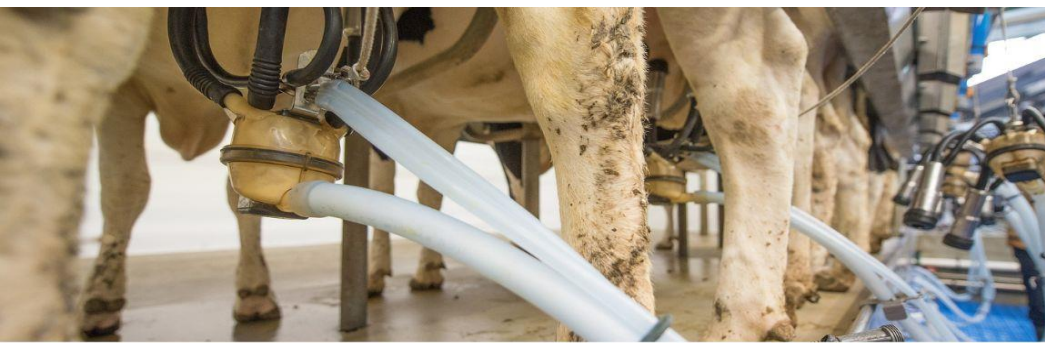




INSTYTUT BIOTECHNOLOGII
PRZEMYSŁU ROLNO-SPOŻYWCZEGO
im. prof. Wacława Dąbrowskiego
PAŃSTWOWY INSTYTUT BADAWCZY

Analiza i metodologia pomiaru śladu węglowego dla krajowego przemysłu mleczarskiego



Badania realizowane w ramach:

Zadanie 8. Analiza i metodologia pomiaru śladu węglowego dla wybranych produktów rolno-spożywczych wytwarzanych przez krajowy przemysł mleczarski i mięsny na zlecenie Ministerstwa Rolnictwa i Rozwoju Wsi

Umowa nr DRE.prz.070.2.2024

Opracowanie:

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

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

Zakład Technologii i Techniki Chłodnictwa

**Łódź, grudzień 2024
ISBN 978-83-973516-3-9**

Fotografia: pixabay.com

Projekt MRiRW (Umowa nr DRE.prz.070.2.2024)

Zadanie 8. Analiza i metodologia pomiaru śladu węglowego dla wybranych produktów rolno-spożywczych wytwarzanych przez krajowy przemysł mleczarski i mięsny na zlecenie Ministerstwa Rolnictwa i Rozwoju Wsi

1. Wprowadzenie

Ochrona środowiska naturalnego poprzez m.in. zmniejszenie emisji gazów cieplarnianych (GHG) to obowiązek producentów żywności. Wielkim wyzwaniem jest osiągnięcie neutralności dla klimatu do 2050 roku. Rolnictwo i przemysł rolno-spożywczy, a w szczególności przemysł mleczarski i mięsny, wymagają znacznego naukowego wsparcia w zakresie wdrażanych metod i technologii, aby dostosować się do rosnących wymagań prośrodowiskowych i minimalizacji oddziaływania na zmiany klimatu oraz środowisko naturalne. Gospodarka energetyczna w Polsce charakteryzuje się nadmiernym zużyciem energii, surowców i materiałów. Zatem, niezwykle ważnym problemem jest racjonalne ich użytkowanie we wszystkich jej gałęziach. Potrzeba opracowania jednolitych standardów metodologii analizy śladu węglowego dla produktów spożywczych wynika również z zapotrzebowania przedsiębiorstw i producentów żywności w Polsce, które są podmiotem o znaczeniu strategicznym również dla bezpieczeństwa żywnościowego w kraju.

Przemysł mleczarski jest rozległą dziedziną gospodarki, obejmuje przedsiębiorstwa, które zajmują się skupem i przerobem mleka na produkty mleczarskie, takie jak: mleko spożywcze, masło, śmietana, sery dojrzewające, topione i twarogowe, napoje mleczne, mleko w proszku oraz kazeina i lody. W Polsce baza surowcowa przemysłu mleczarskiego opiera się na dostawcach indywidualnych, którzy produkują rocznie ponad 11 mld litrów mleka. Produkcja mleka jest bardzo rozproszona. Organizacja mleczarstwa opiera się na spółdzielczości mleczarskiej. Zakłady przetwórstwa mleka obsługują głównie rynek krajowy (90% sprzedaży).

Przemysł mięsny jest jednym z filarów sektora spożywczego w Europie. W 2019 r. unijny sektor mięsny wyprodukował około 22,8 mln ton wieprzowiny, 6,9 mln ton wołowiny, 0,5 mln ton mięsa baraniego i koziego oraz 13,3 mln ton mięsa drobiowego. Przemysłowa produkcja mięsa wpływa na zmiany klimatu i degradację zasobów z powodu nadmiernego wypasu, emisji metanu i zużycia paliw kopalnych.

Polska jest szóstym, co do wielkości produkcji żywności krajem w UE. Obliguje to do podejmowania działań w celu zapewnienia jakości i bezpieczeństwa żywności, ale także do identyfikacji i monitorowania kluczowych aspektów środowiskowych w całym łańcuchu

żywnościowym, w tym ograniczenia emisji GHG. Produkcja mięsa, mleka i ich przetwórstwo jest jedną z kluczowych gałęzi przemysłu wpływających na stan środowiska. Jednym ze sposobów zmniejszenia wpływu tej produkcji jest realizacja celów gospodarki o obiegu zamkniętego, czyli stałe współdziałanie całego łańcucha podmiotów: od rolników, producentów żywności, dostawców i sieci handlowe po konsumentów oraz świadome podejmowanie działań na rzecz środowiska. Istotne zagadnienia, znajdujące umocowanie w dokumentach strategicznych (SZRWRiR, WPR, SOR, F2F, Zielony Ład), dotyczą wskazania działań i mechanizmów umożliwiających opracowanie i wprowadzanie niskoemisyjnych technologii w tych branżach. Plan Strategiczny dla WPR wspiera zrównoważony rozwój polskich gospodarstw w zakresie przetwórstwa. Rezolucja Parlamentu Europejskiego w sprawie strategii „od pola do stołu” kładzie nacisk na prowadzenie działań z poszanowaniem środowiska naturalnego i obniżeniem emisji. Ponadto, Komisja Europejska planuje wprowadzenie znakowania żywności śladem węglowym (CF) w celu promowania zrównoważonej gospodarki. Zasadność prowadzenia prac w tym zakresie jest również potwierdzona w raporcie dotyczącym CF („The consumer footprint: Monitoring sustainable development goal 12 with process-based life cycle assessment”). Jest to również zgodne z założeniami Strategii F2F, która m.in.: chce osiągnięcia celów gospodarki o obiegu zamkniętym – zmniejszenie wpływu na środowisko sektorów przetwórstwa spożywczego i handlu detalicznego poprzez podjęcie działań w zakresie transportu, magazynowania, pakowania i odpadów żywnościowych oraz wprowadzenia przejrzystego znakowania żywności (miejscem pochodzenia, wartością odżywczą, wskaźnikami środowiskowymi). Rośnie liczba osób wybierających produkty, które wytworzono z uwzględnieniem ochrony środowiska. Unia Europejska zobowiązała się do osiągnięcia neutralności klimatycznej do 2050 roku - oznacza to, że musimy radykalnie zmniejszyć emisje GHG i zrekompensować emisje reszkowe (np. z przemysłu lub rolnictwa) poprzez pochłanianie dwutlenku węgla (CO₂) z atmosfery ziemskiej za pomocą rozwiązań naturalnych i technologicznych (Wniosek z 30.11.2022 r. 2022/0394 Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady ustanawiające unijne ramy certyfikacji usuwania dwutlenku węgla). Zatem, istotne jest opracowanie innowacyjnych technologii i zrównoważonych rozwiązań w zakresie przemysłu spożywczego, przy jednoczesnym zwalczaniu tzw. greenwashingu (niejasnych i wprowadzających w błąd oświadczeń środowiskowych - „pseudoekologiczny marketing”). Wynika, to głównie z faktu, że konsumenci wykazują brak zaufania do wiarygodności oznaczeń żywności związanych ze zrównoważonym rozwojem. Na podstawie badań Komisji Europejskiej (2020 r.) stwierdzono, że 53,3% z badanych oświadczeń środowiskowych w UE

uznano za niejasne, wprowadzające w błąd lub bezpodstawne, a 40% za nieuzasadnione. Brak wspólnych zasad dla przedsiębiorstw, składających dobrowolne oświadczenia ekologiczne, prowadzi do chaosu i stwarza nierówne szanse na rynku UE, ze szkodą dla rzeczywiście zrównoważonych przedsiębiorstw. Komisja Europejska chce przeciwdziałania zjawisku greenwashingu i wprowadzającym w błąd oświadczeniom dotyczącym ochrony środowiska, jakie znajdują się na etykietach produktów. Zgodnie z pracami Komisji Europejskiej konieczne jest precyzyjne zbadanie i monitorowanie procesów produkcji żywności w kontekście ich oddziaływania na środowisko również w celu wiarygodnego informowania konsumentów (Wniosek z dnia 30.11.2022 r. 2022/0394 (COD) - Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady w sprawie uzasadniania wyraźnych oświadczeń środowiskowych i informowania o nich (dyrektywa w sprawie oświadczeń środowiskowych)). Zatem, istnieje potrzeba opracowania jednolitych standardów metodologii analizy śladu węglowego dla produktów mleczarskich i mięsnych. Kalkulacja CF jest jeszcze nieobowiązkowa, jednakże jest coraz częściej stosowana m.in. ze względu na raportowanie wyników redukcji emisji GHG przez producentów żywności.

Analiza śladu węglowego wykorzystana na potrzeby benchmarku krajowych producentów będzie istotnym elementem rozwoju polskiego przemysłu w kierunku gospodarki niskoemisyjnej i energochłonnej. Ponadto, wyniki analiz mogą posłużyć do promocji polskiej żywności znakowanej w przyszłości CF. Badania w tym zakresie mają wymiar interdyscyplinarny i wpisują się w Europejską strategię One-Health, Komisji Europejskiej. Do korzyści środowiskowych należy zaliczyć wkład w rozwiązanie problemów wynikających z konieczności racjonalnego użytkowania zasobami naturalnymi oraz sprostanie założeniom biogospodarki. Spodziewane wyniki mają również wymiar ekonomiczny. Wprowadzane modyfikacje istniejących oraz projektowane nowe rozwiązania przemysłowe powinny być możliwie obojętne dla środowiska, niskoemisyjne i bezodpadowe. Prowadzone w ramach tego kierunku badania należy ukierunkować na analizę istniejących procesów technologicznych, identyfikację możliwych do rozwiązania problemów oraz opracowanie nowych rozwiązań technologicznych wpływających istotnie na ślad węglowy produkcji żywności. Wyniki badań można będzie rozpatrywać w wymiarze ekonomicznym, wiążąc je z obniżeniem kosztów eksploatacyjnych, z efektami środowiskowymi i społecznymi, wynikającymi z redukcji zanieczyszczeń. Dodatkowo, wyniki analiz mogą posłużyć do promocji polskiej żywności znakowanej w przyszłości śladem węglowym.

2. Cel badania:

Celem projektu jest zidentyfikowanie kluczowych aspektów związanych z emisjami GHG i opracowanie jednolitych standardów metodologii analizy CF dla branży mleczarskiej i mięsnej.

3. Zakres prac obejmował:

- analizę rynku produktów rolno-spożywczych wytwarzanych przez krajowy przemysł mleczarski i mięsny; wybór produktów i analizę procesu ich produkcji,
- identyfikację procesów jednostkowych w poszczególnych etapach wytwarzania wybranego produktu; identyfikację i analizę działań związanych z emisją (pośrednią i bezpośrednią) GHG na etapach produkcji,
- opracowanie metodyki analizy CF dla wybranego produktu, porównanie śladu węglowego pomiędzy krajowymi producentami branży mleczarskiej i mięsnej,
- przygotowanie raportu końcowego z badań, przygotowanie publikacji, a także materiałów do prezentacji na konferencjach naukowych.

4. Materiał badawczy

Materiał badawczy obejmował produkty rolno-spożywcze, produkowane w krajowych zakładach przetwórczych, takich jak mleczarnie. Analiza dotyczyła głównie wybranych produktów, takich jak mleko i jego przetwory, bazując na kluczowych informacjach uzyskanych od współpracujących zakładów oraz z pomiarów linii produkcyjnych. Szczegółowo zbadano poszczególne etapy produkcji – od wyboru surowców, poprzez proces przetwarzania, aż po wytworzenie gotowego produktu. Zwrócono także uwagę na aspekty związane z transportem, obejmując rodzaje środków transportu, warunki przechowywania oraz łańcuch dostaw. W analizie danych skupiono się na identyfikacji obszarów, w których możliwa jest optymalizacja lub wprowadzenie usprawnień mających na celu zwiększenie efektywności procesów produkcji i logistyki. Zakres badań obejmował także analizę procesów technologicznych oraz opracowanie diagramów dla jednostkowych operacji w cyklu produkcyjnym. Po szczegółowym opisanie technologii produkcji, zdefiniowano zakresy pomiarowe CF, jednostkę funkcjonalną oraz granice systemu pomiarowego. Wykonano także analizę bilansu materiałowego, badając zarówno wejścia, jak i wyjścia w określonych zakresach oraz w całym cyklu życia produktów. Opracowano metodologię obliczania śladu węglowego procesu, uwzględniając poszczególne elementy cyklu życia produktu. Ponadto, zaprojektowano system pomiarowy i sposób gromadzenia danych

dotyczących m.in. emisji i produkcji. Na podstawie tych danych stworzono bazę, która umożliwia obliczanie CF w zależności od skali produkcji.

5. Metodyka szacowania śladu węglowego

Wyliczenie śladu węglowego (tabela 1) polega na oszacowaniu całkowitej emisji gazów cieplarnianych generowanych przez daną osobę, organizację, produkt czy działalność w określonym czasie. Szczegółowe zasady analizy i sposoby obliczenia wartości CF są opisane w odpowiednich dokumentach normatywnych. Analiza cyklu życia (LCA) jest narzędziem wykorzystywanym do określania śladu węglowego. Istnieje kilka metodologii do tego celu, które opierają się na analizie różnych źródeł emisji. Oto niektóre z głównych podejść:

- GHG Protocol stosowany do obliczania emisji GHG, który dzieli emisje na trzy zakresy:
 - Zakres 1: Emisje bezpośrednie, wynikające z działalności organizacji (np. spalanie paliwa).
 - Zakres 2: Emisje pośrednie związane z zakupioną energią (np. prąd, ogrzewanie).
 - Zakres 3: Inne emisje pośrednie związane z łańcuchem dostaw, transportem, podróżami służbowymi itp.
- ISO 14064: Norma międzynarodowa dotycząca raportowania emisji gazów cieplarnianych na poziomie organizacyjnym.

Tabela 1. Wzory do określenia śladu węglowego

Wartość CF podaje się w ekwiwalentnej ilości (CO _{2-e})	CF produktu, procesu, technologii jest sumą wszystkich emisji bezpośrednich i pośrednich, jakie zostały zidentyfikowane w całym cyklu i zakresie analizy
$CO_{2-e} = GHG \cdot GWP_{GHG}$	$CF = \sum_{i=1}^n (CO_{2-e})_i + \sum_{j=1}^m (CO_{2-e})_j$
CO _{2-e} – ekwiwalentna wielkość emisji wyrażona w kg (lub innych jednostkach masy) CO ₂ , 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)	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 CO ₂ [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]

6. Analiza śladu węglowego wybranych produktów rolno - spożywczych na świecie

Dokonano analizy etapów produkcyjnych, materiałów używanych w tych procesach oraz typów emisji powstających podczas ich trwania. Zidentyfikowano elementy przetwórstwa, które najbardziej oddziałują na środowisko. Wskazano emisje, które mają najistotniejsze znaczenie w całym cyklu produkcji.

6.1. Analiza śladu węglowego produkcji mleka

Przegląd literatury pozwolił na przeprowadzenie analizy CF mleka w różnych regionach świata, a szczególne dane przedstawiono w tabeli 2. Ustalono, że do określania śladu węglowego w produkcji mleka stosowano różne metody, w tym te zgodne z IPCC Fourth Assessment Report, analizę cyklu życia (LCA) z użyciem programu OpenLCA, a także metodykę zharmonizowaną z normami ISO 14040:2009 i ISO 14044:2009 [ISO 14040, 14044, 2009] dotyczącymi oceny cyklu życia produktu. Wykorzystano również wytyczne International Dairy Federation oraz standardy International Standard for Life Cycle Assessment. Analiza obejmowała zakres od "kołyski do bramy gospodarstwa", co pozwala na ocenę emisji GHG związanych z różnymi etapami produkcji mleka.

