

**INSTYTUT BIOTECHNOLOGII
PRZEMYSŁU ROLNO-SPOŻYWCZEGO
im. prof. Wacława Dąbrowskiego
PAŃSTWOWY INSTYTUT BADAWCZY**

Występowanie aflatoksyn M1 i M2 w mleku surowym oraz w mleku w proszku

Badania zrealizowane w ramach Zadania 2. „Ocena wpływu regulacji Komisji Europejskiej w zakresie zanieczyszczeń żywności na ryzyko w obrocie handlowym surowcami rolnymi i żywnością”
realizowanego na zlecenie Ministerstwa Rolnictwa i Rozwoju Wsi

Występowanie aflatoksyn M1 i M2 w mleku surowym oraz w mleku w proszku

Autorzy: dr hab. inż. Marcin Bryła, prof. IBPRS-PIB

dr inż. Joanna Kanabus

mgr inż. Magdalena Beczek

dr inż. Katarzyna Kycia

mgr inż. Beata Śmiech

mgr. Kinga Górską

Zakład Bezpieczeństwa i Analizy Chemicznej Żywności

Zakład Biotechnologii Mleka

Instytut Biotechnologii Przemysłu Rolno- Spożywczego im. prof. Wacława Dąbrowskiego –
Państwowy Instytut Badawczy

Warszawa, grudzień 2025 r.

1. Wprowadzenie

Jednym z kluczowych elementów polityki bezpieczeństwa żywności Unii Europejskiej jest ciągła ocena ryzyka związanego z obecnością zanieczyszczeń chemicznych w surowcach rolnych i produktach spożywczych oraz dostosowywanie regulacji prawnych do aktualnego stanu wiedzy naukowej. Aflatoksyny stanowią grupę związków o szczególnym znaczeniu w tym obszarze, ponieważ charakteryzują się wysoką toksycznością, stabilnością oraz zdolnością do przenikania ze skażonych surowców do produktów spożywczych pomimo stosowanych procesów przetwórczych. Z uwagi na właściwości kancerogenne aflatoksyny B1 (AFB1) oraz toksykologiczne znaczenie jej metabolitu — aflatoksyny M1 (AFM1) — Komisja Europejska od wielu lat prowadzi działania regulacyjne mające na celu ograniczanie ich występowania w paszach oraz żywności.

Aflatoksyny są wtórnymi metabolitami saprofitycznych i oportunistycznych pleśni *Aspergillus flavus* i *A. parasiticus*. Pleśnie te w sprzyjających warunkach klimatycznych rozwijają się w zbożach i kukurydzy. Spożycie paszy skażonej AFB1 lub AFB2 przez bydło mleczne prowadzi do powstawania toksycznych metabolitów, odpowiednio aflatoksyny M1 oraz aflatoksyny M2, które mogą być wydzielane do mleka już w ciągu kilkunastu godzin od ekspozycji. AFM1 zachowuje stabilność podczas obróbki termicznej, dlatego może występować zarówno w mleku surowym, jak i produktach przetworzonych. Związek ten wykazuje hepatotoksyczność, jest klasyfikowany jako możliwy czynnik rakotwórczy dla człowieka i stanowi szczególnie istotne zagrożenie dla niemowląt oraz małych dzieci, dla których mleko jest podstawowym składnikiem diety. Z kolei AFM2 jest metabolitem aflatoksyny B2 (AFB2), która na ogół występuje w paszach znacznie rzadziej i zwykle w dużo niższych stężeniach niż AFB1, a której obecność może dodatkowo wspierać ocenę ryzyka, stanowiąc uzupełniający wskaźnik jakości pasz i bezpieczeństwa mleka.

Powszechne spożycie mleka i produktów mlecznych uzasadnia konieczność monitorowania poziomu aflatoksyn, zwłaszcza w kontekście zmian klimatycznych sprzyjających rozwojowi pleśni toksynotwórczych oraz zmieniających się praktyk żywieniowych w gospodarstwach mlecznych, co podkreśla potrzebę bieżącej oceny ryzyka i skuteczności obowiązujących regulacji. Aktualnie obowiązującym aktem prawnym określającym najwyższą dopuszczalną zawartości aflatoksyny M1 w mleku jest Rozporządzenie Komisji (UE) 2023/915 z dnia 25 kwietnia 2023 r. w sprawie najwyższych dopuszczalnych poziomów niektórych zanieczyszczeń w żywności oraz uchylające rozporządzenie (WE) nr 1831/2003. Według tego dokumentu maksymalnie dopuszczony poziom AFM1 w mleku surowym, mleku poddanym obróbce termicznej oraz mleku służącym

do wytwarzania produktów na bazie mleka wynosi 0,050 µg/kg (Tabela 1). Rozporządzenie to nie określa natomiast odrębnych limitów dla aflatoksyny M2 (AFM2), co wynika z jej znacznie rzadszego występowania oraz niższej toksyczności w porównaniu z AFM1. Obecność AFM2 może być monitorowana w ramach badań analitycznych, jednak nie podlega ocenie względem określonych wartości granicznych.

