

**JADWIGA TOPCZEWSKA¹, WANDA KRUPA², SANDRA KRUPA³,
AMANDA KREMPA³**

¹Zakład Produkcji Zwierzęcej i Oceny Produktów Drobiarskich, Kolegium Nauk Przyrodniczych, Uniwersytet Rzeszowski, e-mail: jtopczewska@ur.edu.pl, ²Zakład Behawioru i Dobrostanu Zwierząt, Wydział Nauk o Zwierzętach i Biogospodarki, Uniwersytet Przyrodniczy w Lublinie, ³SKN *Animal Equus*, Uniwersytet Rzeszowski

**ZRÓWNOWAŻONA PRODUKCJA ZWIERZĘCA WYZWANIEM
PRZYSZŁOŚCI**

Transformacja dotychczasowych systemów produkcji zwierzęcej jest, z punktu widzenia aktualnego ich wpływu na środowisko, niezbędna. Przedstawione możliwości, chociaż często sprawdzone w praktyce, nie zawsze są możliwe do zastosowania ze względu na różnorodne ograniczenia. Należy jednakże poszukiwać efektywnych rozwiązań, które będą uwzględniały specyfikę gatunku utrzymywanych zwierząt, uwarunkowania socjoekonomiczne i środowiskowe dla zrównoważonej i niskoemisyjnej produkcji zwierzęcej.

Słowa kluczowe: chów zwierząt, zrównoważone rolnictwo, ograniczenie emisji

I. WSTĘP

Utrzymywanie zwierząt gospodarskich stanowi w wielu krajach istotny ekonomicznie sektor produkcji żywności. Największy udział w rynku ma nadal produkcja realizowana w warunkach rolnictwa intensywne, a biorąc pod uwagę wymagania związane z wdrażaniem Europejskiego Zielonego Ładu, konieczna jest weryfikacja dotychczasowych praktyk [Faber i Jarosz 2020]. Zrównoważona produkcja żywności pochodzenia zwierzęcego umożliwia zapewnienie wystarczającej ilości białka oraz spełnia oczekiwania konsumentów, ale stanowi szczególne wyzwanie w obliczu zmian klimatycznych i konieczności redukcji emisji [Henchion i in. 2021]. Światowa produkcja zwierzęca rośnie w odpowiedzi na oczekiwania zamożnej i zurbanizowanej populacji. Obserwuje się też gwałtowny wzrost konsumpcji. Popyt na żywność pochodzenia zwierzęcego w krajach o niskich i średnich dochodach wzrósł ponad czterokrotnie w latach 1970-2012 i przewiduje się, że do 2030 r. wzrośnie o 35% w porównaniu do poziomu z 2012 r. i o 50% do 2050 roku [Henchion i in. 2021]. Przy wzroście wydajności produkcji, emisje gazów cieplarnianych (GHG) z chowu zwierząt gospodarskich również rosną, a specjalny raport Międzyrządowego Zespołu ds. Zmian Klimatu (IPCC) z 2019 r. wskazuje na wysoki udział emisji tych gazów pochodzących z rolnictwa, leśnictwa i użytkowania gruntów [Bezner i in. 2022]. Sektory rolnictwa (AFOLU, *Agriculture, Forestry and Other Land Use*), w szczególności hodowla zwierząt, generują prawie 15% globalnych antropogenicznych emisji GHG, a około dwie trzecie tej emisji związane jest z chowem przeżuwaczy, głównie bydła. W wielu częściach świata nowoczesne strategie organizacyjne i innowacje technologiczne, takie jak wykorzystanie osiągnięć genetyki, precyzyjne żywienie, poprawa zdrowia zwierząt, wdrożenie innowacyjnych

systemów hodowli i technologie informacyjne zwiększają efektywność produkcyjną tego sektora [Makkar 2016, Özkan i in. 2016, de Camargo 2018, Dupal' i in. 2019, Rovelli i in. 2020, Richardson i in. 2021]. Ich zastosowanie może zmniejszyć wpływ chowu zwierząt na środowisko w stosunku do ilości wytworzonego produktu pochodzenia zwierzęcego.

