

Pozostałości antybiotyków i ich udział w powstawaniu bakterii antybiotykoopornych i przenoszących geny antybiotykooporności jako globalny problem producentów mleka

Agata Szewczyk¹ , Paweł Paraponiak¹ 

¹ *Instytut Zootechniki Państwowego Instytut Badawczego, Zakład Systemów i Środowiska Produkcji, 32-083 Balice k. Krakowa*

Wstęp
Zwierzęta gospodarskie są jednym z wektorów przekazywania genów antybiotykooporności. Przenoszą je na ludzi na drodze pokarmowej i zanieczyszczenia środowiska (Amarlapudi i in., 2025). Dlatego, aby temu zaradzić, w chowie zwierząt gospodarskich zostały wprowadzone zasady obrotu i stosowania substancji antybiotycznych. Zakazano prowadzenia profilaktyki przy użyciu antybiotyków. Dzięki sztywnym wytycznym odnośnie dawkowania i karencji w założeniu w produktach spożywczych uzyskanych od zwierząt nie powinno być pozostałości substancji leczniczych. Jednak, pomimo uszczelniania systemu zarządzania i podawania antybiotyków rolnictwo nadal jest rezerwuarem pozostałości tych substancji i zawartości bakterii z genami oporności, które według Światowej Organizacji Zdrowia (WHO) mają bezpośredni wpływ na zdrowie publiczne. Ten problem dotyczy niemal wszystkich krajów, nie tylko z wysoko rozwiniętym rolnictwem. Jednym z mechanizmów przenoszenia oporności jest tzw. droga pionowa, gdy po zastosowaniu substancji antybiotykowej pozostałe po leczeniu odporne bakterie namnażają się (Lam i in., 2025). Antybiotykooporność może też być przekazywana przez poziomy transfer genów (wiązaną, transformacja, transdukcja) przy pomocy plazmidów, transpozonów i integronów,

które ułatwiają przekazywanie tej cechy pomiędzy różnymi bakteriami (Wang i in., 2025).

Artykuł ten jest próbą skierowania uwagi na luki w systemie zarządzania podażą antybiotyków, poprzez które – pomimo ścisłej kontroli i zmniejszania ilości użytych preparatów – nadal trafiają do środowiska ich pozostałości oraz bakterie odporne i niosące oporność na nie.

Nawozy organiczne jako środowisko selekcji i transferu genów oporności

Badania wskazują, że od 20 do 80 a nawet 90% procent podanej dawki środka przeciwdrobnoustrojowego jest wydalone z kałem (Ince i in., 2013). Jest niewiele doniesień na temat ilości i pozostałości w moczu metabolitów antybiotykowych (Ray i in., 2014; Sardar i in., 2023), jak np.: metabolity cefalosporyn, penicylin, karbapenemów, makrolidów, linkozamidów, ansamycyny, sulfonamidów, metronidazolu, fluorochinolonów, itrakonazolu (Jones i Packer, 1984; Ince i in., 2013; Ozimek i in., 2017), które posiadają aktywność przeciwdrobnoustrojową i mogą pozostawać w organizmie dłużej niż substancja pierwotna. Metabolity zazwyczaj są wydalone z moczem. Ich poziom jest znacznie trudniej oznaczalny, ale przenoszą antybiotykooporność tak samo jak substancje pierwotne. W oborniku najczęściej są identyfikowane odporne na anty-

biotyki bakterie z gatunku *Enterobacteriaceae*, *Campylobacter*, *Staphylococcus* i *Enterococcus* oraz ze szczepów przenoszonych przez żywność – *Salmonella* spp. i *Escherichia coli* (Oliver i in., 2020). Środki przeciwdrobnoustrojowe najwyższe stężenie wykazują zaraz po podaniu leku, a ich koncentracja zmniejsza się z czasem aż do całkowitej eliminacji (Hajrulai-Musliu i in., 2023). W przypadku pozostałości w oborniku są one obecne przez tygodnie a nawet miesiące. Pomimo różnych możliwości i sposobu zarządzania obrotem i składowaniem obornika od zwierząt w gospodarstwach, zazwyczaj stosowane metody dotyczą ograniczania strat azotu czy też przechowywania w sposób ograniczający zanieczyszczenie wód gruntowych. Nie istnieją metody zarządzania obornikiem, gnojówką czy gnojowicą zanieczyszczonymi substancjami antybiotycznymi. Wprowadzana ostatnio w weterynarii diagnostyka patogenów chorobowych powala na antybiotykoterapię celowaną, która zmniejsza liczbę zastosowanych antybiotyków. Dopóki nie opracuje się jednak metod segregacji i recyklingu lub utylizacji zanieczyszczonego substancjami antybiotycznymi nawozu organicznego (obornik, gnojówka, gnojowica), dopóty nie zapobiegnie się ucieczce patogenów niosących gen antybiotykooporności.