Tabela 1. Najwyższe dopuszczalne poziomy zanieczyszczeń aflatoksyną M1 wg. Rozp. Komisji (UE) 2023/915 z dnia 25 kwietnia 2023 r. w sprawie najwyższych dopuszczalnych poziomów niektórych zanieczyszczeń w żywności oraz uchylające rozporządzenie (WE) nr 1881/2006.

Zanieczyszczenie	Produkt/Matryca	Najwyższy dopuszczalny poziom
Aflatoksyna M1 (AFM1)	Mleko surowe, mleko poddane obróbce termicznej i mleko służące do wytwarzania produktów na bazie mleka	0,050 µg/kg (50 ng/kg)

2. Cel i zakres badań

Celem badań była ocena występowania aflatoksyn M1 i M2 w mleku surowym pochodzącym z gospodarstw zlokalizowanych na terenie Polski oraz w mleku w proszku dostępnym na krajowym rynku detalicznym w 2025 roku. Zakres prac obejmował analizę próbek mleka zbiorczego pobieranych od producentów reprezentujących różne regiony kraju, a także próbek mleka w proszku dostępnych na rynku krajowym, co umożliwiło ocenę poziomu tych zanieczyszczeń zarówno w surowcu, jak i w produktach przetworzonych.

3. Materiał i metodyka badań

3.1 Materiał badawczy

Materiał do badań stanowiły próbki mleka surowego ($n = 213$) pochodzące od krów mlecznych utrzymywanych w gospodarstwach zlokalizowanych w różnych regionach Polski. Próbki mleka zbiorczego pobierano bezpośrednio na terenie gospodarstw rolnych prowadzących chów bydła w systemie konwencjonalnym, co umożliwiło uzyskanie reprezentatywnego obrazu sytuacji w skali kraju. Pobór próbek prowadzono w 2025 roku z częstotliwością 1-2 razy w miesiącu, począwszy od początku do końca roku, co pozwoliło na uwzględnienie potencjalnego wpływu sezonowości na występowanie aflatoksyn w mleku. Próbki pobierano przez cały rok od tych samych gospodarstw. Próbki reprezentowały różne

regiony geograficzne kraju, obejmując obszary o zróżnicowanych warunkach klimatycznych i produkcyjnych.

Ponadto materiał do badań stanowiło mleko w proszku (n=35) pełne i odtłuszczone dostępne w sieciach handlu detalicznego na terenie całego kraju. W celach porównawczych uwzględniających wpływ warunków klimatycznych, analizie poddano również próbki mleka w proszku pochodzące od producentów z państw Grupy Wyszehradzkiej, tj. Słowacji, Czech oraz Węgier (n=25), a także Iranu (n=10).

3.2 Metodyka badań

Oznaczanie aflatoksyn M1 i M2 wykonano metodą wysokosprawnej chromatografii cieczowej z detekcją fluorescencyjną (HPLC-FLD), po wcześniejszym oczyszczeniu próbek na kolumnach powinowactwa immunologicznego (*Afla M1 LC*, VICAM). Metoda została zwalidowana dla badanych matryc, a jej przydatność potwierdzono poprzez określenie granicy wykrywalności (LOD) oraz granicy oznaczalności (LOQ), zgodnych z wymaganiami prawa unijnego dotyczącymi oznaczania AFM1 w mleku (Tabela 2). Dokładność metody oceniono na podstawie testów odzysku, uzyskując wartości 70-120 %. Oznaczenia prowadzono w laboratorium akredytowanym zgodnie z normą PN-EN ISO/IEC 17025.

Tabela 2. Granice wykrywalności oraz oznaczalności dla analizowanych związków

	Mleko płynne	Mleko w proszku
Aflatoksyna M1 (AFM1)	LOD = 0,0006 µg/kg (0,6 ng/kg) LOQ = 0,002 µg/kg (2 ng/kg)	LOD = 0,006 µg/kg (6 ng/kg) LOQ = 0,020 µg/kg (20 ng/kg)
Aflatoksyna M2 (AFM2)	LOD = 0,0003 µg/kg (0,3 ng/kg) LOQ = 0,001 µg/kg (1 ng/kg)	LOD = 0,003 µg/kg (3 ng/kg) LOQ = 0,010 µg/kg (10 ng/kg)

