



Ślad węglowy produkcji mleka w gospodarstwie rolnym

Mariusz Jerzy Stolarski^{1*}, Michał Krzyżaniak¹, Kazimierz Warmiński², Ewelina Olba-Zięty¹

¹ Katedra Genetyki Hodowli Roślin i Inżynierii Biosurowców, ² Katedra Chemii
Wydział Rolnictwa i Leśnictwa
Centrum Biogospodarki i Energii Odnawialnych
Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie

*Kontakt e-mail: mariusz.stolarski@uwm.edu.pl

Co to jest ślad węglowy i jak go obliczyć

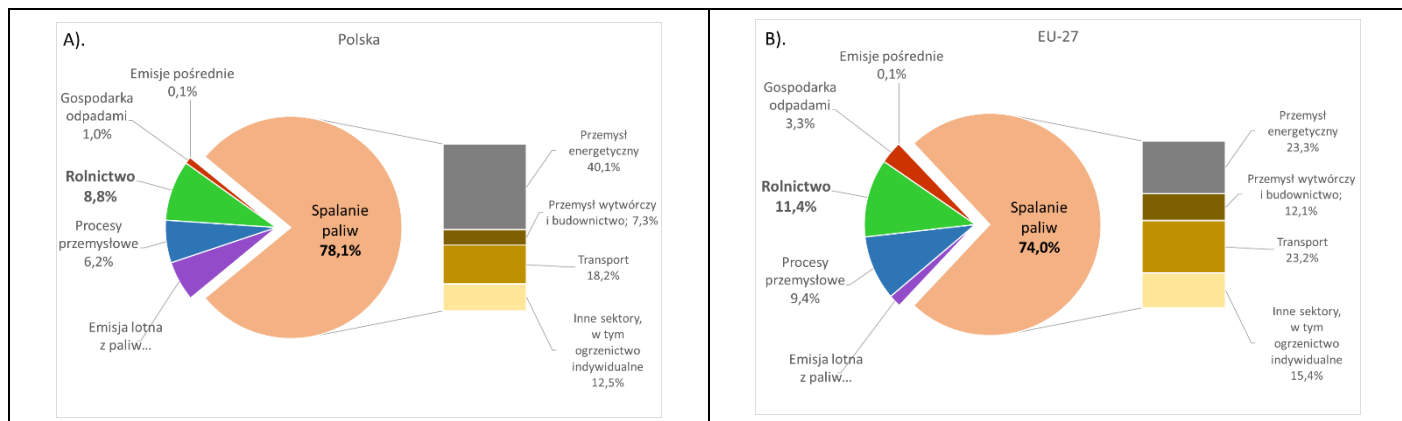
Ślad węglowy (ang. Carbon Footprint – CF) to całkowita suma emisji gazów cieplarnianych wywołanych bezpośrednio lub pośrednio w czasie cyklu życia danego produktu, działalności przedsiębiorstwa, itp. Ślad węglowy wyrażony jest w ekwiwalencie CO₂ (CO₂eq), który jest uniwersalną jednostką miary, obliczaną jako suma iloczynów mas każdego emitowanego (wprowadzanego do atmosfery) gazu cieplarnianego oraz charakterystycznego wskaźnika zwanego potencjałem globalnego ocieplenia (ang. Global Warming Potential – GWP). Wskaźnik ten określa względny, potencjalny wpływ danego gazu na ocieplenie klimatu Ziemi w 100-letnim horyzoncie czasowym, w porównaniu do gazu wzorcowego jakim jest dwutlenek węgla [1, 4]. Dzięki temu możliwe jest sumowanie emisji różnych gazów cieplarnianych i wyrażanie ich w CO₂eq. Określenie śladu węglowego obejmuje wyliczenie emisji dwutlenku węgla (CO₂), metanu (CH₄), podtlenku azotu (N₂O) i innych gazów cieplarnianych (ang. Greenhouse Gas – GHG). W badaniach przyjmuje się wskaźniki GWP, które pozwalają obliczyć sumaryczną emisję GHG w ekwiwalencie CO₂, w którym wyrażany jest ślad węglowy, przy czym:

- CO₂ ma GWP zawsze równy 1;
- CH₄ ma GWP równy 28, dlatego na każdą wyemitowaną 1 tonę CH₄ przypada równowartość 28 ton CO₂;
- N₂O ma GWP równy 265, dlatego na każdą wyemitowaną 1 tonę N₂O przypada równowartość 265 ton CO₂.

