



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

Optymalizacja przetwarzania płodów rolnych w celu racjonalnego gospodarowania energią oraz obniżenia emisji gazów cieplarniowych dla tworzenia standardów dla produktów rolno-spożywczych

Raport cz. 1



Badania realizowane w ramach: Zadanie 4. Identyfikacja i opracowanie nowych krajowych wskaźników jednostkowych oraz zrównoważonych metod produkcji dla celów ochrony środowiska i przeciwdziałania zmianom klimatu w rolnictwie

na zlecenie Ministerstwa Rolnictwa i Rozwoju Wsi
Umowa nr DRR.prz.070.1.2022.



Opracowanie:

**dr inż. Elżbieta Polak
dr inż. Magdalena Wróbel-Jędrzejewska
mgr inż. Ewelina Włodarczyk
mgr inż. Paweł Kuleta
mgr inż. Łukasz Przybysz
dr inż. Joanna Markowska
dr inż. Agnieszka Tyfa
mgr inż. Anna Drabent**

**Instytut Biotechnologii Przemysłu Rolno-Spożywczego
im. prof. Waława Dąbrowskiego
Państwowy Instytut Badawczy**

Zakład Technologii i Techniki Chłodnictwa

Łódź, listopad 2022

Wprowadzenie

Gospodarka obiegu zamkniętego to stałe współdziałanie całego łańcucha podmiotów: rolników, producentów żywności, dostawców i konsumentów oraz świadome podejmowanie działań na rzecz środowiska. Ochrona środowiska naturalnego poprzez m.in. zmniejszenie emisji gazów cieplarnianych, to również obowiązek rolnictwa i przetwórstwa. Wielkim wyzwaniem jest sprostanie celom Unii Europejskiej, która chce stać się kontynentem neutralnym dla klimatu do 2050 roku. Racjonalne zarządzanie energią w produkcji żywności jest jednym z kluczowych działań w kontekście ograniczenia emisji gazów cieplarnianych. Postępujące gwałtowne zmiany klimatu oraz globalne ocieplenie zwracają szczególną uwagę na zużycie energii elektrycznej, która staje się coraz bardziej newralgicznym punktem produkcji żywności, w całym łańcuchu wytwórczym „od pola do stołu”.

Do oceny wielkości emisji gazów cieplarnianych w obszarze upraw, hodowli, produkcji i dystrybucji żywności można wykorzystać ślad węglowy (Carbon Footprint CF). Wskaźnik ślad węglowy (CF) jest coraz powszechniej stosowany wraz z rozwojem założeń gospodarki niskoemisyjnej oraz wprowadzaniem strategii społecznej odpowiedzialności rolnictwa. Kolejnym powodem, dla którego podmioty decydują się na obliczanie CF jest pokazanie wyników poczynionych redukcji emisji gazów cieplarnianych, w swojej działalności, w celu zwiększenia konkurencyjności wytworzonych produktów. Zgodnie z zasadami zrównoważonego rozwoju oraz z zarządzaniem ryzykiem klimatycznym, powinno się realizować działania mające na celu obniżenie wpływu przetwórstwa na środowisko.

W unijnych i krajowych dokumentach strategicznych:

- Strategii zrównoważonego rozwoju wsi, rolnictwa i rybactwa 2030 (SZRWRiR),
- Planie Strategicznym dla Wspólnej Polityki Rolnej 2023-2027 (projekt),
- Strategii na Rzecz Odpowiedzialnego Rozwoju do roku 2020 (z perspektywą do 2030 r.) (SOR),
- Strategii "od pola do stołu" na rzecz sprawiedliwego, zdrowego i przyjaznego dla środowiska systemu żywnościowego (F2F),
- Krajowym planie na rzecz energii i klimatu na lata 2021-2030,
- Komunikacie Komisji do Parlamentu Europejskiego, Rady Europejskiej, Rady, Komitetu Ekonomiczno-Społecznego i Komitetu Regionów „Europejski Zielony Ład”

wskazano kierunki koniecznych działań na rzecz adaptacji rolnictwa i przetwórstwa rolno-spożywczego do zmian klimatu i wdrażania technologii niskoemisyjnych.

Obecnie Komisja Europejska planuje wprowadzenie nowego znakowania żywności. Znakowanie to ma być oparte na ocenie wpływu cyklu życia produktu na środowisko poprzez wyznaczenie śladu węglowego w celu promowania zrównoważonej gospodarki. Wspólne Centrum Badawcze Komisji Europejskiej opublikowało w październiku 2019 r. raport dotyczący śladu węglowego „The consumer footprint: Monitoring sustainable development goal 12 with process-based life cycle assessment”, który potwierdził zasadność i konieczność prowadzenia dalszych badań. Praca zawierała szczegółową dyskusję na temat dalszych ulepszeń metodologicznych i potrzeb badawczych w zakresie wykorzystania śladu węglowego jako wskaźnika do monitorowania emisji gazów cieplarnianych oraz wspierania polityki zrównoważonej produkcji i konsumpcji. Analiza CF opiera się na normach dotyczących cyklu życia produktu (LCA). Na etykietach żywności pojawić ma się oznakowanie podobne jak w przypadku wartości odżywczej, tzw. traffic light. W zależności od wpływu produktu na środowisko, na opakowaniach miałyby być wprowadzone kolory. Uzyskanie konkretnego koloru oznakowania ma zostać uzależnione od oceny wszystkich etapów technologii niezbędnych do dostarczenia produktu do konsumenta finalnego. Zakończyła się faza przejściowa polegająca na informowaniu konsumentów o znaczeniu śladu węglowego. Komisja zadeklarowała, że do 2024 r. przedstawi ramy dotyczące zrównoważonego etykietowania żywności, aby dać konsumentom możliwość podejmowania zrównoważonych wyborów żywieniowych.

Zakres prac obejmował:

- przegląd literaturowy metodyk szacowania śladu węglowego dla przetwórstwa w gospodarstwach rolnych
- szacunkowe określenie liczby gospodarstw przetwórczych wraz z rodzajem wytwarzanych produktów
- wybór 3 grup wytwarzanych produktów
- analiza metod pomiaru śladu węglowego wybranych produktów w oparciu o dane literaturowe i wyniki z badań własnych IBPRS-PIB Zakładu Technologii i Techniki Chłódnictwa
- analiza procesów przetwórczych pod kątem określenia udziałów poszczególnych rodzajów emisji dla wybranych produktów i wskazanie kierunków optymalizacji technologii (zakres analizy - od wejścia surowców do wyjścia produktu)

Optymalizacja przetwarzania produktów rolnych w celu racjonalnego gospodarowania energią oraz obniżenia emisji gazów cieplarnianych dla tworzenia standardów dla produktów rolno-spożywczych

- zdefiniowanie kierunków rozszerzenia analizy śladu węglowego dla całego zakresu (od pola do stołu) w oparciu o dane literaturowe
- opracowanie wytycznych dla gospodarstw w zakresie wyliczania śladu węglowego dla procesów przetwórczych
- opracowanie raportu końcowego.

1. Metodyki szacowania śladu węglowego na poziomie przetwórstwa w gospodarstwach rolnych

Opracowanie wskaźników zrównoważonego rozwoju, opartych na analizach porównawczych rzeczywistych danych o produktach, przedsiębiorstwach i inwestycjach oraz konsekwentne ich stosowanie jest niezbędne dla ograniczenia negatywnego wpływu działalności człowieka na środowisko [Negra, 2020].

Sektor rolno-spożywczy obejmuje dwa nierozłączne sektory gospodarki: rolnictwo, będące źródłem surowców roślinnych i zwierzęcych oraz przetwórstwo spożywcze, będące głównym odbiorcą upraw rolnych, odpowiedzialne również za ukierunkowanie produkcji surowca rolnego. Termin przemysł spożywczy odnosi się do produkcji żywności i dotyczy wszystkich działań związanych z produkcją, przetwarzaniem, dystrybucją, przygotowaniem, konsumpcją żywności z uwzględnieniem aspektów społeczno-ekonomicznych i środowiskowych. W Polsce przemysł rolno-spożywczy od kilkadziesiąt lat znajduje się w ciągłej fazie rozwoju. Duże znaczenie w tej kwestii miało przystąpienie Polski do Unii Europejskiej (UE), które zaowocowało restrukturyzacją i modernizacją rolnictwa, związane m.in. z dotacjami umożliwiającymi dostosowanie przedsiębiorstw produkcyjnych do standardów obowiązujących w UE. Dzięki temu polski sektor rolno-spożywczy stał się konkurencyjny zarówno na rynku krajowym, jak i międzynarodowym [Poczta, Beba 2014; Gliwa 2015].

Do najbardziej znanych wskaźników określających działalność człowieka na środowisko naturalne jest ślad ekologiczny, wyrażający w jednostkach powierzchni funkcje ekosystemowe, które są niezbędne do podtrzymania występującej produkcji i konsumpcji. Wartość śladu ekologicznego uwzględnia zużycie surowców, energii, a także emisję odpadów. Wskaźnik ten przedstawia zapotrzebowanie ludzi na surowce i usługi.

Kolejnym wskaźnikiem określającym wpływ człowieka na środowisko jest ślad węglowy, charakteryzuje się go jako suma iloczynów wyemitowanej ilości gazów i ich wskaźników GWP, wyrażoną w kg lub Mg ekwiwalentu dwutlenku węgla (CO₂eq) i odniesioną do jednostki funkcjonalnej produktu.

1.1 Ślad węglowy

Śladem węglowym (ang. *CF – Carbon Footprint*) nazywamy oszacowaną emisję gazów cieplarnianych do atmosfery w całym cyklu życia danego produktu, procesu czy technologii. Gazy cieplarniane (dwutlenek węgla, metan, podtlenek azotu, fluorowęglowodory, perfluorokarbyony, sześćofluorek siarki) w różnym stopniu wpływają na efekt cieplarniany, który mierzony jest w odniesieniu do jednej cząstki CO₂. Globalny Potencjał Ocieplenia GWP (Global Warming Potential) - oznacza wskaźnik porównujący siłę oddziaływania danego gazu cieplarnianego na ocieplenie klimatu, do siły oddziaływania dwutlenku węgla. GWP obliczany jest na podstawie skutków oddziaływania jednego kilograma danego gazu na ocieplenie klimatu w ciągu 100 lat w porównaniu do oddziaływania jednego kilograma CO₂ [IPCC 2007]. Ślad węglowy obliczony z wykorzystaniem Globalnego Potencjału Ocieplenia może być wyrażany w odniesieniu do jednostek organizacyjnych, procesu produkcyjnego, wykonywanych usług, produktu oraz konsumenta.

W analizie śladu węglowego uwzględniane są dwa rodzaje emisji:

- bezpośrednio emisje gazów cieplarnianych (GHG) będące wynikiem, m.in. spalania paliw i przetwórczych oraz naturalnych procesów, generujących emisję gazów cieplarnianych,
- pośrednie będące konsekwencją wykorzystania w procesie produkcji wyrobu lub wytworzenia mediów energetycznych (prąd elektryczny, ciepło) i/lub surowców, z których każdy posiada swój CF, wynikający z jego wytworzenia i dostarczenia do bilansowanego układu [Garnett 2008, Norma ISO 14064].

Wartość śladu węglowego (CF) podaje się w ekwiwalentnej ilości (CO_{2-e}), którą oblicza się ze wzoru z wykorzystaniem danych z tabeli 2:

$$CO_{2-e} = GHG \cdot GWP_{GHG} \quad (1)$$

gdzie:

CO_{2-e} – ekwiwalentna wielkość emisji wyrażona w kg (lub innych jednostkach masy) CO₂,

GHG – wielkość emisji danego gazu cieplarnianego wyrażona w kg (lub innych jednostkach masy),

GWP_{GHG} – wartość GWP (*Global Warming Potential*) danego gazu cieplarnianego (kg CO_{2-e}/kg GHG).

Natomiast ślad węglowy CF produktu, procesu, technologii jest sumą wszystkich emisji bezpośrednich i pośrednich, jakie zostały zidentyfikowane w całym cyklu i zakresie analizy:

$$CF = \sum_{i=1}^n (CO_{2-e})_i + \sum_{j=1}^m (CO_{2-e})_j \quad (2)$$

gdzie:

CF - ślad węglowy produktu [kg CO_{2-e}/kg produktu]

$(CO_{2-e})_i$ – wielkość emisji bezpośredniej z i -tego źródła wyrażona w ekwiwalentnej ilości CO₂ [kg CO_{2-e}/kg produktu],

$(CO_{2-e})_j$ – wielkość emisji pośredniej z j -tego źródła wyrażona w ekwiwalentnej ilości CO_2 [kg CO_{2-e} /kg produktu].