4.0 Wyniki badań, analiza ryzyka i rekomendacje

4.1 Mleko surowe

Spośród 213 analizowanych próbek mleka surowego obecność AFM1 na poziomie $\geq$ LOQ stwierdzono w 3 próbkach, co stanowiło 1,41% ogółu próbek (Tabela 3). Zawartość AFM1 w próbkach pozytywnych mieściła się w zakresie od 0,010 do 0,019 µg/kg, a wszystkie oznaczone stężenia uzyskane dla AFM1 były istotnie niższe od najwyższego dopuszczalnego poziomu określonego w Rozporządzeniu Komisji (UE) 2023/915, wynoszącego 0,050 µg/kg. W żadnej z badanych próbek mleka surowego nie stwierdzono więc zagrożenia związanego z

przekroczeniem najwyższego dopuszczalnego poziomu aflatoksyny M1 określonego w obowiązujących przepisach.

Tabela 3. Wyniki oznaczeń zanieczyszczeń aflatoksyną M1 oraz aflatoksyną M2 w mleku surowym oraz w mleku w proszku

Produkt	Zanieczyszczenie	n liczba próbek	n pozytywnych	% pozytywnych	Zawartość [µg/kg]		Najwyższy dopuszczalny poziom UE [µg/kg]
					min	max	
Mleko surowe	Aflatoksyna M1	213	3	1,41%	<LOQ	0,019	0,050
	Aflatoksyna M2	213	2	0,94%	<LOQ	0,078	n.d.*
Mleko w proszku	Aflatoksyna M1	70	4	5,71%	<LOQ	0,101	n.d.*
	Aflatoksyna M2	70	6	8,57%	<LOQ	0,049	n.d.*

Objaśnienia:

n- liczba próbek

LOQ – granica oznaczalności metody dla danej matrycy i analitu:

- w mleku surowym LOQ dla AFM1=0,002 µg/kg; LOQ dla AFM2 = 0,001 µg/kg.
- w mleku w proszku LOQ dla AFM1=0,02 µg/kg; LOQ dla AFM2 = 0,01 µg/kg.

n.d.* - brak odrębnego najwyższego dopuszczalnego poziomu określonego w przepisach UE.

Obecność aflatoksyny M2 (AFM2) została wykryta w 2 próbkach mleka surowego (0,94% próbek). Oznaczone zawartości AFM2 mieściły się w zakresie od 0,012 do 0,078 µg/kg. Dla aflatoksyny M2 nie określono w przepisach Unii Europejskiej najwyższego dopuszczalnego poziomu w mleku, jednak jej obecność może świadczyć o ekspozycji zwierząt na aflatoksynę B2 oraz o warunkach sprzyjających skażeniu pasz przez grzyby toksynotwórcze. Mimo braku prawnie ustanowionych wartości granicznych, monitoring AFM2 pozostaje zasadny, ponieważ wykrycie AFM2 może dodatkowo wspierać ocenę ryzyka i interpretację wyników dotyczących AFM1, stanowiąc uzupełniający wskaźnik jakości pasz i bezpieczeństwa mleka.

Niska częstość występowania aflatoksyn w mleku surowym oraz bardzo niskie wykryte stężenia w próbkach pozytywnych wskazują na dobrą jakość surowca mlecznego w badanym okresie, oraz pośrednio na skuteczność obowiązujących regulacji dotyczących dopuszczalnych poziomów aflatoksyny B1 w paszach dla krów mlecznych. Jednocześnie obecność próbek pozytywnych wskazuje na potrzebę monitorowania tych zanieczyszczeń, zwłaszcza w obliczu zmieniających się warunków klimatycznych. Warto podkreślić, że wszystkie próbki mleka surowego, w których stwierdzono obecność aflatoksyn, pochodziły z okresu wiosenno-letniego, co może wskazywać na sezonowy charakter występowania tych zanieczyszczeń, potwierdzając związek z warunkami klimatycznymi sprzyjającymi rozwojowi grzybów toksynotwórczych.

4.2 Mleko w proszku

W próbkach mleka w proszku aflatoksyna M1 została wykryta w 4 (2 próbki z Polski i 2 próbki z Iranu) spośród 70 analizowanych próbek, co stanowiło 5,71% badanych próbek (Tabela 3). Stężenia AFM1 w tych próbkach mieściły się w zakresie 0,042-0,101 µg/kg. Należy podkreślić, że dla mleka w proszku nie określono odrębnych najwyższych dopuszczalnych poziomów AFM1 w obowiązujących przepisach UE, a uzyskane wyniki należy interpretować z uwzględnieniem charakteru produktu skoncentrowanego.