Skuteczne działanie na rzecz zahamowania zmian klimatu jest priorytetem, ale nie może odbywać się kosztem innych celów zrównoważonego rozwoju, zwłaszcza tych związanych z działaniami na rzecz ograniczenia ubóstwa i głodu do 2030 r. Dlatego odporne, niskoemisyjne systemy chowu i hodowli, określane jako „zdrowe”, mogą pomóc osiągnąć równowagę, dzięki której żywność pochodzenia zwierzęcego będzie produkowana w sposób ograniczający jej negatywny wpływ na środowisko [FAO 2020].

Kraje będące stronami Porozumienia Paryskiego podejmują działania w zakresie redukcji emisji gazów cieplarnianych. Obszary priorytetowe bezpośrednio dotyczące zwierząt gospodarskich to, m.in.: zwiększenie efektywności produkcji zwierzęcej i wykorzystania zasobów, intensyfikacja wysiłków w zakresie recyklingu i minimalizacji strat dla biogospodarki o obiegu zamkniętym, czerpanie korzyści z rozwiązań opartych na zasobach przyrodniczych w celu zwiększenia redukcji emisji dwutlenku węgla ale również podejście kompleksowe powiązane ze zmianami obowiązującego prawa [FAO 2020].

Celem pracy było wskazanie możliwych rozwiązań w sektorze rolno-spożywczym a zwłaszcza w chowie i hodowli zwierząt, pozwalających na prowadzenie odpornych, niskoemisyjnych systemów produkcji zwierzęcej.

II. MATERIAŁY I METODY

Materiał stanowiły opracowania FAO publikowane na platformie fao.org/livestock-environment/en oraz wyniki badań naukowych z zakresu poruszanej tematyki. Analizę publikacji wybranych z bazy FAO i Google Scholar prowadzono wyszukując słowa kluczowe, takie jak: zrównoważona produkcja zwierzęca, niskoemisyjna, odporna na zmiany klimatyczne.

III. WYNIKI

Zwiększenie efektywności produkcji zwierzęcej i wykorzystania zasobów

W wielu częściach świata strategie organizacyjne i innowacje technologiczne umożliwiają zwiększenie wydajności zwierząt gospodarskich. Wykorzystanie osiągnięć genetyki, genomiki, bioinformatyki, statystyki, automatyki i robotyki powinno być jednocześnie osadzone w miejscowych uwarunkowaniach przyrodniczych i umożliwić uzyskiwanie wydajności zwierząt na poziomie satysfakcjonującym dla producentów [Dupal' i in. 2019, Rovelli i in. 2020, Richardson i in. 2021]. Zdrowe systemy hodowli zwierząt przyczyniają się do bezpieczeństwa żywnościowego oraz stabilizacji dochodów gospodarstw domowych, jako podstawy systemów finansowych i gospodarczych i sprawiają, że rolnicy są bardziej odporni na kryzysy.

Na produkcję metanu (CH₄) przez krowy mleczne mają wpływ takie czynniki jak m.in. pobieranie paszy i jej skład. Emisja CH₄ jest silnie związana z pobraniem paszy w krótkim (minuty do kilku godzin) i w średnim (dni) okresie w przypadku chowu bydła. Im więcej spożywanej paszy i / lub większa zawartość błonnika w diecie, tym więcej metanu jest wytwarzane dziennie. Jednak na jednostkę suchej masy i na jednostkę wydajności tłuszczu + białka dieta oparta na zielonce skutkowała wytworzeniem mniejszej ilości jelitowego CH₄ na krowę niż dieta pełnoporcjowa (TMR). Podejścia żywieniowe obejmują zmniejszenie stosunku kisonki do koncentratu w diecie, zwiększenie zawartości oleju w diecie oraz włączenie do diety modyfikatorów żwacza i inhibitorów metanu. Pszczoła i in. [2018] wykazali, że produkcja przez bydło CH₄ jest cechą dziedziczną i umiarkowanie