Tabela 2. Śladu węglowego produkcji mleka na świecie

Charakterystyka badań	Wartość CF	Czynniki wpływu na CF	*
<ul style="list-style-type: none"> - CF produkcji mleka we Włoszech. - opracowano narzędzia, zawierające bazę wskaźników emisji - szacowanie CF mleka – program LatteGHG - przetestowano LatteGHG poprzez symulację 4 modeli gospodarstw mlecznych 	Brak danych	<ul style="list-style-type: none"> - wydajności produkcji mleka - wielkości stada - systemu zarządzania obornikiem 	[1]
<ul style="list-style-type: none"> - CF mleka produkowanego w Australii - zakres analizy obejmował granice wejścia i wyjścia od kołyski do bramy gospodarstwa za okres 12 miesięcy - przeanalizowano 139 gospodarstw - metodologia - Międzynarodową Federację Mleczarską i Międzynarodowe Standardy Oceny Cyklu Życia 	CF mleka dla roku 2009/2010 - 1,11 kg CO _{2eq} .	<ul style="list-style-type: none"> - praktyki produkcyjne - systemu żywienia - praktyk gospodarowania obornikiem 	[2]
<ul style="list-style-type: none"> - analiza przeprowadzona za pomocą aplikacji OpenLCA - metoda LCA, systemu produkcji mleka na archipelagu Azorów - metodologia IPCC Fourth Assessment Report 	CF mleka - 0,83 kg CO _{2eq} /kg	<ul style="list-style-type: none"> - emisje z fermentacji jelitowej - produkcji paszy - stosowania nawozów (organicznych i mineralnych) 	[3]

<ul style="list-style-type: none"> - zastosowano oprogramowanie LCA SimaPro 7.3.3. - przeanalizowano CF różnych systemów produkcji mleka w południowym regionie Brazylii - produkcja mleczarska charakteryzuje się różnymi sposobami hodowli bydła (m.in. system zamkniętej obory, półzamkniętej obory (wypas) i wypasu na pastwiskach) - normy ISO 14040: 2006 i ISO 14044: 2006 	<p>Emisja GHG mleka - 0,535 kg CO_{2eq} kg dla systemu zamkniętego, 0,778 kg CO_{2eq} kg dla systemu półzamkniętego i 0,738 kg CO_{2eq} kg dla systemu opartego na pastwisku (bez uwzględnienia wpływu bezpośredniej zmiany użytkowania gruntów).</p>	<ul style="list-style-type: none"> - system hodowli zwierząt 	<p>[4]</p>
<ul style="list-style-type: none"> - obliczono emisje GHG dla kanadyjskiego przemysłu mleczarskiego w 2001 r. - zidentyfikowano emisje zgodnie z modelem Fossil Fuel for Farm Fieldwork Energy and Emissions - metodologia - IPCC 	<p>Emisja GHG produkcji mleka - 1,0 kg CO_{2eq}/kg</p>	<ul style="list-style-type: none"> - sposób hodowli i produkcji 	<p>[5]</p>
<ul style="list-style-type: none"> - CF produkcji mleka w Irlandii - zastosowano metodologię oceny cyklu życia 	<p>CF mleka - 1,50 kg CO_{2eq}/kg/rok</p>	<ul style="list-style-type: none"> - 49% emisji stanowiła fermentacja jelitowa - 21% nawozy - 13% pasza treściwa - 11% gospodarka odchodami - 5% zużycie energii elektrycznej i oleju napędowego 	<p>[6]</p>
<ul style="list-style-type: none"> - CF produkcji mleka w północnej Hiszpanii - przeanalizowano za pomocą oceny cyklu życia dwa różne systemy mleczarskie (w systemie częściowo zamkniętym i na pastwiskach) 	<p>- CF mleka - 0,9-4,7 kg CO_{2eq}/kg, - gospodarstwach półzamkniętych i pastwiskowych - 1,22 i 0,99 kg CO_{2eq}/kg</p>	<ul style="list-style-type: none"> - produkty uboczne - pasza dla zwierząt gospodarskich - energia elektryczna - olej napędowy - elementy czyszczące - transport, zarządzanie obornikiem i gnojowicą - system żywienia bydła 	<p>[7]</p>
<ul style="list-style-type: none"> - przeprowadzono badania w Japonii w zakresie porównania wpływu na środowisko dwóch typów systemów hodowli bydła mlecznego (jeden wykorzystuje kiszonkę z całych roślin ryżowych, a drugi jest konwencjonalny) - wykorzystano LCA - system hodowli bydła mlecznego wykorzystujący kiszonkę ryżu w Japonii ma mniejszy wpływ na środowisko w postaci zakwaszenia, eutrofizacji i zużycia energii, a także większy wpływ na globalne ocieplenie w porównaniu z rolnictwem konwencjonalnym 	<p>CF produkcji mleka - 0,972 kg CO_{2eq} /kg</p>	<ul style="list-style-type: none"> - produkcja paszy - transport paszy - gospodarka zwierzęca (w tym aktywność biologiczna zwierzęcia) - utylizacja odpadów - system hodowli bydła mlecznego wykorzystującego kiszonkę ryżu 	<p>[8]</p>
<ul style="list-style-type: none"> - wyznaczono CF mleka produkowanego w systemie ekologicznym w Holandii - przeprowadzono ocenę efektywności wskaźników środowiskowych produkcji zwierzęcej za pomocą różnych metod tj. analizy śladu ekologicznego oraz LCA - analizy wykorzystano dane z ośmiu gospodarstw mleczarskich w Holandii. 	<p>- CF mleka - 1,81 kg CO_{2eq}/kg</p>	<ul style="list-style-type: none"> - użytkowania gruntów - zużycia energii - system hodowli 	<p>[9]</p>

*

- [1] 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>
- [2] Gollnow S., Lundie S., Moore A. D., McLaren J., Buuren N., Stahle P., Christie K., Thylmann D., Rehl T. *Carbon footprint of milk production from dairy cows in Australia. International Dairy Journal*, 2014, 37, 31-38. <http://dx.doi.org/10.1016/j.idairyj.2014.02.005>
- [3] 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>
- [4] Léis C.M., Cherubini E., Ruviaro 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.
- [5] 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.
- [6] Casey J.W., Holden N.M. 2005. *Analysis of greenhouse gas emissions from the average Irish milk production system. Agric. Syst.* 86, 97–114.
- [7] Laca, A.; Gómez, N.; Laca, A.; Díaz, M. *Overview on GHG emissions of raw milk production and a comparison of milk and cheese carbon footprints of two different systems from northern Spain. Environ. Sci. Pollut. Res.* 2020, 27, 1650–1666.
- [8] Ogino, A., Ishida, M., Ishikawa, T., Ikeguchi, A., Waki, M., Yokoyama, H., Tanaka, Y., Hirooka, H. *Environmental impacts of a Japanese dairy farming system using whole crop rice silage as evaluated by life cycle assessment. Anim. Sci. Journal*, 2008, 79, 727–736.
- [9] Thomassen M.A., De Boer I.J.M. *Evaluation of indicators to assess the environmental impact of dairy production systems. Agriculture, Ecosystems and Environment*, 2005, 111, 185–199.
- [10] Bieńkowski J., Jankowiak J., Dąbrowicz R., Holka M. *Regional differentiation of greenhouse gas (GHG) emissions from agriculture in Poland. Book of Abstracts. XIIIth Congress of the European Society for Agronomy Debrecen*, 2014, 425-426.
- [11] Bieńkowski J., Janusz Jankowiak J., Holka M., Dąbrowicz R. *Potrzeby wyznaczania śladu węglowego produkcji rolniczej i perspektywy jego zastosowań. Instytut Środowiska Rolniczego i Leśnego PAN w Poznaniu, Zagadnienia doradztwa rolniczego*, 2015, 2.

Ślad węglowy odgrywa kluczową rolę w ocenie emisji gazów cieplarnianych w różnych procesach produkcji w sektorze rolno-spożywczym. Zastosowanie metodyki LCA, obejmującej emisje GHG w całym cyklu życia produktu, od „kołyski do grobu”, w warunkach polskich wykazało, że produkcja mleka wiązała się z emisją na poziomie 0,94 kg CO_{2eq} na kg mleka, w różnych regionach od 0,79 do 1,15 kg CO_{2eq} [10]. Badania przeprowadzone w Polsce w zakresie emisji gazów cieplarnianych wykazały, że zwiększenie wydajności mlecznej krów skutkuje redukcją emisji GHG. Jednakże przy przekroczeniu wydajności 10 000 litrów mleka na krowę, ślad węglowy mleka wzrasta z powodu nadmiernej intensywności żywienia. Na wartość CF mleka wpływają także sposób żywienia oraz typ systemu produkcji. Najniższy ślad węglowy odnotowano przy optymalizacji chowu dla wydajności na poziomie 7000-9000 litrów mleka na jedną krowę [11].

Rozszerzono analizę CF produkcji mleka surowego o etap wytwarzania sera. Dane z różnych systemów hodowli mleka posłużyły do oceny wpływu produkcji mleka surowego na produkcję sera, co pozwoliło na oszacowanie śladu węglowego zakładu produkującego sery. W badaniu uwzględniono takie elementy jak surowce, zużycie energii elektrycznej,

energię cieplną, środki czyszczące, materiały opakowaniowe, transport, odpady oraz emisje gazów. Wyniki pokazały, że ślad węglowy sera wyniósł odpowiednio 16,6 kg CO_{2eq}/kg dla systemów półzamkniętych oraz 14,7 kg CO_{2eq}/kg dla systemów pastwiskowych. Produkcja surowego mleka była odpowiedzialna za ponad 60% emisji GHG związanych z produkcją sera [7].

Przegląd literatury dotyczącej śladu węglowego mleka z różnych regionów świata umożliwił dogłębną analizę i porównanie CF w zależności od obszaru pochodzenia. Pozwoliło to na zebranie i zestawienie danych, które ukazują wpływ różnych warunków środowiskowych, sposobów hodowli oraz metod żywienia na ślad węglowy mleka. Szczegółowe wyniki tej analizy ułatwiają zrozumienie czynników kształtujących CF mleka na poziomie globalnym. Jednocześnie badanie wskazało na potrzebę przeprowadzenia bardziej szczegółowych analiz dotyczących przetwórstwa mleka w Polsce.

7. Wyniki badań

7.1. Badania i analiza CF produkcji mleka i jego przetwórstwa

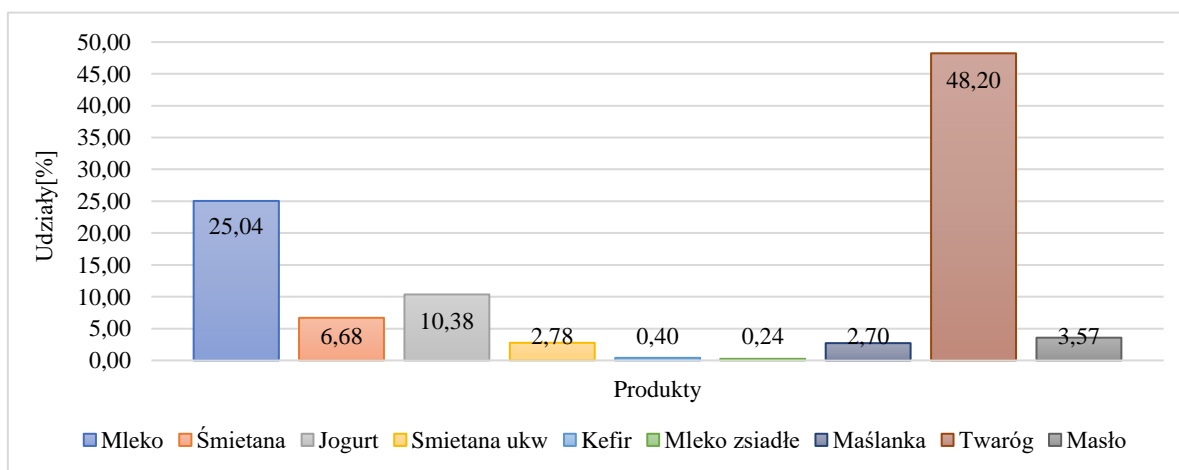
Przeprowadzono analizę produkcji mleka i jego przetwórstwa dla 3 krajowych zakładów różnej wielkości (duże, średnie i małe przedsiębiorstwo) w kontekście opracowania metodologii wyliczenia śladu węglowego. Po scharakteryzowaniu procesu technologicznego, określono zakres pomiarowy CF. Opracowano metodę liczenia śladu węglowego. Zebrano dane emisyjne i produkcyjne w opracowanej bazie danych. W badaniach wykorzystano wartości wskaźników emisyjności energii elektrycznej i paliw za 2023 rok. Na podstawie uzyskanych danych przeprowadzono badania CF produkcji mleka i jego przetwórstwa. Poniżej zaprezentowano uzyskane dane dotyczące procesów produkcji mleka w analizowanych obiektach.

7.1.1. Analiza zakładu nr 1 (duże przedsiębiorstwo)

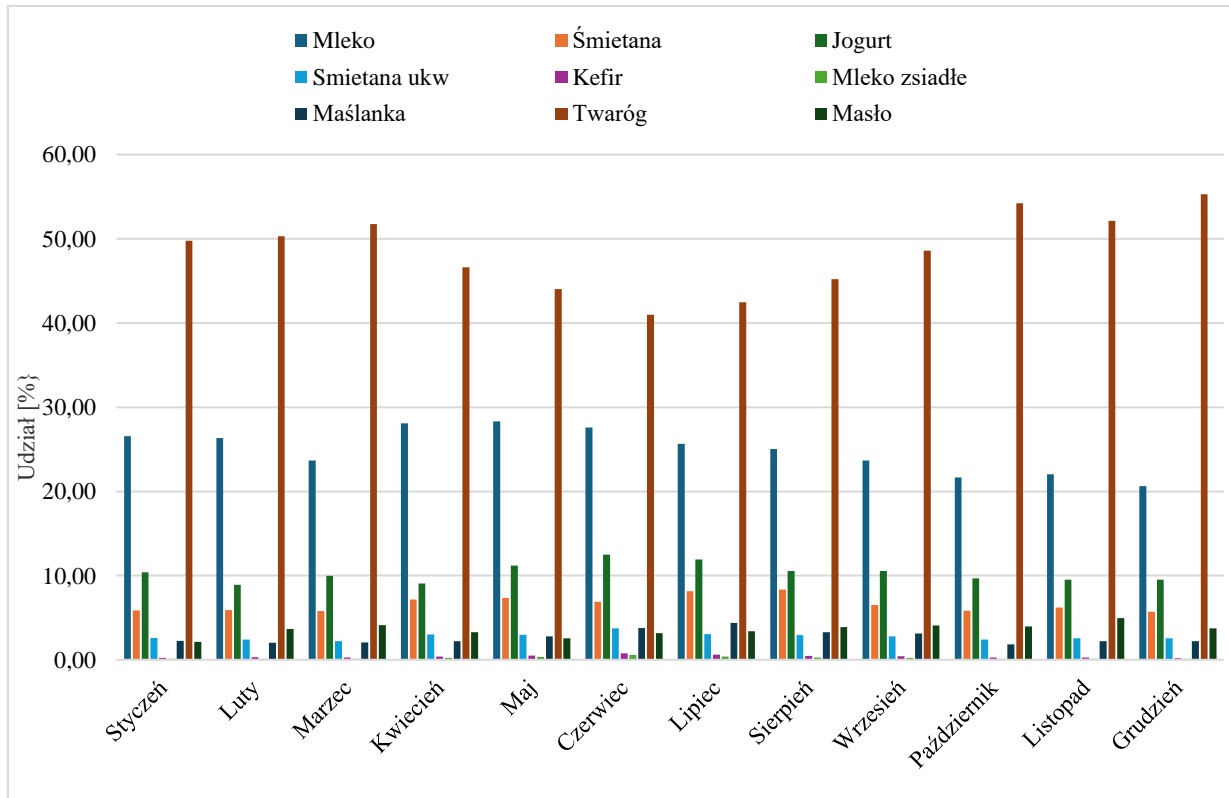
Analizę przeprowadzono na podstawie informacji otrzymanych od przedstawicieli zakładu produkującego przetwory mleczarskie. W zakładzie produkowana jest szeroka gama wyrobów mleczarskich obejmująca: mleko, śmietanki, śmietany, napoje fermentowane, sery twarogowe, masło i produkty bez laktozy.

