

**ISPITIVANJE KONCENTRACIJE AFLATOKSINA M1 U SIROVOM I
PASTERIZOVANOM MLEKU NA TERITORIJI ZAPADNOBAČKOG OKRUGA**

**Đorđe Pajičić^{1*}, Tijana Ledina², Nikola Čobanović², Miroslav Dabić¹, Branko
Suvajdžić², Marija Kovandžić², Damir Benković¹, Jasna Lončina²**

¹ Veterinarski specijalistički institut „Sombor“, Sombor, Srbija

² Katedra za higijenu i tehnologiju namirnica animalnog porekla, Fakultet
veterinarske medicine, Univerzitet u Beogradu, Beograd, Srbija

*email kontakt osobe: djordjepajicic505@gmail.com

Kratak sadržaj

Prisustvo aflatoksina M1 (AFM1) u mleku je posledica ishrane životinja hranom kontaminiranom AFB1, koji se u organizmu životinje metaboliše do AFM1 i izlučuje putem mleka (Prandini i sar., 2009). AFM1 se može detektovati u mleku dva do tri dana nakon unosa AFB1 hranom (Womack i sar., 2016). Na prenos aflatoksina iz hrane za životinje u mleko kod mlečnih krava utiču brojni faktori, uključujući sastav hrane za životinje, količina i brzina unosa hrane, metabolizam hrane u predželucima i želucu, , zdravstveno stanje životinje, metaboličku aktivnost jetre i mlečnost (Duarte i sar., 2013). AFM1 predstavlja značajan problem po javno zdravlje, s obzirom da dugotrajna izloženost može biti povezana sa genotoksičnim, mutagenim, kancerogenim i imunosupresivnim efektima (Zahra i sar., 2024). Iako je njegov kancerogeni potencijal niži u odnosu na AFB1, prisustvo AFM1 u mleku od posebnog je značaja za odojčad, decu i mlade osobe zbog većeg udela mleka u ishrani i povećane osetljivosti na štetno delovanje mikotoksina (Zahra i sar., 2024; Womack i sar., 2016).

Cilj ovog istraživanja bio je da se proceni bezbednost sirovog i pasterizovanog mleka sa teritorije Zapadnobačkog okruga sa aspekta prisustva AFM1, određivanjem njegove koncentracije i učestalosti uzoraka sa koncentracijom iznad maksimalno dozvoljene vrednosti tokom trogodišnjeg perioda (od 2023 do 2025. godine), kao i da se proceni uticaj godine ispitivanja i godišnjeg doba na nivo kontaminacije.

Ispitivanjem je obuhvaćeno ukupno 4392 uzorka mleka, od čega 2308 uzoraka sirovog i 2084 uzorka pasterizovanog mleka. Detekcija i kvantifikacija AFM1 sprovedene su primenom ELISA metode korišćenjem komercijalnog dijagnostičkog kita „ProGnosis Biotech – Bio-Shield M1 Fast“. Statistička obrada podataka izvršena je u programu IBM SPSS Statistics 27. Normalnost raspodele koncentracija AFM1 procenjena je primenom Shapiro-Wilk testa i vizuelnom analizom normalnih Q-Q dijagrama. S obzirom da nisu pratile normalnu raspodelu, razlike u koncentracijama između godina ispitivanja i godišnjih doba analizirane su Kruskal-Wallis

neparametrijskim testom. Kada je Kruskal-Wallisov test bio statistički značajan, sprovedena su naknadna parna poređenja uz Bonferroni korekciju. Deskriptivni pokazatelji obuhvatili su broj uzoraka, srednju vrednost, standardnu devijaciju, medijanu, interkvartilni raspon i raspon vrednosti. Statistička značajnost definisana je na nivou $p < 0,05$.

Koncentracija AFM1 iznad maksimalno dozvoljene vrednosti propisane za mleko u Republici Srbiji ($0,25 \mu\text{g/kg}$) utvrđena je u 828 od ukupno 4392 analizirana uzorka (18,9%). Najviša koncentracija AFM1 utvrđena je u 2025. godini ($0,292 \pm 0,009$; min – max: $0,005 - 1,250 \mu\text{g/kg}$; $p < 0,001$). Koncentracije utvrđene u 2023. i 2024. godini nisu se međusobno statistički značajno razlikovale ($p = 1,000$). Najviša koncentracija AFM1 utvrđena tokom 2025. godine može se dovesti u vezu sa nepovoljnim meteorološkim uslovima tokom kritičnih faza razvoja useva, (smena više toplotnih talasa i naglih zahlađenja) koju su pogodovali kontaminaciji hrane za životinje AFB1, naročito kukuruza i soja (Krstović i sar., 2025).