powtarzalną w zależności od dawki i poziomu żywienia. Łagodzenie emisji CH₄ można pośrednio osiągnąć poprzez selekcję na poprawę produktywności i wydajności mlecznej. Według de Haas i in. [2011], programy selekcyjne mogą zredukować przewidywaną emisję metanu od 11% do 26% w ciągu 10 lat, gdy wyraża się ją odpowiednio w kilogramach na laktację i gramach na kilogram tłuszczu i białka w mleku. Niższą produkcję CH₄ stwierdzono również przy karmieniu przeżuwaczy kiszonką z kukurydzy w porównaniu z kiszonką z traw lub jęczmienia [Benchaar i in. 2014]. Ponadto kiszonka z kukurydzy zwiększa wydajność mleczną. Pereira i Trindade [2015] wskazali, że oprócz lepszego wykorzystania paszy i jej lepszej strawności, zwiększona wydajność krów w badanych gospodarstwach znacząco zmniejszyła emisję CH₄ w przeliczeniu na 1 litr mleka. Przy wydajności 10 tys. litrów mleka na krowę rocznie było to o 25% mniej w porównaniu do 6,5 tys. litrów rocznie. Użytkowanie zwierząt o wysokiej wydajności wymaga stosowania koncentratów paszowych. Łatwo fermentujące węglowodany podawane w tej formie również przyczyniają się do obniżenia emisji CH₄.

Intensyfikacja produkcji i duże fermy stwarzają poważne ryzyko w odniesieniu do zdrowia i dobrostanu zwierząt [Herbut i Walczak 2017, Orihuela 2021]. Utrzymywanie w budynkach, ograniczona przestrzeń oraz brak dostępu do pastwisk czy odpowiednio zagospodarowanych wybiegów ograniczają możliwość realizowania typowych dla gatunków zachowań i skutkują występowaniem anomalii behawioralnych i, często, problemów zdrowotnych. W intensywnej produkcji zwierzęcej mogą również występować potencjalne zagrożenia dla zdrowia zwierząt i bezpieczeństwa żywności związane z pojawieniem się zjadliwości i lekooporności patogenów. Ponadto jednorodnie genetycznie populacje zwierząt mogą również stanowić czynnik ryzyka w kontekście zachowania równowagi między optymalizacją produkcji a ograniczaniem ryzyka zagrożeń dla zdrowia zwierząt i zdrowia publicznego. Wydaje się więc celowym pilne zastępowanie intensywnych systemów utrzymania zwierząt precyzyjną produkcją zwierzęcą [Berckmans 2017, Walczak 2018].

Intensyfikacja wysiłków w zakresie recyklingu i minimalizacja strat dla biogospodarki o obiegu zamkniętym

Systemy rolno-spożywcze opierają się na zasobach naturalnych jako podstawowych środkach produkcji. Przyszłość produkcji żywności jest zagrożona, ponieważ niektóre naturalne zasoby są wykorzystywane w zbyt szybkim tempie, co zagraża możliwościom ich odtwarzania. Promowanie „biogospodarki o obiegu zamkniętym”, w przeciwieństwie do liniowego procesu wydobywania, produkcji, użytkowania i utylizacji, obejmuje recykling zasobów na każdym możliwym etapie systemów rolno-spożywczych, a także optymalizowanie funkcjonowania istniejących systemów w celu minimalizowania strat. Zwiększona cyrkulacja w systemach żywnościowych, w których odpady z jednego procesu stają się surowcem dla innego, stanowi sposób na zwiększenie wydajności produkcji żywności [Smol i in. 2020].

Szacunki wskazują, że około 14% wyprodukowanej żywności jest tracone między zbiorami a sprzedażą detaliczną, w dalszej kolejności straty występują w handlu detalicznym i na poziomie gospodarstw domowych [Karwowska i in. 2021]. Priorytetem w walce zarówno z głodem, jak i emisją gazów cieplarnianych oraz w celu zwiększenia efektywności wykorzystania składników odżywczych jest ograniczenie strat w systemach hodowlanych. Należy określać poziomy strat na etapie odchowu (upadki zwierząt), z powodu chorób, zwłaszcza zakaźnych (np. ASF, pomór drobiu czy BSE) skutkujących likwidacją stad zwierząt, i niewłaściwych warunków transportu, szczególnie na długich dystansach, powodujących uszkodzenia ciała, choroby oraz upadki. Straty transportowe stanowią straty finansowe dla producentów i zakładów mięsnych. Według badań Ritter i in. [2020], amerykański przemysł trzody chlewnej traci około 89 mln USD rocznie z tego

tytułu. Jak wskazali Seremak-Bulge i in. [2015], w branży mleczarskiej znaczne możliwości ograniczenia strat mleka możliwe są na poziomie gospodarstw rolnych poprzez zmniejszenie zachorowalności krów mlecznych na zapalenie wymion. Natomiast największe rezerwy zapobiegania stratom i marnowaniu żywności leżą przede wszystkim w ostatnich ogniwach łańcucha mleczarskiego, tj. w handlu i konsumpcji.