Surowcem do produkcji jest świeże mleko krowie. Mleko surowe skupowane jest w gospodarstwach produkcji mlecznej z terenu dwóch województw. Mleko musi spełniać wymagania Rozporządzenia 852/2004 i 853/2004 Parlamentu Europejskiego i Rady. Wyżej wymienione gospodarstwa rolne stosują Dobrą Praktykę Rolniczą i Dobrą Praktykę

Hodowlaną bez GMO. Do produkcji wykorzystywane jest mleko surowe z własnej bazy surowcowej bez mleka przerzutowego. Skup prowadzony jest własnymi środkami transportu (cysterny). Wyroby analizowanej Spółdzielni Mleczarskiej są pakowane maszynowo i ręcznie.

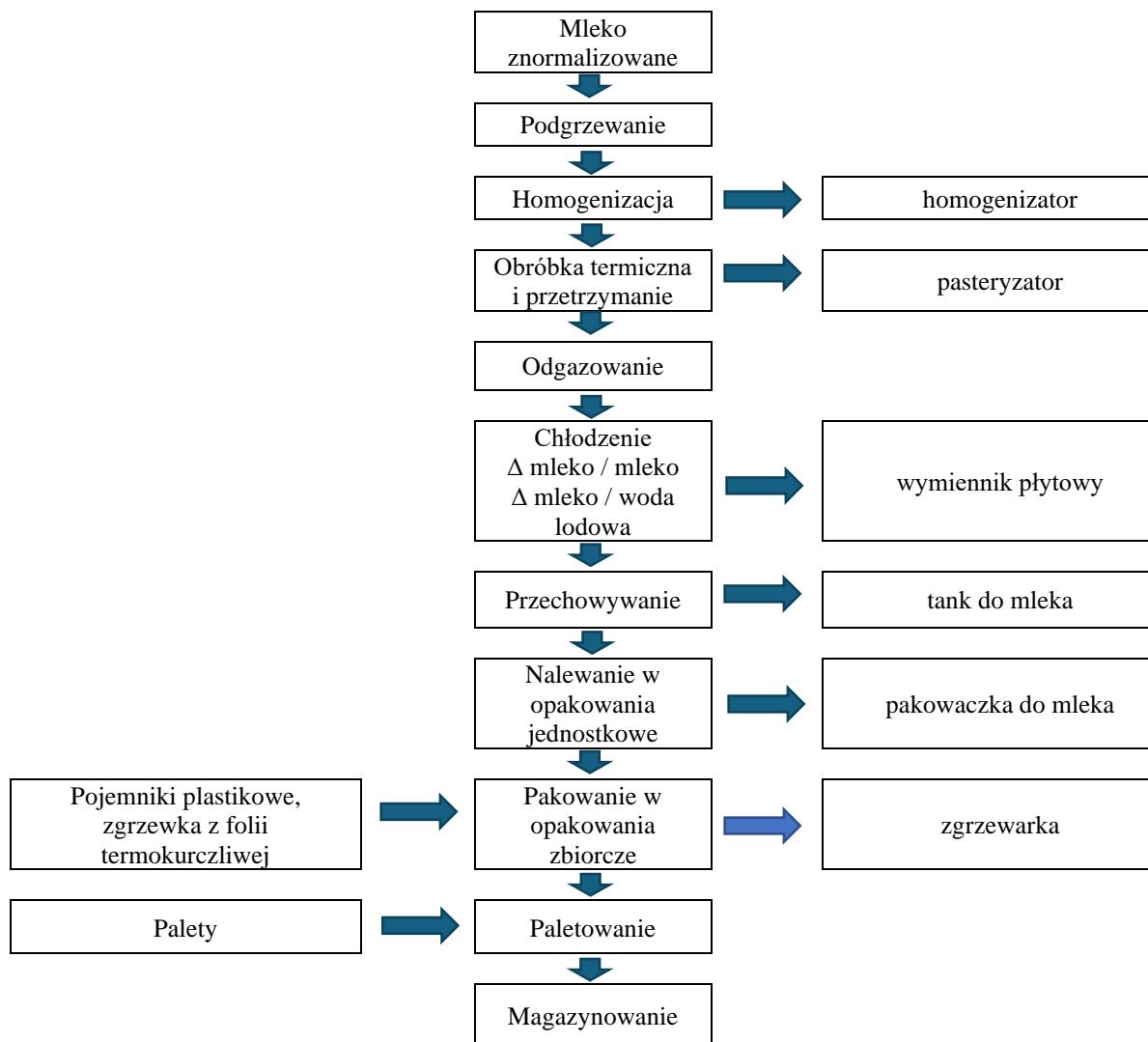


Rys. 1. Udział sumarycznej rocznej wielkości produkcji według grup asortymentowych w 2023 roku

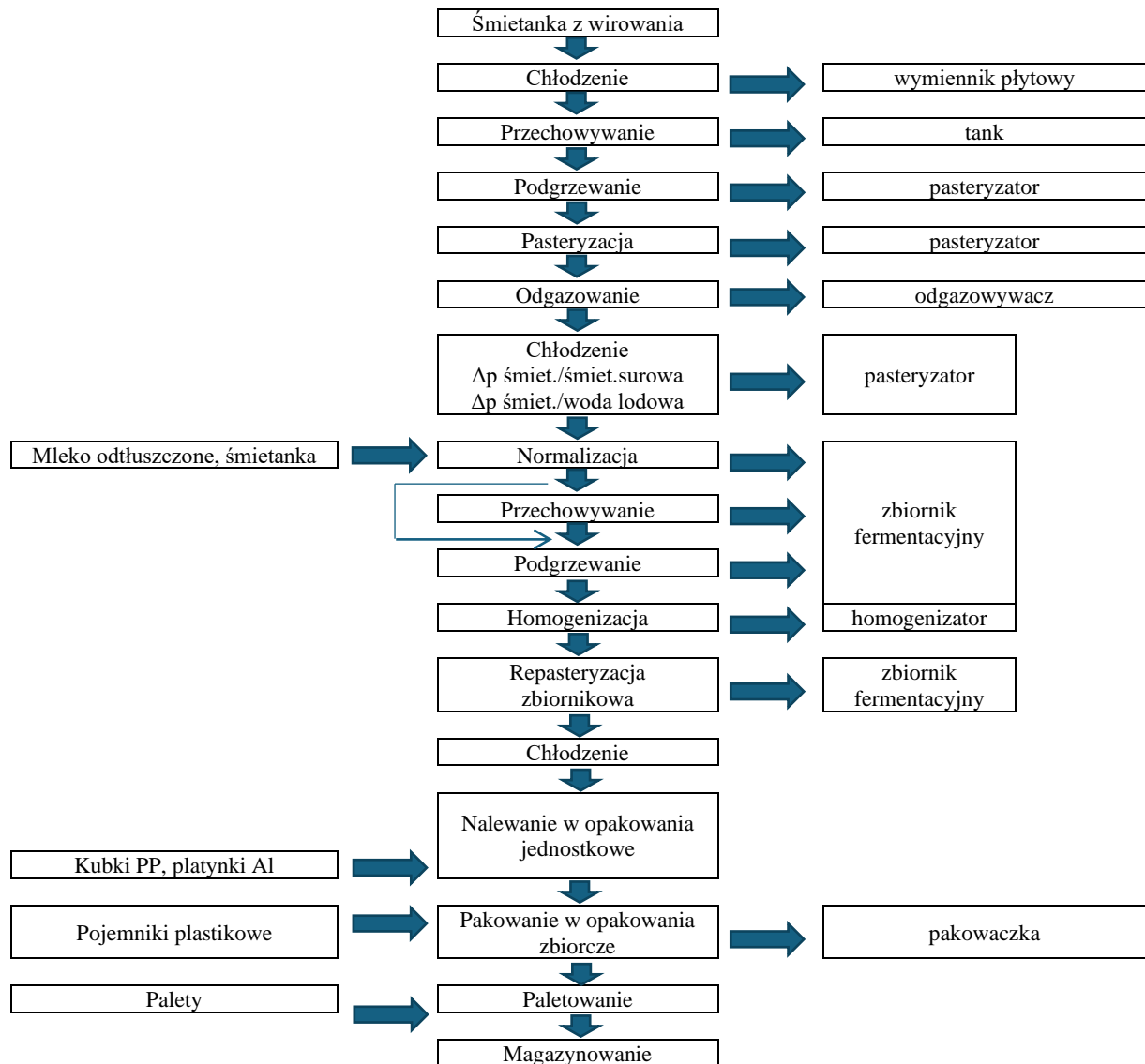


Rys. 2. Udział wielkości produkcji miesięcznej według grup asortymentowych w 2023 roku

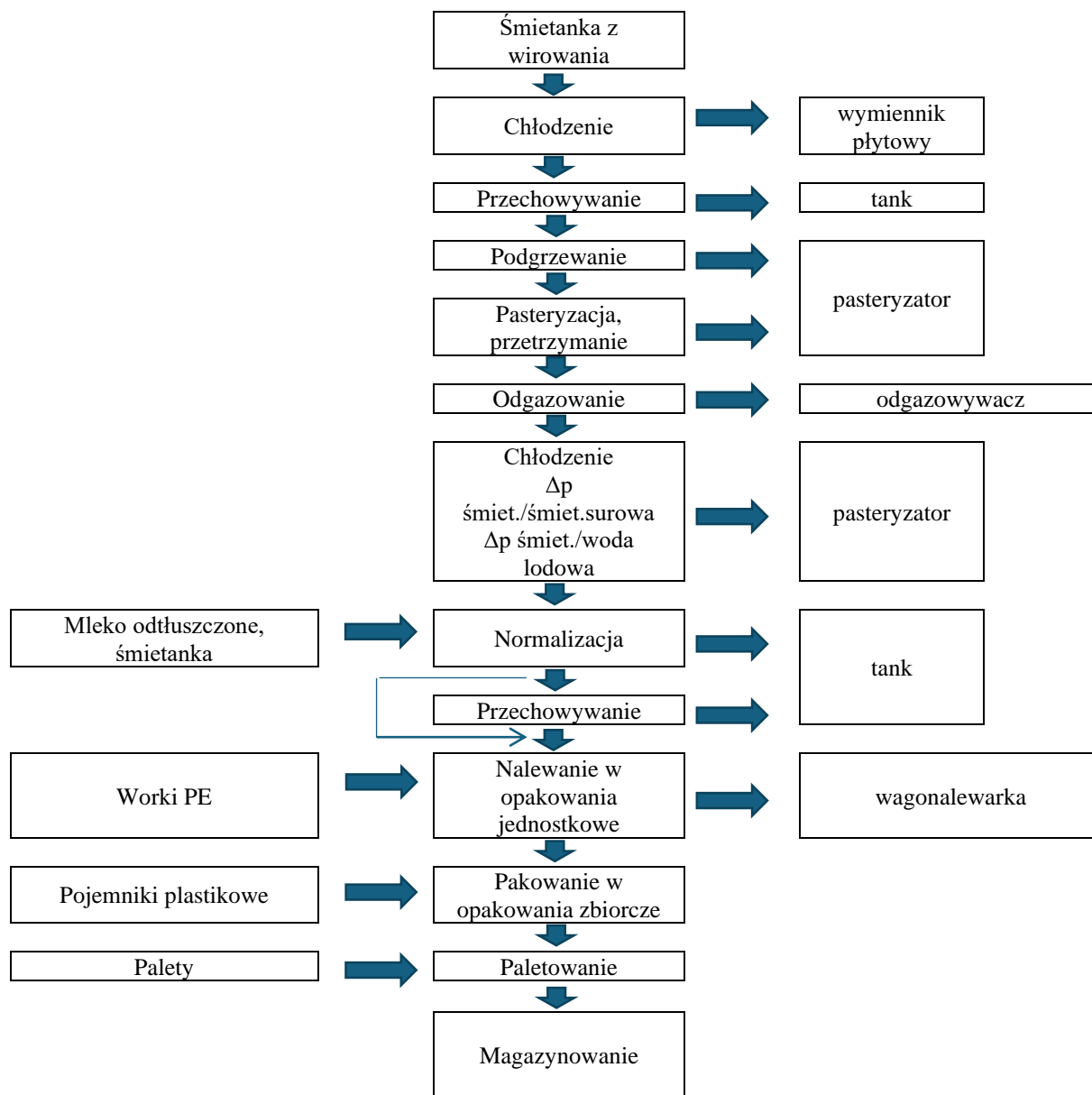
Asortyment produkowanych wyrobów jest zależny od miesiąca produkcji, a udziały poszczególnych grup asortymentowych w całej produkcji zostały przedstawione na rysunkach 1 i 2. Zakład ten produkuje wyłącznie wyroby poddane procesowi pasteryzacji: mleko (2%; 3,2%), śmietanki (18%, 30%, 36%), śmietany (12%, 18%), napoje fermentowane (jogurt śmietankowy, kefir, zsiadłe mleko, maślanka), sery twarogowe niedojrzewające (chudy, półtłusty, wiejski, śmietankowy), masło i produkty bez laktozy (twaróg śmietankowy, jogurt śmietankowy). Analiza procesów przetwórczych w zakładzie umożliwiła przedstawienie schematów technologicznych składające się z procesów jednostkowych dla wybranych grup produktów (rys. 3 - 10).



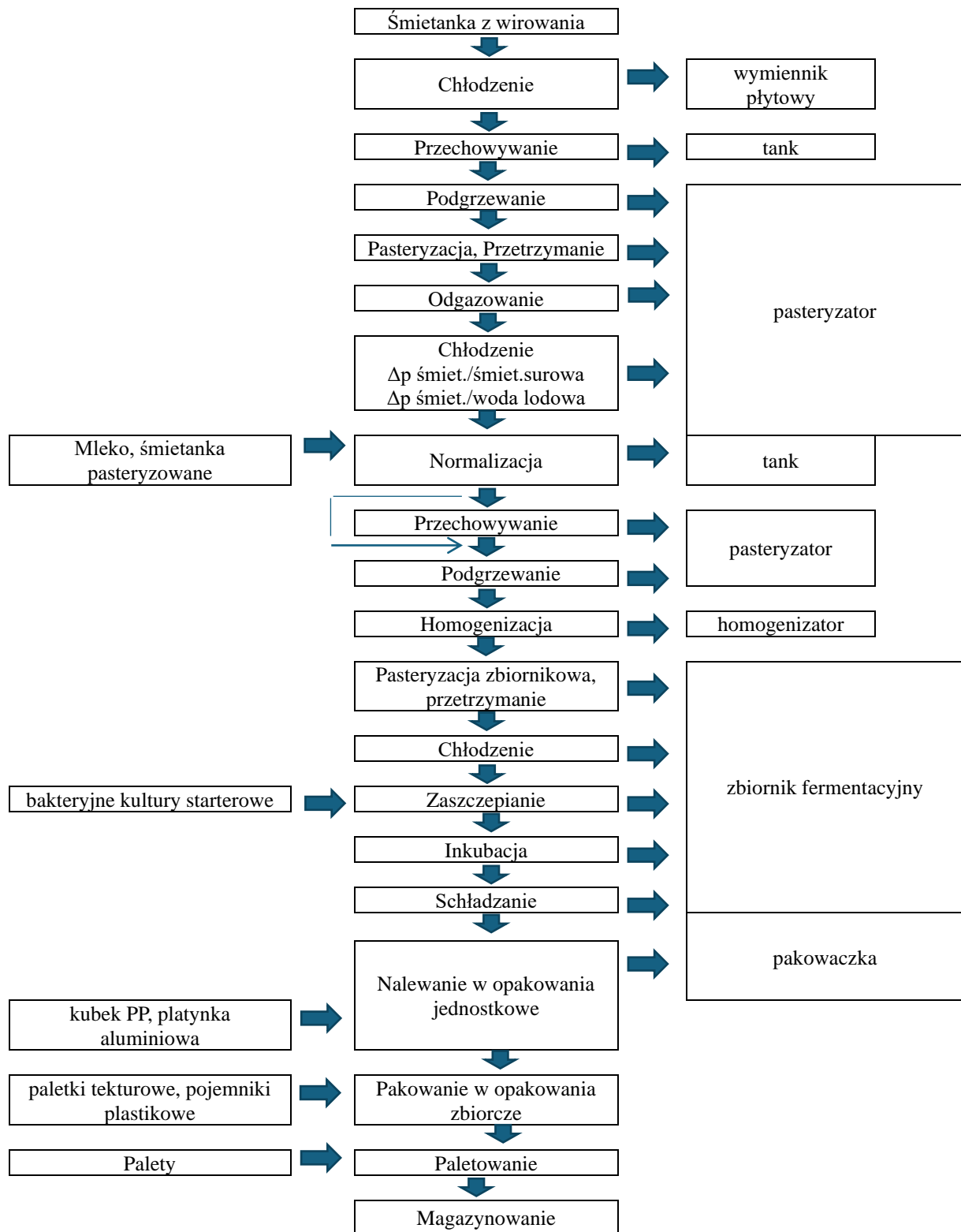
Rys. 3. Schemat technologiczny produkcji mleka wraz z urządzeniami produkcyjnymi