*Tabela 1. Wartości GWP₁₀₀ (Global Warming Potential – potencjału globalnego ocieplenia)
wybranych gazów cieplarnianych w horyzoncie 100 lat [PN-69/R-75021]*

gazy cieplarniane GHG	Wartość GWP [kg CO_{2-e} /kg GHG]
Dwutlenek węgla (CO_2)	1
Metan (CH_4)	28
Podtlenek azotu (N_2O)	265
Trifluorek azotu (NF_3)	17 200
Heksafluorek siarki (SF_6)	22 800

Szczegółowe zasady analizy Carbon Footprint i sposoby obliczenia wartości CF są opisane w odpowiednich dokumentach normatywnych. Analiza cyklu życia (LCA) jest narzędziem wykorzystywanym do określania śladu węglowego. Jest to technika zarządzania środowiskiem, co stanowi studium analityczne w kompleksowej ocenie oddziaływania produktu, usługi lub procesu na środowisko naturalne. W analizie LCA uwzględnia się wszystkie środki oraz surowce w całym cyklu produkcyjnym, przedprodukcyjnym oraz eksploatacyjnym danego produktu, usługi lub procesu. Metodyka analizy LCA podana jest w normach ISO 14040, 14044: 2006. Normy te określają strukturę analizy LCA, w skład której wchodzi następujące etapy: określenie celu i zakresu analizy, analiza zbioru danych, ocena wpływu na środowisko.

Pierwszym etapem analizy jest określenie celu i zakresu analizy oraz rodzaju potencjalnego oddziaływania produktu, usługi lub procesu na środowisko. Pierwsze obszary oddziaływania na środowisko to eutrofizacja oraz zakwaszenie. Wpływ eutrofizacji przeprowadza się poprzez bilans związków potasu, wyrażając wynik w formie równoważnika (kg PO_4 eq). Natomiast ocenę zakwaszenia w wyniku prowadzonej działalności określa się poprzez bilans związków azotu, siarki i węgla. Wyznaczając ślad węglowy produktów rolnych ocenia się potencjalne źródła emisji dwutlenku węgla, metanu oraz podtlenku azotu (kg CO_2 eq). Zakres analizy definiujemy jako granice, w ramach których uwzględniamy środki realnie wykorzystywane w procesie produkcyjnym oraz nakłady energetyczne z tym związane. Trzeba przeprowadzić bilans masy i energii procesu w oparciu o procesy jednostkowe, z uwzględnieniem emisji i strat pomiędzy tymi procesami.

W przypadku pewnych procesów produkcyjnych, których efektem jest kilka produktów, nie jest możliwe określenie obciążenia środowiskowego przypisane konkretnemu produktowi. W takich sytuacjach określa się emisję gazów cieplarnianych całego procesu produkcyjnego, przypisując ich emisję proporcjonalnie poszczególnym produktom. Proporcje te określa się w

oparciu o następujące kryteria: bilans masowy, wartość handlową lub wartość energetyczną. Przykładem takiej produkcji rolnej jest hodowla bydła mlecznego, w której część emisji gazów cieplarnianych przypisywana jest mleku, a część zwierzętom. Zwłaszcza trudne jest określenie alokacji wskazanych emisji gazów cieplarnianych na poszczególne produkty, w gospodarstwach o szerokim spektrum działalności, obejmującej wielorodzajową produkcję roślinną oraz zwierzęcą.

Ważnym etapem analizy LCA jest wyznaczenie sposobu pozyskania danych o emisji poszczególnych gazów cieplarnianych. W celu uzyskania wartości emisji należy wykonać pomiary w danym procesie, skorzystać z danych zawartych w literaturze lub bazach danych. Kolejnym elementem tego etapu jest określenie jednostki funkcjonalnej produktu, usługi lub procesu. Dla produkcji rolnej jednostką tą jest najczęściej kilogram uzyskanego żywca o znormalizowanym składzie chemicznym, a w przypadku produkcji mleka litr znormalizowanego mleka przeznaczonego do skupu.

Następnym etapem jest analiza zbioru, czyli wyznaczenie ilościowe emisji gazów cieplarnianych, związanych z ogólną liczbą wszystkich surowców wchodzących w cykl produkcyjny i nakładów energetycznych wchodzących skład procesu produkcyjnego. Do analizy zbioru w produkcji rolnej wchodzi najczęściej emisje związane z produkcją nawozów, środków ochrony roślin, pasz, hodowlą zwierząt oraz zabiegami agrotechnicznymi. W identyczny sposób wyznaczamy emisję gazów cieplarnianych dla produktu.

W analogiczny sposób, stosując wszystkie opisane powyżej kroki należy uwzględnić cały łańcuch dostaw wraz przetwórstwem, dystrybucją oraz opakowaniami.

1.1.1 Metodyka szacowania śladu węglowego

W celu prawidłowego określenia śladu węglowego ważny jest dobór odpowiedniej metodologii. Dotychczas opracowano wiele różnych metod liczenia wpływu zanieczyszczeń oraz gazów cieplarnianych na środowisko, najpopularniejsze przedstawiano w tabeli 2.

Tabela 2. Stosowane metodologie dotyczące analizy śladu węglowego

IPCC – Task Force on National Greenhouse Gas Inventories, 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories; Międzypaństwowy Zespół ds. Zmian Klimatu (IPCC)	wytyczne metodologiczne dla krajowych inwentaryzacji gazów cieplarnianych
ISO 14040 ISO 14044	oceny cyklu życia produktu
ISO 14067	zasady, wymogi i wytyczne dotyczące kwantyfikacji i raportowania śladu węglowego produktu (CFP) na

	podstawie norm ISO 14040 i ISO 14044 dotyczącymi oceny cyklu życia (LCA)
PAS 2050	określa wpływ działalności, produktów i usług przedsiębiorstwa na środowisko oraz umożliwia zmierzenie emisji gazów cieplarnianych (GHG) w ich cyklu życia
PAS 2060	specyfikacja do wykazywania neutralności węglowej. Wyznacza wymagania potrzebne do osiągnięcia i wykazania neutralności węglowej we wszystkich obszarach, łącznie z budynkami, transportem, produkcją, liniami produkcyjnymi i wydarzeniami.
WRI GHG Protocol	specyfikacja dla szacowania emisji gazów cieplarnianych towarów i usług

W literaturze tematu spotyka się spersonalizowane podejścia przeznaczone do konkretnych grup produktów. Synergicznym ujęciem analizy CF, dedykowanym dla sektora hodowli bydła i przemysłu mleczarskiego, jest metodologia opracowana stosowana przez IDF (International Dairy Federation). Daje możliwość porównania różnych systemów produkcji, regionów i produktów, wedle wymagań podejścia normalizacyjnego. Metodologia ta, umożliwia porównanie emisji GHG pomiędzy produktami przemysłu mleczarskiego, identyfikację emisji GHG od pola do bramy zakładu produkcyjnego oraz identyfikację tych obszarów, gdzie istnieje potencjał do redukcji emisji gazów cieplarnianych, jeśli są one szczególnie wysokie. W podejściu tym połączono różne aspekty istniejących norm i specyfikacji (tabela 1) i nazwano metodą atrybucyjną lub wynikową dotyczącą obliczenia śladu węglowego, zarówno hodowli bydła oraz przetwórstwa. Metoda LCA nakierowana jest na opisywanie rzeczywistych przepływów do i od produktu lub procesu, odnoszących się do oddziaływania na środowisko. Metoda ta jest również przydatna do planowania strategii redukcji lub ograniczania emisji gazów cieplarnianych na poszczególnych etapach. W metodzie atrybucyjnej stosuje się dane średnie, na przykład dla energii elektrycznej lub innych towarów, będących w obrocie handlowym, nie powiązane specyficznie z ich konkretną dostawcą. Oceniono to podejście jako zarówno wystarczające, jak i praktyczne w celu wypracowania wspólnej metodologii dla śladu węglowego przemysłu mleczarskiego. Opracowanie metodologii obliczania śladu węglowego mleka w cyklu od hodowli bydła do przetworów mleczarskich (IDF), jest nakierowane na wyznaczenie jednolitych standardów dotyczących analizy śladu węglowego oraz umożliwienie oceny produktów mleczarskich wykorzystując opracowane bazy. Działania te są ukierunkowane na wspieranie rozwoju zrównoważonej produkcji żywności, umożliwiającej bieżące redukcje emisji GHG.

Tabela 3. Wspólna metodologia IDF obejmuje całościowe podejście międzynarodowej wiedzy oraz aspekty istniejących norm.

Metodologia IDF	
International Organization for Standardization (ISO)	ISO 14040 i 14067, normy ilościowego wyliczania śladów węglowych dla produktów
British Standards Institution (BSI) we współpracy z Brytyjskim Department for Environment, Food and Rural Affairs (Defra) oraz Carbon Trust, które opracowały Publicznie Dostępną Specyfikację 2050 (PAS 2050)	specyfikacja dla szacowania emisji gazów cieplarnianych towarów i usług
The World Business Council for Sustainable Development (WBCSD) i World Resources Institute (WRI), które opracowały Protokół Gazów Cieplarnianych Liczenia Cykli Życiowych Produktu oraz Normę Wykonywania Raportu, Normę Łańcucha Wspólnej Wartości Zakresu 3 oraz towarzyszący przewodnik 2011, Techniczny Przewodnik do obliczania emisji zakresu 3E (wersja 1.0).	specyfikacja dla szacowania emisji gazów cieplarnianych towarów i usług
Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC)	ocena zmian klimatycznych

W Polsce najbardziej dominującymi grupami produktów są zboża, produkty mięsne i mleczne. Przeanalizowano metodyki analizy śladu węglowego dla wybranych 3 grup produktów tj. mleka, mięsa i chleba (tabela 4).

Tabela 4. Przegląd literaturowy metodyk szacowania śladu węglowego dotyczący rolnictwa i przetwórstwa w gospodarstwach rolnych (uwzględniono 3 grupy produktów)

Produkt	Metodologia i charakterystyka badań	Źródło
mleko	<p>Zastosowano metodę szacowania śladu węglowego mleka. LatteGHG to elektroniczny arkusz roboczy poświęcony typowym włoskim systemom produkcji mleczarskiej.</p> <ul style="list-style-type: none"> – Przeanalizowano literaturę dotyczącą szacowania śladu węglowego mleka, ze szczególnym uwzględnieniem podstawowych informacji i metodologii przyjętych do szacowania emisji gazów cieplarnianych. – Określono metodologię dla intensywnego systemu produkcji, takiego jak system produkcji mleka we Włoszech. 	<p>Pirlo G., Carè S. 2013. A Simplified Tool for Estimating Carbon Footprint of Dairy Cattle Milk. <i>Italian Journal of Animal Science</i>, 12, 81, 497-506. https://doi.org/10.4081/ijas.2013.e81</p>

	<ul style="list-style-type: none"> – Zaproponowano narzędzia, które umożliwią użytkownikom wprowadzanie najbardziej aktualnych i odpowiednich wskaźników emisji. – Przetestowano LatteGHG poprzez symulację czterech modeli gospodarstw mlecznych. – Program umożliwia wskazanie różnic w gospodarstwach wynikających z wydajności produkcji mleka, wskaźnika obsady i systemu zarządzania obornikiem. 	
	<p>Wyznaczono ślad węglowy mleka produkowanego w Australii, zgodnie ze wytycznymi dotyczącymi śladu węglowego Międzynarodowej Federacji Mleczarskiej oraz Międzynarodowym Standardem Oceny Cyklu Życia.</p> <ul style="list-style-type: none"> – Zakres analizy obejmował granice wejścia i wyjścia od kołyski do bramy gospodarstwa za okres dwunastu miesięcy. – Przeanalizowano 139 gospodarstw reprezentujących główne regiony mleczarskie w Australii. – Ślad węglowy mleka australijskiego dla roku 2009/2010 wynosił 1,11 kg CO₂. – Różnice w emisji wyprodukowanego mleka można przypisać różnicom w praktykach produkcyjnych. – W produkcji pierwotnej zmiana systemu żywienia jest najważniejszym czynnikiem redukcji emisji metanu jelitowego oraz określono potencjalne punkty redukcji śladu węglowego dla praktyk gospodarowania obornikiem. 	<p>Gollnow S., Lundie S., Moore A. D., McLaren J., Buuren N., Stahle P., Christie K., Thylmann D., Rehl T. 2014. Carbon footprint of milk production from dairy cows in Australia. <i>International Dairy Journal</i>, 37, 31-38. http://dx.doi.org/10.1016/j.idairyj.2014.02.005</p>
	<p>Obliczono ślad węglowego mleka krowiego i napoju sojowego oraz przeanalizowano ocenę wyników śladu węglowego w świetle zastępowalności mleka krowiego napojem sojowym, przeanalizowano potencjalne kompromisy środowiskowe, ekonomiczne i żywieniowe między tymi dwoma produktami.</p> <ul style="list-style-type: none"> – Z perspektywy środowiskowej, napój sojowy może być substytutem mleka krowiego: jego produkcja charakteryzuje się niższym śladem węglowym, co pozwala na osiągnięcie celów związanych z bezpieczeństwem żywności. 	<p>Coluccia B., Agnusdei G. P., De Leo F., Vecchio Y., La Fata C. M., Miglietta P. P. 2022. Assessing the carbon footprint across the supply chain: cow milk vs soy drink. <i>Science of the Total Environment</i>, 806, 151200. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.151200</p>
	<p>Zastosowano metodologię IPCC Fourth Assessment Report. Analiza LCA została przeprowadzona przy pomocy aplikacji OpenLCA.</p> <ul style="list-style-type: none"> – Scharakteryzowano i obliczono ślad węglowy (CF), wykorzystując ocenę cyklu życia, systemu produkcji mleka na archipelagu Azorów. 	<p>Morais T. G., Teixeira R. F., Rodrigues N. R., Domingos T. 2018. Carbon footprint of milk from pasture-based dairy farms in Azores, Portugal. <i>Sustainability</i>, 10(10), 3658.</p>