Koncentracije AFM1 značajno su se razlikovale u zavisnosti od godišnjeg doba ($p < 0,001$). Najviše koncentracije AFM1 zabeležene su u uzorcima prikupljenim tokom zimskog perioda ($0,230 \pm 0,009 \mu\text{g/kg}$), a najniže tokom leta ($0,106 \pm 0,004 \mu\text{g/kg}$). Koncentracije AFM1 tokom leta bile su statistički značajno niže u odnosu na sva ostala godišnja doba, dok je između koncentracija u uzorcima prikupljenim tokom proleća i jeseni takođe utvrđena statistički značajna razlika ($p < 0,05$). Između zime i proleća, kao i zime i jeseni, nije utvrđena statistički značajna razlika. Utvrđene razlike u koncentraciji AFM1 u zavisnosti od godišnjeg doba mogu se povezati sa promenama u režimu ishrane muznih grla i kvalitetu stočne hrane (Iqbal i sar., 2015; Duarte i sar., 2013). U zimskom periodu, usled smanjene dostupnosti sveže zelene kabaste hrane, povećava se udeo uskladištenih hraniva i koncentrovanih smeša, naročito onih koje sadrže kukuruz, čime se može povećati izloženost muznih krava AFB1. Kao posledica toga dolazi do povećanja koncentracije AFM1 u mleku ((Saeed i sar., 2026; Krstović i sar., 2025). Nasuprot tome, veća zastupljenost sveže kabaste hrane tokom toplijih meseci može doprineti nižoj koncentraciji AFM1 u mleku (Saeed i sar., 2026; Krstović i sar., 2025; Iqbal i sar., 2015; Iqbal i sar., 2013; Fallah, 2013).

Dobijeni rezultati potvrđuju da koncentracija AFM1 u mleku značajno varira u zavisnosti od godine ispitivanja i godišnjeg doba. Činjenica da je kod gotovo petine uzoraka (18,9%) utvrđena koncentracija AFM1 iznad maksimalno dozvoljene vrednosti ukazuje na potrebu za kontinuiranim monitoringom mleku, unapređenjem kontrole kvaliteta hrane za životinje i blagovremenim prepoznavanjem perioda povećanog rizika od kontaminacije.

Ključne reči: mikotoksini, bezbednost hrane, hemijska kontaminacija, aflatoxin M1

Zahvalnica

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

Autori se zahvaljuju veterinarskim tehničarima Silviji Merkl, Tamari Čonić i Aleksi Dokmanoviću na stručnoj i tehničkoj pomoći tokom pripreme uzoraka za izvođenje analiza.

LITERATURA

1. Duarte S. C., Almeida A. M., Teixeira A. S., Pereira A. L., Falcão A. C., Pena A., Lino C. M. 2013. Aflatoxin M1 in marketed milk in Portugal: Assessment of human and animal exposure. Food Control, 30(2):411–417. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodcont.2012.08.002>.
2. Fallah A. A. 2010. Aflatoxin M1 contamination in dairy products marketed in Iran during winter and summer. Food Control, 21(11):1478–1481. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodcont.2010.04.017>.
3. Iqbal S. Z., Asi M. R., Jinap S. 2013. Variation of aflatoxin M1 contamination in milk and milk products collected during winter and summer seasons. Food Control, 34(2):714–718. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodcont.2013.06.009>.
4. Iqbal S. Z., Jinap S., Pirouz A. A., Ahmad Faizal A. R. 2015. Aflatoxin M1 in milk and dairy products, occurrence and recent challenges: A review. Trends in Food Science & Technology, 46(1):110–119. <http://dx.doi.org/10.1016/j.tifs.2015.08.005>.
5. Krstović S., Jakšić S., Miljanić J., Ilić B., Živkov Baloš M., Guljaš D., Damjanović M., Jajić I. 2025. Annual and seasonal variations in aflatoxin M1 in milk: Updated health risk assessment in Serbia. Toxins, 17(11):544. <http://dx.doi.org/10.3390/toxins17110544>.
6. Prandini A., Tansini G., Sigolo S., Filippi L., Laporta M., Piva G. 2009. On the occurrence of aflatoxin M1 in milk and dairy products. Food and Chemical Toxicology, 47(5):984–991. <http://dx.doi.org/10.1016/j.fct.2007.10.005>.
7. Saeed M. K., Zahra N., Anwar H. K., Khan A., Kazim M. Z., Ijaz A., Ahmad I. 2026. Identification and estimation of aflatoxin M1 in milk powder, pasteurized milk, and raw milk from the local market Lahore by ELISA. MARKHOR (The Journal of Zoology), 7(1):24–28. <http://dx.doi.org/10.54393/mjz.v7i1.211>.
8. Womack E. D., Sparks D. L., Brown A. E. 2016. Aflatoxin M1 in milk and milk products: a short review. World Mycotoxin Journal, 9(2):305–315. <http://dx.doi.org/10.3920/WMJ2014.1867>.
9. Zahra N., Tayyab M., Saeed M. K., Maqsood F., Saeed A., Ali A., Syed Q. A., Abidi S. H. I. 2024. Aflatoxin M1 contamination in milk: A serious issue to be tackled. Journal of Nutrition and Food Processing, 7(2):1–5. <http://dx.doi.org/10.31579/2637-8914/202>.