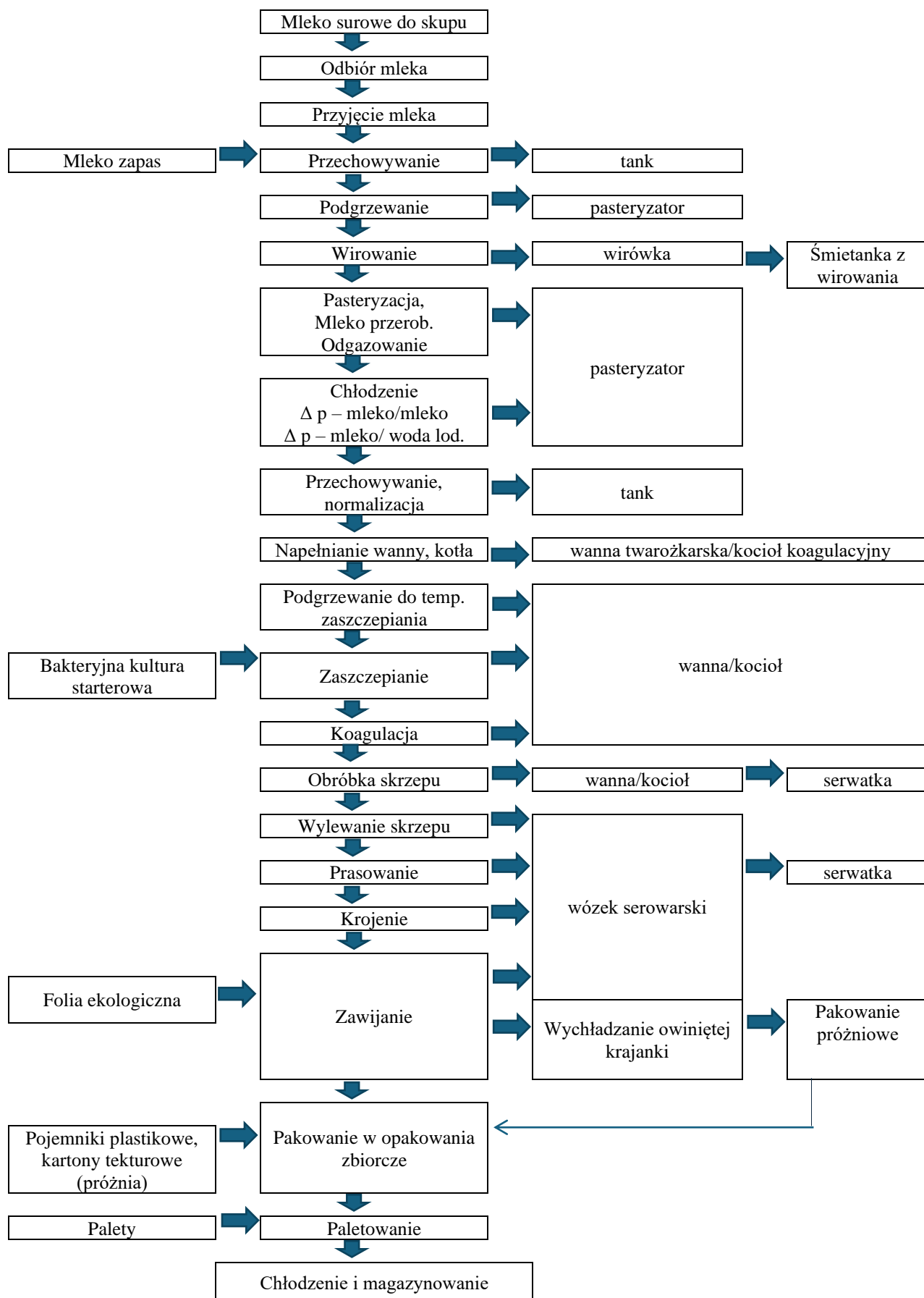
Rys. 4. Schemat technologiczny produkcji śmietany (18%) wraz z urządzeniami produkcyjnymi



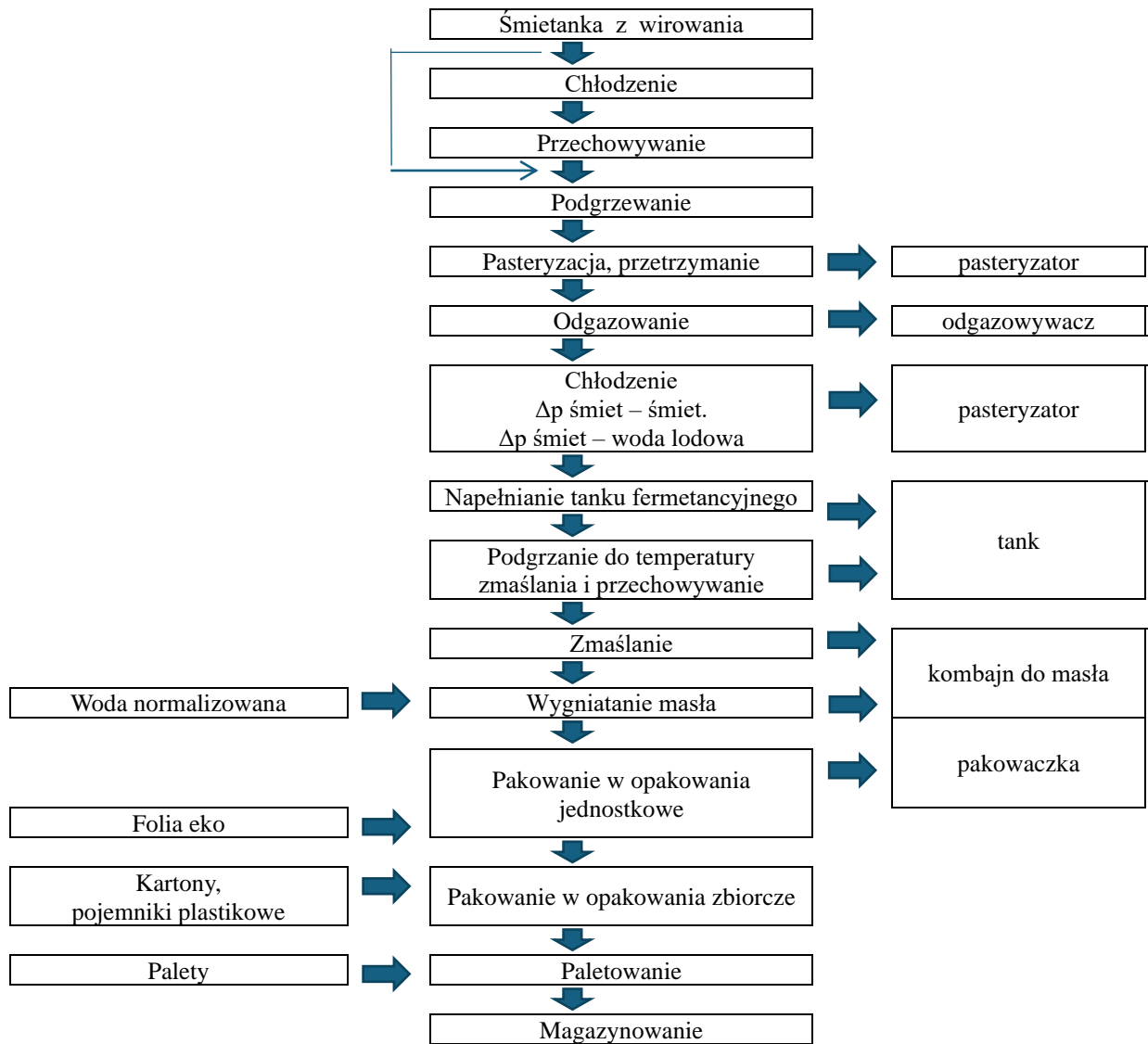
Rys. 5. Schemat technologiczny produkcji śmietanki wraz z urządzeniami produkcyjnymi



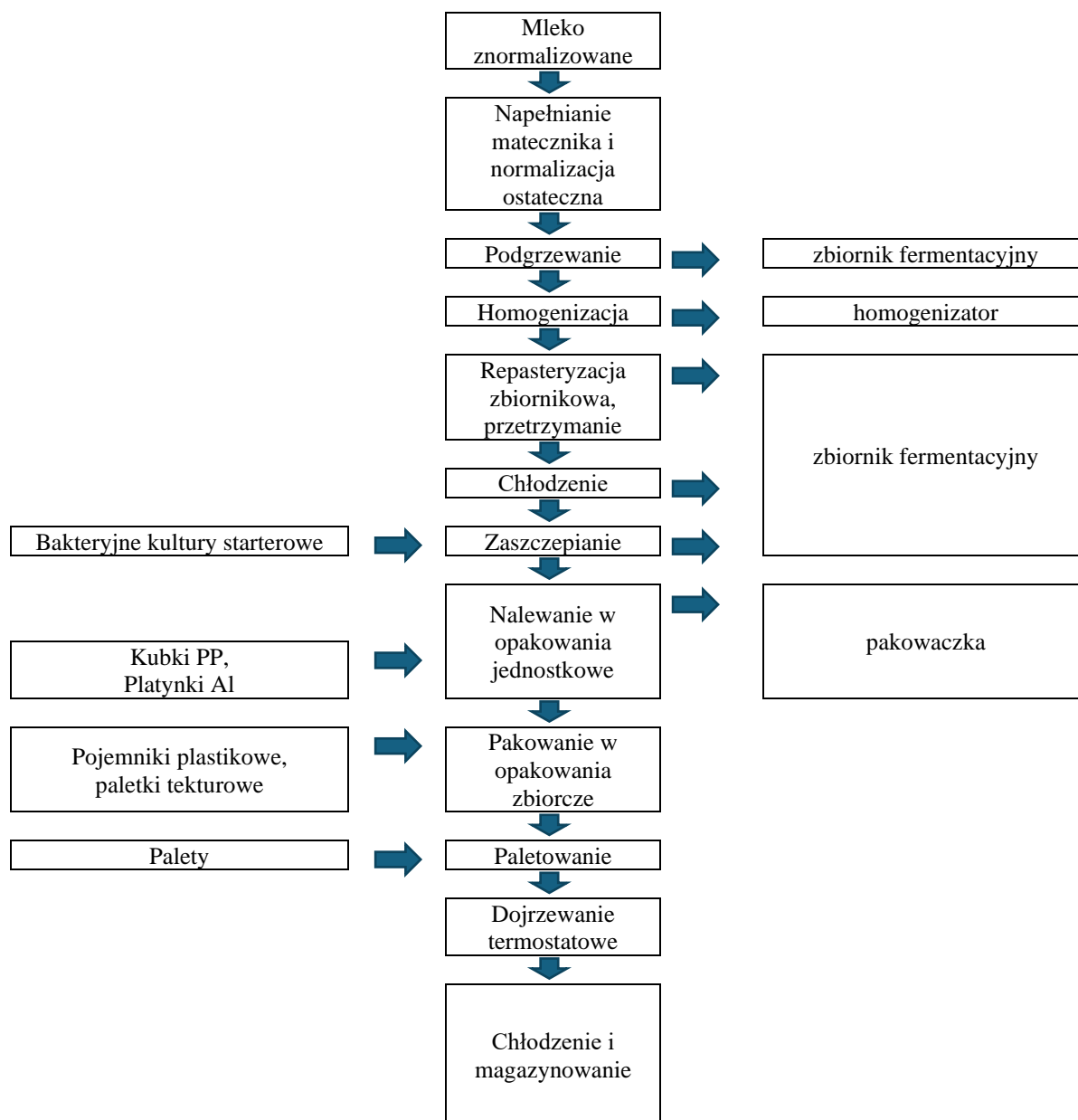
Rys. 6. Schemat technologiczny produkcji śmietany (12%) wraz z urządzeniami produkcyjnymi



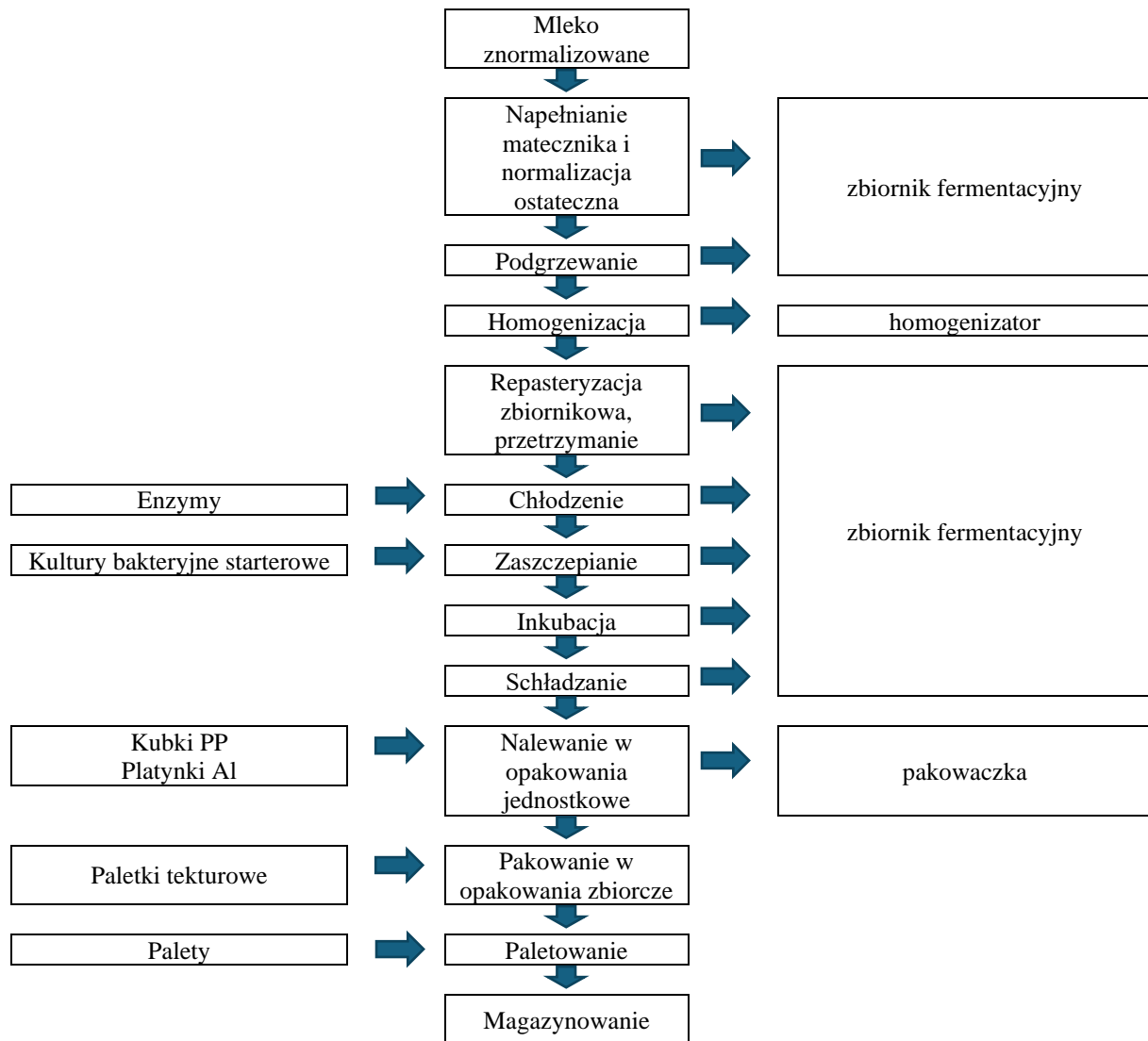
Rys. 7. Schemat technologiczny produkcji twarogu półtłustego krajanki wraz z urządzeniami produkcyjnymi



Rys. 8. Schemat technologiczny produkcji masła wraz z urządzeniami produkcyjnymi



Rys. 9. Schemat technologiczny produkcji kefiru wraz z urządzeniami produkcyjnymi



Rys. 10. Schemat technologiczny produkcji jogurtu śmietankowego wiejskiego bez laktozy wraz z urządzeniami produkcyjnymi

Po przeanalizowaniu procesów technologicznych, przeprowadzono ocenę emisji GHG związanych z produkcją i transportem w zakładzie. W celu określenia śladu węglowego produkcji skoncentrowano się głównie na zużyciu nośników energetycznych. W analizie wykorzystano wskaźniki konwersji nośników energii (tabela 3). Dane dotyczące produkcji i zużycia nośników energetycznych zostały zgromadzone w bazie danych, a dane zbiorcze dotyczące wielkości produkcji dla roku 2023 zostały przedstawione w tabeli 4. Przyjęto dane dotyczące energii elektrycznej zgodnie z raportem KOBiZE.