Rola siary w przenoszeniu pozostałości antybiotyków w stadach krów mlecznych

Często do puli substancji przeciwdrobnoustrojowych w oborniku pochodzącym od krów mlecznych dochodzą pozostałości antybiotyków z mleka odpadowego po leczeniu *mastitis*, ale też po zasuszaniu krów przy użyciu antybiotyków, czyli tzw. standardowej antybiotykowej terapii krów w zasuszeniu, gdzie do każdego strzyku wprowadzana jest dawka antybiotyku. Metoda ta stosowana jest co prawda coraz rzadziej i wyłącznie w przypadku wskazań weterynaryjnych ze względu na zakaz profilaktycznego stosowania antybiotyków. Częściej stosowana jest selektywna terapia krów zasuszonych, w której antybiotyk stosuje się tylko do tych ćwiartek wy-

mienia, z których mleko ma podwyższoną liczbę komórek somatycznych. Zasuszanie krów jest procedurą, która ma spowodować zakończenie produkcji mleka w celu przygotowania krowy i jej wymienia do następnej laktacji. Metody te polegają na skróceniu okresu zasuszania poniżej 40 dni. Szacuje się, że nawet 90% krów mlecznych w Polsce jest zasuszanych przy pomocy antybiotyków.

Ilości wydalanego przez zwierzęta z kałem i moczem antybiotyku zależą od rodzaju stosowanych preparatów, jak również ich dawki i długości leczenia. Mają na to wpływ też takie czynniki, jak wiek, masa ciała i stan zdrowia zwierząt. W doniesieniach dotyczących obecności resztek antybiotyków w mleku spożywczym po upływie okresu karencji wspomina się o ich braku lub pozostałościach na poziomie niższym od wartości dopuszczalnych. Jednak, szczególnie przy skróceniu okresu zasuszania, pozostałości antybiotyków podanych dostrzykowo w bardzo dużych ilościach są wraz z siarą pobierane przez cielęta, powodując zmiany w ich mikrobiomie jelitowym (Du i in., 2023). Sprawia to, że są one częściej narażone na zakażenia bakteriami opornymi na antybiotyki, najczęściej są to infekcje ESBL / AmpC-EC (Lam i in., 2025). Bakterie lekooporne, jak i niosące geny oporności na substancje antybiotykowe wykrywane są nawet u cieląt nie leczonych nigdy antybiotykami (Oliver i in., 2020). Długość okresu zasuszania ma wpływ na poziom pozostałości antybiotyków w siarze krów (Bachmann i in., 2018). W badaniach Lam i in. (2025) stwierdzono pozostałości antybiotyków w siarze 64% badanych krów, które otrzymały antybiotyk w procedurach zasuszania. Im dłuższy był okres zasuszania, tym niższa była ilość stwierdzanych pozostałości. Najczęściej stosowane są penicyliny lub penicyliny połączone z aminoglikozydami oraz cefalosporyny (Ricci i in., 2017). Rozwiązaniem tego problemu może być opracowanie innych metod wspomagających proces zasuszania krów bez użycia antybiotyków lub powrót do dłuższego okresu zasuszania – powyżej 62 dni. W sytuacji, gdy cielęta spożywają siarę lub mleko zanieczyszczone antybiotykami,

pozostałości tych substancji mają duży wpływ na bakterie w rozwijającym się mikrobiomie jelitowym. Następuje wzrost bakterii opornych na antybiotyki (ARB). Cielęta wydają następnie odporne bakterie z kałem, zanieczyszczając ściółkę, glebę i wodę, tworząc rezerwuariusz dla oporności na środki przeciwdrobnoustrojowe (AMR). Bakterie odporne na antybiotyki (ARB) mogą przenosić się na ludzi poprzez środowisko lub produkty spożywcze. Bezpośrednie działanie pozostałości antybiotyków na cielęta to częstsze występowanie biegunki i zmiany mikrobiomu jelitowego, co potencjalnie zwiększa liczbę patogenów, takich jak *Campylobacter* i *Pseudomonas*.

