvima, često na otvorenom, te biosigurnosne mere na farmi uglavnom ne postoje (Jasna Prodanov-Radulović i sar., 2023). Ovaj virus je bezopasan za ljude, ali izaziva značajne socio-ekonomske poremećaje u mnogim zemljama. Područja pogođena AKS-om trpe značajne finansijske gubitke zbog uginuća životinja, ograničenja kretanja svinja, divljih svinja i njihovih proizvoda, kao i troškova za sprovođenje mera suzbijanja i kontrole. Iskorenjivanje bolesti može trajati nekoliko godina. Tipični znaci AKS uključuju groznicu, pobačaje, krvarenja i iznenadna uginuća. Domaće svinje i divlje svinje se obično zaraze: direktnim kontaktom sa zaraženim životinjama, indirektno alimentarnim unosom proizvoda od zaraženih životinja, kontaktom sa kontaminiranom odećom, vozilima ili opremom, ujedima zaraznih mekih krpelja, gde su oni prisutni, (EFSA, 2026). Postavljena

je sumnja da i drugi insekti mogu mehanički širiti virus, na primer, štalske muve (Jasna Prodanov-Radulović i sar., 2022). U naučnim studijama Liu i sar. (2021); Štukelj i sar. (2021) konstatovana je mogućnost unosa AKS putem hematofagnih muva i na farme svinja sa visokim biosigurnosnim merama. Hematofagne muve sposobne su da mehanički prenose virus najmanje 12 sati, nakon boravka u inficiranom zapatu (Olesen i sar, 2018).

PRIKAZ SLUČAJA

U Mačvanskom i Kolubarskom okrugu, na individualnim gazdinstvima, svinje se dominantno gaje u malim, tradicionalnim sistemima gajenja, često za sopstvene potrebe. Pojavom afričke kuge svinja 2023. godine u Mačvanskom okrugu, a tokom 2024. godine i u Kolubarskom okrugu, ovakav način gajenja kao i navike držalaca svinja doprineli su širenju bolesti i značajno otežavaju njenu eradikaciju.

Na epizootiološkom području VSI „Šabac”, služba za DDD učestvuje u suzbijanju i kontroli AKS-a. Tokom 2023. godine u selu Provo, opština Vladimirci, AKS je potvrđena na 113 gazdinstava i eutanazirano je 1480 svinja. Sva gazdinstva su gajila i hranila svinje na tradicionalan način, uz odsustvo ili simbolične mere biosigurnosti. Selo Provo se nalazi na obali reke Save. Stanovnici su tradicionalno tokom letnje sezone uz upotrebu skele svinje, ali i goveda prevozili u Srem, ili ih čuvali na obali reke u improvizovanim objektima koji su bili delimično ograđeni čvrstim materijalom. Nakon pojave AKS u Sremu, najveći deo svinja je vraćen u samo selo. Svinje su već pokazivale znake promena zdravstvenog stanja i zaraza se brzo širila. U centru Prova se nalazi farma za tov svinja, kapaciteta 400 svinja i dok je trajala krizna situacija, uz strogu primenu biosigurnosnih protokola uspeła je očuvati zdravstveni status. U pitanju je bio vlasnik koji je sa pojavom AKS u Sremu pojačao mere biosigurnosti. Farma funkcioniše po principu sve unutra sve napolje. Potpuno je ograđena. Postavljene su dezobarijere sa 2% NaOH, na ulazu u farmu, kao i za svaki objekat i koje su menjane na 48 h. Hrana je bila obezbeđena do kraja tova. Osoka se u periodu pojave zaraze nije izvozila sa farme. Vozila nisu imala pristup. Određen je jedan radnik, koji je mogao da izvrši sve zadatke u okviru same farme. Posebna odeća i obuća za kretanje u krugu farme, a posebna oprema za same objekte. Postavljeni su mamci za glodare. Na sve prozore su postavljene zaštitne mreže protiv muva i ostalih insekata, a u upotrebi su bili i svi preparati za smanjenje broja muva oko samih objekata.

Takođe, 2023. godine u istom periodu je utvrđen jedan slučaj AKS u selu Crna Bara, u opštini Bogatić. Tri svinje su držane na ranču na obali reke Save. Takav način je tradicionalan u tom selu. Radom epizootiološke službe i veterinarske inspekcije, usled nepovoljne situacije u susednim državama, ostali vlasnici svinja su svoje zapate pravovremeno transportovali na svoja gazdinstva u samom selu, uz pojačane biosigurnosne mere. Biosigurnosne mere su podrazumevale: zatvaranje svih životinja u objekte, ograničen pristup samim imanjima, dezinfekciju poljoprivrednih mašina i ostalih motornih vozila prilikom ulaska