Należy podkreślić, że surowce pochodzenia zwierzęcego wymagają ścisłego przestrzegania właściwych warunków przechowywania i transportu dla zachowania ich przydatności do przetwórstwa i konsumpcji. Straty można ograniczyć np. poprzez stosowanie odpowiednich opakowań ze szczególnym uwzględnieniem takich, które mogą być biodegradowalne [Szymańska i in. 2019]. Odpady żywnościowe, głównie jako źródło białka pochodzenia zwierzęcego mogą być wykorzystane jako pasza dla zwierząt gospodarskich [Weiner i Kwiatek 2022]. Wysoką wartością charakteryzują się produkty uboczne pochodzące z różnych sektorów przemysłu spożywczego; takie jak otręby, śruty i makuchy, suszony wywar z kukurydzy lub jego forma płynna, wysłodki buraczane czy drożdże pastewne [Grela 2020].

Emisje GHG netto można również zmniejszyć poprzez ponowną integrację produkcji zwierzęcej i roślinnej w celu lepszego recyklingu składników odżywczych i produkcji energii odnawialnej. Obecnie na całym świecie tylko 62% azotu zawartego w oborniku powraca w optymalnie użyteczny sposób na pola uprawne i użytki zielone [FAO 2020].

Czerpanie korzyści z rozwiązań opartych na przyrodzie w celu zwiększenia redukcji emisji dwutlenku węgla

Sektor AFOLU (*Agriculture, Forestry, and Other Land Use*) różni się od innych, takich jak energia czy transport tym, że pochłania CO₂ z atmosfery i sekwestruje go, ale także emituje. Fakt ten w wyjątkowy sposób pozycjonuje sektor do bezpośredniego kompensowania własnych emisji. Produkcja zwierzęca jest jednym z komponentów AFOLU, ale trudno ją rozważać w oderwaniu od szerszego kontekstu ze względu na wiele interakcji i współzależności między poszczególnymi komponentami AFOLU. Szacuje się, że około 30% wszystkich roślin uprawianych jest w celu karmienia zwierząt gospodarskich, a część zwierząt utrzymuje się w mieszanych systemach uprawowo-hodowlanych, w tym w systemach agroleśnych i leśno-pastwiskowych. Rolnictwo stanowi bezpośrednią przyczynę deforestacji na świecie. Zatrzymanie takich działań w celu produkcji paszy i zarządzania pastwisk jest pilnym priorytetem i może być jednym z najskuteczniejszych sposobów łagodzenia wpływu systemów hodowli na zmiany klimatu. Aby światowy sektor hodowlany przestał przyczyniać się do strat węgla związanych z wylesianiem, niezbędne jest poszukiwanie sposobów zapewnienia odpowiedniej ilości paszy poprzez uzyskanie wyższego plonowania [Święcicki i in. 2011].

Ekstensywne i półintensywne użytki zielone mogą zapewnić bardzo potrzebne zrównoważenie emisji dwutlenku węgla. Dobrze opracowane systemy wypasu mogą stymulować wzrost roślin i wychwytywać węgiel w glebie, szczególnie na obszarach, na których degradacja nie jest jeszcze znaczna. Pasterstwo jest praktykowane w 75% krajów przez blisko 500 mln ludzi, ale w większości w krajach rozwijających się [McGahey i in. 2014]. Coraz więcej krajów uprzemysłowionych promuje pasterstwo jako wielofunkcyjny system produkcji, który zabezpiecza usługi ekosystemowe. Zyskuje ono również akceptację w częściach świata wysoko rozwiniętych, takich jak Australia, Chiny, Europa i Stany Zjednoczone. Z badań wynika, że wypasanie zwierząt gospodarskich jest praktyką, która ma istotne znaczenie dla zrównoważonego rozwoju i ochrony różnorodności biologicznej. Zyskuje coraz większą popularność ze względu na korzyści, jakie niesie dla ekosystemów cennych przyrodniczo, w tym np. pastwisk górskich [Davies i in. 2016]. Przyczynia się do