	<ul style="list-style-type: none"> – Oddziaływania określono dla wielu jednostek funkcjonalnych: masy, energii i wartości odżywczych, gospodarstwa, powierzchni i zwierzęcia. – Dokonano analizy wielowymiarowej do oceny udziału parametrów produkcyjnych w CF. – Emisje z fermentacji jelitowej, produkcji paszy treściwej oraz stosowania nawozów (organicznych i mineralnych) są trzema głównymi źródłami wpływu. – Wydajność mleka jest kluczową cechą produkcji dla określenia emisji. – Średnia wartość CF wynosi 0,83 kg CO₂/kg surowego mleka. Na każdym poziomie wydajności mlecznej gospodarstwa są w przybliżeniu jednorodne. W porównaniu z innymi badaniami mleko ma niższy CF niż 80 (z 84) opublikowanych CF i średnio jest o około 32% niższy. 	<p>https://doi.org/10.3390/su10103658</p>
	<p>Normy ISO 14040: 2006 i ISO 14044: 2006 zostały wykorzystane do porównawczej oceny cyklu życia (LCA) skoncentrowanej na CF.</p> <ul style="list-style-type: none"> – Zastosowano oprogramowanie LCA SimaPro 7.3.3. – Przeanalizowano ślad węglowy (CF) różnych systemów produkcji mleka w południowym regionie Brazylii. – Produkcja mleczarska charakteryzuje się różnymi sposobami hodowli bydła. Jest to m.in. system zamkniętej obory, system półzamkniętej obory (wypas) i system wypasu oparty na pastwiskach. – Analiza LCA wykazała, że system zamkniętych obór miał niższy CF niż inne badane systemy. – Całkowita emisja gazów cieplarnianych wyniosła 0,535 kg CO₂e/kg dla systemu zamkniętego, 0,778 kg CO₂e/kg dla systemu półzamkniętego i 0,738 kg CO₂e/kg dla systemu opartego na pastwisku bez uwzględnienia wpływu bezpośredniej zmiany użytkowania gruntów. – Po uwzględnieniu emisji związanych z uprawą, CF dla produkcji ziarna i nasion bawełny wykazały wzrost CF o 45,0, 36,9 i 37,3 % odpowiednio dla systemów zamkniętych, półzamkniętych i pastwiskowych. 	<p>Léis C.M., Cherubini E., Ruviano C.F., Prudêncio da Silva V. Lampert V.N., Spies A., Soares S.R. 2015. Carbon footprint of milk production in Brazil: a comparative case study. <i>Int. J. Life Cycle Assess</i>, 20, 46–60.</p>
	<p>Zastosowano metodologię Międzyrządowego Zespołu ds. Zmian Klimatu (IPCC), zaadaptowaną</p>	<p>Vergé X.P.C., Dyer J.A., Desjardins R.L., Worth D. 2007. Greenhouse gas</p>

	<p>do warunków kanadyjskich, w celu obliczenia emisji CH₄ i N₂O.</p> <ul style="list-style-type: none"> – Wartość emisji CO₂ pochodziła z modelu Fossil Fuel for Farm Fieldwork Energy and Emissions, z wyjątkiem energii wykorzystywanej do produkcji nawozów. – Metan został oszacowany jako główne źródło GHG, w sumie 5,75 Tg CO₂ eq, z około 80% pochodzącym z fermentacji jelitowej i 20% pochodzącym z zarządzania obornikiem. Emisje podtlenku azotu wyniosły 3,17 Tg CO₂ eq, a emisje dwutlenku węgla 1,45 Tg. Emisja GHG na zwierzę wynosiła 4,55 Mg CO₂ eq. – W przeliczeniu na intensywność, średnia emisja GHG wynosiła 1,0 kg CO₂ eq/kg mleka. Emisja metanu na kg mleka została oszacowana na 19,3 l CH₄/kg mleka, co jest zgodne z kanadyjskimi pomiarami. – Ocena wpływ wydajności produkcji na emisje gazów cieplarnianych (GHG) jest tylko możliwa po określeniu sumarycznym wszystkich gazów cieplarnianych tj. łącznych emisji metanu (CH₄), podtlenku azotu (N₂O) i dwutlenku węgla (CO₂) na jednostkę produkcji. – Obliczono emisje GHG kanadyjskiego przemysłu mleczarskiego w 2001 r. (produkcja mleka) i na tej podstawie zdefiniowano pięć regionów przemysłu mleczarskiego. 	<p>emissions from the Canadian dairy industry in 2001. <i>Agricultural Systems</i>, 94, 3, 683-693.</p>
mięso	<p>Analiza śladu węglowego została oparta na metodologii opisanej w protokole standardowym GHG oraz zastosowano metodologię opisaną w raporcie IPCC.</p> <ul style="list-style-type: none"> – Określono ślad węglowy zakładu przetwórstwa mięsnego oraz wykonano analizę wskaźników intensywności emisji GHG. – Analizę przeprowadzono w średniej wielkości firmie, zlokalizowanej w województwie wielkopolskim, dla której wieprzowina jest podstawowym surowcem do produkcji. – Kluczową kwestią w stosowanej metodzie jest określenie najpierw granic organizacyjnych, a następnie - operacyjnych przedsiębiorstwa. W przypadku dużych przedsiębiorstw o złożonej strukturze organizacyjnej i własności skupiającej wiele różnych przedsiębiorstw, emisje z różnych przedsiębiorstw są konsolidowane na poziomie przedsiębiorstwa proporcjonalnie do jego udziału kapitałowego lub stopnia kontroli finansowej w spółkach zależnych. 	<p>Bieńkowski J., Dworecka-Waż E., Dąbrowicz R., Holka M., Jankowiak J. 2017. The carbon footprint of a meat processing company. <i>Acta Sci. Pol. Oeconomia</i>, 16 (2), 5–12.</p>

	<ul style="list-style-type: none"> – W dalszym kroku określone są limity operacyjne analizowanych przedsiębiorstw, obejmujące te rodzaje działalności, w których możliwe jest utożsamienie emisji z konkretną działalnością produkcyjną. – Rejestracja emisji prowadzona jest w trzech różnych zakresach, w zależności od stopnia możliwości jej kontroli. – Zakres 1 obejmuje bezpośrednio emisje gazów cieplarnianych przedsiębiorstwa. – Zakres 2 obejmuje emisje z etapu produkcji związane z wytwarzaniem energii elektrycznej, która jest wykorzystywana przez firmę. – Zakres 3 jest krokiem opcjonalnym. Łączy on wszystkie pozostałe emisje pośrednie. Przyczyną ich powstania jest działalność gospodarcza firmy produkcyjnej, która kupuje określone materiały do produkcji, a następnie sprzedaje gotowe produkty do sieci dystrybucyjnych. Na tym etapie emisja ładunków pośrednich może dotyczyć również fazy użytkowania produktu oraz końcowej gospodarki odpadami. <p>Wyniki pokazują, że największe emisje gazów cieplarnianych związane były ze zużyciem energii elektrycznej, gazu ziemnego oraz paliw w transporcie produktów.</p> <ul style="list-style-type: none"> – Oszacowano wartości kilku wskaźników intensywności emisji. Główny wskaźnik emisji GHG w przeliczeniu na jednostkę produktu wyniósł 519 g CO eq. na 1 kg. – Dane do analizy pozyskano z zakładu uboju i przetwórstwa mięsnego zlokalizowanego w południowej części Wielkopolski. – Dane źródłowe pochodziły z istniejącej dokumentacji za lata 2013-2014. – Podstawowe surowce do przetwórstwa pozyskiwane są z lokalnego rynku poprzez współpracę z wieloma grupami producentów trzody chlewnej. – Mniejsze ilości surowca rzeźnego (18,3% ogólnego zużycia), w postaci tuszek drobiowych i ćwierci wołowych, pochodzą z rynku hurtowego. 	
	<p>Zdefiniowano zakres analizy „od kołyski do farmy”, co oznacza, że uwzględnione zostaną wszystkie emisje GHG występujące przed wyjściem bydła z farmy.</p>	<p>Desjardins R.L., Worth D.E., Vergé X.P.C., Maxime D., Dyer J., Cerkowniak D. 2012. Carbon Footprint of Beef</p>

	<p>Zastosowano metodologię IPCC, która opiera się na dostępności wskaźników emisji związanych z danymi dotyczącymi działalności.</p> <ul style="list-style-type: none"> – Poziom I oparty jest na empirycznych współczynnikach emisji opublikowanych przez IPCC. – Poziom II ma nadal charakter empiryczny, ponieważ współczynniki emisji są zwykle wyprowadzane z danych eksperymentalnych właściwych dla danego kraju. – Poziom III jest najbardziej złożoną metodą i opiera się na modelach procesowych. Przejście na wyższy poziom estymacji jest uważane za dobrą praktykę. Struktura i zarządzanie stadem bydła może mieć istotny wpływ na ślad węglowy. Ślad węglowy bydła mięsnego przedstawiono dla Kanady, Stanów Zjednoczonych, Unii Europejskiej, Australii i Brazylii. <p>Wielkość śladu węglowego związanego z produkcją dowolnego produktu różni się w zależności od zakresu lub granic wybranego systemu, który definiuje procesy poprzedzające i końcowe uwzględnione w ocenie.</p> <ul style="list-style-type: none"> – Wartości śladu węglowego produkcji mięsa mieściły się od 8 a 22 kg CO₂eq na kilogram żywej wagi w zależności od rodzaju systemu hodowli, lokalizacji, roku, rodzaju praktyk zarządzania, przydziału, jak również granic badania. <p>Średni ślad węglowy bydła mięsnego (na wyjściu z gospodarstwa) zmniejszył się, głównie dzięki ulepszonej genetyce, lepszej diecie i bardziej zrównoważonym praktykom zarządzania gruntami.</p> <ul style="list-style-type: none"> – W wyniku produkcji bydła powstają produkty inne niż mięso, takie jak skóry, podroby i produkty dla zakładów utylizacyjnych; dlatego też obciążenie środowiska musi być obciążenie środowiska musi być rozłożone pomiędzy te użyteczne produkty. – Struktura hodowli jest powszechna w większości krajów, zarządzanie i proporcje bydła w różnych kategoriach różnią się znacznie w zależności od kraju. – W UE jest większy odsetek krów mlecznych niż krów mięsnych w porównaniu z USA. <p>Strategie żywienia mogą również mieć znaczny wpływ na ślad węglowy.</p>	<p>Cattle. <i>Sustainability</i>, 4, 3279-3301.</p>
--	---	---

