

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 biosigurnosnim 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 epizootioloških 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.

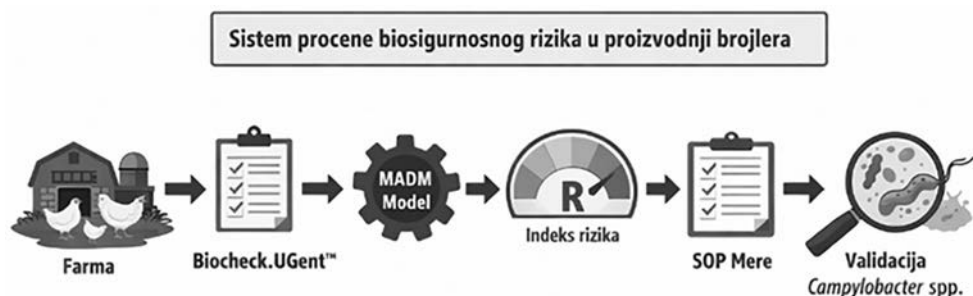
Ovo istraživanje uvodi integrisani pristup u proceni biosigurnosnog rizika u proizvodnji brojlera, koji kombinuje standardizovani Biocheck.UGent™ sistem sa višekriterijumskim metodom odlučivanja (MADM), kao i transformacijom ocena primenjenih biosigurnosnih mera u kvantitativni epizootiološki indeks 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 epizootiološkom 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-analički 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

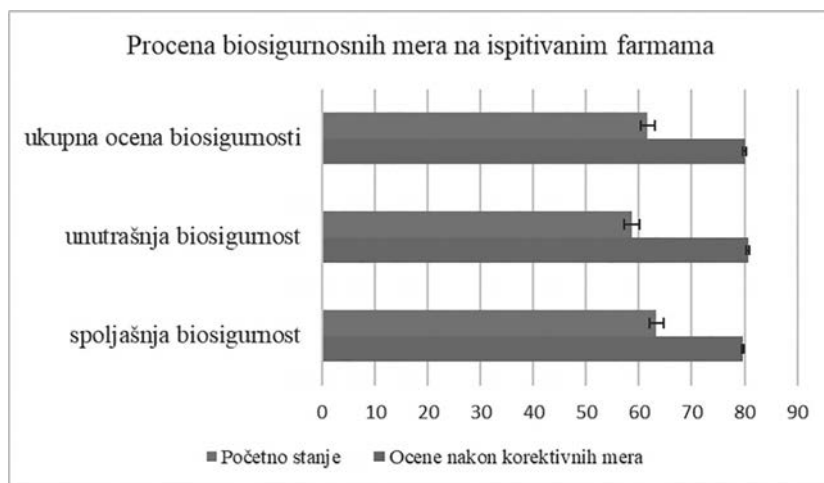
Detekcija *Campylobacter* spp. sprovedena je prema standardu SRPS EN ISO 10272-1:2017. Uzorci fecesa su analizirani direktnim zasejavanjem na mCCD agar u mikroaerofilnim uslovima na 41,5 °C, nakon čega su sumnjive kolonije identifikovane na osnovu morfologije, mikroskopske pokretljivosti i oksidazne 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

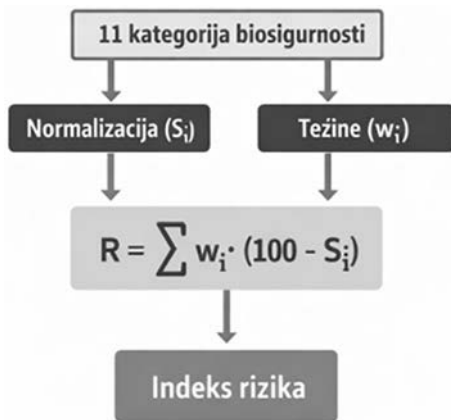
Na osnovu rezultata prve faze istraživanja identifikovane su kategorije u okviru biosigurnosnih protokola koje su imale najveća odstupanja i varijabilnost, posebno one koje imaju direktan ili indirektan uticaj na pojavu i perzistenciju *Campylobacter* spp. u sistemu proizvodnje. Rezultati pokazuju da 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 epizootiološkim 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>