utrzymania żyzności gleby i frakcji organicznych, regulacji wody, ograniczenia występowania szkodników i chorób oraz utrzymania różnorodności biologicznej. Pastwiska obejmują pięć miliardów hektarów ziemi na całym świecie i sekwestrują od 200-500 kg węgla na hektar rocznie, odgrywając tym samym wiodącą rolę w ograniczaniu zmian klimatu [Davies i in. 2016]. Jak podają Jenet i in. [2016], ponad połowa powierzchni lądowej na świecie jest wypasana na różne sposoby. Szacuje się, że system ten ma niższe emisje na jednostkę produkcji w porównaniu z bardziej intensywnymi systemami produkcji, biorąc pod uwagę analizę cyklu życia. Według Vasconcelos i in. [2018] poprawa technologii zarządzania wypasem spowodowała zmniejszenie o około 29% równoważnej emisji CO₂ na kilogram żywca. Powyżsi autorzy podkreślili również znaczenie wypasu dla zachowania różnorodności biologicznej na obszarach o wysokiej wartości przyrodniczej.

Kolejnym obszarem o dużym potencjale tworzenia offsetów jest wytwarzanie energii odnawialnej w gospodarstwach hodowlanych. Obejmuje to wykorzystanie obornika i innych odpadów do wytwarzania biogazu. Hou i in. [2017] wykazali redukcję emisji GHG na poziomie około 17%, analizując 12 różnych technologii, które zostały przetestowane w różnych krajach Unii Europejskiej. Najkorzystniejszą technologią redukcji GHG okazała się fermentacja beztlenowa. Kompostowanie odchodów wydaje się również dobrym rozwiązaniem na ograniczenie emisji GHG i uzyskanie wartościowego i bezpiecznego nawozu organicznego. Zastosowanie pofermentu z biogazowni rolniczych do nawożenia gleb może znacząco ograniczyć stosowanie energochłonnych nawozów syntetycznych. Lyng i in. [2018] na podstawie danych z 50 gospodarstw działających w jednym regionie Norwegii, opracowali modele optymalizacji gospodarowania obornikiem, mające na celu ograniczenie emisji gazów cieplarnianych. Wykazali, że produkcja biogazu, zarówno w małych instalacjach przydomowych, jak i w scentralizowanych biogazowniach, jest opłacalna i przyczynia się w znacznym stopniu do redukcji emisji gazów cieplarnianych. Daje również możliwość generowania alternatywnego źródła energii w chowie bydła mlecznego, które można przetworzyć na energię cieplną lub elektryczną, tym bardziej, że gospodarstwa tego typu wyróżniają się dużym zapotrzebowaniem na energię.

Istnieje również możliwość szerszego wykorzystania gruntów i budynków związanych z gospodarstwami hodowlanymi do lokalizowania instalacji elektrowni słonecznych i wiatrowych. Ekonomika takich kompensacji musiałaby być korzystna dla hodowców zwierząt gospodarskich i należałoby wprowadzić odpowiednie mechanizmy rozliczania, aby uzyskane w ten sposób zmniejszenia emisji dwutlenku węgla zostało uwzględnione przy szacowaniu GHG wytwarzanych przez zwierzęta gospodarskie.