Udział poszczególnych kategorii źródeł w całkowitej emisji gazów cieplarnianych w Polsce i Unii Europejskiej (UE-27)

Całkowita emisja gazów cieplarnianych w Polsce wynosiła w 2022 roku ponad 383 mln ton CO₂eq, a w całej UE-27 było to prawie 3,5 mld ton (nie wliczając sekwestracji węgla glebowego). Jak wynika z danych Eurostatu [3], w Polsce największy udział w całkowitej emisji GHG miały sektory, które wykorzystują procesy spalania paliw (78,1%) do celów wytwarzania energii elektrycznej, ciepłej lub mechanicznej, t.j. przemysł energetyczny (40,1%), wytwórczy i budownictwo (7,3%), transport (18,2%) oraz inne sektory, w tym ogrzewanie indywidualne budynków (12,5%) (rys. 1A). Rolnictwo odpowiadało za 8,8% emisji CO₂eq, z czego połowa przypadała

na produkcję zwierzęcą. Należy zwrócić uwagę, że jest to ten sam rząd wielkości, co chociażby emisja lotna z paliw (5,8%), tzn. związana głównie z emisją metanu z kopalń powstałą tylko w trakcie wydobycia węgla. Rozpatrując całą Unię Europejską, można stwierdzić, że rolnictwo europejskie miało nieco większy udział (11,4%), a przemysł energetyczny mniejszy (23,3%) w porównaniu do polskich sektorów gospodarczych (rys. 1).



Rys. 1. Udział poszczególnych kategorii źródeł w całkowitej emisji gazów cieplarnianych (GHG) w Polsce (rys. 1A) i Unii Europejskiej (rys. 1B) w 2022 r. [3].

Etapy obliczania śladu węglowego produktu

Obliczanie śladu węglowego produktu (ang. Product Carbon Footprint – PCF) obejmuje kilka kluczowych etapów, zgodnie z wytycznymi GHG Protocol Product Life Cycle Accounting and Reporting Standard i jest ściśle powiązane z metodyką oceny cyklu życia (ang. Life Cycle Assessment), opisaną w normach ISO 14040 i 14044. Etapy obliczania to:

- Określenie celu i zakresu analizy, w tym:
 - celu analizy – może to być określenie śladu węglowego produkcji mleka w gospodarstwie lub w całym łańcuchu produkcji, konsumpcji mleka i postępowania z opakowaniami. Może to być również porównanie dwóch produktów, np. mleka ekologicznego i produkowanego konwencjonalnie.
 - wyboru i określenia granic systemu, czyli jakie zabiegi i procesy uwzględniamy w analizie. Czy analiza kończy się na produkcji mleka w gospodarstwie, czy może na bramie wjazdowej lub wyjazdowej mleczarni, a może uwzględnia też dalszą dystrybucję mleka i pozbycie się/recykling opakowań?
 - wskazania jednostki funkcjonalnej, na którą podajemy emisje gazów cieplarnianych, np. 1 litr lub kg mleka, 1 kg sera, 1 krowa mleczna, itp.
- Zebranie danych wejściowych na podstawie określonej granicami analizy, np. pozyskanie surowców (nawozy, materiały paszowe, pasze), produkcja (wykorzystanie energii, zużycie paliw), dystrybucja i transport (paliwa i energia w transporcie oraz magazynowaniu), użytkowanie (przechowywanie, przetwarzanie u konsumenta), postępowanie z odpadami (odzysk, recykling lub składowanie). Dane mogą pochodzić z rzeczywistych pomiarów ale też z istniejących baz danych lub szacunków.
- Obliczanie emisji gazów cieplarnianych dla wszystkich zabiegów i procesów uwzględnionych w analizie, na podstawie odpowiednich współczynników emisji dla różnych gazów cieplarnianych (np. CO₂, N₂O, CH₄) do ekwiwalentów dwutlenku węgla (CO₂eq), najczęściej z zastosowaniem dostępnego na rynku oprogramowania dedykowanego do wykonywania oceny cyklu życia lub analizy śladu węglowego. Dzięki zastosowaniu oprogramowania można łatwo zastosować różne metodyki emisji gazów cieplarnianych i w razie potrzeby uwzględnić inne kategorie wpływu na środowisko.