na gazdinstva, smanjenje međusobnih kontakata, otkazivanje proslava, prijava svake promene zdravstvenog stanja kod svinja. Prisutni su bili i pripadnici Vojске Srbije. Sve ove biosigurnosne mere, uz savesno ponašanje većine stanovnika su tada očuvale epizootiološku situaciju pod kontrolom. Podatak da su se obolele svinje nalazile na ranču koji je udaljen 3 km od samog naselja, ali i da su svi ostali rančevi bili napušteni je dodatno onemogućilo širenje zaraze ka selu. Međutim, tokom 2025. godine, mimo svih preporuka, usled navike i relativno mirne epizootiološke situacije, svinje su ponovo boravile na rančevima, gde dolazi do pojave AKS i njenog širenja ka ostatku sela. Šteta koja je načinjena je značajna. Usled opuštanja dela stanovnika, neprepoznavanja simptoma oboljenja (sumnja na trovanje hranom, druga oboljenja), pokušaja lečenja, kao i pokušaja da se svinje koje nisu imale simptome oboljenja, ali u inkubaciji, vrate na matična gazdinstva, dolazi do širenja zaraze u samo naseljeno mesto. Bolest je potvrđena na 25 gazdinstava, eutanazirano je 958 svinja. Prilikom sprovođenja mera na zaraženim gazdinstvima ustanovljeno je da je od pojačanih biosigurnosnih mera, najčešće bilo prisutno postavljanje dezobarijera na ulazu u gazdinstva, dok su sve druge mere, od posebne odeće i obuće, pa do držanja svinja u objektima od čvrstih materijala izostale. Uz prisutno nepoverenje u rad stručnih veterinarskih službi i često ignorisanje njihovih preporuka.

DISKUSIJA

Primer farme za tov svinja koja se nalazila u samom centru sela Prova, koja je uspeła da očuva zdravstveni status, dok su se u okolnim gazdinstvima sprovodile mere suzbijanja, prethodno potvrđenog prisustva AKS, pokazuje da dosledno sprovođenje biosigurnosnih mera, uz striktno kontrolisanje svih procesa može u izuzetno nepovoljnoj epizootiološkoj situaciji rezultirati očuvanju proizvodnje. U naučnoj studiji Nešković i sar. (2021) konstatuju da i pored toga što su nadležne službe na farmi hitno preduzele sve dobro poznate biosigurnosne mere, nisu bile u stanju da spreče brojne visokorizične ljudske aktivnosti u zaraženom području (indirektni kontakti sa zaraženim gazdinstvima). Istraživanje grupe autora je pokazalo da su antropogene aktivnosti najverovatnije doprinele ulasku virusa AKS na komercijalnu farmu svinja (19000 životinja), udružene sa neposrednom blizinom gazdinstava sa zaraženim svinjama i kontaminiranim okolnim područjem (lokalna deponija, leševi uginulih svinja).

Primer sela Crna Bara, tradicionalni način gajenja na rančevima oformljenim u ataru sela, blizu obale reke Save i ponašanje držalaca svinja, gde su u dve nepovoljne epizootiološke situacije, odreagovali dijametralno suprotno pokazuje da svi u lancu proizvodnje, ali i kontrole moraju konstantno sarađivati, uz uspostavljanje čvrstog poverenja. Prisustvo pripadnika Vojске Srbije 2023. godine psihološki je pozitivno uticalo na svest ljudi o ozbiljnosti situacije, zajedno sa veterinarskim inspektorima koji su kontrolisali nelegalno kretanje tovnih, ali i priplodnih životinja po selu (nerastovi za prirodni pripust). U naučnoj studiji De Lorenzi i sar. (2020) konstatuju da primena biosigurnosnih mera poput čišćenja

i dezinfekcije vozila, opreme i ljudi na ulazu i izlazu sa gazdinstava imaju važnu ulogu u bilo kojoj vrsti proizvodnje svinja. U naučnoj studiji Plut i sar. (2023) gajenje životinja za priplod na gazdinstvima prepoznaju kao visoko rizičan i izazovan faktor za primenu biosigurnosnih mera u ekstenzivnoj proizvodnji. Naravno, u situacijama gde se nerastovi za priplod na malim gazdinstvima često transportuju u svrhu pripusta.

ZAKLJUČAK

Uzimajući u obzir ovakve primere, neophodno je da svi učesnici u proizvodnom lancu, od samih gazdinstava, kupaca, mesne industrije, veterinara, nadležnih institucija, zajednički koordiniraju i sprovede biosigurnosne protokole, uz njihovu neprekidnu kontrolu. Mačvanski okrug, zajedno sa Sremskim okrugom čini okosnicu svinjarske proizvodnje u našoj zemlji. Od strateškog je značaja, a imajući u vidu pojave bolesti poput AKS, gde je u kontroli, suzbijanju i iskorenjivanju jedina opcija (za sada) dosledna primena biosigurnosnih protokola, sprovesti detaljnu analizu postojećih gazdinstava i u skladu sa tim pokušati kroz jednu plansku kampanju (medijsku, edukativnu-javna predavanja), podići svest o značaju njihove primene. Nakon toga bi mogla uslediti zakonski definisana ulaganja, isključivo u cilju podizanja biosigurnosti na prihvatljiv nivo (izgradnja objekata, ograda, dezobarijera, opreme za pranje i dezinfekciju). Jednostavno, utvrditi minimalne kriterijume biosigurnosti, bez kojih ne bi mogle da se gaje svinje na individualnim gazdinstvima. Iskustva sa terena pokazuju da mnogi držaoci svinja, nakon sprovođenja svih zakonom predviđenih mera, ukoliko planiraju da obnove svoje zapate, bitno menjaju stav i obrazac ponašanja prema samoj bolesti i započinju adaptaciju objekata u skladu sa zahtevima spoljašnjih i unutrašnjih biosigurnosnih mera na samim gazdinstvima. Glavni preduslov je stvaranje međusobnog poverenja svih aktera uključenih u očuvanje zdravstvenog stanja svinja, ekonomska održivost gazdinstava i očuvanje prehrambene sigurnosti zemlje.