	<ul style="list-style-type: none"> – Bydło karmione zbożem w porównaniu z bydłem karmionym trawą ma ogólnie znacząco różny ślad węglowy ze względu na czas wymagany do osiągnięcia określonej wagi. W przypadku bydła karmionego trawą jakość pastwiska może również wpływać na wydajność i ślad węglowy. 	
	<p>Wyznaczano emisję gazów cieplarnianych (GHG) związanych z lokalnym łańcuchem dostaw ekologicznej wołowiny przy użyciu podejścia „od kołyski do grobu”.</p> <ul style="list-style-type: none"> – Jednostką funkcjonalną był 1 kg gotowanej wołowiny, w tym wywóz odpadów, oceniany u konsumentów. – Obciążenia związane z krótkim łańcuchem dostaw wołowiny oceniano zgodnie z podejściem „od kołyski do grobu”. – Zakres analizy obejmował etapy: hodowlę i tucz zwierząt, ubój, przetwórstwo mięsa, w tym produkcja opakowań, działalność detaliczna, transport, przechowywanie w domu, gotowanie i usuwanie odpadów. – Określono całkowite obciążenie 24,46 kg CO₂ na kg gotowanego mięsa. – Faza rozrodu i tuczu była głównym źródłem CO₂ w łańcuchu produkcyjnym, co odpowiada za 86% całkowitych emisji. – Emisja metanu jelitowego była największym źródłem gazów cieplarnianych pochodzących bezpośrednio z działalności rolniczej (47%). – Spożycie mięsa w domu było drugim szczytem produkcji GHG w łańcuchu (9%), a głównym źródłem na tym etapie był proces gotowania (72%). – Działalność detaliczna i ubojowa odpowiadały, odpowiednio za 4,1% i 1,1% emisji gazów cieplarnianych w całym łańcuchu dostaw. 	<p>Vitali A., Grossi G., Martino G., Bernabucci U., Nardone A., Lacetera N. 2018. Carbon footprint of organic beef meat from farm to fork: a case study of short supply chain. <i>J. Sci. Food Agric.</i>, 98 (14), 5518-5524.</p>
	<p>Ślad węglowy wołowiny obliczono na podstawie metodologii oceny cyklu życia.</p> <ul style="list-style-type: none"> – Przeprowadzono inwentaryzację w oparciu o różne łańcuchy dostaw wołowiny w Wielkiej Brytanii i Brazylii. – Całkowite emisje na kg mięsa bez kości obliczono na 33,85, 33,99 i 45,17 kg CO₂ odpowiednio dla gospodarstw rolnych w Wielkiej Brytanii i Brazylii. 	<p>Schroeder R., Aguiar L. K., Baines R. 2012. Carbon footprint in meat production and supply chains. <i>Journal of Food Science and Engineering</i>, 2(11), 652-665.</p>
chleb	<p>Ślad węglowy został oszacowany zgodnie z metodyką PAS 2050. Wyniki zostały również obliczone zgodnie z metodologią ISO 14044 aby zidentyfikować wszelkie różnice w tych dwóch</p>	<p>Espinoza-Orias N., Stichnothe H., Azapagic A. 2011. The carbon footprint</p>

	<p>podejściach i wynikach. Dane pierwotne dla badania zgodnego z PAS 2050 zostały zebrane z brytyjskiego łańcucha dostaw pieczywa. Dane wtórne pochodzą z brytyjskich statystyk, baz danych dotyczących cyklu życia oraz innych opublikowanych źródeł.</p> <ul style="list-style-type: none"> – Oszacowano ślad węglowy chleba produkowanego i spożywanego w Wielkiej Brytanii. Do tych celów wzięto pod uwagę chleb biały krojony i razowy, a jednostkę funkcjonalną zdefiniowano jako "jeden bochenek chleba krojonego (800 g) spożywany w domu". – Przeanalizowano wpływ na ślad węglowy kilku parametrów, w tym, kraju pochodzenia pszenicy (Wielka Brytania, Kanada, Francja, Niemcy, Hiszpania i USA), rodzaju mąki (biała, brązowa i razowa) oraz rodzaju opakowania (torby plastikowe i papierowe). – Wyniki dotyczące śladu węglowego mieściły się w zakresie od 977 do 1,244 g CO₂ eq. na bochenek chleba. – Chleb razowy grubo krojony pakowany w plastikowe torby ma najniższy ślad węglowy, a biały chleb średnio krojony w papierowej torbie najwyższy. – Główne punkty krytyczne to uprawa pszenicy i konsumpcja chleba (przechowywanie w lodówce i piekanie), które przyczyniają się odpowiednio do 35% i 25%. – Ślad węglowy można zmniejszyć średnio o 25 % poprzez unikanie piekania i przechowywania chleba w lodówce. Dalsze redukcje (5-10%) można osiągnąć poprzez zmniejszenie ilości odpadów chlebowych wyrzucanych przez konsumentów. Udział transportu i opakowań w ogólnych wynikach jest niewielki. – Podobne tendencje w wynikach stwierdzono również w badaniu opartym na danych wtórnych i zgodnie z metodyką ISO 14044. 	<p>of bread. <i>Int. J. Life Cycle Assess</i>, 16, 351–365.</p>
	<p>Stosując podejście atrybucyjne, oszacowano ślad węglowy 1 kg chleba żytniego na 731 g ekwiwalentu CO₂ (CO₂eq).</p> <ul style="list-style-type: none"> – Określono ślad węglowy chleba żytniego produkowanego na skalę przemysłową w Danii poprzez identyfikację etapów, które znacząco przyczyniają się do generowania śladu węglowego. – W celu oszacowania śladu węglowego, uwzględniono łańcuch dostaw. 	<p>Jensen J. K., Arlbjörn J. S. 2014. Product carbon footprint of rye bread. <i>Journal of Cleaner Production</i>, 82, 45-57. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.06.061</p>

	<ul style="list-style-type: none"> – Głównym źródłem emisji dwutlenku węgla był etap surowcowy, zwłaszcza produkcja rolna (uprawa), a przetwarzanie i dystrybucja jako wtórne źródła. – Etap gospodarowania odpadami uznano za ważną i wcześniej pomijaną możliwość optymalizacji procesu. 	
	<p>Ślad węglowy (CF) oceniono za pomocą metodologii oceny cyklu życia (LCA).</p> <ul style="list-style-type: none"> – Przedstawiono wpływ rolnictwa ekologicznego i konwencjonalnego na zmiany klimatu pod względem emisji gazów cieplarnianych z rolnictwa ekologicznego i konwencjonalnego. – Porównano proces produkcji ekologicznego i konwencjonalnego chleba pełnoziarnistego produkowanego w środkowych Włoszech przez małe i średnie przedsiębiorstwo piekarnicze. – Określono, że CF 1 kg konwencjonalnego chleba pełnoziarnistego był o 24% mniejsza w porównaniu z tym samym chlebem ekologicznym i wynosiła odpowiednio 1,18 i 1,55 kg ekwiwalentu CO₂. – Jeśli CF jest oceniany na jednostkę powierzchni uprawnej (ha), uprawa ekologiczna pszenicy wykazywała lepsze wyniki pod względem emisji GHG niż konwencjonalna o 60%, a CF wynosił odpowiednio 1,15 i 2,87 Mg CO₂eq na ha. – Wyższy współczynnik CF na jednostkę produktu ekologicznego wynika z niższego plonu z jednostki powierzchni uprawianej w rolnictwie ekologicznym i wynikającego z tego przypisania mniejszej ilości produktów emisji GHG generowanych w połowej fazie cyklu życia. Natomiast CF na hektar jest wyższy, gdy stosowane są praktyki konwencjonalne ze względu na większe wykorzystanie surowców (większa gęstość nasion, środki agrochemiczne do nawożenia i ochrony roślin) w odniesieniu do tego samego systemu organicznego. – Rolnictwo ekologiczne pod uprawę pszenicy we Włoszech jest rolnictwem niskoemisyjnym o mniejszym udziale w zmianach klimatu pod względem emisji GHG na hektar w porównaniu z konwencjonalną uprawą pszenicy, chociaż zmniejszonej wydajności płodów rolnych i wynikającej z tego potrzeby należy rozważyć większą ilość gruntów uprawnych. – Bardziej kompleksową ocenę rzeczywistego GHG emitowanego do atmosfery z systemów 	<p>Chiriaco M. V., Grossi G., Castaldi S., Valentini R. 2017. The contribution to climate change of the organic versus conventional wheat farming: A case study on the carbon footprint of wholemeal bread production in Italy. <i>Journal of cleaner production</i>, 153, 309-319. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.03.111</p>

	rolnictwa ekologicznego i konwencjonalnego można uzyskać, gdy CF jest oceniany na jednostkę powierzchni, oprócz CF na jednostkę produktu.	
--	---	--

Ślad węglowy jest miarą potencjału ocieplania klimatu gospodarstwa, wynikającego z jego wysokiej emisji gazów cieplarnianych z procesów rolno-spożywczych. Jest on mierzony w kg ekwiwalentów CO₂ (eq.) i obliczany jako suma iloczynów potencjałów ocieplenia klimatu dla poszczególnych gazów cieplarnianych GHG (kg CO₂ eq na kg GHG) i emisji (kg) ze wszystkich pośrednich i bezpośrednich źródeł.

Na podstawie analiz literatury stwierdzono, że do wyznaczania śladu węglowego produkcji mleka zastosowano: metodologię opartą na IPCC Fourth Assessment Report, analizę LCA przeprowadzono przy pomocy aplikacji OpenLCA, metodykę oparta na normach ISO 14040: 2006 i ISO 14044: 2006 w porównaniu do oceny cyklu życia (LCA). Ponadto, do szacowania śladu węglowego produkcji mleka użyto również wytyczne International Dairy Federation oraz International Standard for Life Cycle Assessment. Wyznaczono granice analizy produktów mleczarskich, które obejmowały zakres - od kołyski do bramy gospodarstwa. Opracowano również elektroniczny arkusz roboczy poświęcony typowym włoskim systemom produkcji mleczarskiej – LatteGHG, który jest dedykowany do szacowania śladu węglowego mleka. Podsumowując sektor mleczarski jest jednym z głównym obszarów przyczyniającym się do emisji gazów cieplarnianych. Produkcja mleczarska oparta na pastwiskach jest uznawana za bardziej przyjazną dla środowiska (jest mniej zbadana), niż bardziej intensywne systemy produkcyjne.

W przypadku produkcji mięsa, do określenia śladu węglowego zastosowano metodologię opisaną w protokole standardowym GHG. Ważnym punktem w stosowanej metodzie jest określenie najpierw granic organizacyjnych procesu produkcyjnego, a następnie działań operacyjnych przetwórstwa rolno-spożywczego. W dalszym kroku określone są limity operacyjne analizowanych gospodarstw, obejmujące te rodzaje działalności, w których możliwe jest utożsamienie emisji z konkretną działalnością produkcyjną. Rejestracja emisji prowadzona jest w różnych zakresach, w zależności od stopnia możliwości jej kontroli. Zakres 1 obejmował bezpośrednie emisje gazów cieplarnianych, zaś zakres 2 emisje z etapu produkcji związane z wytwarzaniem energii elektrycznej, która jest wykorzystywana do tych celów. Dla produkcji mięsa zakres analizy ograniczono „od kołyski do farmy”, co oznacza, że uwzględniono wszystkie emisje GHG występujące przed wyjściem bydła z farmy.

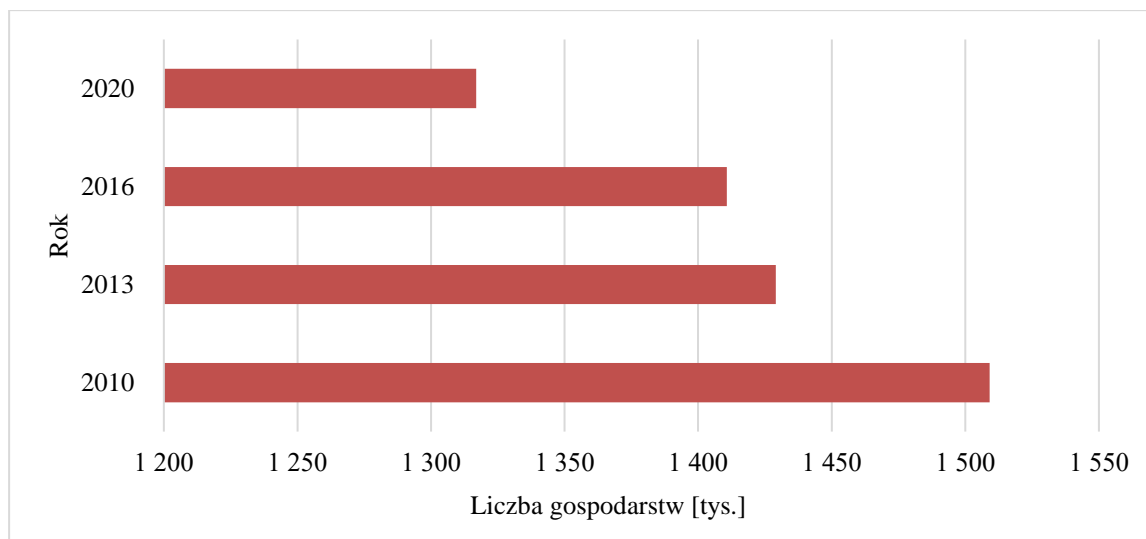
Zastosowano metodologię IPCC, która opiera się na dostępności wskaźników emisji związanych z danymi dotyczącymi działalności. Natomiast obciążenia związane z krótkim łańcuchem dostaw wołowiny, zdefiniowano zgodnie z podejściem „od kołyski do grobu”. A także obliczono ślad węglowy mięsa na podstawie metodologii oceny cyklu życia. Konsumpcja produktów zwierzęcych może mieć znaczący wpływ na przeciwdziałanie zmianom klimatu, w ciągu ostatnich kilku lat wzrósł popyt konsumentów na alternatywy niemleczne. Mimo że napoje roślinne są uważane za kluczowe dla wspierania przejścia na modele zrównoważonej diety, żadne badania nie porównywały jeszcze poziomu emisji napojów roślinnych z tymi pochodzenia zwierzęcego.