4. Interpretacja wyników, w której określamy ilościowo emisję gazów cieplarnianych z produktu jak i poszczególnych etapów produkcji lub logistyki. W tym etapie możemy wskazać jakie działania należy podjąć w celu redukcji emisji, np. poprzez zastosowanie zielonej energii czy efektywniejszego transportu.
5. Etap raportowania, uwzględniający emisję gazów cieplarnianych w ekwiwalentach CO₂ (CO₂eq). Dokumentacja powinna zawierać wszystkie założenia, ograniczenia, źródła danych i metodologię każdego z czterech powyższych etapów obliczania śladu węglowego.

Dlaczego trzeba liczyć ślad węglowy?

Ślad węglowy jest jednym z podstawowych wskaźników, niezbędnych do prawidłowego raportowania w ramach strategii ESG (Environmental, Social, Governance). ESG to strategia, zgodnie z którą przedsiębiorcy oraz inne organizacje powinny uwzględnić standardy zrównoważonego rozwoju w trzech obszarach: środowiska („E”), społecznej odpowiedzialności („S”) oraz ładu korporacyjnego („G”). Zgodnie z wymogami CSRD (ang. Corporate Sustainability Reporting Directive), tj. Dyrektywy Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2022/2464 z dnia 14 grudnia 2022 r. w sprawie zmiany rozporządzenia (UE) nr 537/2014, dyrektywy 2004/109/WE, dyrektywy 2006/43/WE oraz dyrektywy 2013/34/UE w odniesieniu do sprawozdawczości przedsiębiorstw w zakresie zrównoważonego rozwoju, przedsiębiorcy będą zobowiązani do zawarcia w sprawozdaniu z działalności informacji o wpływie jednostki na środowisko [2].

Wytyczne ESRS (ang. European Sustainability Reporting Standards) zawierają pięć standardów odnoszących się do tematyki środowiska „E”: E1: Zmiana klimatu, E2: Zanieczyszczenie, E3: Woda i zasoby morskie, E4: Różnorodność biologiczna i ekosystemy, E5: Wykorzystanie zasobów oraz gospodarka o obiegu zamkniętym. Wskaźniki ESG dotyczą zarówno ilościowych jak i jakościowych aspektów prowadzenia działalności gospodarczej. Wskaźniki ESG obejmujące powyższe standardy, nakładają na przedsiębiorców m.in. analizę śladu węglowego, czyli emisji CO₂, w ramach której podmiot będzie raportować ilość emitowanych gazów cieplarnianych w procesach operacyjnych firmy, oraz działania jakie planują firmy, aby zmniejszać swoją emisję, np. poprzez inwestycje w technologie energooszczędne oraz wykorzystanie odnawialnych źródeł energii. W aspekcie raportowania zużycia energii, przedsiębiorca zgłaszać będzie jej ilość zużywaną przez firmę, w tym również wykorzystanie energii odnawialnej, oraz plany działania pozwalające zmniejszać zużycie energii poprzez optymalizację procesów produkcyjnych i inwestycje w efektywne technologie. W ramach zarządzania odpadami, raportowanie obejmować będzie śledzenie procesu gospodarki nimi, w celu minimalizacji negatywnego wpływu na środowisko oraz plany ograniczania ilości odpadów poprzez recykling, ponowne wykorzystanie materiałów oraz unikanie nadmiernego zużycia zasobów [5].