Brak pozostałości antybiotyków ale i bakterii niosących gen oporności jest bardzo ważny również w kontekście siary (colostrum) pozyskiwanej jako nutraceutyk. Cunha i in. (2021) w badaniach siary stwierdzili występowanie bakterii *Enterococcus faecalis*, która jest wskaźnikiem zanieczyszczenia kałem i zakażeń szpitalnych, odpornej w całości na chinuprystynę-dalfoprystynę, tetracyklinę (79,1%), erytromycynę (79,1%), streptomycynę (57,1%), ryfampicynę (47,3%), chloramfenikol (25,3%) i ciprofloksacynę (11,0%), a także na wankomycynę, teikoplaninę, nitrofurantoinę, fosfomicynę i linezolid poniżej 10%. Nie stwierdzono oporności na ampicylinę ani gentamycynę. 85,7% badanych prób wykazało oporność wielolekową. Skutkiem spożywania takiej siary przez cielęta jest kolonizacja ich przewodu pokarmowego przez oporną na antybiotyki *E. faecalis*. Sytuacja ta przyczynia się do rozprzestrzeniania się bakterii opornych na antybiotyki i niosących geny oporności na antybiotyki. Bakterie odporne mogą być przenoszone na inne zwierzęta, na ludzi poprzez kontakt ze zwierzętami oraz poprzez żywność pochodzącą od tych zwierząt, jak również poprzez kał cieląt, powodując zanieczyszczenie środowiska, mikrobiomu glebowego i roślin uprawnych (Cunha i in., 2021; Gosselin i in., 2021; Ulloa i in., 2025).

Mleko odpadowe jako rezerwuariusz pozostałości antybiotyków i genów oporności

Bardzo często z powodów ekonomicznych hodowcy traktują siarę i mleko odpadowe jako dobrą płynną paszę dla cieląt. Niestety, cielęta otrzymują wraz z nim substancje, które są bezwzględnie zakazane do konsumpcji przez ludzi. W skład mleka odpadowego wchodzi bowiem mleko od krów z infekcjami wymienia – mastitis, leczonych antybiotykami, wraz z ropą, fibryną i wysiękami, zanieczyszczone innymi lekami, o wysokiej liczbie komórek somatycznych, zawierające bakterie, takie jak *Salmonella* sp., *Mycoplasma* spp., wirusy (jak Wirusowa Biegunka Bydła), niskiej jakości siarę i mleko przejściowe. W badaniach przeprowadzonych w Szwajcarii wykazano, że w ponad 47% badanych gospodarstwach skarmia się cielętami mleko skażone substancjami przeciwdrobnoustrojowymi (Gosselin i in., 2021). Podobnie przedstawia się sytuacja w Chile, gdzie pozostałości przeciwdrobnoustrojowe, głównie beta-laktamy, były obecne w 55,6% badanych próbek. Oprócz pozostałości antybiotyków stwierdzono wysoki poziom gronkowców, *Streptococcus* (SSLO) i *E. coli*. Ponadto, *S. aureus*, *Mycobacterium* (MAP) i *Salmonella* spp. Wykryto również ESBL – *E. coli* z genem dominującym: *bla*_{CTX-M} (Ulloa i in., 2025). W Kanadzie, w badaniach przeprowadzonych na cielętach stwierdzono w kale kilka serotypów salmonelli (Derby, Senftenberg oraz Typhimurium DT02) oraz bakterie sESC-R *E. coli*, których 88% było opornych na ceftriakson, ceftiofur ze współopornością na streptomycynę, sulfisoksazol, trimetoprim-sulfametoksazol i tetracyklinę oraz w innych badaniach – na fluorochinolony i aminoglikozydy. W badaniu wykryto β-geny laktamazy należące do klasy molekularnej Amblera A (*bla*_{TEM}, *bla*_{CTX-M}, i *bla*_{SHV}) oraz C (*bla*_{CMY-2}). Autorzy sugerowali również obecność innych mechanizmów oporności ESC, takich jak pompy eflux lub determinanty oporności za po-

średnictwem chromosomów. Wszystkie próby kału pochodziły od cieląt odpajanych mlekiem odpadowym (Awosile i in., 2018).