LITERATURA

1. Alarcón, L. V., Allepuz, A., & Mateu, E. (2021). Biosecurity in pig farms: A review. *Facultad de Ciencias Veterinarias, Universidad Nacional de La Plata*.
2. Bergmann, H., Schulz, K., Conraths, F. J., & Sauter-Louis, C. (2021). A review of environmental risk factors for African swine fever in European wild boar. *Animals*, 11(9).
3. De Lorenzi, G., Borella, L., Alborali, G. L., Prodanov-Radulović, J., Štukelj, M., & Bellini, S. (2020). African swine fever: A review of cleaning and disinfection procedures in commercial pig holdings. *Research in Veterinary Science*, 132, 262–267.
4. European Food Safety Authority. (2026). African swine fever.
5. Ivanović, S., Nastić, L., & Savić, R. (2023). Investments in Serbian pig production: Influence of regional disparities. *Faculty of Agriculture, University of Belgrade*.
6. Kim, S. W., Gormley, A., Jang, K. B., & Duarte, M. E. (2024). Current status of global pig production: An overview and research trends. *North Carolina State University*.
7. Li, Z., Wang, B., Gao, Y., Xian, Y., Feng, H., Jin, H., Li, H., Yang, S., Sang, C., Cao, Y., Tang, Y., Cui, Y., Ding, Z., He, H., & Gao, F. (2025). Current state of knowledge about African swine fever: A review. *Cambridge University Press*.

8. Liu, Y., Zhang, X., Qi, W., Yang, Y., Liu, Z., An, T., Wu, X., & Chen, J. (2021). Prevention and control strategies of African swine fever and progress on pig farm repopulation in China. *Viruses*, 13, 2552. <https://doi.org/10.3390/v13122552>
9. Nešković, M., Ristić, B., Došenović, R., Grubač, S., Petrović, T., Prodanov-Radulović, J., & Polaček, V. (2021). African swine fever outbreak investigation on a large commercial pig farm in Serbia. *Acta Veterinaria-Beograd*, 71(2), 219–229.
10. Olesen, A. S., Hansen, M. F., Rasmussen, T. B., Belsham, G. J., Bødker, R., & Bøtner, A. (2018). Survival and localization of African swine fever virus in stable flies (*Stomoxys calcitrans*) after feeding on viremic blood. *Veterinary Microbiology*, 222, 25–29. <https://doi.org/10.1016/j.vetmic.2018.06.010>
11. Plut, J., Hajdinjak, M., Prodanov-Radulović, J., Grubač, S., Đurđević, B., & Štukelj, M. (2023). Risk factor impact on African swine fever transmission in different extensive pig production settings in Serbia. *Viruses*, 15(6), 1232.
12. Prodanov-Radulović, J., Petrović, J., Grubač, S., Nešković, M., Hristov, S., & Bojkovski, J. (2023). Relevant biosecurity measures to prevent the spread of African swine fever in the domestic pig production sector in Serbia. *Modern Trends in Livestock Production*.
13. Prodanov-Radulović, J., Đurđević, B., Petrović, J., Mirčeta, J., & Polaček, V. (2022). African swine fever: A biosecurity challenge for domestic pig production in Serbia. *Arhiv veterinarske medicine*, 15(2), 21–38.
14. Republički zavod za statistiku. (2025). Statistički podaci. Beograd, Srbija.
15. Štukelj, M., Prodanov-Radulović, J., & Bellini, S. (2021). Cleaning and disinfection in the domestic pig sector. In L. Iacolina et al. (Eds.), *Understanding and combatting African swine fever: A European perspective* (pp. 283–301). Wageningen Academic Publishers. https://doi.org/10.3920/978-90-8686-910-7_11
16. World Organisation for Animal Health (WOAH). (2024). Biosecurity guidelines. Paris, France.