Podejście kompleksowe

Najbardziej odpowiednie podejścia techniczne i polityczne dla odpornych, niskoemisyjnych systemów hodowli zwierząt będą różnić się w zależności od kontekstów agroekologicznych i społeczno-gospodarczych. Powinny jednak odzwierciedlać priorytety regionów i gospodarek poszczególnych krajów. Państwa o wysokich dochodach mogą koncentrować się na wprowadzeniu ram regulacyjnych, poprawie recyklingu i ułatwianiu handlu w celu ograniczeń wykorzystania zasobów. Natomiast kraje o wysokim wroście gospodarczym mogą koncentrować się na potrzebie unikania zwiększania całkowitych emisji gazów cieplarnianych poprzez poprawę wydajności i sekwestrację węgla. Z drugiej strony niektóre kraje o niskim i średnim dochodzie, z dużą liczbą drobnych gospodarstw rolnych i z rozwiniętym pasterstwem, mogą koncentrować się na odporności systemu (teoria odporności (ang. *resilience*) pochodzi z ekologii i teorii systemów), zwłaszcza stabilności, zdolności adaptacji i transformacji. Należy dążyć do zapewnienia bezpieczeństwa żywnościowego, źródłach utrzymania rolników i płatnościach za usługi

środowiskowe, aby wspierać długofalowe działania w zakresie adaptacji do zmian klimatu [FAO 2020].

Każde z tych działań może potencjalnie zmniejszyć emisje netto GHG z chowu zwierząt gospodarskich. Podejście kompleksowe w ramach trwałego procesu ciągłego doskonalenia w kierunku zrównoważonych systemów rolno-spożywczych dla zwierząt gospodarskich przynosi ogromne korzyści. Poprawa efektywności wykorzystania zasobów może iść w parze z przywracaniem zdegradowanych użytków zielonych poprzez np. wypas regeneracyjny. Realizowane strategie i działania instytucji rolników wspierających mogą jeszcze bardziej zwiększyć wsparcie dla wdrażania odpowiednich praktyk. Takie ulepszenia mogą również wykorzystać synergię z innymi celami w zakresie zrównoważonego rozwoju.

Postęp w kierunku odpornych, niskoemisyjnych systemów hodowli zwierząt będzie zależał od zdecydowanej polityki tworzącej odpowiednie zachęty, regulacje, inwestycje i poprzez reakcję rynku. Obecnie możliwości wdrażania rozwiązań i regulacji prawnych w aspekcie monitorowania emisji GHG w wielu krajach o niskich i średnich dochodach są ograniczone. Tymczasem zmiana klimatu to problem globalny, który wymaga dobrze zintegrowanych rozwiązań na skalę lokalną, krajową i regionalną. Na przykład poprawa wydajności produkcji przeżuwaczy poprzez zwiększenie wykorzystania paszy lub rezygnację z utrzymywania przeżuwaczy na rzecz gatunków monogastrycznych może skutkować tym, że negatywne skutki będą występować z dala od miejsca dotychczasowej produkcji lub konsumpcji, np. poprzez zmianę użytkowania gruntów. Intensyfikacja może również zagrażać szerszym celom zrównoważonego rozwoju, prowadząc do kompromisów w innych aspektach ochrony środowiska lub bezpieczeństwa żywnościowego i żywieniowego, źródeł utrzymania, zdrowia ludzkiego oraz zdrowia i dobrostanu zwierząt [FAO 2020].

IV. PODSUMOWANIE

Transformacja dotychczasowych systemów produkcji zwierzęcej jest, z punktu widzenia aktualnego ich wpływu na środowisko, niezbędna. Przedstawione możliwości, chociaż często sprawdzone w praktyce, nie zawsze są możliwe do zastosowania ze względu na różnorodne ograniczenia. Należy jednakże poszukiwać efektywnych rozwiązań, które będą uwzględniały specyfikę gatunku utrzymywanych zwierząt, uwarunkowania socjoekonomiczne i środowiskowe dla zrównoważonej, niskoemisyjnej produkcji zwierzęcej.

BIBLIOGRAFIA

1. Benchaar C., Hassanat F., Gervais R., Chouinard P.Y., Petit H.V., Massé D.I. 2014. Methane production, digestion, ruminal fermentation, nitrogen balance, and milk production of cows fed corn silage- or barley silage-based diets. *J. Dairy Sci.* 97. 961-974. doi:10.3168/jds.2013-7122.
2. Berckmans D. 2017. General introduction to precision livestock farming. *Animal Frontiers.* 7(1). 6. doi:10.2527/af.2017.0102.
3. Bezner Kerr R., Hasegawa T., Lasco R., Bhatt I., Deryng D., Farrell A., Gurney-Smith H., Ju H., Lluch-Cota S., Meza F., Nelson G., Neufeldt H., Thornton P. 2022. Food, Fibre, and Other Ecosystem Products. [In:] Pörtner H-O., Roberts D.C., Tignor M., Poloczanska E.S., Mintenbeck K., Alegria A., et al. (eds.). *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.* Cambridge University Press. Cambridge. UK and New York. pp. 713-906. doi:10.1017/9781009325844.007.