W przypadku produkcji pieczywa, ślad węglowy oszacowano zgodnie z metodyką PAS 2050 oraz zgodnie z metodologią ISO 14044. Natomiast, w celu porównania śladu węglowego procesów produkcji ekologicznego i konwencjonalnego pieczywa pełnoziarnistego produkowanego przez małe i średnie przedsiębiorstwa, zastosowano metodologię oceny cyklu życia (LCA).

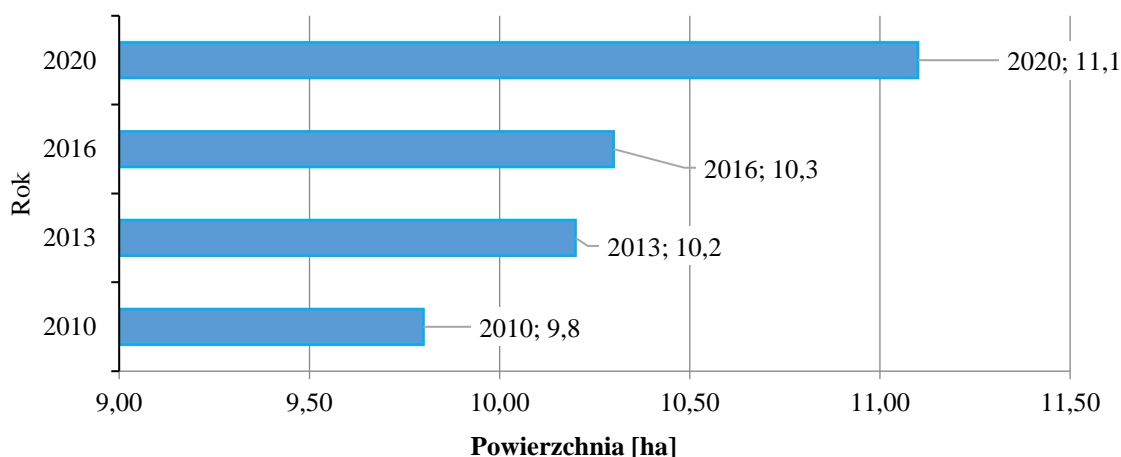
2. Szacunkowe określenie liczby gospodarstw przetwórczych wraz z rodzajem wytwarzanych produktów

Na podstawie analizy wyników Powszechnego Spisu Rolnego w 2020 r., liczba gospodarstw rolnych ogółem wyniosła ok. 1 317 tys. i w porównaniu do Powszechnego Spisu Rolnego w 2010 r., zmniejszyła się o ok. 190 tys., tj. o blisko 13%. Spadek liczby gospodarstw rolnych w ciągu 10 lat, przy nieznacznym spadku powierzchni użytków rolnych, znalazł swoje odzwierciedlenie we wzroście średniej powierzchni użytków rolnych (UR) przypadającej na 1 gospodarstwo rolne o ok. 13%, tj. z 9,8 ha w 2010 r. do 11,1 ha w 2020 r.

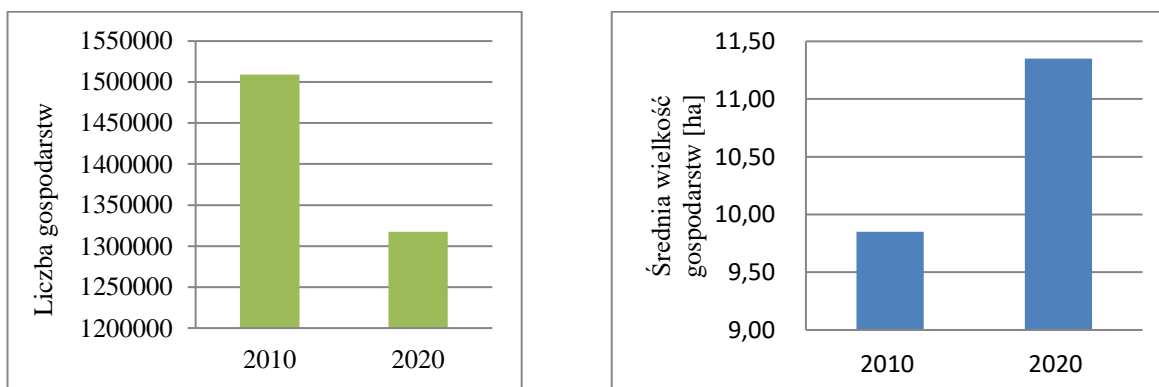
Optimalizacja przetwarzania produktów rolnych w celu racjonalnego gospodarowania energią oraz obniżenia emisji gazów cieplarnianych dla tworzenia standardów dla produktów rolno-spożywczych



Rys. 1. Liczba gospodarstw rolnych w tysiącach

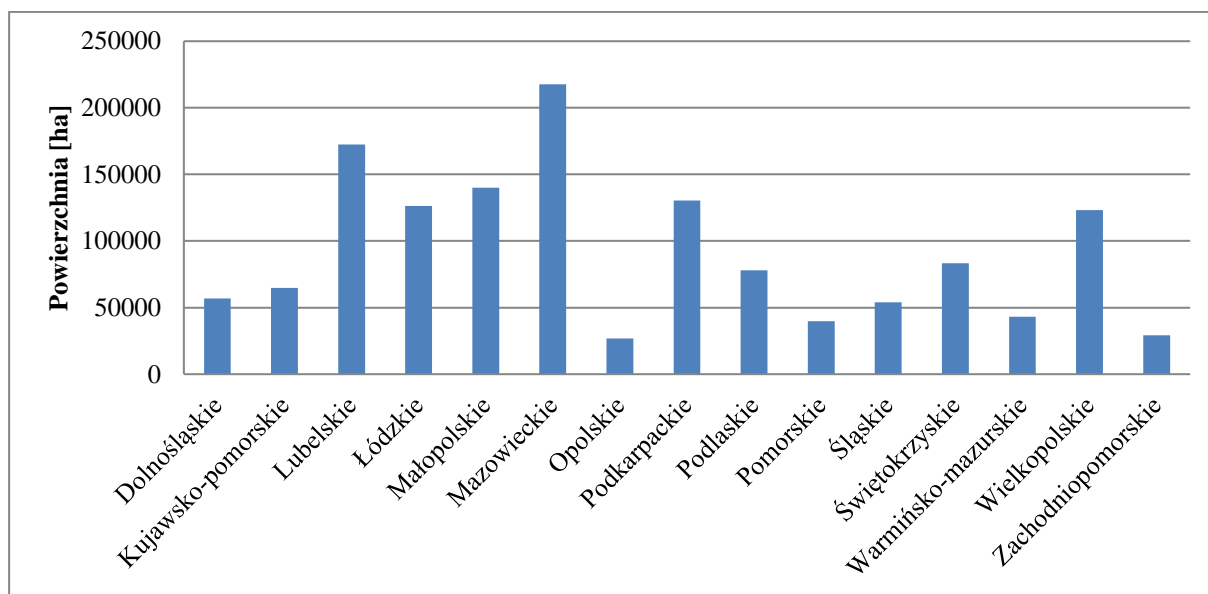


Rys. 2. Średnia powierzchnia użytków rolnych (w ha) w gospodarstwie rolnym



Rys. 3. Analiza liczby i wielkości gospodarstw w ciągu 10 lat

Na przestrzeni ostatnich 10 lat zaobserwowano tendencję zmniejszania się liczby gospodarstw rolnych, co skutkowało wzrostem średniej ich powierzchni. Spadek liczby gospodarstw rolnych stwierdzono wśród gospodarstw o powierzchni do 15 ha użytków rolnych – o ok. 16%, natomiast wzrost w grupie gospodarstw rolnych o powierzchni użytków rolnych 15 ha i więcej (ok. 6%). W niewielkim stopniu poprawie uległa struktura gospodarstw rolnych. Zmalał udział gospodarstw najmniejszych o powierzchni do 5 ha użytków rolnych z 54,0% w 2010 r. do 52,5% w 2020 r., a jednocześnie wzrósł udział gospodarstw o powierzchni 15 ha i więcej użytków rolnych z 13,0% w 2010 r. do 15,8% w 2020 r.



Rys. 4. Powierzchnia gospodarstw rolnych według użytkowania gruntów w Polsce w 2019 roku z podziałem na województwa

Gospodarstwa rolne, charakteryzujące się największą powierzchnią gruntów użytkowych, znajdują się w województwie mazowieckim, lubelskim i małopolskim, zaś najmniejszą województwo opolskie, zachodniopomorskie i pomorskie. Typ gospodarstw rolnych wyróżnia się na podstawie wielkości udziału standardowej produkcji poszczególnych działalności rolniczych prowadzonych w gospodarstwie w całkowitej standardowej produkcji gospodarstwa rolnego. Typologia gospodarstw rolnych ma charakter hierarchiczny. Wyróżnia się 9 typów ogólnych, 22 typy podstawowe oraz 62 typy szczegółowe. Klasyfikacja według typów rolniczych składa się z 3 poziomów:

- typy ogólne (GTF): 8 typów i grupa gospodarstw niesklasyfikowanych (oznaczane za pomocą jednego znaku),

Optymalizacja przetwarzania produktów rolnych w celu racjonalnego gospodarowania energią oraz obniżenia emisji gazów cieplarnianych dla tworzenia standardów dla produktów rolno-spożywczych

- typy podstawowe (PTF): 21 typów i grupa gospodarstw niesklasyfikowanych (oznaczane za pomocą dwóch znaków),
- typy szczegółowe (STF): 61 typów i grupa gospodarstw niesklasyfikowanych (oznaczane za pomocą trzech znaków).

W strukturze gospodarstw rolnych dominują gospodarstwa powierzchni od 5 do 10 ha (czyli powyżej 1 ha) (tabela 5). Najwięcej gospodarstw w Polsce specjalizuje się w uprawach polowych, natomiast najmniej jest gospodarstw mieszanych – hodowla różnych zwierząt.

Tabela 5. Liczba gospodarstw prowadzących działalność rolniczą po względem powierzchni użytków rolnych według grup obszarowych użytków rolnych

	Ogółem	Gospodarstwa o typie rolniczym								
		specjalizujące się w uprawach polowych	specjalizujące się w uprawach ogrodnich	specjalizujące się w uprawach trwałych	specjalizujące się w chowie zwierząt żywnościowych o objętości	specjalizujące się w chowie zwierząt żywnościowych treściwych	mieszane - różne uprawy	mieszane - różne zwierzęta	mieszane - różne uprawy i zwierzęta	niesklasyfikowane
Gospodarstwa ogółem	1309924	784025	30492	55651	139944	34661	43370	25853	156445	39483
Gospodarstwa o powierzchni użytków rolnych:										
do 1 ha włącznie	25035	9140	3209	2050	1853	3021	513	281	3785	1183
razem powyżej 1 ha	1284889	774885	27283	53601	138091	31640	42857	25572	152660	38300
1 – 2 ha	219929	142962	6860	11576	5487	7322	7903	1974	22655	13190
2 – 3 ha	199143	135670	4827	8458	6120	4854	7130	2066	17645	12373
3 – 5 ha	239803	162568	5658	11393	11774	4139	9687	3861	23627	7096
5 – 10 ha	287983	177313	6063	13403	27890	4554	10598	7101	37212	3849
10 – 15 ha	129945	63302	2058	5030	26482	2915	3774	4647	20924	813
15 – 20 ha	64675	27704	768	1810	18064	1821	1458	2421	10326	303
20 – 30 ha	61491	24652	532	1089	20111	2267	1150	2001	9442	247
30 – 50 ha	44222	18857	295	465	14186	2009	662	1105	6447	196
50 – 100 ha	25945	13663	168	236	6513	1223	347	323	3286	186
100 ha i więcej	11753	8194	54	141	1464	536	148	73	1096	47

Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych GUS (Główny Urząd Statystyczny Statistics Poland, Powszechny Spis Rolny 2020 - Charakterystyka gospodarstw rolnych w 2020 r., Warszawa) Rocznik Statystyczny Rolnictwa