Prikaz slučaja DOI: 10.5937/DDD26271V

ZNAČAJ ZAVRŠNE DEZINFEKCIJE NAKON SUZBIJANJA AFRIČKE KUGE SVINJA U KOLUBARSKOM OKRUGU – PRIKAZ SLUČAJA**THE IMPORTANCE OF FINAL DISINFECTION FOLLOWING THE CONTROL OF AFRICAN SWINE FEVER IN THE KOLUBARA DISTRICT – A CASE REPORT**

**Budimir Višić^{1*}, Radovan Marčetić^{2*}, Vladimir Drašković²,
Darja Fjodorov², Milutin Đorđević²**

Kratak sadržaj

Afrička kuga svinja (AKS) predstavlja značajan epizootiološki i ekonomski problem u svinjarskoj proizvodnji, pri čemu visoka otpornost virusa u spoljašnjoj sredini dodatno otežava kontrolu bolesti. Završna dezinfekcija ima ključnu ulogu u eliminaciji rezidualnog virusa i sprečavanju ponovne pojave infekcije. Cilj rada bio je da se kroz prikaz slučaja ukaže na značaj sprovođenja završne dezinfekcije nakon suzbijanja AKS na teritoriji Kolubarskog okruga. U periodu od juna do avgusta 2024. godine završna dezinfekcija sprovedena je na 66 individualnih gazdinstava u 10 naseljenih mesta. Dezinfekcija je vršena 7–14 dana nakon uklanjanja zaraženih životinja, primenom 2% natrijum-hidroksida za unutrašnje površine i stajnjak, kao i preparata na bazi kalijum-peroksimonosulfata za spoljašnje površine. Postupak je izvođen raspršivanjem, uz primenu lične zaštitne opreme i stalni nadzor veterinarske inspekcije. Rezultati ukazuju da pravilno organizovana i sprovedena završna dezinfekcija predstavlja značajnu meru u prekidu epizootiološkog lanca i smanjenju rizika od ponovne pojave bolesti. Koordinisana saradnja nadležnih stručnih službi i dosledna primena biosigurnosnih mera od ključnog su značaja za efikasnu kontrolu AKS.

Ključne reči: afrička kuga svinja, završna dezinfekcija, biosigurnost, epizootiologija, Kolubarski okrug

¹ Dr vet. med. Budimir Višić, direktor, Veterinarski centar „Valjevo”, Suvoborska 5, 14000 Valjevo, R. Srbija

² Dr vet. med. Radovan Marčetić, asistent; dr sci. vet. med. Vladimir Drašković, docent; dr vet. med. Darja Fjodorov; samostalni stručno tehnički saradnik za rad u laboratorijama; 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: visicbudimir@gmail.com

Abstract

African swine fever (ASF) represents a significant epizootiological and economic challenge in pig production, with the high environmental resistance of the virus further complicating disease control. Final disinfection plays a crucial role in eliminating residual virus and preventing reoccurrence of infection. The aim of this study was to highlight the importance of final disinfection following ASF control through a case report from the Kolubara District. During the period from June to August 2024, final disinfection was carried out on 66 small-scale (backyard) pig holdings across 10 settlements. The procedure was performed 7–14 days after the removal of infected animals, using 2% sodium hydroxide for internal surfaces and manure, and a potassium peroxymonosulfate-based disinfectant for external areas. Disinfection was applied by spraying, with the use of personal protective equipment and under continuous veterinary inspection supervision. The results indicate that properly organized and implemented final disinfection represents a key measure in breaking the chain of infection and reducing the risk of disease reoccurrence. Coordinated cooperation between competent institutions and strict implementation of biosecurity measures are essential for effective ASF control.

Keywords: *African swine fever, final disinfection, biosecurity, epizootiology, Kolubara District*

UVOD

Afrička kuga svinja (AKS) predstavlja visoko kontagioznu virusnu bolest domaćih i divljih svinja, koja uzrokuje značajne ekonomske gubitke u svinjarskoj proizvodnji širom sveta (Mebus, 1988; Dixon i sar., 2019; Dixon i sar., 2020). Uročnik bolesti je DNK virus iz porodice Asfarviridae, karakterisan izraženom otpornošću u spoljašnjoj sredini, posebno u organskom materijalu, mesu i proizvodima od mesa, što značajno otežava kontrolu i eradicaciju bolesti. Virus može preživeti duži vremenski period u objektima, opremi i kontaminiranom okruženju, zbog čega mere biosigurnosti, a naročito čišćenje i dezinfekcija, imaju ključnu ulogu u sprečavanju daljeg širenja infekcije (Juszkiewicz i sar., 2023; Tanneberger i sar., 2021).

Epizootiološka situacija u Evropi značajno se promenila nakon pojave AKS u Gruziji 2007. godine, odakle se bolest proširila na istočnu i centralnu Evropu, uključujući i zemlje Zapadnog Balkana. U Republici Srbiji prvi slučaj afričke kuge svinja potvrđen je 2019. godine u malom (backyard) gazdinstvu, nakon čega su registrovana brojna žarišta kako u populaciji domaćih svinja, tako i kod divljih svinja (Milićević i sar., 2019; Prodanov-Radulović i sar., 2022). Od tada se bolest sporadično javlja, sa tendencijom širenja u ekstenzivnim sistemima uzgoja i sistemima uzgoja svinja sa niskim nivoom primene biosigurnosnih mera, koji dominiraju u pojedinim regionima Srbije (Polaček i sar., 2021; Plut i sar., 2023).