W badaniach prowadzonych na przestrzeni ostatnich lat niektórzy autorzy stwierdzają brak negatywnego wpływu spożywania skażonego antybiotykami mleka na zdrowie i przyrosty cieląt. Wskazują wręcz pozytywny wpływ na dzienny przyrost masy ciała i inne zalety dla zdrowia cieląt karmionych odpadowym mlekiem w porównaniu do preparatów mlekozastępczych (Ma i in., 2022). To podejście jest krótkowzroczne, gdyż niskie dawki środków przeciwdrobnoustrojowych w skażonym mleku podawane cielętom mają podobne działanie jak zabroniona ustawowo profilaktyka przy pomocy antybiotyków. Pomimo pozornie nieszkodliwego stosowania obecne są mało widoczne a jednak bardzo groźne negatywne skutki. Wewnątrz organizmu cieląt zachodzą zmiany, takie jak selekcja w stronę bakterii opornych na środki przeciwdrobnoustrojowe i zmiana równowagi mikrobiomu jelitowego. Cielęta natomiast stają się wektorem dla bakterii opornych i niosących geny oporności. Na dalszym etapie, podobnie jak przy skażonej pozostałościami antybiotyków siarce, możliwe są negatywne konsekwencje dla środowiska i zdrowia konsumentów (Firth i in., 2021; Awosile i in., 2017; Awosile i in., 2018). Ze względu na duże ilości mleka odpadowego, traktowane jak utrata dochodu dla gospodarstw, podejmowane są próby zmniejszenia jego negatywnego wpływu poprzez pasteryzację lub zakiszenie (Ma i in., 2022). Jednakże, pomimo skuteczności pasteryzacji w usuwaniu bakterii nie eliminuje ona zanieczyszczeń antybiotykami. Obecność tych pozostałości i ich metabolitów pozostaje zagrożeniem dla zdrowia publicznego. Penicyliny i tetracykliny mogą przetrwać pasteryzację. Metabolity, czyli produkty rozpadu antybiotyków również wykazują aktywność biologiczną i mogą powodować problemy zdrowotne. Ich pozostałości w mleku pasteryzowanym sprzyjają rozwojowi opornych bakterii. Podobnie kiszenie, czyli fermentacja mleka nie eliminuje całkowicie pozostałości antybiotyków. Niektóre substancje

i pozostające po antybiotykach bardziej stabilne metabolity mogą pozostać w przetworzonym mleku (Londoño-Carmona i in., 2024). Jednym z takich antybiotyków są tetracykliny, które mogą przetrwać zarówno pasteryzację jak i fermentację.

Salerno i in. (2022) stwierdzają, że cielęta są głównym źródłem genów oporności na antybiotyki (ARG) rozprzestrzenianych w gospodarstwach zajmujących się produkcją mleka. W badaniach przeprowadzonych w Belgii wykazano, że występowanie genów oporności na antybiotyki *E. coli* i pozostałości antybiotyków jest wyższe w nawozach pochodzących od cieląt niż od dorosłych opasów, których odchody są używane do nawożenia pól (Huygens i in., 2021).

Zanieczyszczenie globalne pozostałościami antybiotyków

Pozostałości antybiotyków znajduje się także w mleku i przetworach mlecznych w różnych krajach świata, zarówno tych bardziej jak i mniej rozwiniętych (Sachi i in., 2019; Schlemper i in., 2017; Bahramian i in., 2022; Valderrama i in., 2022; Abebe i in., 2023; Brown i in., 2022). Jest to problem stale narastający i z całą pewnością globalny. Nie zawsze jednak wynika on ze świadomego wprowadzania zanieczyszczonego mleka do skupu. Często może być skutkiem zanieczyszczeń antybiotykowych, nagromadzonych na fermach przez wiele lat leczenia (tzw. tło). Stąd, doniesienia o obecności w kale i mleku pozostałości antybiotyków u zwierząt, którymi nie były leczone (Oliver i in., 2020). Problem pozostałości antybiotyków, bakterii opornych i niosących oporność na antybiotyki w zasadzie we wszystkich już środowiskach spowodował, że zaczęto uważać go za „planetarny”. W związku z tym przyjmuje się jedno globalne podejście do problemu: One Health – Jedno Zdrowie, uznając nierozzerwalny związek między zdrowiem ludzi, zwierząt i środowiska. Optymalizacja i równowaga między tymi składnikami może być osiągnięta dzięki współpracy fachowców z różnych dziedzin: rolnictwa, medycyny, weterynarii, ekologii, ale też naukowców i polityków (Zhao i in., 2025).