Kto musi liczyć ślad węglowy?

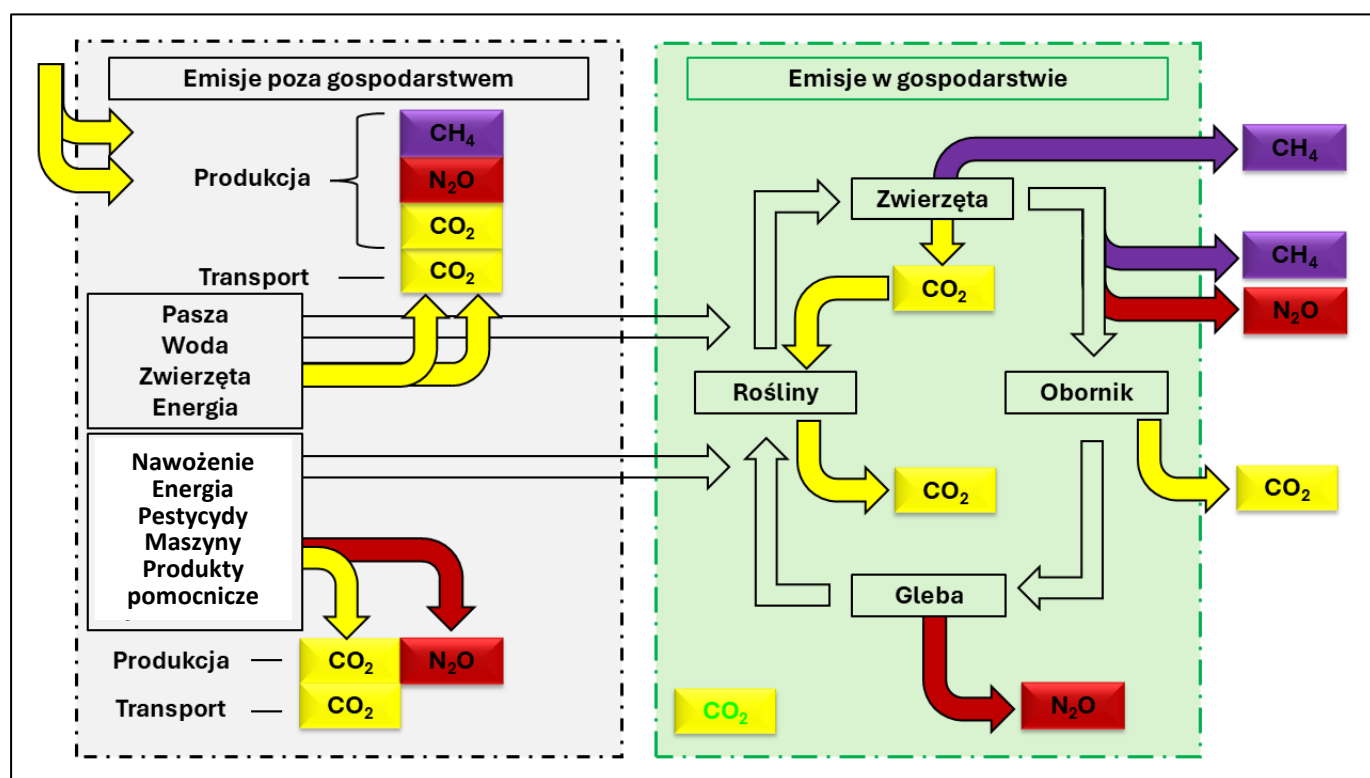
Podmioty zobowiązane do wdrożenia ESG dzielą się na 2 grupy, tj. zobowiązane do zrównoważonego raportowania oraz te, które są częścią tzw. łańcucha wartości [2]. Zgodnie z dyrektywą CSRD, obowiązek raportowania podzielony jest na etapy:

- Od 1 stycznia 2024 r. jednostki duże, zatrudniające ponad 500 pracowników i posiadające status jednostki zainteresowania publicznego (spółki giełdowe, banki, spółki ubezpieczeniowe, itd.). Termin składania sprawozdań w 2025 r.
- Od 1 stycznia 2025 r. inne duże jednostki zatrudniające ponad 250 pracowników, i / lub posiadające 40 mln EUR obrotu i/lub 20 mln EUR sumy bilansowej. Termin składania sprawozdań w 2026 r.
- Od 1 stycznia 2026 r. małe i średnie firmy notowane na giełdzie oraz pozostałe firmy. Termin składania sprawozdań w 2027 r.
- MŚP (Małe i Średnie Przedsiębiorstwa) mogą odroczyć złożenie raportu do 2028 r.

Należy jednak pokreślić, że każde, nawet najmniejsze przedsiębiorstwo, może stać się częścią łańcucha wartości w działalności podmiotu zobowiązanego i wtedy konieczność monitoringu wpływu na środowisko spadnie również na nie.

Źródła emisji gazów cieplarnianych związanych z produkcją mleka

Źródła emisji gazów cieplarnianych związanych z produkcją mleka można schematycznie podzielić na emisje poza gospodarstwem i emisje w gospodarstwie (Rys. 2).



Rys. 2. Schemat emisji gazów cieplarnianych związanych z produkcją mleka [8].

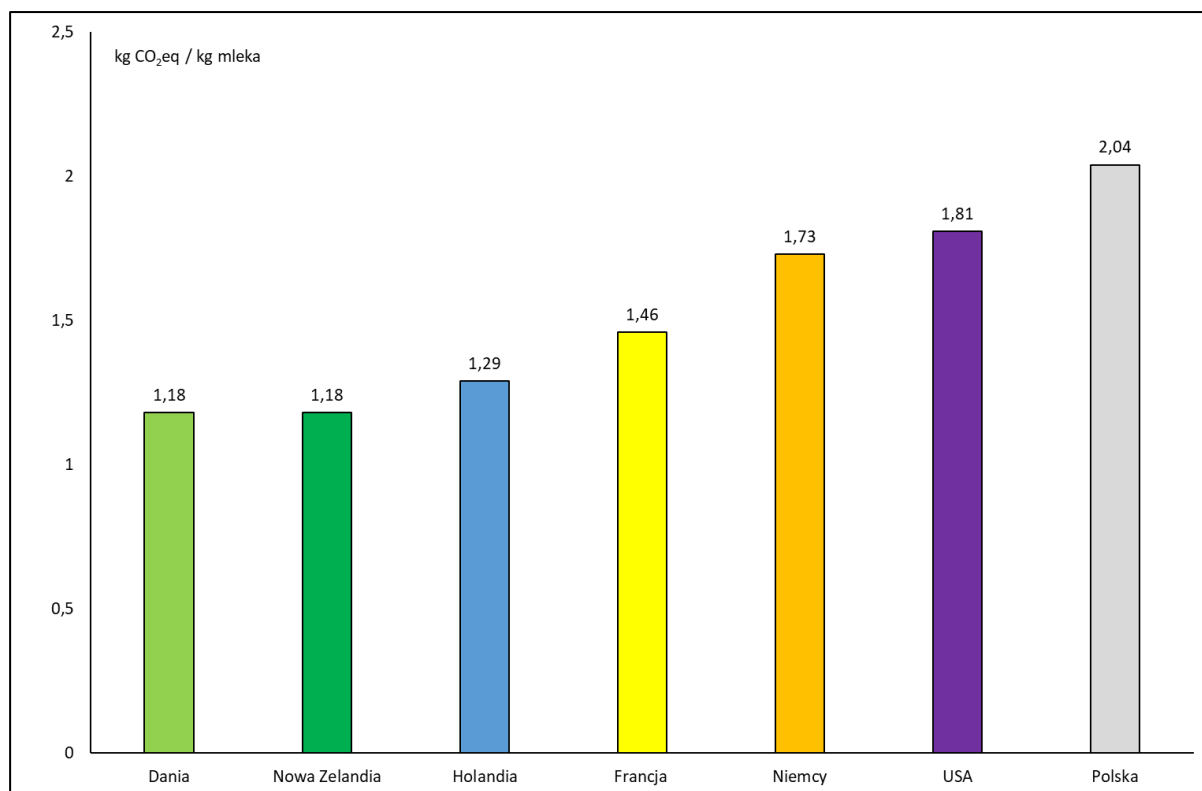
Emisje poza gospodarstwem związane są z importowaniem do gospodarstwa różnych środków produkcji, które zostały wytworzone poza nim przy użyciu energii. Można tu wymienić np. ciągniki, maszyny, zakupione nawozy, pestycydy, zakupione zwierzęta, pasze, koncentraty i inne środki produkcji, które wcześniej musiały zostać wyprodukowane i dostarczone do gospodarstwa. Z kolei emisje w gospodarstwie uwzględniają bezpośrednie emisje CH_4 uwalnianego podczas trawienia paszy przez przeżuwacze oraz z obornika czy gnojowicy (fermentacja metanowa). Ponadto uwzględniane są emisje GHG związane z gospodarowaniem nawozami naturalnymi, uprawą gleby oraz uprawą roślin i pozyskaniem paszy bezpośrednio w gospodarstwie. W tym miejscu należy koniecznie podkreślić, że w przypadku zabiegów agrotechnicznych i uprawy roślin zachodzą emisje, ale zachodzi również sekwestracja węgla w glebach, a szczególnie na użytkach zielonych, co również należy koniecznie uwzględniać w bilansach emisji GHG. Kolejne źródła emisji w gospodarstwie są związane z wykorzystaniem energii elektrycznej, na przykład podczas pozyskiwania i chłodzenia mleka. Energia zużywana w postaci paliw płynnych (głównie oleju napędowego) do uprawy gleby, technologii produkcji roślin oraz logistyki zadawania pasz to kolejne istotne źródło emisji CO_2 .