Specifičnost epizootologije AKS u Srbiji ogleda se u značajnoj ulozi malih gazdinstava, nedovoljno implementiranih biosigurnosnih mera, kao i mogućem kontaktu domaćih svinja sa populacijom divljih svinja, što doprinosi održavanju

i širenju infekcije (Glišić i sar., 2025). Takođe, neadekvatno sprovođenje higijenskih mera, uključujući nedovoljno efikasno čišćenje i dezinfekciju objekata i opreme, prepoznato je kao jedan od ključnih faktora rizika za ponovnu pojavu bolesti (Makovska i sar., 2024).

U cilju suzbijanja i iskorenjivanja bolesti, primenjuju se stroge veterinarsko-sanitarne mere koje obuhvataju eutanaziju zaraženih životinja i životinja koje su bile u kontaktu sa zaraženim jedinkama, zatim neškodljivo uklanjanje leševa, kao i obavezno sprovođenje temeljne završne dezinfekcije objekata, opreme i okoline („Službeni glasnik RS”, br. 32/2010). Završna dezinfekcija predstavlja jednu od ključnih faza u procesu eradikacije bolesti, jer omogućava eliminaciju zaostalih čestica virusa iz spoljašnje sredine i smanjenje rizika od ponovne infekcije (Štukelj i sar., 2021).

Imajući u vidu značaj ove mere, cilj ovog rada je da se kroz prikaz slučaja sa teritorije Kolubarskog okruga ukaže na značaj sprovođenja završne dezinfekcije u praksi nakon suzbijanja afričke kuge svinja, u skladu sa važećim propisima Republike Srbije.

PRIKAZ SLUČAJA – MATERIJAL I METODE

Nakon potvrde afričke kuge svinja od strane nadležnog veterinarskog instituta, na teritoriji Kolubarskog okruga po prvi put je organizovano sistematsko sprovođenje završne dezinfekcije od strane ovlašćene veterinarske stanice. Veterinarska stanica „Valjevo”, koja poseduje sve neophodne sertifikate i dozvole za obavljanje poslova dezinfekcije, dezinfekcije i deratizacije (DDD), bila je zadužena za realizaciju ove mere u okviru epizootološke jedinice kojom upravlja.

Epizootološka jedinica obuhvata ukupno 33 naseljena mesta, od kojih je u 10 mesta potvrđena afrička kuga svinja (Klanica, Lukavac, Jasenica, Popučke, Gorić, Gornja Bukovica, Donja Grabovica, Valjevo, Valjevska Loznica i Rađevo Selo). U navedenim naseljima dominiraju individualna (backyard) gazdinstva, na kojima je završna dezinfekcija sprovedena ukupno na 66 gazdinstava u periodu od juna do avgusta 2024. godine.

U skladu sa važećim propisima Republike Srbije („Službeni glasnik RS”, br. 32/2010; 6/2019 i 58/2019), nadležni veterinarski institut je sprovodio mere eutanazije zaraženih životinja i životinja koje su bile u kontaktu sa zaraženim jedinkama, kao i uvodnu i tekuću dezinfekciju, dok je završna dezinfekcija poverena operativnom timu Veterinarske stanice „Valjevo”. Ova mera je sprovedena u vremenskom intervalu od 7 do 14 dana nakon uklanjanja zaraženih životinja, što je u skladu sa preporukama za smanjenje prisustva rezidualnog virusa u spoljašnjoj sredini.

Trajanje dezinfekcije po pojedinačnom gazdinstvu iznosilo je u proseku 2–3 sata, pri čemu je operativni tim dnevno obrađivao 4–5 gazdinstava. Dezinfekcija je sprovedena primenom dva hemijska sredstva, uključujući natrijum-hidroksid (NaOH) u koncentraciji od 2% i komercijalni preparat na bazi kalijum-peroksimonosulfata (Oxacid S®). Natrijum-hidroksid je korišćen za dezinfekciju

unutrašnjih površina objekata i stajnjaka, dok je preparat Oxid S® primenjivan za tretman spoljašnjih površina, uključujući komunikacione rute kretanja životinja i stajnjaka, kao i spoljašnjost objekata.

Aplikacija dezinfekcionih sredstava vršena je metodom raspršivanja, korišćenjem ručnih i leđnih motornih prskalica, čime je omogućena ravnomerna distribucija sredstava na tretiranim površinama.

Tokom izvođenja radova, operateri su koristili odgovarajuću ličnu zaštitnu opremu, uključujući jednokratne zaštitne kombinezone, rukavice i zaštitne maske, u cilju sprečavanja profesionalne izloženosti i daljeg širenja infekcije.