Tabela 3. Współczynniki konwersji zastosowanych nośników energii do analizy produkcji w zakładzie

Media energetyczne	Wartość wskaźnika	Źródło
Olej napędowy [litr]	2,66 kg CO _{2eq} /litr	https://www.gov.uk/government/publications/greenhouse-gas-reporting-conversion-factors-2023
LPG [litr]	1,56 kg CO _{2eq} /kg	
Gaz ziemny [kWh]	0,2 kg CO _{2eq} /kWh	
Gaz ziemny [m ³]	2,04 kg CO _{2eq} /m ³	
Energia elektryczna [kWh]	0,685 kg CO _{2eq} /kWh	KOBiZE, 2023

Tabela 4. Sumaryczne zestawienie produkcji w zakładzie po przeliczeniu na jednostkę masy w 2023 roku

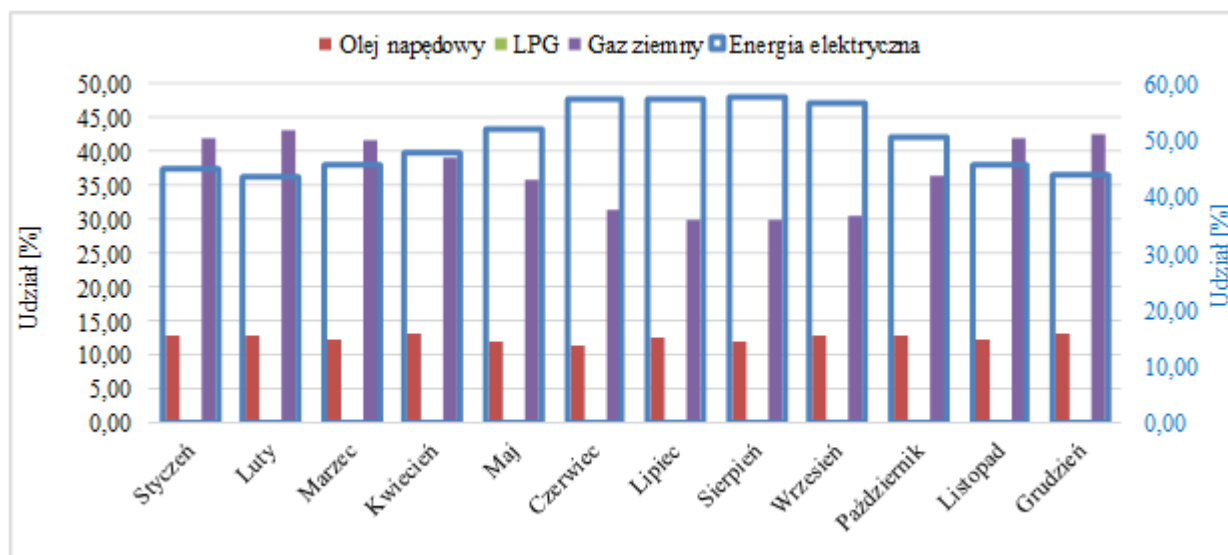
Miesiąc	Produkcja ogółem [kg]
styczeń	416 550
luty	388 967
marzec	505 845
kwiecień	450 982
maj	510 984
czerwiec	500 502
lipiec	486 703
sierpień	442 342
wrzesień	436 556
październik	480 893
listopad	419 069
grudzień	364 519
Razem	5 403 911

Tabela 5. Charakterystyka zużycia nośników energetycznych w zakładzie w 2023 roku

Miesiąc	Energia elektryczna	Gaz ziemny	LPG	ON
	kWh	kWh	litry	litry
styczeń	103 431,00	330 439,00	258,50	7 688,60
luty	94 428,00	320 237,00	258,50	7 170,25
marzec	114 512,00	358 439,00	258,50	7 997,51
kwiecień	112 652,00	315 728,00	258,50	7 994,25
maj	135 875,00	319 905,00	258,50	8 100,79
czerwiec	145 840,00	272 973,00	258,50	7 389,29
lipiec	140 068,00	250 821,00	258,50	7 808,44
sierpień	139 888,00	248 449,00	258,50	7 524,71
wrzesień	133 001,00	246 329,00	258,50	7 735,92
październik	121 623,00	301 624,00	258,50	7 925,91
listopad	108 141,00	342 315,00	258,50	7 498,10
grudzień	104 303,00	348 140,00	258,50	8 135,40
Razem	1 453 762,00	3 655 399,00	3 102,00	92 969,17

Tabela 6. Emisja GHG związana ze zużyciem nośników energetycznych za 2023 rok

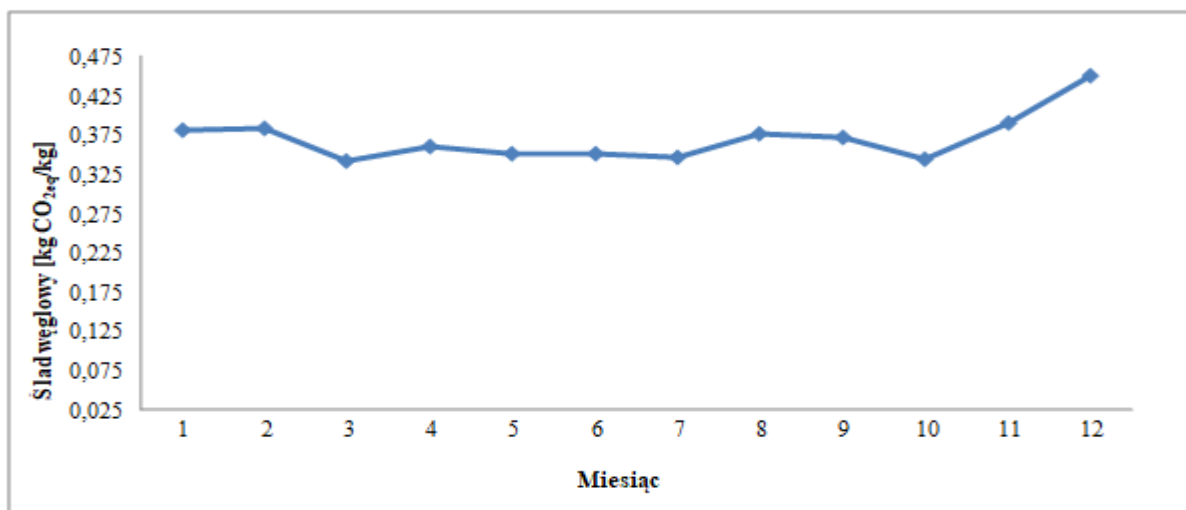
Miesiąc	Energia elektryczna		Gaz ziemny		LPG		ON		Suma wszystkich emisji
	Emisja	Udział	Emisja	Udział	Emisja	Udział	Emisja	Udział	
	kg CO _{2eq}	%	kg CO _{2eq}	%	kg CO _{2eq}	%	kg CO _{2eq}	%	kg CO _{2eq}
styczeń	70 850	44,80	66 087,80	41,79	759,8	0,48	20 451,68	12,93	158 149,5
luty	64 683	43,54	64 047,40	43,11	759,8	0,51	19 072,87	12,84	148 563,3
marzec	78 441	45,56	71 687,80	41,64	759,8	0,44	21 273,38	12,36	172 161,7
kwiecień	77 167	47,53	63 145,60	38,90	759,8	0,47	21 264,71	13,10	162 336,7
maj	93 074	51,89	63 981,00	35,67	759,8	0,42	21 548,10	12,01	179 363,3
czerwiec	99 900	57,12	54 594,60	31,21	759,8	0,43	19 655,51	11,24	174 910,3
lipiec	95 947	57,23	50 164,20	29,92	759,8	0,45	20 770,45	12,39	167 641,1
sierpień	95 823	57,62	49 689,80	29,88	759,8	0,46	20 015,73	12,04	166 288,6
wrzesień	91 106	56,34	49 265,80	30,47	759,8	0,47	20 577,55	12,73	161 708,9
październik	83 312	50,35	60 324,80	36,45	759,8	0,46	21 082,92	12,74	165 479,3
listopad	74 077	45,38	68 463,00	41,94	759,8	0,47	19 944,95	12,22	163 244,4
grudzień	71 448	43,71	69 628,00	42,59	759,8	0,46	21 640,16	13,24	163 475,5
Razem	995 827	50,21	731 079,80	36,86	9 117,9	0,46	247 298	12,47	1 983 322,7



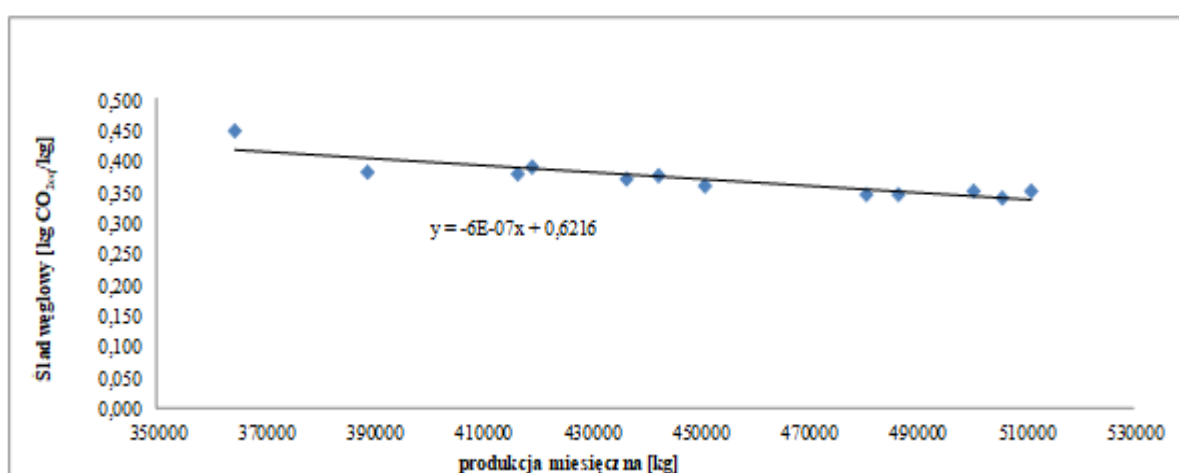
Rys. 11. Miesięczny udział emisji poszczególnych nośników energii dla zakładu w 2023 roku

Tabela 7. Miesięczne wartości śladu węglowego dla zakładu w 2023 roku

Miesiąc	2023 rok
	CF [kg CO _{2eq} /kg]
styczeń	0,3797
luty	0,3819
marzec	0,3403
kwiecień	0,3600
maj	0,3510
czerwiec	0,3495
lipiec	0,3444
sierpień	0,3759
wrzesień	0,3704
październik	0,3441
listopad	0,3895
grudzień	0,4485
CF_{SR}	0,3670



Rys. 12. Miesięczny ślad węglowy dla zakładu w 2023 roku



Rys. 13. Zależność CF od miesięcznej wielkości produkcji dla zakładu 2023 roku

Na podstawie danych zużycia nośników energetycznych (tabela 5) wyliczono emisję GHG oraz określono udział procentowy poszczególnych źródeł (tabela 6) dla zakładu i przedstawiono to graficznie na rysunku 11. Uwzględniając otrzymane wyniki wyznaczono ślad węglowy dla poszczególnych miesięcy w analizowanym roku (tabela 7). Określony CF produkcji w odniesieniu do masy jednostkowej wynosił 0,3403-0,4485 kg CO_{2eq}/kg, a średni CF 0,3670 kg CO_{2eq}/kg. Stwierdzono, że brak zależności między śladem węglowym produkcji od pory roku (rys. 12). Ponadto stwierdzono związek między śladem węglowym a miesięczną wielkością produkcji (rys. 13). Wzrost wielkości produkcji miesięcznej o około 12% powoduje obniżenie CF o około 18%. Średnie emisje GHG związane z produkcją pochodziły głównie z pośrednich emisji (zużycia energii elektrycznej, niezbędnej do pracy urządzeń produkcyjnych oraz oświetlenia pomieszczeń) i stanowiły 50,21% całkowitych emisji. Emisje bezpośrednie GHG pochodzące ze spalania gazu ziemnego (do ogrzewania pomieszczeń oraz

grzania wody i wytwarzania pary technologicznej) to 36,86%, a z oleju napędowego do transportu samochodowego to 12,47%. Natomiast emisje bezpośrednio związane z gazem płynnym (LPG) używanym do zasilania wózków widłowych są nieistotne, ponieważ stanowią 0,46% całości emisji.

Tabela 8. Miesięczne wartości produkcji energii elektrycznej z fotowoltaiki oraz obniżka emisji GHG dla zakładu w 2023 roku

Miesiąc	Całkowita energia za 2023 [kWh]	Obniżenie emisji GHG [kg CO _{2eq}]
Styczeń	158 149,5	397,30
Luty	148 563,3	1 043,94
Marzec	172 161,7	1 904,30
Kwiecień	162 336,7	3 211,28
Maj	179 363,3	5 198,47
Czerwiec	174 910,3	5 076,54
Lipiec	167 641,1	5 121,06
Sierpień	166 288,6	3 776,41
Wrzesień	161 708,9	3 492,13
Październik	165 479,3	1 363,15
Listopad	163 244,4	782,27
Grudzień	163 475,5	292,50
Razem	1 983 322,7	31 659,33

Dodatkowo, przeanalizowano redukcję emisji GHG związane z zastosowaniem paneli fotowoltaicznych do wytworzenia energii elektrycznej wykorzystywanej w produkcji co przedstawiono w tabeli 8. Z analizy wynika, że średnia roczna emisja GHG za 2023 rok dzięki pracy instalacji fotowoltaicznej obniżyła się o około 31,7 ton CO_{2eq}, co stanowi około 1,60% emisji całkowitej.

Zakład posiada także urządzenia chłodnicze zawierające f-gazy stosowane jako płyn chłodniczy. Urządzenia te mogą stanowić ewentualne źródło emisji gazów o bardzo wysokim wskaźniku GWP. Posiadają one własne obiegi chłodnicze o sumarycznej zawartości czynnika R-407CA (GWP: 1774) w ilości 34,6 kg, czynnika R-404A (GWP: 3922) w ilości 60 kg i czynnika R-449A (GWP: 1397) w ilości 60 kg. Sumaryczne zagrożenie związane z emisją tych substancji do atmosfery to około 380 520 kg CO_{2eq}. W 2023 roku nie miały miejsca żadne awarie techniczne, których skutkiem byłoby uwolnienie się tych substancji. W związku z tym emisja bezpośrednia gazów cieplarnianych z instalacji chłodniczych wyniosła 0 kg CO_{2eq}.

7.1.2. Analiza zakładu nr 2 (średnie przedsiębiorstwo)

Analizę przeprowadzono dla mleczarni produkującej przetwory mleczarskie, która bazuje na świeżym surowcu w postaci mleka krowiego. Produkcja prowadzona jest w sposób

rzemieślniczy, oparta o tradycyjne receptury. Procesy technologiczne w większości prowadzone są ręcznie, z dużym nakładem ludzkiej pracy przy minimalnym i niezbędnym wykorzystaniu maszyn. Skład surowcowy jest ograniczony do niezbędnego minimum: mleko i kultury bakterii. W zakładzie produkowane są obecnie głównie twarogi, a także masło, mleko 2%, śmietanka i masa kremowa.