**Optymalizacja przetwarzania płodów rolnych w celu racjonalnego gospodarowania energią
oraz obniżenia emisji gazów cieplarniach dla tworzenia standardów dla produktów
rolno-spożywczych**

Tabela 6. Liczba gospodarstw prowadzących zarobkową działalność inną niż rolnicza bezpośrednio związaną z gospodarstwem rolnym w zakresie według grup obszarowych użytków rolnych

	Ogółem	Gospodarstwa o typie rolniczym								
		specjalizuj ące się w uprawach polowych	specjalizuj ące się w uprawach ogrodnicz ych	specjalizuj ące się w uprawach trwałych	specjalizuj ące się w chowie zwierząt żywionych h paszami objętościo wymi	specjalizuj ące się w chowie zwierząt żywionych paszami treściwym i	mieszane - różne uprawy	mieszane - różne zwierzęta	mieszane - różne uprawy i zwierzęta	niesklasyfi kowane
Gospodarstwa prowadzące zarobkową działalność inną niż rolnicza bezpośrednio związaną z gospodarstwem rolnym w zakresie										
ogółem	23737	12898	989	1069	2942	861	840	417	3003	718
agroturystyki	5924	3433	131	201	816	161	179	100	523	380
rękodzieła	413	178	22	100	17	6	33	8	39	10
przetwórstwa produktów rolnych	2528	620	121	232	417	98	155	60	815	10
produkcji energii odnawialnej	164	88	10	9	21	4	10	3	19	19
w gospodarstwie	490	286	16	21	42	13	22	13	59	18
akwakultury	558	367	12	9	29	18	20	7	65	31
rolniczych prac kontraktowych	5794	3009	94	122	1080	356	145	147	806	35
nierolniczych prac kontraktowych	2752	1807	131	95	206	62	83	30	254	84
leśnictwa	485	241	24	17	91	8	16	12	59	17
edukacyjnych	451	276	18	21	47	7	17	7	34	24
innych działalności	6006	3577	481	339	409	176	246	72	542	164

Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych GUS (Główny Urząd Statystyczny Statistics Poland, Powszechny Spis Rolny 2020 - Charakterystyka gospodarstw rolnych w 2020 r., Warszawa) Rocznik Statystyczny Rolnictwa

Najwięcej gospodarstw prowadzących zarobkową działalność, inną niż rolnicza bezpośrednio związaną z gospodarstwem rolnym w zakresie agroturystyki, rolniczych prac kontraktowych oraz przetwórstwa produktów rolnych (tabela 6). Gospodarstw prowadzących działalność - przetwórstwo produktów rolnych jest około 2,5 tysiąca. W tej grupie najwięcej jest gospodarstw specjalizujących się jednocześnie w uprawie i chowie zwierząt, czyli typ rolnictwa mieszanego.

Tabela 7. Liczba gospodarstw prowadząca uprawę według grup obszarowych użytków rolnych

	Ogółem	Gospodarstwa o typie rolniczym							
		specjalizują ce się w uprawach polowych	specjalizują ce się w uprawach ogrodniczy ch	specjalizują ce się w uprawach trwałych	specjalizują ce się w chowie zwierząt żywionych paszami objętościow ymi	specjalizują ce się w chowie zwierząt żywionych paszami treściowymi	mieszane - różne uprawy	mieszane - różne zwierzęta	mieszane - różne uprawy i zwierzęta
Gospodarstwa prowadzące uprawę									
zboż	957978	607308	13942	14235	105885	19958	33396	24197	139057
strączkowych jadalnych	22903	16953	293	243	650	367	1163	224	3010
ziemniaków	263364	139802	3388	2680	27545	2753	13640	11159	62397
roślin przemysłowych	135865	98882	1341	2025	6019	3098	5189	1817	17494
warzyw gruntowych	55628	33128	5871	1260	1366	348	7035	475	6145
warzyw pod osłonami	9369	244	7312	29	38	19	1452	16	259
truskawek	35061	18113	2024	2828	1089	179	6032	388	4408

Źródło: Opracowanie własne na podstawie danych GUS (Główny Urząd Statystyczny Statistics Poland, Powszechny Spis Rolny 2020 - Charakterystyka gospodarstw rolnych w 2020 r., Warszawa) Rocznik Statystyczny Rolnictwa

Na podstawie analizy liczby gospodarstw prowadzących uprawę według grup obszarowych użytków rolnych (tabela 7), to zboża i ziemniaki są najczęściej uprawiane w gospodarstwach rolnych w Polsce, zaś najmniej uprawia się roślin strączkowych i warzyw pod osłonami. Wśród gospodarstw uprawiających zboża i ziemniaki, dominuje typ rolnictwa specjalizujący się w uprawach polowych.

3. Analiza metod pomiaru śladu węglowego wybranych produktów w oparciu o dane literaturowe i wyniki badań IBPRS-PIB Zakład Technologii i Techniki Chłodnictwa

Rolnictwo i generalnie sektor przemysłu rolno-spożywczego ma znaczący udział w emisji gazów cieplarnianych, w tym również ocenianych za pomocą wskaźnika Carbon Footprint (Pandey i in., 2017; Mansour i in., 2017). Rolnictwo korzysta z około 35% powierzchni łądów i odpowiada za blisko 13,5% globalnej antropogenicznej emisji gazów cieplarnianych, w tym około 25% globalnej emisji CO₂, około 50% emisji CH₄ i około 70% emisji N₂O (Montzka i in., 2011). Ślad węglowy produktów rolnych jest głównym wskaźnikiem służącym do monitorowania wydajności i zrównoważonego rozwoju procesów produkcyjnych w rolnictwie, czy też szerzej w przemyśle rolno-spożywczym (Garnett, 2008; Konieczny i in., 2013). W tabeli 8 przedstawiono wartości śladu węglowego dla wybranych warzyw. W tabeli 9 i 10 zestawione

Optimalizacja przetwarzania produktów rolnych w celu racjonalnego gospodarowania energią oraz obniżenia emisji gazów cieplarnianych dla tworzenia standardów dla produktów rolno-spożywczych

zostały zebrane jednostkowe wartości śladów węglowych dla wybranych mediów i surowców wg danych publikowanych (KOBiZE, 2013; DEFRA 2017).

Tabela 8. Średnie wartości śladu węglowego dla wybranych warzyw (śląd dotyczy wyłącznie uprawy) (Borsato i in., 2018)

Warzywo	Wartość CF [kg CO _{2-e} /kg]
szpinak	0,10
fasola	0,33
kalafior	0,30
brokuł	0,30
por	0,35
groszek	0,40
cebula	0,10
marchew	0,15
papryka	1,08
kukurydza	0,45

Tabela 9. Wartości CF wybranych mediów energetycznych i surowców (KOBiZE, 2013)

Nazwa nośnika	Kod GUS	CF [kg CO _{2-e} /jedn.]	Jednostka	CF [kg CO _{2-e} /GJ]
Węgiel kamienny energetyczny	060	2 259	Mg	94,29
Benzyna silnikowa bezołowiowa	088	3 083	Mg	68,81
Oleje napędowe do silników	064	3 177	Mg	73,33
Gaz skroplony LPG	012	2 954	Mg	62,44
Energia elektryczna	024	739 ^{*)}	MWh	-
Ciepło w parze wodnej	023	63,5	GJ	63,5

^{*)} wartość zmieniająca się dynamicznie w zależności od składu mixu energetycznego w danej chwili (podana w tabeli wartość jest średnią za okres wrzesień – październik 2018)

Tabela 10. Wartości CF wybranych mediów energetycznych i surowców (DEFRA, 2017)

Nazwa nośnika	Jedn.	CF			
		kg CO _{2-e}	kg CO ₂	kg ^{*)} CH ₄	kg ^{*)} N ₂ O
Węgiel kamienny energetyczny	Mg	2 417	2 396	6	15
	MWh	339	337	1	2
Benzyna silnikowa bezołowiowa	Mg	3 225	3 214	4	7
	MWh	285	284	0	1
Oleje napędowe do silników (z udziałem biokomponentów)	Mg	3 108	3 082	1	25
	MWh	262	259	0	3
Gaz skroplony LPG	Mg	2 941	2 935	3	3
	MWh	231	229	1	1

^{*)} wartości przeliczone na ekwiwalentną emisję CO₂

W ramach prac badawczych w projekcie BIOSTRATEG (sfinansowany ze środków Narodowego Centrum Badań i Rozwoju przyznanych na podstawie decyzji nr BIOSTRATEG3/343817/17/NCBR/2018) została opracowana metodologia analizy śladu węglowego produkcji mrożonych warzyw w zakładzie przemysłowym. Scharakteryzowano proces technologiczny i określono zakres pomiarowy. Podejście do analizy zagadnienia przedstawiono jako metodę badawczą. Niezbędne parametry zebrano w zakładzie produkcyjnym. Przeanalizowano bilans masowy składników wykorzystanych do produkcji w oparciu o technologię. Opracowano metodę liczenia śladu węglowego oraz system opomiarowania linii technologicznych wraz z systemem akwizycji i archiwizacji danych produkcyjnych. Przeprowadzono rejestrację danych i wyznaczono doświadczalnie ślad węglowy warzyw mrożonych, związany tylko z produkcją. Przeprowadzono pomiar zużycia energii elektrycznej w czasie, w warunkach rzeczywistej produkcji, wraz z rejestracją jej wielkości oraz ilości cykli produkcyjnych. Określono emisję m.in.: bezpośrednią ze spalania LPG w wózkach używanych do transportu wewnętrznego, bezpośrednią ze spalania węgla w kotłowni, pośrednią związaną ze zużyciem energii elektrycznej. Wyliczono średni ślad węglowy produkcji warzyw mrożonych. Stwierdzono wzrost wartości CF wraz z czasem trwania procesu magazynowania oraz w zależności od pory roku, w której prowadzono przechowywanie [Wróbel-Jędrzejewska i Polak, 2022].

Następnie, dla porównania wyznaczono ślad węglowy całkowitej produkcji zakładu w oparciu o emisję bezpośrednią i pośrednią (globalna wartość CF wyliczona dla zakładu) i wykonano jej rozdział pomiędzy poszczególne produkty, proporcjonalnie do wielkości produkcji. Wyliczono ślad węglowy produkcji warzyw mrożonych na przestrzeni 3 lat.

Dla przykładu zaprezentowano uzyskane wyniki dla produkcji mrożonej cebuli. Przedmiotem badania była produkcja cebuli mrożonej, krojonej w kostkę, w wybranym zakładzie przemysłowym, na terenie Polski, wytwarzającym mrożone warzywa. Do zakładu dostarczano cebulę obraną. Proces produkcji cebuli rozpoczyna się od wstępnego jej schładzania, następnie dokonywana jest ocena jakości i wstępna selekcja. Kolejnym etapem jest mycie surowca w płuczce, po którym jest on krojony i zamrażany w tunelu zamrażalniczym. Gotowy produkt jest pakowany i magazynowany.

Po scharakteryzowaniu procesu technologicznego w warunkach rzeczywistej pracy w zakładzie produkcyjnym określono zakres pomiarowy. Podejście do analizy zagadnienia przedstawiono jako metodę badawczą. Przeanalizowano bilans masowy składników wykorzystanych do produkcji w oparciu o wybraną technologię. Opracowano metodę

liczenia śladu węglowego. Zaprojektowano i wykonano opomiarowanie linii technologicznej w tym zakładzie. Następnie przeprowadzono pomiar zużycia energii w czasie, w warunkach rzeczywistej produkcji, wraz z rejestracją jej wielkości oraz ilości cykli produkcyjnych.

W tym przypadku analizę śladu węglowego wykonano zgodnie z normą ISO/TS 14067:2013 Greenhouse gases – Carbon footprint of products – Requirements and guidelines for quantification and communication. CF wykazywano w odniesieniu do 1 kg produktu (jednostka funkcjonalna). Zakres analizy dla krojonej mrożonej cebuli obejmował:

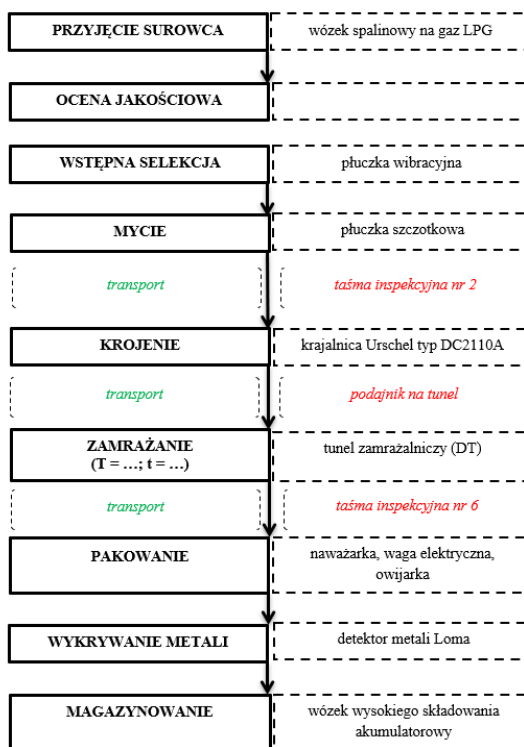
- transport surowca od plantatora (plantatorów) do zakładu,
- proces technologiczny,
- transport wewnętrzny.