Posebna pažnja posvećena je biosigurnosti tokom kretanja vozila, te je svakodnevno vršena dezinfekcija vozila korišćenih za prevoz operativnog tima između gazdinstava, primenom 2% rastvora NaOH pomoću leđnih prskalica. Vozila su korišćena isključivo za potrebe sprovođenja završne dezinfekcije u pomenutom periodu.

Sve aktivnosti sprovođenja završne dezinfekcije realizovane su uz obavezno prisustvo veterinarskog inspektora, koji je vršio nadzor nad postupkom izvođenja mera. Za svako gazdinstvo vođena je odgovarajuća dokumentacija, uključujući radne naloge potpisane od strane vlasnika, odnosno direktora Veterinarske stanice „Valjevo” i nadležnog veterinarskog inspektora, kao i zapisnike o izvršenom inspekcijском nadzoru za izvođenje završne dezinfekcije.

DISKUSIJA

Sprovedene mere završne dezinfekcije na teritoriji Kolubarskog okruga ukazuju na značaj organizovanog i sistematskog pristupa u kontroli afričke kuge svinja, naročito u uslovima dominacije individualnih gazdinstava sa niskim nivoom primene biosigurnosnih mera. Dobijeni rezultati potvrđuju da adekvatno planirana i sprovedena završna dezinfekcija predstavlja značajanu kariku u prekidu epizootiološkog lanca i sprečavanju ponovne pojave bolesti.

Afrička kuga svinja karakteriše se izraženom otpornošću virusa u spoljašnjoj sredini, gde može opstati duži vremenski period u organskom materijalu, uključujući stajnjak, krv i ostatke tkiva, što značajno otežava eradikacij (De Lorenzi i sar., 2020; Juszkievicz i sar., 2023). Upravo zbog toga, završna dezinfekcija, kao poslednja faza sanacije žarišta, ima presudan značaj u eliminaciji rezidualnog virusa iz okruženja (Štukelj i sar., 2021).

U ovom radu, završna dezinfekcija sprovedena je u intervalu od 7 do 14 dana nakon uklanjanja zaraženih životinja, što je u skladu sa preporukama koje naglašavaju značaj vremenskog intervala između pripremne dezinfekcije, mehaničkog čišćenja, tekuće dezinfekcije i završne dezinfekcije, radi povećanja efikasnosti postupka (Beltrán-Alcrudo i sar., 2018). Takođe, primena kombinacije dezinfekcionih sredstava, uključujući natrijum-hidroksid i preparat na bazi kalijum-peroksimonosulfata, u skladu je sa literaturom koja ukazuje na visoku efikasnost alkalnih sredstava u inaktivaciji virusa afričke kuge svinja (Wales i Davies, 2021; Beato i sar., 2022).

Organizacija rada, koja je podrazumevala obradu više gazdinstava dnevno, kao i kontinuiranu dezinfekciju transportnih sredstava i striktno korišćenje lične zaštitne opreme, predstavlja primer dobre prakse u primeni biosigurnosnih mera. Literatura naglašava da su upravo indirektni putevi prenosa, uključujući kontaminiranu opremu, vozila i ljude, jedan od glavnih faktora širenja infekcije (Olesen i sar., 2020).

Važan aspekt sprovođenja ove mere predstavlja i stalni nadzor od strane veterinarske inspekcije, čime je obezbeđena usklađenost sa važećim propisima i standardima. Prisutnost inspektora i vođenje dokumentacije doprinose transparentnosti i kontroli kvaliteta sprovedenih mera, što je od posebnog značaja u uslovima epizootije.

ZAKLJUČAK

Rezultati ovog prikaza slučaja ukazuju da završna dezinfekcija predstavlja ključnu meru u procesu suzbijanja i iskorenjivanja afričke kuge svinja, naročito u uslovima ekstenzivnog uzgoja i niskog nivoa primene biosigurnosnih mera. Pravilno organizovano i pravovremeno sprovođenje ove mere, uz primenu adekvatnih dezinfekcionih sredstava i striktno poštovanje propisanih procedura, omogućava efikasnu eliminaciju rezidualnog virusa iz spoljašnje sredine i značajno smanjuje rizik od ponovne pojave bolesti.

Iskustva sa teritorije Kolubarskog okruga potvrđuju da koordinisana saradnja između nadležnih veterinarskih instituta, terenskih službi i inspekcijskih organa ima presudan značaj za uspešnu realizaciju mera kontrole bolesti. Takođe, dosledna primena zakonskih propisa i kontinuiran nadzor doprinose unapređenju biosigurnosti i efikasnijem upravljanju epizootiološkim situacijama.

Na osnovu prikazanih rezultata može se zaključiti da završna dezinfekcija, kao završna faza sanacije žarišta, ima značajnu ulogu u prekidu lanca infekcije i predstavlja neizostavan segment savremenih strategija kontrole afričke kuge svinja.