Surowcem do produkcji jest głównie świeże mleko krowie. Do produkcji wykorzystywane jest mleko surowe z własnej bazy surowcowej bez mleka przerzutowego. Skup prowadzony jest własnymi środkami transportu (cysterna). Założone maksymalne zdolności produkcyjne zakładu sprowadzają się do następującego asortymentu:

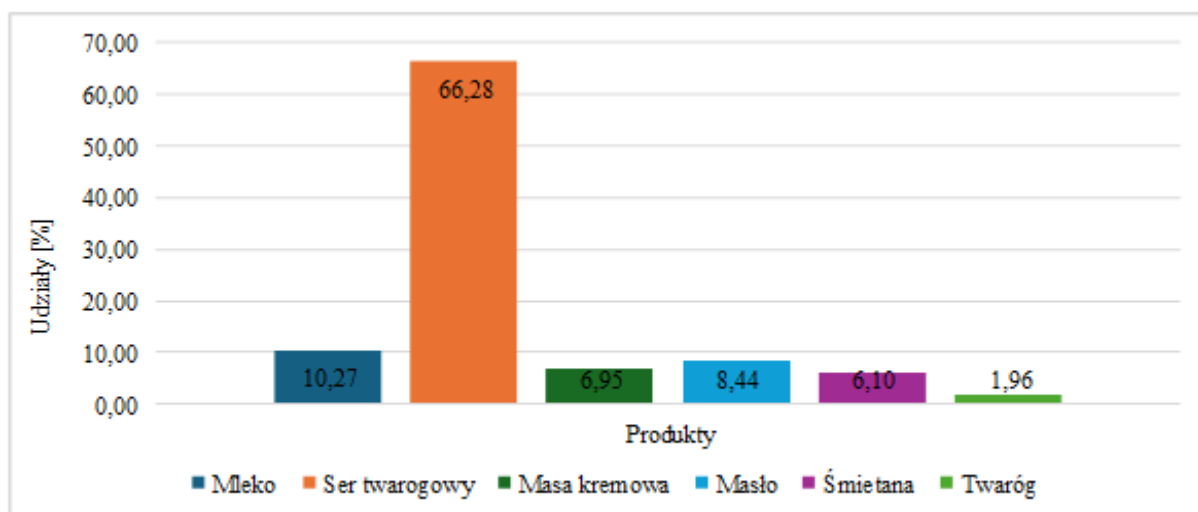
- mleko spożywcze 2%, pasteryzowane w opakowaniach 5 l, 10 l, 15 l pakowane w worki foliowe samozaciskowe,
- mleko odtłuszczone 0,5% luzem magazynowane w tanku o poj. 10 000 l dla odbiorcy przemysłowego (jako surowiec do produkcji mleka w proszku),
- śmietana spożywcza 30% pakowana w samozaciskowe opakowania foliowe 5 l, 10 l, 15 l,
- twaróg krajanka w formie kostek od 0,15 kg do 1 kg, konfekcjonowany ręcznie i pakowany za pomocą maszyny rolowej w pergamin (opakowanie bezpośrednie) i folię (opakowanie pośrednie), przeznaczony do handlu detalicznego,
- masło w blokach 10 kg do 25 kg formowane i pakowane ręcznie w folię spożywczą,
- masło w kostkach 200 g formowanych za pomocą kostkarki do masła pakowane mechanicznie w pergamin,
- masło w osekłach 150-250 g formowanych ręcznie i ręcznie pakowanych w pergamin.

Wszystkie powyższe asortymenty pakowane powinny być do czystych pojemników transportowych, które stanowią opakowanie pośrednie i wynoszone na bieżąco do magazynu wyrobów gotowych. Zakład ten specjalizuje się w produkcji twarogów. Aktualnie (w 2023 r.) produkcja obejmuje następujące asortymenty: mleko 2%, mleko odtłuszczone 0,5%, śmietana kremowa 30%, ser twarogowy chudy i półtłusty, twarożek śmietankowy, twaróg, masa kremowa i masło. Surowcem do produkcji jest:

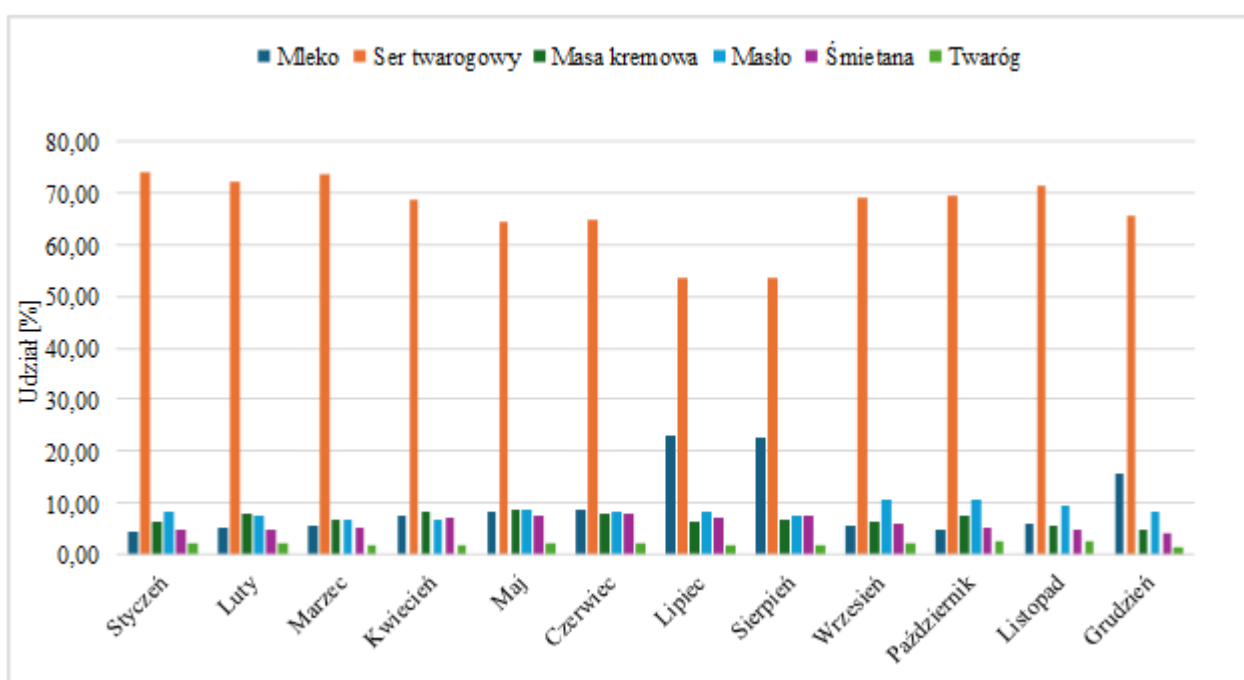
- mleko dostarczane z punktów skupu mleka specjalistyczną autocysterną,
- mleko odtłuszczone zakupione,
- mleko w proszku zakupione i własne - jako uzupełnienie surowca podstawowego w okresach zmniejszonego skupu (zima).

Wielkości produkcji poszczególnych asortymentów mogą się różnić w poszczególnych okresach czasu, gdyż są zmienne w zależności od potrzeb rynkowych (w ramach założonej

dobowej ilości przetwarzanego mleka (10 000 l), dany asortyment może być produkowany w zmiennej ilości dobowej, gdyż np. masło może być w danym dniu produkowane z dwudniowego zapasu śmietany). Tygodniowe wielkości produkcji poszczególnych asortymentów są wartościami uśrednionymi w ciągu całego roku. Za 2023 rok produkcja wyrobów jest różna w zależności od miesiąca, a udziały poszczególnych grup asortymentowych zostały przedstawione na rysunkach 14 (dla całego roku) i 15 (uwzględniając miesiące).



Rys. 14. Udział sumarycznej rocznej wielkości produkcji według grup asortymentowych w 2023 roku



Rys. 15. Udział wielkości produkcji miesięcznej według grup asortymentowych w 2023 roku

Analiza procesów przetwórczych w zakładzie umożliwiła opis stosowanych technologii dla wybranych grup produktów oraz procesów jednostkowych. Wyróżniamy kilka procesów jednostkowych: przyjęcie mleka jako surowca do produkcji, pasteryzacja mleka, standaryzacja i ekspedycja mleka; produkcja mleka; śmietanki; twarogu; masła; pakowanie próżniowe.

Pierwszym etapem jest przyjęcie mleka jako surowca do produkcji. Mleko do zakładu dostarczane jest z punktu skupu mleka autocysterną. Przed przepompowaniem mleka do zakładowego zbiornika mleka surowego, próbka mleka z autocysterny jest badana w laboratorium zakładowym. Podczas tego badania oznaczane są: zawartość tłuszczu; ewentualne zafałszowania mleka; obecność antybiotyków; temperatura mleka; jego czystość; kwasowość. Po dokonaniu badań mleko jest przetłaczane z autocysterny poprzez punkt przyjęcia do zbiornika mleka surowego. Mleko ze zbiornika mleka surowego jest sukcesywnie podawane (przetłaczane rurociągiem ze stali nierdzewnej za pomocą pompy spożywczej) do zespołu pasteryzatora płytowego, posiadającego kilka sekcji o różnych temperaturach pasteryzacji, jak również sekcje schładzania po pasteryzacji. Mleko podgrzane w pasteryzatorze do temperatury 45 °C, następnie kierowane jest do wirówki, w której oddzielany jest tłuszcz w postaci śmietanki. Stopień odwirowania i zawartość tłuszczu w śmietance jest regulowana za pomocą urządzenia standaryzującego, w które wyposażona jest wirówka. Odwirowana śmietanka przetłaczana jest do zbiornika lub do mateczników (są one wykorzystywane wymiennie do mleka lub śmietany - w zależności od potrzeb). Odtłuszczone mleko przetaczane jest na powrót do zespołu pasteryzatora, gdzie jest podgrzewane do temperatury 65°C. W kolejnej sekcji oddzielane są niekorzystne lotne substancje zapachowe z pomocą pompy podciśnieniowej. Dalej, w następnej sekcji pasteryzatora mleko podgrzewa się do temperatury 83 °C i kierowane jest do przetrzymywacza, gdzie jest w przetrzymywane w tej temperaturze ok. 30 s. Stąd mleko jest przetaczane z powrotem do zespołu pasteryzatora, gdzie jest schładzane w kolejnych sekcjach do temperatury najpierw ok. 16 °C, następnie ok. 6 °C. Wyżej opisany proces pasteryzacji odbywa się w ruchu ciągłym. Tak schłodzone mleko jest przetłaczane do zbiornika na mleko pasteryzowane. Po zbadaniu w laboratorium zawartości tłuszczu, normalizuje się mleko pasteryzowane przez dodanie pasteryzowanego mleka odtłuszczonego lub śmietanki w celu uzyskania 0,5% zawartości tłuszczu. Mleko z tego zbiornika odbierane jest przez odbiorcę przemysłowego do dalszego wykorzystania. Część pasteryzowanego mleka jest przetłaczana do matecznika i w nim standaryzowana przez dodanie śmietanki do zawartości 2% tłuszczu.

Po uzyskaniu tej wartości mleko jest konfekcjonowane ręcznie w samozaciskowe worki foliowe o różnych pojemnościach, pakowane w standardowe pojemniki transportowe i sukcesywnie wywożone na wózku ramowym do chłodni wyrobów gotowych.

Śmietanka powstała po odwirowaniu mleka w wirówce jest przetaczana do mateczników, które są wykorzystywane wymiennie do mleka lub śmietany w zależności od potrzeb. Mateczniki wyposażone są w płaszcz wodny, za pomocą którego śmietankę można podgrzewać gorącą wodą lub schładzać wodą lodową. W matecznikach poddaje się śmietankę normalizacji (doprowadzenie do zawartości tłuszczu 30%) za pomocą mleka pasteryzowanego i poddaje pasteryzacji. W tym celu podgrzewa się ją przeponowo w mateczniku do temperatury 87 °C, jednocześnie powoli mieszając (mateczniki wyposażone są w mieszadła mechaniczne). Temperaturę taką utrzymuje się w mateczniku przez określony czas. Następnie jest ona w tym samym mateczniku schładzana do temp. poniżej 8 °C. Śmietanka z matecznika jest konfekcjonowana do samozaciskowych worków foliowych i odwożona w pojemnikach do chłodni wyrobów gotowych.

Do produkcji serów twarogowych wykorzystuje się wanny twarożkarskie z płaszczem wodnym oraz prasy do twarogu wyposażone w pompy do odpompowania serwatki. Mleko przeznaczone na twarogi po wstępnym podgrzaniu w pasteryzatorze jest odtłuszczane w wirówce. Odwirowanie prowadzi się tak, aby zawartość tłuszczu w mleku była zgodna z zakładową normą dla danego rodzaju twarogu (chudy lub półtłusty). Mleko z wirówki tłoczone jest na powrót do pasteryzatora. Po spasteryzowaniu i schłodzeniu do temperatury ok. 20 °C, mleko na twarogi jest podawane do wanien twarogowych i dodawany jest zakwas (substancja dodatkowa kupowana do zakładu). Koagulacja białek prowadzona jest w temperaturze 22-30 °C. Zawartość wanny twarogowej w razie potrzeby ogrzewa się przeponowo do tej temperatury. Czas ukwaszania mleka wynosi od 10 do 14 godzin. Na powierzchni mleka powstaje w tym czasie skrzep. Po dokonaniu oceny dojrzałości skrzepu jest on lekko podgrzewany, aby oddzielił się od ścian wanny. Po wypłynięciu serwatki na powierzchnię skrzepu jest on lekko mieszany, aż do pojawienia się konsystencji ziarnistej i wtedy należy przerwać ogrzewanie twarogu. Ziarno twarogowe wraz z serwatką jest powoli spuszczone grawitacyjnie na prasę wyłożoną czystą chustą twarogową. Serwatka przecieka przez chustę i jest odprowadzana (pompowana) do zbiornika serwatki na zewnątrz budynku zakładu. Po odczerpaniu serwatki pozostała część masy twarogowej jest spuszczana na prasę. Po uformowaniu warstwy grubości 10-20 cm masę twarogową przykrywa się chustą i płytami dociskowymi. Masę twarogową pozostawia się na czas od 1 do 2 godz. w celu jej schłodzenia i odcieknięcia reszty serwatki. Następnie zwiększa się stopniowo nacisk płyty na masę

twarogową, aż do uzyskania wymaganej wilgotności. Proces ten trwa ok. 3 godziny. Blok twarogu następnie kroi się na prasie ręcznie na kostki o masie 150 g lub 1 kg. Kostki są ręcznie zawijane w pergamin i podwożone w pojemnikach wózkiem ramowym do maszyny rolowej, gdzie są automatycznie pakowane w folię. Po wyjściu z maszyny rolowej twaróg jest pakowany w pojemniki i przewożony do chłodni na wózku ramowym.

Surowcem do produkcji masła jest śmietanka 30-38% pasteryzowana, i schłodzona, podawana z pasteryzatora do maselnicy. W maselnicy prowadzony jest proces dojrzewania w temperaturze 6-8 °C przez od 3 do 8 godzin. Następnie przeprowadzane jest zmaślanie śmietany do uzyskania ziaren 2-4 mm. Po uzyskaniu pożądanych ziaren, z maselnicy odprowadza się maślanekę do zbiornika magazynowego. Masło w maselnicy jest płukane zimną wodą, następnie mechanicznie wygniatane do osiągnięcia 15,6-16% zawartości wody. Masło z maselnicy jest ręcznie przekładane do nierdzewnych wózków i przekładane z nich do maszyny pakującej. Maszyna formuje masło w kostki i pakuje w pergamin. Masło może być również w zależności od potrzeb: formowane w bloki i pakowane w kartony wyłożone folią lub formowane ręcznie w osetki i zawijane w pergamin. Zapakowane masło jest pakowane w pojemniki i przewożone do chłodni na wózku ramowym. W przypadku konieczności ręcznego zapakowania próżniowo partii jakiegoś asortymentu, pakowanie odbywa się za pomocą pakowaczki próżniowej.

Poszczególne urządzenia uczestniczące w ciągu technologicznym przedstawiono w tabeli 9. Po przeanalizowaniu procesów technologicznych, przeprowadzono ocenę emisji gazów cieplarnianych związanych z produkcją i transportem w zakładzie. W celu określenia śladu węglowego produkcji skoncentrowano się głównie na zużyciu nośników energetycznych. Główne nośniki to: energia elektryczna używana do celów produkcyjnych (napędu pomp, mieszadeł i urządzeń pakujących, oświetlenie i zasilanie urządzeń biurowych), gaz ziemny zużycie w przeważającej ilości na cele produkcyjne (pasteryzacja mleka, w miesiącach jesienno-zimowych również na cele grzewcze), olej napędowy do transportu, a dodatkowo w 2023 r. agregat prądowórczy do awaryjnego zasilania zakładu zużył 170 litrów.

Tabela 9. Urządzenia w ciągu technologicznym

1	pakowaczka próżniowa	12	maszyna rolowa do pakowania twarogu	23	punkt przyjęcia mleka
2	zasobnik wody gorącej	13	prasa do twarogu	24	sprężarka
3	prasa do twarogu	14	wanna twarogowa	25	zbiornik mleka pasteryzowanego
4	wanna twarogowa	15	pomost roboczy	26	zbiornik mleka surowego
5	pomost roboczy	16	matecznik	27	zbiornik wody użytkowej
6	zbiornik śmietany	17	matecznik	28	przelotowa myjka pojemników
7	zespół pasteryzatora	18	matecznik	29	parownik
8	wirówka mleka	19	maselnica	30	agregat chłodniczy
9	zbiornik kupażowy	20	kostkarka do masła	31	wytwornica wody lodowej
10	inżektor	21	stacja mycia	32	szafa chłodnicza
11	przetrzywacz	22	agregat pralniczy chust twarogowych	33	maszyna rolowa do pakowania twarogu

W analizie wykorzystano wskaźniki konwersji nośników energii (tabela 3). Dane dotyczące produkcji i zużycia nośników energetycznych zostały zgromadzone w bazie danych, a dane zbiorcze dotyczące wielkości produkcji dla roku 2023 zostały przedstawione w tabeli 10. Przyjęto dane dotyczące energii elektrycznej zgodnie z raportem KOBiZE.