4. Davies J., Herrera P., Ruiz-Mirazo J., Mohamed-Katerere J., Hannam I., Nuesiri E. 2016. Improving governance of pastoral lands. Implementing the Voluntary Guidelines on the Responsible Governance of Tenure of Land, Fisheries and Forests in the Context of National Food Security. Food And Agriculture Organization of The United Nations. Rome.
5. de Camargo G.M.F. 2018. The role of molecular genetics in livestock production. *Anim. Prod. Sci.* 59(2). 201-206.
6. de Haas Y., Windig J.J., Calus M.P.L., Dijkstra J., de Haan M., Bannink A., Veerkamp R.F. 2011. Genetic parameters for predicted methane production and potential for reducing enteric emissions through genomic selection. *J. Dairy Sci.* 94. 6122-6134. doi:10.3168/jds.2011-4439.
7. Dupal' A., Richnák P., Szabo L., Porubanová K. 2019. Modern trends in logistics of agricultural enterprises. *Agricultural Economics.* 65(8). 359-365.
8. Faber A., Jarosz Z. 2020. Czy rolnictwo może być zeroemisyjne pod względem gazów cieplarnianych? *Studia i Raporty IUNG-PIB* 62(16). 233-242.
9. FAO. 2020. In brief. Five practical actions towards resilient, low-carbon livestock systems. Rome.
10. Grela E.R. 2020. Alternatywne dla soi pasze białkowe w żywieniu świń i drobiu. *Życie Weterynaryjne.* 95(8). 480-486.
11. Henchion M., Moloney A.P., Hyland J., Zimmermann J., McCarthy S. 2021. Trends for meat, milk and egg consumption for the next decades and the role played by livestock systems in the global production of proteins. *Animal.* 15. 100287. doi:10.1016/j.animal.2021.100287.
12. Herbut E., Walczak J. 2017. Dobrostan zwierząt w nowoczesnej produkcji. *Przegl. Hod.* 85(5). 3-7.
13. Hou Y., Velthof G.L., Lesschen J.P., Staritsky I.G., Oenema O. 2017. Nutrient recovery and emissions of ammonia, nitrous oxide, and methane from animal manure in Europe: effects of manure treatment technologies. *Environ. Sci. Technol.* 51(1). 375-383. doi:10.1021/acs.est.6b04524.
14. Jenet A., Buono N., Di Lello S., Gomasasca M., Heine C., Mason S., Nori M., Saavedra R., Van Troos K. 2016. The path to greener pastures. Pastoralism, the backbone of the world's drylands. *Vétérinaires Sans Frontières International (VSF-International)*. Brussels. Belgium.
15. Karwowska M., Łaba S., Szczepański K. 2021. Food loss and waste in meat sector - Why the consumption stage generates the most losses? *Sustainability.* 13(11). 6227. doi:10.3390/su13116227.
16. Lyng K-A., Bjerkestrand M., Stensgård A.E., Callewaert P., Hanssen O.J. 2018. Optimising Anaerobic Digestion of Manure Resources at a Regional Level. *Sustainability.* 10: 286. doi:10.3390/su10010286.
17. Makkar H.P. 2016. Smart livestock feeding strategies for harvesting triple gain—the desired outcomes in planet, people and profit dimensions: a developing country perspective. *Anim. Prod. Sci.* 56(3). 519-534. doi:10.1071/AN15557.
18. McGahey D., Davies J., Hagelberg N., Ouedraogo R. 2014. Pastoralism and the Green Economy – a natural nexus? Nairobi. IUCN and UNEP. x + 58p.
19. Orihuela A. 2021. Management of livestock behavior to improve welfare and production. *Animal.* 100290. doi: 10.1016/j.animal.2021.100290.
20. Özkan Ş., Vitali A., Lacetera N., Amon B., Bannink A., Bartley D.J. i in. 2016. Challenges and priorities for modelling livestock health and pathogens in the context of climate change. *Environ. Res.* 151. 130-144. doi:10.1016/j.envres.2016.07.033.