Zahvalnica

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

LITERATURA

1. Beato, M. S., D'Errico, F., Iscaro, C., Petrini, S., Giammarioli, M., & Feliziani, F. (2022). Disinfectants against African swine fever: an updated review. *Viruses*, 14(7), 1384.
2. Beltrán-Alcrudo, D., Arias, M., Gallardo, C., Kramer, S. & Penrith, M.L. (2018). Afrička kuga svinja: detekcija i dijagnostika – Terenski priručnik za veterinare. FAO Stočarstvo i zdravlje životinja priručnik No. 19. Rim. Organizacija za hranu i poljoprivredu Ujedinjenih nacija (FAO), 1-92.
3. De Lorenzi, G., Borella, L., Alborali, G. L., Prodanov-Radulović, J., Štukelj, M., & Bellini, S. (2020). African swine fever: A review of cleaning and disinfection procedures in commercial pig holdings. *Research in veterinary science*, 132, 262-267.

4. Dixon, L. K., Stahl, K., Jori, F., Vial, L., & Pfeiffer, D. U. (2020). African swine fever epidemiology and control. *Annual review of animal biosciences*, 8(1), 221-246.
5. Dixon, L. K., Sun, H., & Roberts, H. J. A. R. (2019). African swine fever. *Antiviral research*, 165, 34-41.
6. Glišić, D., Goletić Imamović, Š., Šolaja, S., Terzić, I., Borić, A. H., Goletić, T., & Milicevic, V. (2025). Endemic Circulation of Cluster 19 African Swine Fever Virus in Serbia and Bosnia and Herzegovina. *Veterinary Sciences*, 12(11), 1086.
7. Juszkievicz, M., Walczak, M., Woźniakowski, G., & Podgórska, K. (2023). African swine fever: Transmission, spread, and control through biosecurity and disinfection, including polish trends. *Viruses*, 15(11), 2275.
8. Makovska, I., Chantziaras, I., Caekebeke, N., Dhaka, P., & Dewulf, J. (2024). Assessment of cleaning and disinfection practices on pig farms across ten European countries. *Animals*, 14(4), 593.
9. Mebus, C. A. (1988). African swine fever. *Advances in virus research*, 35, 251-269.
10. Miličević, V., Kureljušić, B., Zorić, J. M., Savić, B., Stanojević, S., & Milakara, E. (2019). First occurrence of African swine fever in Serbia. *Acta veterinaria*, 69(4), 443-449.
11. Naredba o preduzimanju mera za sprečavanje unošenja, pojave, otkrivanja, širenja, suzbijanja i iskorenjivanja zarazne bolesti afričke kuge svinja (*PESTIS SUUM AFRICANA*) u Republiku Srbiju („Sl. glasnik RS”, br. 6/2019, 58/2019 i 65/2023).
12. Olesen, A. S., Belsham, G. J., Bruun Rasmussen, T., Lohse, L., Bødker, R., Halasa, T., ... & Bøtner, A. (2020). Potential routes for indirect transmission of African swine fever virus into domestic pig herds. *Transboundary and Emerging Diseases*, 67(4), 1472-1484.
13. Plut, J., Hajdinjak, M., Prodanov-Radulović, J., Grubač, S., Djurdjević, B., & Štukelj, M. (2023). Risk factor impact on African swine fever transmission in different extensive pig production settings in Serbia. *Viruses*, 15(6), 1232.
14. Polaček, V., Mirčeta, J., & Prodanov-Radulović, J. (2021). Key risk factors and impact of African swine fever spreading on pig production in Serbia. *Acta veterinaria*, 71(4), 371-391.
15. Pravilnik o merama za rano otkrivanje, dijagnostiku, sprečavanje širenja, suzbijanje i iskorenjivanje zarazne bolesti afričke kuge svinja („Sl. glasnik RS”, br. 32/2010).
16. Prodanov-Radulovic, J. Z., Đurđević, B., Petrović, J., Mirčeta, J., & Polaček, V. (2022). African swine fever: A biosecurity challenge for domestic pig production in Serbia. *Archives of veterinary medicine*, 15(2), 21-38.
17. Štukelj, M., Prodanov-Radulović, J., & Bellini, S. (2021). 11. Cleaning and disinfection in the domestic pig sector. In *Understanding and combatting African swine fever* (pp. 283-304). Wageningen Academic.
18. Tanneberger, F., Abd El Wahed, A., Fischer, M., Blome, S., & Truyen, U. (2021). The efficacy of disinfection on modified vaccinia Ankara and African Swine fever Virus in various forest soil types. *Viruses*, 13(11), 2173.
19. Wales, A. D., & Davies, R. H. (2021). Disinfection to control African swine fever virus: a UK perspective. *Journal of medical microbiology*, 70(9), 001410.