Tabela 10. Zestawienie produkcji po przeliczeniu na jednostkę masy w 2023 roku

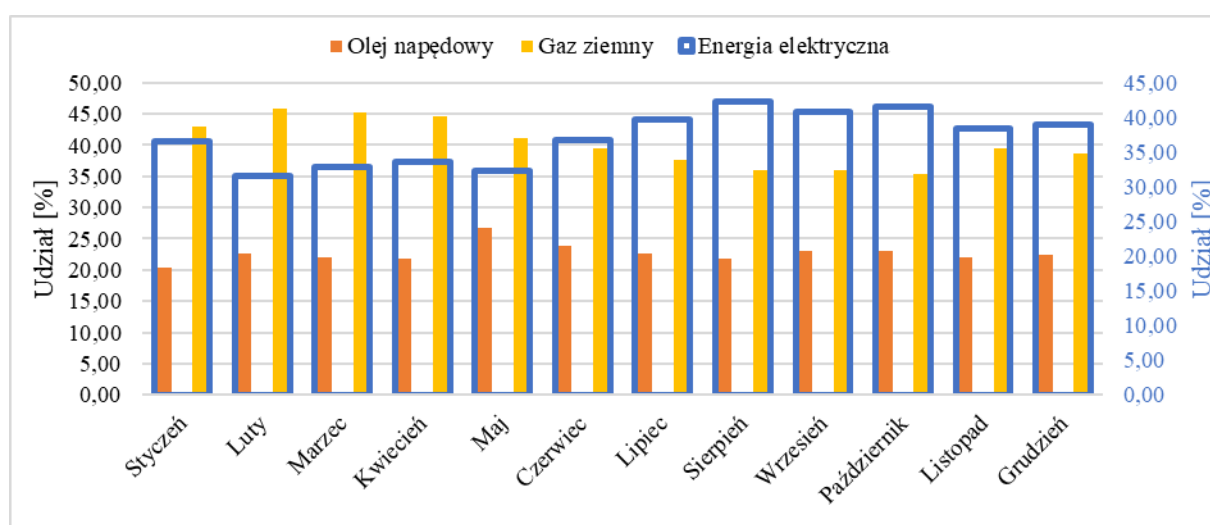
Miesiąc	Produkcja ogółem [kg]
styczeń	49 873,81
luty	45 185,93
marzec	56 460,36
kwiecień	49 226,28
maj	56 451,49
czerwiec	52 559,76
lipiec	58 510,78
sierpień	59 702,33
wrzesień	50 846,96
październik	52 146,49
listopad	48 774,78
grudzień	57 832,76
Razem	637 571,71

Tabela 11. Charakterystyka zużycia nośników energetycznych w zakładzie w 2023 roku

Miesiąc	Energia elektryczna	Gaz ziemny	ON
	kWh	m ³	litry
styczeń	10 931	4 319	1 569
luty	8 803	4 293	1 635
marzec	10 341	4 767	1 776
kwiecień	8 374	3 732	1 403
maj	8 446	3 609	1 803
czerwiec	9 371	3 372	1 569
lipiec	11 099	3 539	1 631
sierpień	11 834	3 386	1 580
wrzesień	11 769	3 484	1 711
październik	13 026	3 728	1 871
listopad	11 856	4 100	1 750
grudzień	12 464	4 165	1 842
Razem	128 314	46 494	20 140

Tabela 12. Emisja GHG związana ze zużyciem nośników energetycznych za 2023 rok

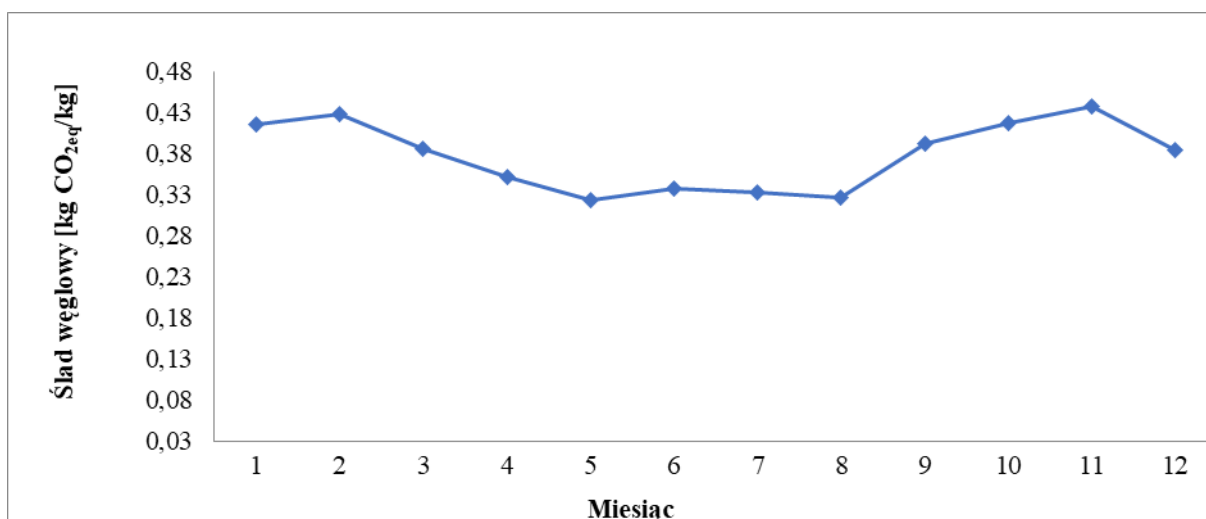
Miesiąc	Energia elektryczna		Gaz ziemny		ON		Suma wszystkich emisji kg CO _{2eq}
	Emisja	Udział	Emisja	Udział	Emisja	Udział	
	kg CO _{2eq}	%	kg CO _{2eq}	%	kg CO _{2eq}	%	
styczeń	7 488	36,57	8 810,76	43,04	4 174,50	20,39	20 473,0
luty	6 030	31,51	8 757,72	45,76	4 349,29	22,73	19 137,1
marzec	7 084	32,90	9 724,68	45,16	4 724,59	21,94	21 532,9
kwiecień	5 736	33,58	7 613,28	44,57	3 732,57	21,85	17 082,0
maj	5 786	32,24	7 362,36	41,03	4 794,92	26,72	17 942,8
czerwiec	6 419	36,74	6 878,88	39,37	4 172,21	23,88	17 470,2
lipiec	7 603	39,68	7 219,56	37,68	4 338,22	22,64	19 160,6
sierpień	8 106	42,18	6 907,44	35,94	4 204,00	21,88	19 217,7
wrzesień	8 062	40,88	7 107,36	36,04	4 551,69	23,08	19 720,8
październik	8 923	41,49	7 605,12	35,36	4 976,91	23,14	21 504,8
listopad	8 121	38,42	8 364,00	39,56	4 655,51	22,02	21 140,9
grudzień	8 538	38,93	8 496,60	38,74	4 899,27	22,34	21 933,7
Razem	87 895	37,19	94 847,76	40,14	53 574,65	22,67	236 316,5



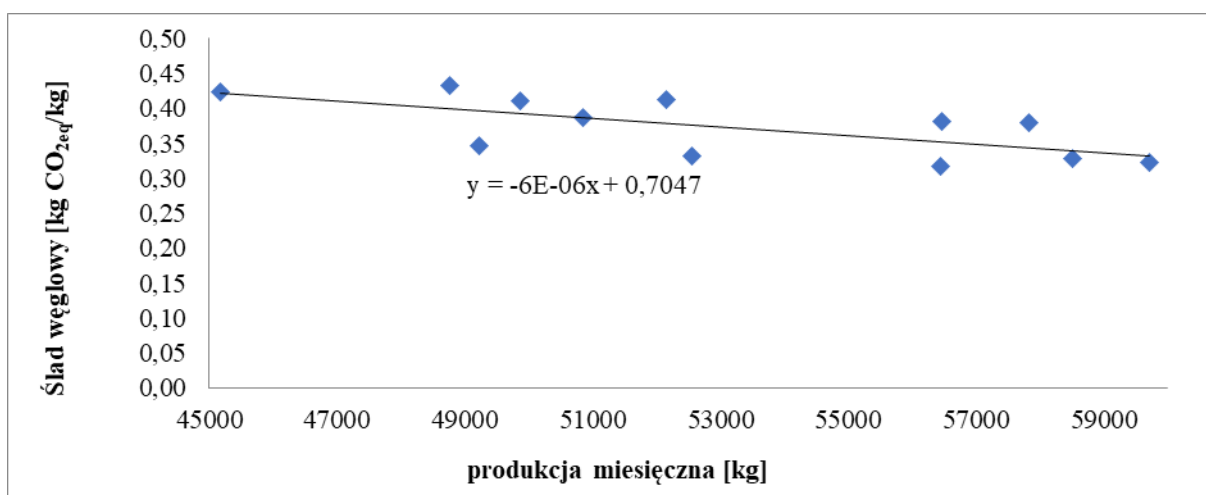
Rys. 16. Miesięczny udział emisji poszczególnych nośników energii dla zakładu w 2023 roku

Tabela 13. Miesięczne wartości śladu węglowego dla zakładu w 2023 roku

Miesiąc	2023 rok
	CF [kg CO _{2eq} /kg]
styczeń	0,4105
luty	0,4235
marzec	0,3814
kwiecień	0,3470
maj	0,3178
czerwiec	0,3324
lipiec	0,3275
sierpień	0,3219
wrzesień	0,3878
październik	0,4124
listopad	0,4334
grudzień	0,3793
CF_{ŚR}	0,3707



Rys. 17. Miesięczny ślad węglowy dla zakładu w 2023 roku



Rys. 18. Zależność CF od miesięcznej wielkości produkcji dla zakładu 2023 roku

Na podstawie danych zużycia nośników energetycznych (tabela 11) wyliczono emisję GHG oraz określono udział procentowy poszczególnych źródeł (tabela 12) dla zakładu i przedstawiono to graficznie na rysunku 16. Uwzględniając otrzymane wyniki wyznaczono ślad węglowy dla poszczególnych miesięcy w analizowanym roku (tabela 13). Określony ślad węglowy produkcji w odniesieniu do masy jednostkowej wynosił 0,318-0,433 kg CO_{2eq}/kg, a średni CF 0,371 kg CO_{2eq}/kg. Stwierdzono, zależność między śladem węglowym produkcji CF od pory roku (rys. 17) - w miesiącu maju wartość CF produkcji była najniższa, a w listopadzie najwyższa. Ponadto stwierdzono związek między śladem węglowym a miesięczną wielkością produkcji (rys. 18). Wzrost wielkości produkcji miesięcznej o około 16% powoduje obniżenie śladu węglowego o około 8%. Średnie emisje GHG związane z produkcją pochodziły głównie z emisje bezpośrednich GHG ze spalania gazu ziemnego

i wynosiły 40,14% całkowitej emisji. Emisje pośrednie ze zużycie energii elektrycznej stanowiły 37,19% całkowitych emisji, a emisje bezpośrednie z oleju napędowego do transportu samochodowego to 22,67%.

Dodatkowo, przeanalizowano redukcję emisji GHG związane z zastosowaniem paneli fotowoltaicznych do wytworzenia energii elektrycznej wykorzystywanej w produkcji co przedstawiono w tabeli 14. Z analizy wynika, że średnia roczna emisja GHG za 2023 rok dzięki pracy instalacji fotowoltaicznej obniżyła się o około 25,4 ton CO_{2eq}. Średni udział fotowoltaiki w zużytej energii elektrycznej wynosił około 29% i w zależności od pory roku zawierał się w zakresie od 5% do 70%. Taki udział energii ze źródeł odnawialnych obniżył średni ślad węglowy produktu aż o około 11%. Redukcja śladu węglowego była zmienna w roku, najwyższą (od 21% do 23%) odnotowano w maju, czerwcu i lipcu, a najniższą (od 1% do 2%) w listopadzie, grudniu i styczniu.

Tabela 14. Miesięczne wartości produkcji energii elektrycznej z fotowoltaiki oraz obniżka emisji GHG dla zakładu w 2023 roku

Miesiąc	Całkowita energia z fotowoltaiki [kWh]	Obniżenie emisji GHG [kg CO _{2eq}]
Styczeń	541,40	370,86
Luty	1 116,99	765,14
Marzec	2 701,92	1 850,82
Kwiecień	3 962,36	2 714,22
Maj	5 919,18	4 054,64
Czerwiec	5 890,40	4 034,92
Lipiec	5 794,95	3 969,54
Sierpień	4 542,20	3 111,41
Wrzesień	3 670,85	2 514,53
Październik	1 877,41	1 286,03
Listopad	703,46	481,87
Grudzień	299,57	205,21
Razem	37 020,69	25 359,17

Zakład posiada także urządzenia chłodnicze zawierające f-gazy stosowane jako płyn chłodniczy. Urządzenia te mogą stanowić ewentualne źródło emisji gazów o bardzo wysokim wskaźniku GWP. Każde z nich posiada własny obieg chłodniczy o sumarycznej zawartości czynnika R-404A (GWP: 3922) w ilości 23 kg (dwie wytwornice wody lodowej) oraz czynnika R-422D (GWP: 2729) w ilości 9 kg (chłodnia). Sumaryczne zagrożenie związane z emisją tych substancji do atmosfery to 114 767 kg CO_{2eq}. W 2023 roku nie zdarzyły się żadne awarie techniczne, których skutkiem byłoby uwolnienie się tych substancji do atmosfery. W związku z tym emisja bezpośrednia gazów cieplarnianych z instalacji chłodniczych wyniosła 0 kg CO_{2eq}.

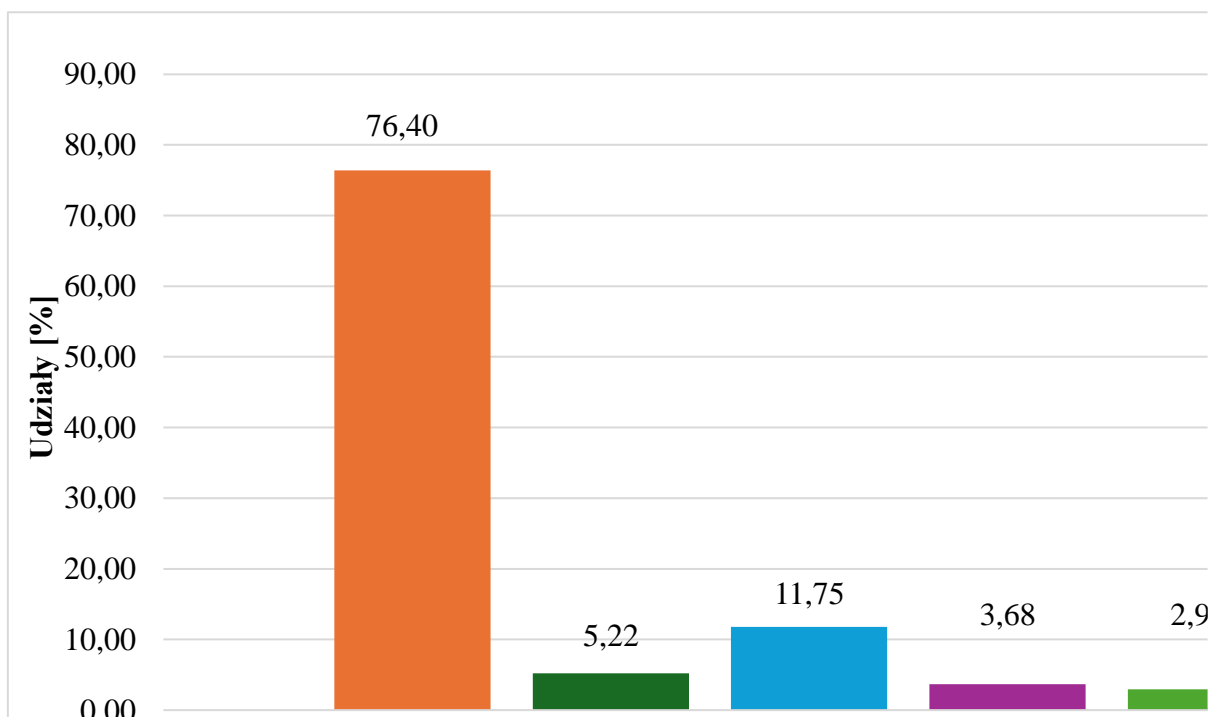
7.1.3. Analiza zakładu nr 3 (małe przedsiębiorstwo)

Analizę przeprowadzono na podstawie informacji otrzymanych od przedstawicieli spółdzielni mleczarskiej. Mleczarnia w produkuje przetwory mleczarskie. Bazuje na świeżym surowcu w postaci mleka krowiego od lokalnych rolników. Produkcja prowadzona jest w sposób nie w pełni zautomatyzowany. Procesy technologiczne w większości prowadzone są ręcznie, tradycyjna receptura, brak sztucznych dodatków to główne cechy produktów. W zakładzie tym produkowane są obecnie głównie: sery podpuszczkowe dojrzewające, tłuszcz mleczny do smarowania, masło ekstra śmietanka kremową pasteryzowaną, maślanka naturalna, ser twarogowy. Produkcja oparta jest o tradycyjne receptury.