Podsumowanie

Rozwiązanie problemu antybiotykooporności w rolnictwie jest możliwe, gdy działania zostaną podjęte bezpośrednio na poziomie gospodarstw. Kluczowe znaczenie ma profilaktyka chorób zamiast rutynowego stosowania antybiotyków oraz dopuszczenie do stosowania alternatywnych metod zapobiegania chorobom jako te-

rapiom pierwszego rzutu. Równie istotną kwestią są badania naukowe nad zastępczymi terapiami odpowiadającymi aktualnym potrzebom hodowców, dostęp do szkoleń i zachęta do oddolnej inicjatywy, np. w postaci dopłat.

Zakazy i limity zużycia antybiotyków bez propozycji innych rozwiązań pozostaną martwym przepisem.

Literatura

- Abebe E., Gugsu G., Ahmed M., Awol N., Tefera Y., Abegaz S., Sisay T. (2023). Occurrence and antimicrobial resistance pattern of *E. coli* O157:H7 isolated from foods of bovine origin in Dessie and Kombolcha towns, Ethiopia. *PLoS Negl. Trop. Dis.*, 17(1):e0010706; doi: 10.1371/journal.pntd.0010706.
- Amarlapudi M.R., Balasubramaniam Singh A.H., Yadav A., Vishweswaraiah R.H., Pradhan D., Kumar N., Dhotre D., Kolte A.P., Mallappa R.H. (2025). Microbiome and antibiotic resistance profile of milk and faeces from cattle in an organized dairy production system. *International Journal of Antimicrobial Agents*, 66, 6: 107590; <https://doi.org/10.1016/j.ijantimicag.2025.107590>
- Awosile B., Smith B.A. (2017). Risk assessment modelling of fecal shedding caused by extended-spectrum cephalosporin-resistant *Escherichia coli* transmitted through waste milk fed to dairy pre-weaned calves. *J. Dairy Sci.*, 100, 12: 9667–9673.
- Awosile B., McClure J., Javier Sanchez J., Rodriguez-Lecompte J.C., Keefe G., Luke C., Heider L.C. (2018). *Salmonella enterica* and extended-spectrum cephalosporin-resistant *Escherichia coli* recovered from Holstein dairy calves from 8 farms in New Brunswick, Canada. *J. Dairy Sci.*, 101, 4: 3271–3284.
- Bachmann J., Helmschrodt C., Richter A., Heuwieser W., Bertulat S. (2018). Residue concentration of cefquinome after intramammary dry cow therapy and short dry periods. *J. Dairy Sci.*, 101: 7540–7550; <https://doi.org/10.3168/jds.2017-13826>
- Bahramian B., Sani M.A., Parsa-Kondelaji M., Hosseini H., Khaledian Y., Rezaie M. (2022). Antibiotic residues in raw and pasteurized milk in Iran: A systematic review and meta-analysis. *Agric. Food.*, 7 (3): 500–519.
- Brown K., Mugoh M., Call D., Omulo S. (2022). Antibiotic residues and antibiotic-resistant bacteria detected in milk marketed for human consumption in Kibera, Nairobi. *PLoS One*, 15(5):e0233413; doi: 10.1371/journal.pone.0233413.
- Cunha S., Soares R., Maia M., Gilberto I., Silva F., Miranda C., Poeta P. (2021). Presence of antibiotic-resistant *Enterococcus faecalis* in colostrum supplied to calves? The 1st International Electronic Conference on Antibiotics (ECA 2021). *Proceedings 2021*, 68, x. <https://doi.org/10.3390/xxxxx>.
- Du Y., Gao Y., Hu M., Hou J., Yang L., Wang X., Du W., Liu J., Xu Q. (2023). Colonization and development of the gut microbiome in calves. *J. Anim. Sci. Biotechnol.*, 14, p. 46; <https://doi.org/10.1186/s40104-023-00856-x>
- Firth C.L., Kremer K., Werner T., Käsbohrer A. (2021). The effects of feeding waste milk containing antimicrobial residues on dairy calf health. *Pathogens*, 10 (2): 112; <https://doi.org/10.3390/pathogens10020112>
- Gosselin V.B., Bodmer M., Schüpbach-Regula G., Adrian Steiner A., Meylan M. (2021). Survey on the disposal of waste milk containing antimicrobial residues on Swiss dairy farms. *J. Dairy Sci.*, 105 (2); doi: 10.3168/jds.2021-20948.
- Hajrulai-Musliu Z., Uzunov R., Krluku M., Jovanov S., Stojkovski V., Arapcheska M., Musliu D., Sasanya J.J. (2023). Determination of multi-class antimicrobial residues and antimicrobial resistance in cow milk and