ORCID REGISTRAR

Aleksandra Ivetić	https://orcid.org/0000-0003-2762-1870
Aleksandra Tasić	https://orcid.org/0000-0002-8361-5697
Ana Vasić	https://orcid.org/0000-0002-0653-2935
Biljana Aleksić	https://orcid.org/0009-0004-8461-5359
Branislav Kureljušić	https://orcid.org/0000-0003-4281-1672
Branislav Pešić	https://orcid.org/0009-0002-0906-8821
Darja Fjodorov	https://orcid.org/0009-0007-8280-465X
Dejan Bugarski	https://orcid.org/0000-0002-6109-1386
Dejana Čupić Miladinović	https://orcid.org/0000-0002-8527-7433
Dimitrije Glišić	https://orcid.org/0000-0002-4335-1690
Dragana Medić	https://orcid.org/0000-0002-2266-2377
Đorđe S. Marjanović	https://orcid.org/0000-0002-1618-1649
Ivan Pavlović	https://orcid.org/0000-0003-4751-6760
Ivana Đurić Maslovara	https://orcid.org/0009-0001-0508-0949
Ivana Pejanović	https://orcid.org/0009-0007-3887-9005
Jasna Kureljušić	https://orcid.org/0000-0002-9366-1857
Jasna Prodanov-Radulović	https://orcid.org/0000-0002-6116-3271
Jelena Maksimović-Zorić	https://orcid.org/0000-0003-2585-9148
Jelena Maletić	https://orcid.org/0000-0001-9437-8159
Katarina Nenadović	https://orcid.org/0000-0003-4010-7964
Katarina Pajić	https://orcid.org/0009-0001-1478-3582
Ljiljana Janković	https://orcid.org/0000-0002-2353-9792
Marija Pajić	https://orcid.org/0000-0001-9756-2461
Marija Stojiljković	https://orcid.org/0000-0001-9286-3281
Marijana Vučinić	https://orcid.org/0000-0002-3299-1107
Marko Stojiljković	https://orcid.org/0000-0002-7456-084X
Milan Ninković	https://orcid.org/0000-0003-0173-7795
Milenko Rikić	https://orcid.org/0009-0001-6042-3115
Milica Glišić	https://orcid.org/0000-0002-6178-1758
Milijana Sindić	https://orcid.org/0009-0006-0751-863X
Miloš Arsić	https://orcid.org/0000-0003-0424-1701
Milutin Đorđević	https://orcid.org/0000-0001-6267-9870

Mira Majkić	https://orcid.org/0009-0007-0110-7327
Nada Šmigić	https://orcid.org/0000-0002-5245-1239
Nemanja Zdravković	https://orcid.org/0000-0002-2266-2377
Nikola Mileusnić	https://orcid.org/0009-0008-3558-6677
Oliver Radanović	https://orcid.org/0000-0002-5275-5582
Radislava Teodorović	https://orcid.org/0000-0002-9129-9188
Radoslava Savić Radovanović	https://orcid.org/0000-0002-2419-5936
Radovan Marčetić	https://orcid.org/0009-0003-2396-3707
Renata Relić	https://orcid.org/0000-0001-5320-7863
Romel Velez	https://orcid.org/0000-0002-2511-6566
Saša Ivanović	https://orcid.org/0000-0001-7134-4677
Saša M. Trailović	https://orcid.org/0000-0002-2190-7985
Siniša Grubač	https://orcid.org/0000-0002-8967-1358
Slobodan Knežević	https://orcid.org/0000-0001-6316-5863
Teodora Grujović	https://orcid.org/0009-0004-8461-5359
Tihomir Marić	https://orcid.org/0009-0007-6643-8274
Vasilije Korugić	https://orcid.org/0009-0002-7230-7549
Vitomir Ćupić	https://orcid.org/0009-0001-0790-020X
Vladimir Drašković	https://orcid.org/0000-0001-5159-1937
Vladimir Marjanović	https://orcid.org/0009-0000-1576-2305
Vladimir Polaček	https://orcid.org/0000-0002-7413-7902
Vladimir Radosavljević	https://orcid.org/0000-0002-8072-4169
Zorica Zdravković	https://orcid.org/0009-0003-9736-1434
Željana Prijić	https://orcid.org/0000-0001-7449-7839

CIP - Каталогизација у публикацији
Народна библиотека Србије, Београд

614.44/.48(082)

**САВЕТОВАЊЕ Дезинфекција, дезинсекција и
дератизација (37 ; 2026 ; Врњачка Бања)**

Jedan svet - jedno zdravlje : zbornik radova : nacionalni
stručno-naučni skup sa međunarodnim učešćem / 37.
Savetovanje Dezinfekcija, dezinsekcija i deratizacija, Vrnjačka
Banja, 27 – 30. maj 2026. godine ; [organizatori] Fakultet
veterinarske medicine, Beograd, Katedra za zoohigijenu [i]
Srpsko veterinarsko društvo, Sekcija za DDD ; [urednik Milutin
Đorđević]. - Beograd : Srpsko veterinarsko društvo, 2026
(Beograd : Naučna KMD). - 276 str. : ilustr. ; 24 cm

Tiraž 200. - Bibliografija uz svaki rad. - Abstracts.

ISBN 978-86-83115-59-4

a) Дезинфекција -- Зборници b) Дезинсекција -- Зборници
v) Дератизација -- Зборници

COBISS.SR-ID 194190857