Aflatoksyna M2 została wykryta w 6 próbkach (1 próbka z Polski, 5 próbek z Iranu) mleka w proszku (8,57% przebadanych próbek). W pozostałych próbkach zawartość AFM2 była poniżej granicy oznaczalności metody. Podobnie jak w przypadku mleka surowego, obecność AFM2 w mleku w proszku nie podlega bezpośredniej ocenie regulacyjnej, jednak jej oznaczenie dostarcza dodatkowych informacji o potencjalnych źródłach skażenia surowca.

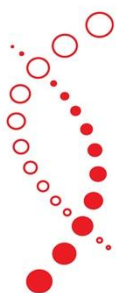
Uzyskane wyniki wskazują, że ryzyko zdrowotne związane z obecnością aflatoksyny M1 w mleku surowym produkowanym w Polsce w 2025 roku jest niskie. We wszystkich próbkach mleka surowego stężenia AFM1 były znacząco niższe od obowiązujących limitów prawnych, a odsetek próbek pozytywnych był niski. W przypadku mleka w proszku stwierdzono pojedyncze przypadki wykrycia AFM1 na poziomach wyższych niż w mleku surowym, co wynika z koncentracji suchej masy w trakcie procesu produkcyjnego. Brak odrębnych limitów dla tego produktu wymaga jednak ostrożnej interpretacji wyników, zwłaszcza w kontekście żywienia dzieci.

Na podstawie uzyskanych wyników badań zaleca się:

- kontynuację rutynowego monitoringu aflatoksyny M1 w mleku surowym, ze szczególnym uwzględnieniem okresów podwyższonego ryzyka środowiskowego (wysokie temperatury, zmiany w rozkładzie opadów) oraz prowadzenie pomocniczego monitoringu aflatoksyny M2 jako wskaźnika ogólnych warunków sprzyjających skażeniu pasz;
- utrzymanie nadzoru nad jakością pasz stosowanych w żywieniu krów mlecznych, w szczególności w zakresie zawartości aflatoksyny B1;
- okresową ocenę poziomów aflatoksyn w mleku w proszku.

5. Podsumowanie

- Spośród 213 przebadanych próbek mleka surowego aflatoksynę M1 (AFM1) wykryto w 3 próbkach, natomiast aflatoksynę M2 (AFM2) w 2 próbkach mleka surowego. Żadne z oznaczonych stężeń AFM1 nie przekroczyło najwyższego dopuszczalnego poziomu określonego w przepisach Unii Europejskiej, wynoszącego 0,05 µg/kg, co potwierdza wysoki poziom bezpieczeństwa badanego surowca mlecznego.
- Wszystkie próbki mleka surowego, w których stwierdzono obecność aflatoksyn, pochodziły z okresu wiosenno-letniego, co wskazuje na sezonowy charakter występowania tych zanieczyszczeń i potwierdza związek z warunkami sprzyjającymi rozwojowi grzybów toksynotwórczych.
- W próbkach mleka w proszku aflatoksynę M1 stwierdzono w 4 próbkach (2 próbki z Polski, 2 próbki z Iranu), natomiast aflatoksynę M2 w 6 próbkach (1 próbka z Polski, 5 z Iranu). Uzyskane wyniki wskazują na sporadyczne występowanie metabolitów aflatoksyn w produktach mleczarskich o podwyższonej zawartości suchej masy.
- Całokształt uzyskanych wyników świadczy o niskim ryzyku zdrowotnym związanym z obecnością aflatoksyn M1 i M2 w mleku dostępnym na polskim rynku.
- Stwierdzenie obecności próbek pozytywnych w kierunku aflatoksyn M1 i M2, w połączeniu z obserwowanym wpływem zmian klimatycznych sprzyjających rozwojowi grzybów z rodzaju *Aspergillus*, wskazuje na zasadność prowadzenia ciągłego monitoringu aflatoksyn w mleku oraz produktach mlecznych w celu zapewnienia wysokiego poziomu bezpieczeństwa żywności.



**INSTYTUT BIOTECHNOLOGII
PRZEMYSŁU ROLNO-SPOŻYWCZEGO
im. prof. Wacława Dąbrowskiego
PAŃSTWOWY INSTYTUT BADAWCZY**

ZA

**Zakład
Bezpieczeństwa
i Analizy Chemicznej
Żywności**

GM

**Międzyzakładowa
Grupa Problemowa
ds. Mleczarstwa**

Kierownik Zakładu

dr hab. inż. Marcin Bryła, prof. IBPRS – p.o. Kierownika Zakładu
tel. 22 606 38 42; e-mail: marcin.bryla@ibprs.pl

Kierownik Grupy Problemowej ds. Mleczarstwa

dr inż. Katarzyna Kycia
tel. 22 606 37 86; e-mail: katarzyna.kycia@ibprs.pl