Dane emisyjne i produkcyjne rejestrowano za pomocą opracowanego systemu opomiarowania linii technologicznej, od stycznia 2020 r. do grudnia 2021 r. Wyliczono ślad węglowego cząstkowy.

Dla cebuli krojonej mrożonej wykonane zostały również badania CF poprzez alokację całkowitej emisji bezpośredniej i pośredniej (globalnej wartości CF wyliczonej dla zakładu) pomiędzy poszczególne produkty. Alokacja może zostać wykonana w dwojaki sposób: proporcjonalnie do wielkości produkcji poszczególnych produktów lub proporcjonalnie do przychodów ze sprzedaży poszczególnych produktów. W pracy zastosowano alokację proporcjonalną do wielkości produkcji wszystkich produktów mrożonych.

W celu uzyskania rzeczywistych wartości CF cebuli mrożonej opracowano koncepcję i wytyczne systemu opomiarowania linii technologicznych oraz budowy systemu akwizycji i archiwizacji danych produkcyjnych. Dokonano analizy procesu produkcji cebuli krojonej w kostkę i opracowano schemat jednostkowych etapów, uwzględniając wykorzystane urządzenia, które wpływają na emisję pośrednią i bezpośrednią (rys. 5). Ustalono wytyczne dla metodologii oraz zakresu badawczego wyznaczania śladu węglowego na poszczególnych etapach procesu technologicznego dla rzeczywistej produkcji. Przyjęto założenia dotyczące podziału energii na procesy jednostkowe.

Optymalizacja przetwarzania płodów rolnych w celu racjonalnego gospodarowania energią oraz obniżenia emisji gazów cieplarnianych dla tworzenia standardów dla produktów rolno-spożywczych



Rys. 5. Schemat etapów jednostkowych przy produkcji cebuli (kostki) uwzględniający urządzenia

Wyznaczono punkty pomiarowe umożliwiające rejestrację parametrów istotnych do monitoringu emisji pośredniej i bezpośredniej przy tej produkcji. Następnie, przygotowano projekt opomiarowania linii technologicznych, który zawierał sposób wykonania i lokalizację pomiarów energii elektrycznej; układ połączeń komunikacyjnych i infrastrukturę informatyczną; sposób wprowadzania danych produkcyjnych i wytyczne do zdalnego odczytu danych pomiarowych.

System opomiarowania linii technologicznej wyposażono w 22 czujniki, co pozwoliło na rozdzielenie całego procesu produkcyjnego na etapy i powiązanie istotnych danych. Opomiarowanie energii elektrycznej i innych mediów energetycznych w zakładzie oraz system akwizycji i archiwizacji danych produkcyjnych i transportu posłużył jako baza danych dla wyliczenia śladu węglowego w zależności od mrożonego asortymentu. Przeprowadzono również prace związane z utworzeniem raportów i wizualizacją oprogramowania. Opracowano formularze do wprowadzania potrzebnych danych do wyliczenia śladu węglowego w czasie rzeczywistym. Przeprowadzono weryfikację poprawności pracy systemu pomiaru energii elektrycznej we wszystkich punktach pomiarowych systemu opomiarowania linii technologicznych, w powiązaniu z bieżącymi danymi produkcyjnymi [Wróbel-Jędrzejewska i in. 2021].

W oparciu o uzyskane rzeczywiste wyniki, wyznaczono doświadczalnie ślad węglowy związany tylko z produkcją. Rysunek 6 pokazuje przykładowy raport uzyskiwany z systemu

Optymalizacja przetwarzania płodów rolnych w celu racjonalnego gospodarowania energią oraz obniżenia emisji gazów cieplarnianych dla tworzenia standardów dla produktów rolno-spożywczych

opomiarowania, zawierający dane produkcyjne oraz wyliczenia śladu węglowego dla produkcji mrożonej cebuli. Zaprezentowane wielkości dotyczą badania śladu węglowego dla jednej partii surowca cebuli. Proces technologiczny w systemie opomiarowania jest podzielony na następujące etapy: schładzanie wstępne w komorze, rozładunek na rampie, łączne procesy dotyczące produkcji przez tunel, zamrażanie w tunelu, łączne procesy za tunelem (sortowanie i pakowanie) oraz magazynowanie.

Proces produkcyjny:											
Proces ID	Przygotowanie ID	Surowiec	Data Start	Czas Start	Data Stop	Czas Stop	Ilość Asortyment [kg]	Ilość Surowiec [kg]	Ilość Odpad [kg]	Ilość Przystoi [kg]	WspCO2
140	127	Cebula	06-04-2020	06:50	06-04-2020	15:45	21740	22364	624	0	1
Dostawy:											
Dostawa ID	Surowiec	Transport Typ	Ilość [kg]	Ilość użyta [kg]	Udział [%]	Data	Czas	Droga [km]	DMC [kg]	Wsp. CO2	Ilość CO2 [kg]
448	Cebula	Plandeka	22364	22364	100	03-04-2020	15:00	140	25000	0,6	84
Suma:										0,6	84
Wyprodukowane asortymenty:											
Surowiec	Asortyment	Ilość [kg]									
Cebula	koszka 10x10mm	21740									
Przygotowanie:											
Opis	Energia [kWh]	Ilość CO2 [kg]									
Komora chłodzenia dynamicznego	0,87	0,67									
Urządzenia przed tunelem 2	0	0									
Tunel 2 Duży	14,888	11,46									
Urządzenia za tunelem 2	0	0									
Suma:		15,758	12,13								
Etapy produkcji:											
Etap ID	Etap Typ	Obiekt	Pomiar	Data Start	Czas Start	Data Stop	Czas Stop	Uwagi	Energia [kWh]	Ilość CO2 [kg]	Urządzenia
1240	schładzanie wstępne	Komora chłodzenia	04	06-04-2020	06:50	06-04-2020	15:45		79,086	60,500025	
1241	rozładunek rampa	Rampa-ciąg groszkowo-	02	06-04-2020	06:50	06-04-2020	15:45		0,45	0,34425	detektor, krajalnica
1242	proces przed tunelem	Urządzenia przed	08	06-04-2020	06:50	06-04-2020	15:45		21,594	16,51941	owijarka, płuczka, podajnik
1243	produkcja tunel	Tunel 2 Duży	09	06-04-2020	06:50	06-04-2020	15:45		1487,841	1138,198365	stół inspekcyjny, przesiewacz, łasna, wywrotnica
1244	proces za tunelem	Urządzenia za tunelem	10	06-04-2020	06:50	06-04-2020	15:45		0,026	0,01989	
1245	magazynowanie	Komora 6	20	06-04-2020	15:45	28-04-2020	00:00		212,859	162,837135	
Ilość opak. [szt]		Waga opak. [kg]	Ilość [kg]	Asortyment		Surowiec		Opis			
1087		20	21740	koszka 10x10mm		Cebula					
Suma:									1801,859	1378,419075	
Transport wewnętrzny:											
Typ wózka	Czas pracy [m]	Wsp CO2	Ilość CO2								
Elektryczny	671	0,1	1,12								
Podsumowanie:											
Etap	Energia [kW]	Ilość CO2 [kg]	Ilość CO2/masa produktu								
Dostawa		84	0,0039								
Przygotowanie	15,758	12,05487	0,0006								
Produkcja	1801,855	1378,419075	0,0634								
Transport wew.		1,12	0,0001								
Suma	1817,613	1475,593945	0,0679								

Czas produkcji				Bilans masowy produkcji			Dostawa	Przygotowanie do produkcji		Transport wewnętrzny	Produkcja		Wyliczenie CF produkcji		
Data start	Czas start	Data stop	Czas stop	Surowiec [kg]	Produkt [kg]	Odpad [kg]	emisja CO ₂ [kg]	ilość energii [kW]	emisja CO ₂ [kg]	emisja CO ₂ [kg]	ilość energii [kW]	emisja CO ₂ [kg]	Suma energii [kW]	suma emisji CO ₂ [kg]	CF kg CO ₂ /kg produktu
01-04	23:00	02-04	16:15	37000	35720	1280	235,390	7,36	5,67	1,85	3340,455	2572,16	3347,815	2815,07	0,079
02-04	23:55	04-04	03:35	56874	55218	1656	263,880	42,844	32,99	2,85	8463,51	6516,9	8506,354	6816,62	0,123
06-04	06:50	06-04	15:45	22364	21740	624	84,000	15,758	12,13	1,12	1731,236	1333,06	1746,994	1430,31	0,066
06-04	23:10	07-04	18:40	50443	48810	1633	253,440	40,293	31,02	2,52	3153,488	2428,2	3193,781	2715,18	0,056
17-04	19:20	18-04	02:15	20701	20020	681	84,000	29,53	22,74	1,04	2658,88	2047,35	2688,41	2155,13	0,108
22-04	23:30	23-04	07:45	19236	18670	566	84,000	41,968	32,32	0,96	1254,128	965,68	1296,096	1082,96	0,058
23-04	23:10	24-04	18:40	46132	43930	2202	190,080	43,234	33,28	2,31	5372,214	4136,6	5415,448	4362,27	0,099
27-04	22:20	28-04	16:20	46317	44620	1697	230,520	41,21	31,73	2,32	3747,57	2885,64	3788,78	3150,21	0,071
28-04	23:20	29-04	20:30	57436	55300	2136	252,950	42,075	32,4	2,87	4732,987	3644,41	4775,062	3932,63	0,071
29-04	23:55	30-04	08:00	23632	22420	1212	88,300	33,579	25,86	1,18	2098,158	1615,59	2131,737	1730,93	0,077
Suma				380135	366448	13687	1766,560	337,851	260,14	19,02	36552,626	28145,59	36890,477	30191,31	0,080

Rys. 6. Raport CF dla produkcji cebuli: jednej partii surowca oraz raport miesięczny

Wyliczony ślad węglowy produkcji mrożonej cebuli jest bardzo niski i wynosi ok 0,07 kg CO₂ na kg produktu (rys. 6). Ślad węglowy związany z transportem zewnętrznym wynosił tylko 0,004 kg/na kilogram produktu, co stanowi ok 6% udziału w całkowitym CF. W wyznaczonym CF produkcji została ujęta tylko emisja CO₂ związana z 3 tygodniowym magazynowaniem mroźniczym

tego produktu. Wyniosła ona aż 162 kg, co stanowi już 11% w śladzie węglowym produkcji cebuli mrożonej.

Na podstawie uzyskanych wyników pomiarowych można stwierdzić, że mrożenie w tunelu jest główną składową emisji CO₂ (tabela 11) i wynosi 82,5 %. Przedstawiono dane produkcyjne oraz wyliczenia śladu węglowego produkcji cebuli w miesiącu kwietniu. Wyznaczone ślady węglowe mieszczą się w zakresie od 0,05 do 0,12 kg CO₂ na kg produktu, a wartość średnia CF wynosi 0,080 kg CO₂ na kg mrożonej cebuli (rys. 6).

Tabela 11. Udział w emisji CO₂ poszczególnych procesów produkcyjnych

Proces	Miejsce	Pomiar	Data start		Data stop		Energia [kWh]	Emisja CO ₂ [kg]	Udział w emisji CO ₂ [%]
schładzanie wstępne	Komora chłodzenia dynamicznego	04	06-04-2020	06:50	06-04-2020	15:45	79,085	60,500	4,389
rozładunek rampa	Rampa dla Linia 2	02	06-04-2020	06:50	06-04-2020	15:45	0,45	0,344	0,025
proces przed tunelem	Urządzenia przed tunelem 2	08	06-04-2020	06:50	06-04-2020	15:45	21,594	16,519	1,198
produkcja tunel	Tunel 2 Duzy	09	06-04-2020	06:50	06-04-2020	15:45	1487,841	1138,198	82,573
proces za tunelem	Urządzenia za tunelem 2	10	06-04-2020	06:50	06-04-2020	15:45	0,026	0,020	0,001
magazynowanie	Komora 6	20	06-04-2020	15:45	28-04-2020	00:00	212,859	162,837	11,813

W celu porównania uzyskanych wyników wykonano także wyznaczenie CF poprzez alokację danych emisyjnych całego zakładu w poprzednich latach. Na tej podstawie, wyznaczono ślad węglowy całkowitej produkcji zakładu (globalna wartość CF wyliczona dla zakładu), a następnie wykonano jej rozdział pomiędzy poszczególne produkty. Alokacji dokonano proporcjonalnie do wielkości produkcji poszczególnych produktów. Obliczono ślad węglowy produkcji dla wszystkich produktów mrożonych wytwarzanych w zakładzie, uwzględniając sumę wszystkich emisji bezpośrednich i pośrednich. W oparciu o dane przekazane z firmy za poprzednie lata, określono wielkość emisji z zastosowaniem opracowanej metodyki, zawężając zakres wyłącznie do produkcji w zakładzie (tj. transport wewnętrzny, zużycie paliw i energii elektrycznej). Tabela 12 zawierają odpowiednie wielkości produkcji oraz zużyte media energetyczne w trzech latach w zakładzie produkującym mrożonki. Na tej podstawie został wyznaczony ślad węglowy poszczególnych mrożonych produktów wytworzonych w zakładzie w tym okresie (tab. 12). Ślad węglowy asortymentu mrożonego w zakładzie, związany tylko z **produkcją** wynosił od około 0,6 do 1,1 kg CO₂/kg produktu. Wyliczony ślad węglowy produkcji cebuli mrożonej na przestrzeni 3 lat wynosił odpowiednio 0,86; 0,93; 0,93 kg CO₂/kg.