Z kolei N_2O jest emitowany we wszystkich procesach, w których używany będzie azot zarówno w postaci nawozów naturalnych, jak i mineralnych. W praktyce, emisje gazów cieplarnianych (w przeliczeniu na CO_2eq), związanych z produkcją mleka w gospodarstwie, podawane są najczęściej w rozbiu na pięć głównych strumieni (źródeł) emisji, w tym:

- fermentację w żwaczu krów;
- składowanie nawozów organicznych;
- połowę produkcję pasz;
- zużycie energii;
- zużycie zewnętrznych środków produkcji.

Przykłady emisji GHG z produkcji mleka (ślad węglowy)

Na podstawie danych zgromadzonych w bazach danych można wnioskować, że najniższe emisje GHG związane z produkcją mleka występują w takich krajach jak Dania czy Nowa Zelandia, średnio $1,18 \text{ kg } CO_2eq/kg$ mleka (Rys. 3). W Holandii wysokość tego wskaźnika można szacować na $1,29 \text{ kg } CO_2eq/kg$ mleka, a w Niemczech na $1,73 \text{ kg } CO_2eq/kg$ mleka. Z kolei w USA wskaźnik ten może być jeszcze wyższy ($1,81 \text{ kg } CO_2eq/kg$ mleka). Natomiast w Polsce średnia wartość emisji GHG związanych z produkcją mleka to około $2,04 \text{ kg } CO_2eq/kg$ mleka.



Rys. 3. Wyniki oceny cyklu życia produkcji 1 kg mleka w gospodarstwie dla różnych krajów (na podstawie Programu SimaPro 10.1 i bazy danych Agri-footprint).