21. Pereira J., Trindade H. 2015. Short communication: Impact of the intensity of milk production on ammonia and greenhouse gas emissions in Portuguese cattle farms. *Span. J. Agric. Res.* 13(4):e06SC05. doi:10.5424/sjar/2015134-8176.
22. Pszczola M., Strabel T., Mucha S., Sell-Kubiak E. 2018 Genome-wide association identifies methane production level relation to genetic control of digestive tract development in dairy cows. *Sci. Rep.* 8:15164. doi:10.1038/s41598-018-33327-9.
23. Richardson C.M., Nguyen T.T.T., Abdelsayed M., Moate P.J., Williams S.R.O., Chud T. C.S., Pryce J.E. 2021. Genetic parameters for methane emission traits in Australian dairy cows. *J. Dairy Sci.* 104(1). 539-549. doi:10.3168/jds.2020-18565.
24. Ritter M.J., Yoder C.L., Jones C.L., Carr S.N., Calvo-Lorenzo M.S. 2020. Transport losses in market weight pigs: II. U.S. incidence and economic impact. *Translational Anim. Sci.* 4.2. 1103-1112. doi:10.1093/tas/txaa041.
25. Rovelli G., Ceccobelli S., Perini F., Demir E., Mastrangelo S., Conte, G., Abeni F., Marletta D., Ciampolini R., Cassandro M., Bernabucci U., Lasagna, E. 2020. The genetics of phenotypic plasticity in livestock in the era of climate change: a review. *Italian J. Anim. Sci.* 19(1). 997-1014. doi:10.1080/1828051X.2020.1809540.
26. Seremak-Bulge J., Grochowska R., Szczepaniak I., Szajner P., Bułkowska M., Hryszko K. 2015. Ocena strat ponoszonych na poszczególnych etapach łańcucha mleczarskiego w Polsce. Instytut Ekonomiki Rolnictwa i Gospodarki Żywnościowej-PIB. 162. Warszawa.
27. Smol M., Marcinek P., Duda J., Szoldrowska D. 2020. Importance of Sustainable Mineral Resource Management in Implementing the Circular Economy (CE) Model and the European Green Deal Strategy. *Resources.* 9 (5). 55. doi:10.3390/resources9050055.
28. Szymańska I., Żbikowska A., Marciniak-Łukasiak K. 2019. Jadalne opakowania i naczynia jednorazowe do żywności. *Przemysł Spożywczy.* 73. 8. 72-77.
29. Święcicki W.K., Surma M., Koziara W., Skrzypczak G., Szukała J., Bartkowiak-Broda I., Zimny J., Banaszak Z., Marciniak K. 2011. Nowoczesne technologie w produkcji roślinnej – przyjazne dla człowieka i środowiska. *Polish J. Agron.* 7, 102-112.
30. Vasconcelos K., Farinha M., Bernardo L., Lampert V.N., Gianezini M., da Costa J.S., Filho A.S., Genro T.C.M., Ruviano C.F. 2018. Livestock-derived greenhouse gas emissions in a diversified grazing system in the endangered Pampa biome, Southern Brazil. *Land Use Policy* 75. 442-448. doi:10.1016/j.landusepol.2018.03.056.
31. Walczak J. 2018). Precyzyjny chów bydła mlecznego. *Wiad. Zoot. R.* LVI. 3. 3-10.
32. Weiner A., Kwiatek K. 2022. Przetworzone białka pochodzenia zwierzęcego w żywieniu zwierząt gospodarskich – nowe uwarunkowania. *Życie Weterynaryjne.* 97(05). 343-347.

SUSTAINABLE LIVESTOCK PRODUCTION THE CHALLENGE OF THE FUTURE

Summary

The transformation of existing animal production systems is essential, from the point of view of their current environmental impact. The options presented, although often proven in practice, are not always applicable due to various constraints. However, effective solutions that take into account the specifics of the species of animals kept and socioeconomic and environmental conditions for sustainable, low-carbon animal production.

Keywords: animal husbandry, sustainable agriculture, emissions reduction