Tabela 12. Baza danych dla wyznawania śladu węglowego

Wielkość produkcji warzyw i owoców mrożonych dla trzech lat												
Produkt [tys. t]	2015				2016				2017			
	I kw.	II kw.	III kw.	IV kw.	I kw.	II kw.	III kw.	IV kw.	I kw.	II kw.	III kw.	IV kw.
cebula	3 034,3 3	542,58	51,76	1 171,37	3 279,90	180,61	125,77	1 427,52	3 234,50	788,80		1 601,68
kielki fasoli	109,35	62,84	78,98	125,05	62,59	18,42		12,90	28,84	41,98		14,32
szpinak		1 366,87	298,91	1 136,67		1 658,72	920,76	551,11		1 629,44	712,07	519,61
brokuł			181,00	1 014,42		147,83	638,67	646,46			524,59	947,40
kalafior			507,20	546,81		42,12	520,11	830,92			756,98	543,88
fasola zielona			1 181,70				1 407,24				1 492,62	
fasola żółta			1 128,84				1 581,64				1 615,97	
por				6,86		0,49		9,58				
groszek		970,09				359,94	590,54			246,42	672,24	

Zużycie surowców i energii w trzech latach												
Zużycie surowców i energii	2015				2016				2017			
	I kw.	II kw.	III kw.	IV kw.	I kw.	II kw.	III kw.	IV kw.	I kw.	II kw.	III kw.	IV kw.
Węgiel kamienny energetyczny [t]	380	315	390	447	420	358	402	529	327	265	404	491
Benzyna silnikowa bezołowiowa [t]	1	1	2	2	2	3	3	2	2	3	3	3
Olej napędowy do silników diesla [t]	38	43	45	44	42	41	53	43	47	41	50	45
Gaz ciekły LPG [t]	2	2	3	2	1	1	2	2	2	1	2	2
Energia elektryczna [MWh]	2 117	2 335	3 578	2 760	2 152	1 908	4 194	2 851	2 172	2 725	3 963	3 055
Ciepło w parze wodnej i gorącej wodzie [GJ]	4 470	3 811	4 761	5 082	4 962	4 321	4 956	6 015	3 833	3 165	4 976	5 617
Produkcja z usługami [tys. t]	3 633,	3 446,9	5 630,7	4 423,6	3 921,0	2 885,4	7 571,0	3 675,3	3 263,3	3 304,0	6 378,1	3 981,7

Wartość śladu węglowego produkcji asortymentów mrożonych w trzech latach				
Produkt	Ślad węglowy (CF) [kg CO ₂ /kg produktu]			CF _{sr} (2015-20117)
	Rok 2015	Rok 2016	Rok 2017	
cebula	0,86	0,93	0,93	0,91
kielki fasoli	0,81	0,92	0,93	0,89
szpinak	0,8	0,85	0,9	0,85
brokuł	0,78	0,83	0,97	0,86
kalafior	0,76	0,88	0,87	0,84
fasola zielona	0,71	0,6	0,68	0,66
fasola żółta	0,71	0,6	0,68	0,66
por	0,8	1,04	-	0,92
groszek	0,82	0,72	0,74	0,76

Uzyskane z prac badawczych wartości śladu węglowego (z danych zmierzonych za pomocą opracowanego systemu opomiarowania) są bardzo małe, w porównaniu z wyliczonymi na podstawie alokacji emisji globalnej (wynikającej z wielkości produkcji) z poprzednich lat. Niski ślad węglowy dla produkcji rzeczywistej z danych pomiarowych, wynika z krótkiego okres przechowywania (nie przekracza 3 tygodni) i tylko w okresie zimowym (niższe zapotrzebowanie na chłód). Dłuższy okres pomiaru (13 tygodniowy) spowodował 7-krotny wzrost śladu węglowego [Raport Biostrateg3, 2021].

Podsumowując, opracowany system opomiarowania linii technologicznych do wyznaczania śladu węglowego umożliwia precyzyjne wyznaczenie emisji, wskazanie miejsc o najwyższej emisyjności, aby wprowadzić kierunkowe modyfikacje procesowe. Opracowana metodologia wyliczenia CF mrożonych warzyw może być wykorzystana przy opracowywaniu przyjaznych środowisku technologii produkcji nowych produktów z obniżonym śladem węglowym.

Literatura

1. Bieńkowski J., Dworecka-Waż E., Dąbrowicz R., Holka M., Jankowiak J. The carbon footprint of a meat processing company. *Acta Sci. Pol. Oeconomia*, 2017, 16 (2), 5–12.
2. Borsato E., P. Tarolli, F. Marinello 2018 - Sustainable patterns of main agricultural products combining different footprint parameters – *J. Clean. Prod.* 179 (2018) 357-367.
3. Coluccia B., Agnusdei G. P., De Leo F., Vecchio Y., La Fata C. M. Miglietta P. P. 2022. Assessing the carbon footprint across the supply chain: cow milk vs soy drink. *Science of the Total Environment*, 806, 151200. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.151200>
4. Chiriaco M. V., Grossi G., Castaldi S., Valentini R. 2017. The contribution to climate change of the organic versus conventional wheat farming: A case study on the carbon footprint of wholemeal bread production in Italy. *Journal of cleaner production*, 153, 309-319. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.03.111>
5. DEFRA, 2017: UK Government GHG Conversion Factors for Company Reporting, 2017.
6. Desjardins R.L., Worth D.E., Vergé X.P.C., Maxime D., Dyer J., Cerkowniak D. 2012. Carbon Footprint of Beef Cattle. *Sustainability*, 4, 3279-3301.
7. Espinoza-Orias N., Stichnothe H., Azapagic A. The carbon footprint of bread. *Int. J. Life Cycle Assess.*, 2011, 16, 351–365.
8. Garnett T. *Cooking up a storm – Food, greenhouse gas emissions and our changing climate*. UK: Food Climate Research Network, University of Surrey, 2008.
9. Główny Urząd Statystyczny Statistics Poland, Powszechny Spis Rolny 2020 - Charakterystyka gospodarstw rolnych w 2020 r., Warszawa) Rocznik Statystyczny Rolnictwa.
10. Gliwa E. Wpływ zmian restrukturyzacyjnych na rozwój sektora rolno-spożywczego w Polsce. *Prog. Econ. Sci.* 2015, 2.
11. Gollnow S., Lundie S., Moore A. D., McLaren J., Buuren N., Stahle P., Christie K., Thylmann D., Rehl T. 2014. Carbon footprint of milk production from dairy cows in Australia. *International Dairy Journal*, 37, 31-38. <http://dx.doi.org/10.1016/j.idairyj.2014.02.005>
12. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), *Climate Change 2007: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, edited by S. Solomon et al., Cambridge Univ. Press, New York, 2007.
13. Jensen J. K., Arlbjørn J. S. Product carbon footprint of rye bread. *Journal of Cleaner Production*, 2014, 82, 45-57. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.06.061>
14. Schroeder R., Aguiar L. K., Baines R. Carbon footprint in meat production and supply chains. *Journal of Food Science and Engineering*, 2012, 2(11), 652-665.
15. KOBiZE, 2013: Krajowy Ośrodek Bilansowania i Zarządzania Emisjami – Wartości opałowe (WO) i wskaźniki emisji CO₂ (WE) w roku 2011 do raportowania w ramach Wspólnotowego Systemu Handlu Uprawnieniami do Emisji, Warszawa 2013.
16. Konieczny P., Mroczek E., Kucharska M. Ślad węglowy w zrównoważonym łańcuchu żywnościowym i jego znaczenie dla konsumenta żywności. *Journal of Agribusiness and Rural Development*, 2013, 29, 51-64.

17. Léis C.M., Cherubini E., Ruviano C.F., Prudêncio da Silva V. Lampert V.N., Spies A., Soares S.R. 2015. Carbon footprint of milk production in Brazil: a comparative case study. *Int. J. Life Cycle Assess*, 20, 46–60.
18. Mansour F., V. Jejcic 2017: A model calculation of the carbon footprint of agricultural products: The case of Slovenia – *Energy* 136 (2017) 7-15.
19. Montzka S.A., E.J. Dlugokemcky, J.H. Butler 2011: Non CO2 greenhouse gases and climate change – *Nature* 476 (2011) 46-50.
20. Morais T. G., Teixeira R. F., Rodrigues N. R., Domingos T. 2018. Carbon footprint of milk from pasture-based dairy farms in Azores, Portugal. *Sustainability*, 10(10), 3658. <https://doi.org/10.3390/su10103658>
21. Negra C., Remans R., Attwood S., Jone, S., Werneck F., Smith A. Sustainable agri-food investments require multi-sector co-development of decision tools. *Ecol. Indic.* 2020, 110, 105851.
22. Norma ISO 14064 – Gazy cieplarniane – Część 1: Specyfikacja i wytyczne kwantyfikowania oraz raportowania emisji pochłaniania gazów cieplarnianych
23. Pandey D., M. Agrawal 2017: Carbon Footprint estimation in the agriculture sector, Books – *EcoProduction*, doi: 10.1007/978-981-4560-41-2_2.
24. PAS 2050, 2008: Guide to PAS 2050 How to assess the carbon footprint of goods and services, British Standards, London 2008.
25. Pirlo G., Carè S. A Simplified Tool for Estimating Carbon Footprint of Dairy Cattle Milk. *Italian Journal of Animal Science*, 2013, 12, 81, 497-506. <https://doi.org/10.4081/ijas.2013.e81>
26. Poczta W., Beba P. Rola przemysłu spożywczego w gospodarkach krajów UE. *Probl. World Agric./Probl. Rol. Światowego*, 2014, 14, 158–167.
27. Raport końcowy z realizacji projektu w ramach Programu Biostrateg III „Opracowanie innowacyjnej metody obliczania śladu węglowego dla podstawowego koszyka produktów żywnościowych”, nr umowy BIOSTRATEG3/343817/17/NCBR/2018, 2021.
28. Technical Specification ISO/TS 14067: Greenhouse gases – Carbon footprint of products – Requirements and guidelines for quantification and communication, 2013.
29. Vitali A., Grossi G., Martino G., Bernabucci U., Nardone A., Lacetera N. Carbon footprint of organic beef meat from farm to fork: a case study of short supply chain. *J. Sci. Food Agric.*, 2018, 98 (14), 5518-5524.
30. Wróbel-Jędrzejewska M., Polak E., Determination of carbon footprint in the processing of frozen vegetables using an online energy measurement system. *Journal of Food Engineering*, 2022, 322.
31. Wróbel-Jędrzejewska M., Markowska J., Bieńczak A., Woźniak P., Ignasiak Ł., Polak E., Kozłowicz K., Różyło R. Carbon Footprint in Vegeburger Production Technology Using a Prototype Forming and Breading Device. *Sustainability*, 2021, 13 (16), 9093. <https://doi.org/10.3390/su13169093>
32. Vergé X.P.C., Dyer J.A., Desjardins R.L., Worth D. 2007. Greenhouse gas emissions from the Canadian dairy industry in 2001. *Agricultural Systems*, 94, 3, 683-693.



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



ZAKŁAD TECHNOLOGII
I TECHNIKI CHŁODNICTWA

**Al. Marszałka J. Piłsudskiego 84
92-202 Łódź**

**Kierownik Zakładu
dr inż. Elżbieta Polak**

**tel. kom. 508 341 525
tel. (+48) 42 674 64 14**

e-mail: elzbieta.polak@ibprs.pl