- feces samples during withdrawal period. *Animals*, 13 (23): 3603; doi.org/10.3390/ani13233603.
- Huygens J., Daeseleire E., Mahillon J., Van Elst D., Decrop J., Meirlaen J., Dewulf J., Heyndrickx M., Rasschaert G. (2021). Presence of antibiotic residues and antibiotic resistant bacteria in cattle manure intended for fertilization of agricultural fields: A One Health perspective. *Antibiotics* (Basel), 9; 10 (4): 410; doi: 10.3390/antibiotics10040410.
- Ince B., Coban H., Türker G., Ertekin E., Ince O. (2013). Effect of oxytetracycline on biogas production and active microbial populations during batch anaerobic digestion of cow manure. *Bioprocess. Biosyst. Eng.*, 36: 541–546.
- Jones R.N., Packer R.R. (1984). Cefotaxime, cephalothin, and cephapirin: antimicrobial activity and synergy studies of cephalosporins with significant in vivo desacetyl metabolite concentrations. *Diagn. Microbiol. Infect. Dis.*, 2: 65–68.
- Lam T.J.G.M., Gonggrijp M.A., Velthuis A.G.J., Pikkemaat M.G., Santman-Berends I.M.G.A., Heuvelink A.E. (2025). Residues of dry cow antimicrobials in colostrum and extended-spectrum and AmpC β -lactamase producing *Escherichia coli* in feces from young dairy calves. *J. Dairy Sci.*, Mar; 108 (3): 2995–3006; doi: 10.3168/jds.2024-25353.
- Londoño-Carmona J., Blandón-Escobar S., Montoya-Zuluaga J., Betancourt-Chaves P., Castillo-Moreno S., Arboleda-Múnera C., Vallejo-Timarán D. (2024). Antibiotic residues and microbial contamination in pasteurized whole milk intended for human consumption. *Vet. World.*, 17 (3): 720–727. doi: 10.14202/vet-world.2024.720–727.
- Ma Y., Khan M.Z., Xiao J., Alugongo G.M., Chen X., Li S., Wang Y., Cao Z. (2022). An overview of waste milk feeding effect on growth performance, metabolism, antioxidant status and immunity of dairy calves. *Front. Vet. Sci.*, 9: 898295; doi: 10.3389/fvets.2022.898295.
- Oliver J.P., Gooch C.A., Lansing S., Schueler J., Hurst J.J., Sassoubre L., Crossette E.M., Aga D.S., (2020). Invited review: Fate of antibiotic residues, antibiotic-resistant bacteria, and antibiotic resistance genes in US dairy manure management systems. *J. Dairy Sci.*, 103, 2: 1051–1071; https://doi.org/10.3168/jds.2019-16778.
- Ozimek M.P., Junka A.F., Bartoszewicz M. (2017). Metabolity antybiotyków i ich rola w zakażeniach. *Forum Zakazeń*, 8 (1): 13–19.
- Ray P., Knowlton K.F., Shang C., Xia K. (2014). Development and validation of a UPLC-MS/MS method to monitor cephapirin excretion in dairy cows following intramammary infusion, *PLoS One*, 9, p. e112343.
- Ricci A., Allende A., Bolton D., Chemaly M., Davies R., Fernández Escámez P.S., Girones R., Koutsoumanis K., Lindqvist R., Nørrung B., Robertson L., Ru G., Sanaa M., Simmons M., Skandamis P., Snary E., Speybroeck N., Kuile B.T., Threlfall J., Wahlström H., Bengtsson B., Bouchard D., Randall L., Tenhagen B.A., Verdon E., Wallace J., Brozzi R., Guerra B., Liebana E., Stella P., Herman L. (2017). Risk for the development of Antimicrobial Resistance (AMR) due to feeding of calves with milk containing residues of antibiotics. *EFSA J.*, 2017 Jan 27; 15 (1): e04665. doi: 10.2903/j.efsa.2017.4665.
- Sachi S., Ferdous J., Sikder M.H., Azizul Karim Hussani S.M. (2019). Antibiotic residues in milk: Past, present, and future. *J. Adv. Vet. Anim. Res.*, 11; 6 (3): 315–332. doi: 10.5455/javar.2019.f350.
- Salerno B., Cornaggia M., Sabatino R., Di Cesare A., Furlan M., Barco L., Orsini M., Cordioli B., Mantovani C., Bano L., Losasso C. (2022). Calves as main reservoir of antibiotic resistance genes in dairy farms. *Front Public Health*, 10: 918658; doi: 10.3389/fpubh.2022.918658.
- Sardar C., Bhadra S., Jana H.K., Mondal S. (2023). Harnessing the power of bio adsorbents: A review on sustainable approach to eliminate antibiotic residues in wastewater for better public health. *J. Pure Appl. Microbiol.*, 17 (3): 1356–1373; doi: 10.22207/JPAM.17.3.29.
- Schlemper V., Sachet A.P. (2017). Antibiotic residues in pasteurized and unpasteurized milk marketed in South-west of Paraná, Brazil. *Cienc. Rural.*, 47 (12): 1–5.