Oczywiście wartość tego wskaźnika może być bardzo zróżnicowana w zależności od bardzo wielu wcześniej wymienionych czynników (w tym m.in stosowanego płodozmianu, technologii uprawy roślin i przygotowania pasz, zużycia nawozów i surowców energetycznych, sposobów żywienia, wydajności krów, gospodarki nawozami

naturalnymi) i może zawierać się w przedziale od nawet poniżej 1 kg CO₂eq/kg mleka do nawet ponad 3 kg CO₂eq/kg mleka [6,7,9]. Dlatego też należy w tym zakresie prowadzić szczegółowe badania i analizy, które docelowo umożliwią opracowanie wskaźników i algorytmów, które to z kolei będą podstawą do wiarygodnego określania śladu węglowego produkcji mleka w gospodarstwach.

Podsumowanie

Określanie śladu węglowego produkcji mleka w gospodarstwach rolnych to nowe wyzwanie dla całej branży mleczarskiej, które wzbudza różne emocje. Dotyczy to wszystkich uczestników tego procesu, poczynając od gospodarstw rolnych, przez mleczarnie, sklepy, aż do konsumentów produktów mleczarskich oraz zakładów utylizujących pozostałości poprodukcyjne i odpady. W wielu krajach poczyniono już pierwsze kroki w tym zakresie, natomiast w Polsce jesteśmy na początku tego procesu. Warto jednak zwrócić uwagę na fakt, że wytyczne i regulacje prawne dotyczące tego problemu wyznaczają konkretne kierunki i terminy działań. Ponadto również oczekiwania klientów wydają się być zbieżne w tym zakresie. W związku z tym zachodzi pilna potrzeba zbadania i weryfikacji tego zjawiska w warunkach produkcyjnych Polski. Jest to ważne z punktu widzenia wiarygodnej oceny emisji GHG związanej z produkcją mleka w krajowych gospodarstwach, z jednoczesnym uwzględnieniem sekwestracji węgla w glebach, a szczególnie na użytkach zielonych. Ponadto jest to istotne w aspekcie utrzymania konkurencyjności polskiego mleka, a w dalszej konsekwencji wyrobów mleczarskich na rynku międzynarodowym.

Literatura

1. Climate Strategies Poland. (2021). Ślad węglowy produktu i przedsiębiorstwa. https://climatestrategiespoland.pl/?gad_source=1&gclid=CjwKCAjw65-zBhBkEiwAjrQRMF5Xi0Z-eWMhMOUmZ0coCKoQj88iHdTjyNIRLk7h2fm_znu48i4P1BoCyywQAvD_BwE (25.03.2025)
2. Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2022/2464 z dnia 14 grudnia 2022 r. w sprawie zmiany rozporządzenia (UE) nr 537/2014, dyrektywy 2004/109/WE, dyrektywy 2006/43/WE oraz dyrektywy 2013/34/UE.
3. Eurostat (2024). Greenhouse gas emissions by source sector. Online data code: env_air_gge. European Union. https://doi.org/10.2908/ENV_AIR_GGE
4. IPCC. (2014). Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.
5. Kościuk A. (2025). E w ESG – wpływ kwestii środowiskowych na Twój biznes. Wyd. Wolters Kluwers, <https://www.wolterskluwer.com/pl-pl/solutions/lex/esg/wiedza/e-w-esg-wplyw-kwestii-srodowiskowych-na-twoj-biznes> (25.03.2025)
6. Ouatahar L., Bannink A., Lanigan G., Amon B. (2021). Modelling the effect of feeding management on greenhouse gas and nitrogen emissions in cattle farming systems. *Science of The Total Environment*, 776, 145932.
7. Ūčtuđ, F.G. (2019). The Environmental Life Cycle Assessment of Dairy Products. *Food Engineering Reviews* 11, 104–121.
8. Van Dijk W., de Boer J.A., de Haan M.H.A., Mostert P., Oenema J., Verloop J. (2022). Calculation rules of the Annual Nutrient Cycling Assessment 2020; Background information about farm-specific excretion parameters (update of ANCA report 2019). Wageningen Livestock Research, Report 1023-UK.
9. Wattiaux M.A., Uddin, M.E., Letelier P., Jackson R.D., Larson R.A. (2019). Invited Review: Emission and mitigation of greenhouse gases from dairy farms: The cow, the manure, and the field. *Applied Animal Science*, 35, 2: 238-254.