- Ulloa F., Penati M., Hernández-Agudelo J.M., Tejeda C., Steuer P., Addis M.F., Mella A., Canales N., Soto J.P., Salgado M. (2025). Analysis of pathogenic bacteria and antimicrobial residues in bovine waste milk on dairy farms in southern Chile. *Front. Vet. Sci.*, 12: 1613185; doi: 10.3389/fvets.2025.1613185.
- Valderrama P., González A., Gutiérrez E., Romero C., Portillo C., Fonseca M., Gómez J., Méndez D., Castro L., Toro Á. (2022). *Productive Organization Plan for the Bovine Dairy Chain in Colombia*. 1st ed. Bogotá: UPRA.
- Wang Y., Shetty B., Dharmaveer, Kuppu, Sundaram, Pandey, Pramod K. (2022). Animal waste antibiotic residues and resistance genes: A review. *Open Agriculture*, 7, 1: 688–710; <https://doi.org/10.1515/opag-2022-0129>
- Zhao F., Yang L., Min Li M., Liding Chen L. (2025). Antibiotic contamination in environment and implications on planetary health: A comprehensive perspective of China. *Ecosyst Health Sustain.*, 11: 0397; doi:10.34133/ehs.0397.

ANTIBIOTIC RESIDUES AND THEIR CONTRIBUTION TO THE DEVELOPMENT OF ANTIBIOTIC-RESISTANT BACTERIA AND ANTIBIOTIC RESISTANCE GENES CARRYING BACTERIA AS A GLOBAL PROBLEM FOR MILK PRODUCERS

Summary

Research indicates that the vicinity of livestock farms, fields fertilized with manure derived from these farms, pastures and grazing lands, as well as surface and ground waters, act as reservoirs for both antibiotic residues and bacteria originating from manure. These bacteria are antibiotic-resistant and capable of transferring resistance genes to other bacteria, such as the soil microbiome. Consequently, this may facilitate the transmission of antibiotic resistance via crops grown on fields fertilized or irrigated with contaminated water and manure, back to animals as well as into the human food chain. Given the extensive scale of this issue, a unified global approach known as “One Health” is adopted, recognizing the inextricable link between human, animal, and environmental health. Therefore, in addition to reducing antibiotic use in agriculture, specific procedures for managing manure from dairy cattle farming must be implemented. Furthermore, the use of antibiotics during the dry cow period should be limited by employing alternative methods, and the practice of feeding waste milk to calves must be discontinued.

Key words: antibiotic resistance, antibiotic residues, antibiotic resistance genes, calves, colostrum, waste milk, manure, drying-off