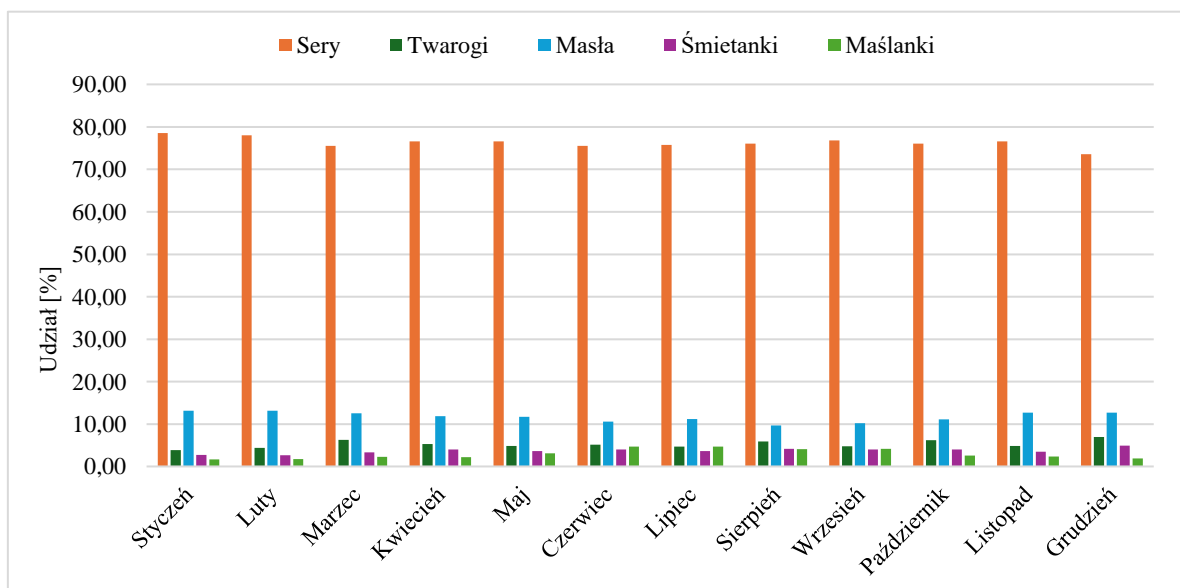
Surowcem do produkcji jest głównie świeże mleko krowie. Mleko surowe skupowane jest w gospodarstwach produkcji mlecznej od lokalnych rolników. Do produkcji wykorzystywane jest mleko surowe z własnej bazy surowcowej. Zakład ten specjalizuje się w produkcji serów podpuszczkowych. Skład surowcowy jest ograniczony do niezbędnego minimum mleko oraz podstawowe dodatki do żywności.

W zakładzie istniejącym dotychczas prowadzona jest działalność polegająca na przetwórstwie mleka. Podstawowe urządzenia produkcyjne to standardowe masielnica tradycyjna, kotły serowarskie, pompy, wanny serowarskie, twarożkarskie, prasy pneumatyczne. Aktualnie produkcja obejmuje następujący asortyment: sery podpuszczkowe dojrzewające, masło ekstra, śmietanka kremowa, maślanka naturalna i ser twarogowy.

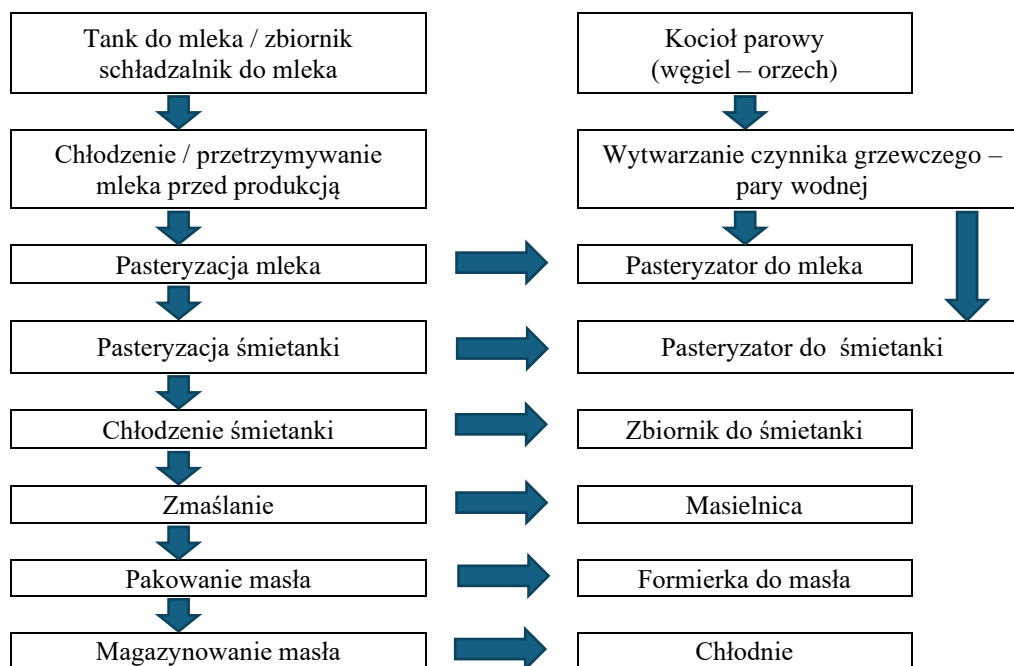
Asortyment produkowanych wyrobów jest zależny od miesiąca produkcji, a udziały poszczególnych grup asortymentowych w całej produkcji zostały przedstawione na rysunkach 19 i 20. Analiza procesów przetwórczych w zakładzie umożliwiła przedstawienie schematów technologicznych zawierających istotne procesy jednostkowe dla wybranych grup produktów wraz z urządzeniami produkcyjnymi (rys. 21-25).



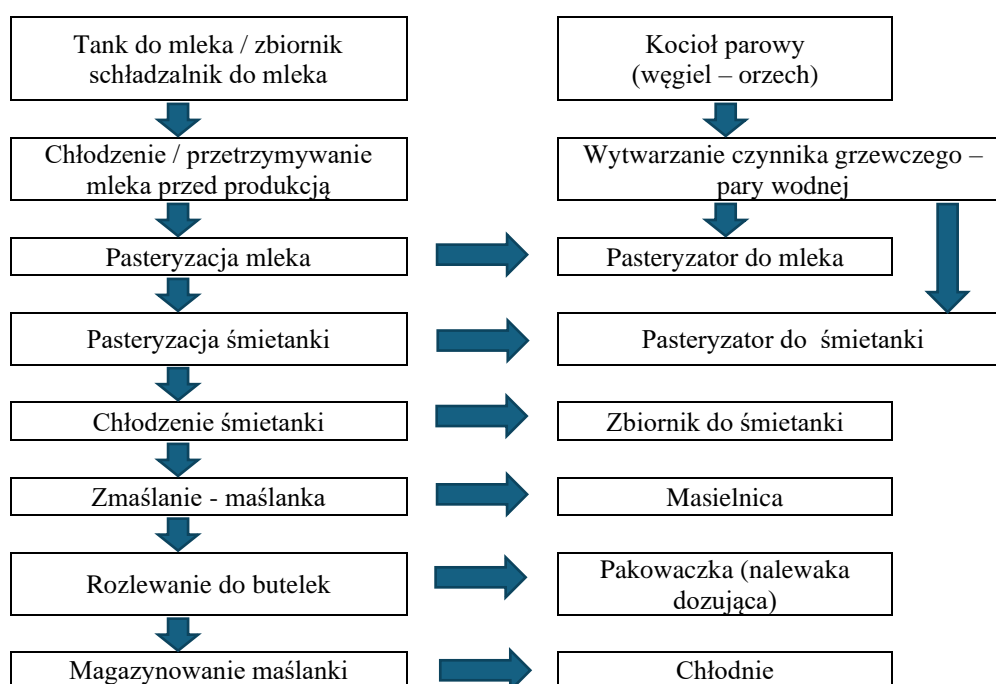
Rys. 19. Udział sumarycznej rocznej wielkości produkcji według grup asortymentowych w 2023 roku



Rys. 20. Udział wielkości produkcji miesięcznej według grup asortymentowych w 2023 roku

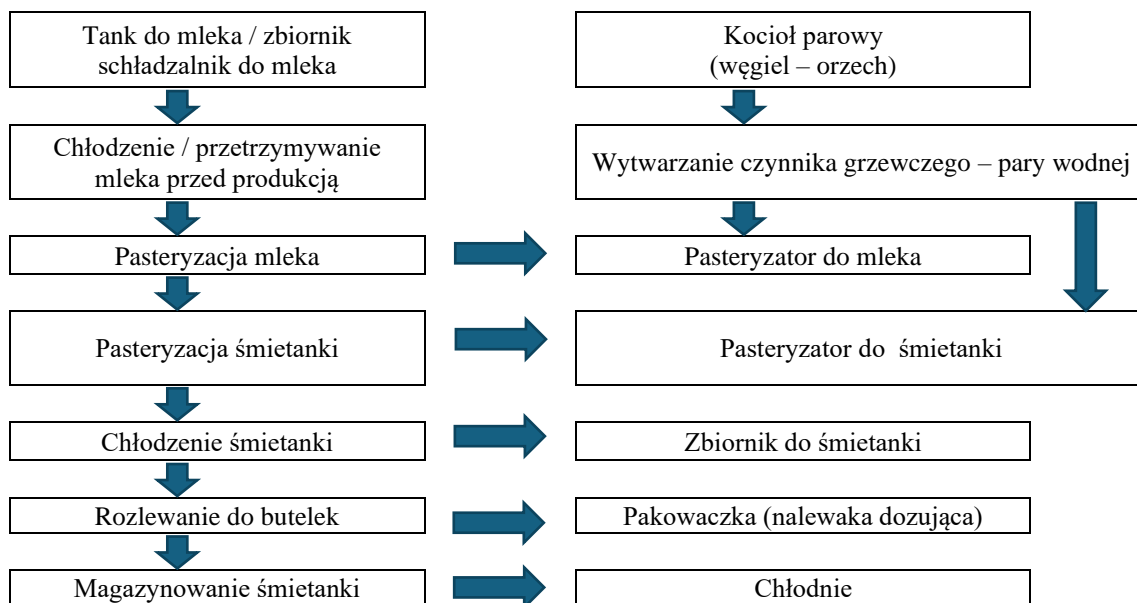


Rys. 21. Schemat technologiczny produkcji masła wraz z urządzeniami produkcyjnymi

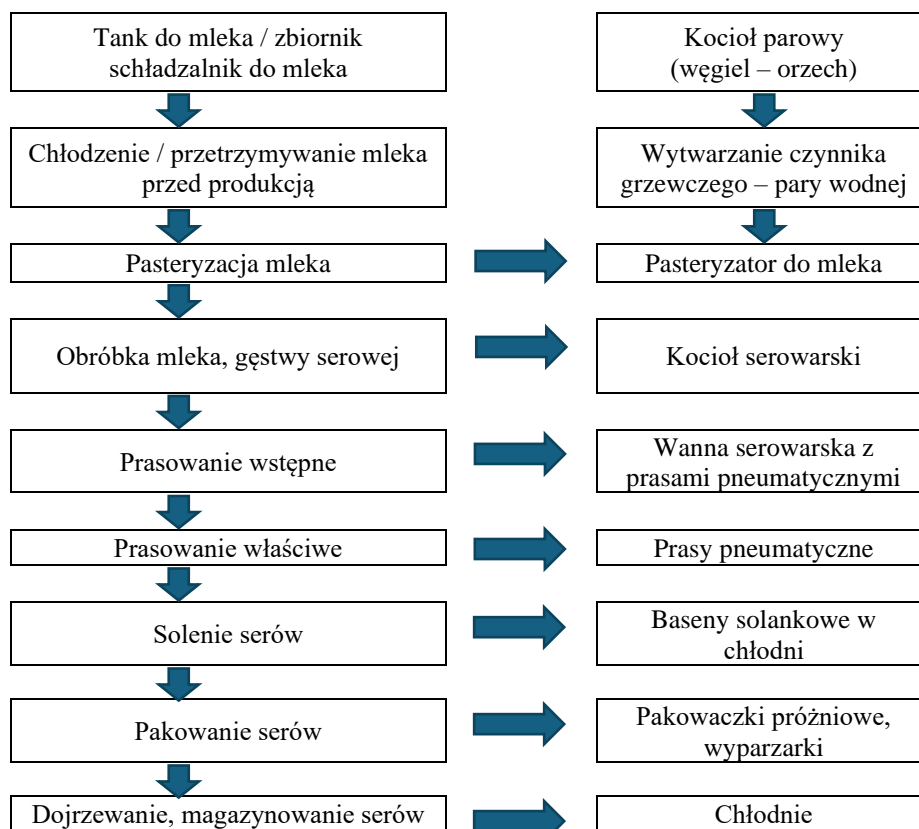


Rys. 22. Schemat technologiczny produkcji maślanki wraz z urządzeniami produkcyjnymi

Analiza i metodologia pomiaru śladu węglowego dla wybranych produktów rolno-spożywczych wytwarzanych przez krajowy przemysł mleczarski i mięsny

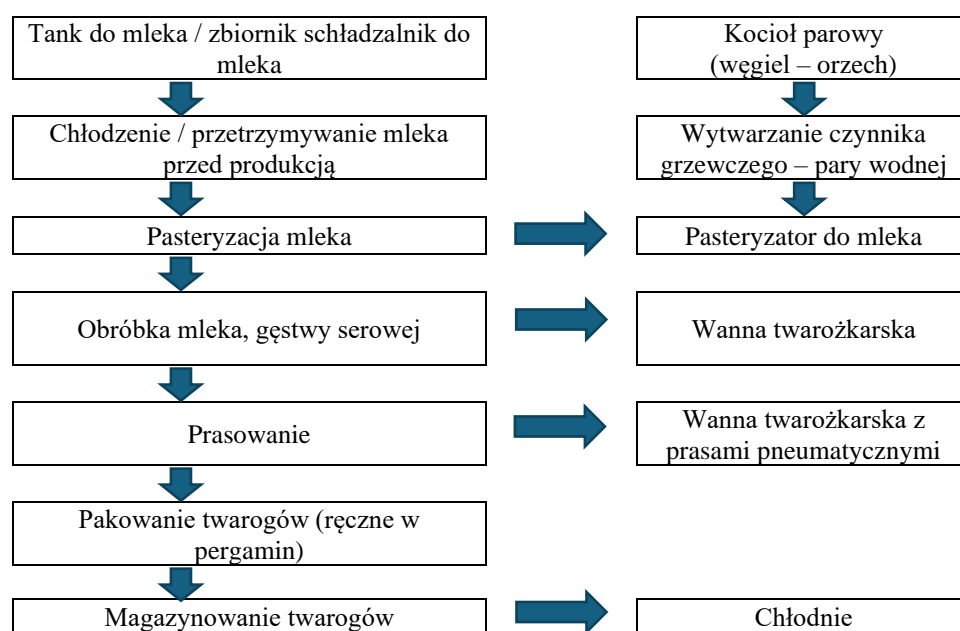


Rys. 23. Schemat technologiczny produkcji śmietanki wraz z urządzeniami produkcyjnymi



Rys. 24. Schemat technologiczny produkcji serów dojrzewających wraz z urządzeniami produkcyjnymi

Analiza i metodologia pomiaru śladu węglowego dla wybranych produktów rolno-spożywczych wytwarzanych przez krajowy przemysł mleczarski i mięsny



Rys. 25. Schemat technologiczny produkcji twarogu wraz z urządzeniami produkcyjnymi

Po przeanalizowaniu procesów technologicznych, przeprowadzono ocenę emisji gazów cieplarnianych związanych z produkcją i transportem w zakładzie. W celu określenia śladu węglowego produkcji skoncentrowano się głównie na zużyciu nośników energetycznych. W analizie wykorzystano wskaźniki konwersji nośników energii (tabela 3). Dane dotyczące produkcji i zużycia nośników energetycznych zostały zgromadzone w bazie danych, a dane zbiorcze dotyczące wielkości produkcji dla roku 2023 zostały przedstawione w tabeli 15. Przyjęto dane dotyczące energii elektrycznej zgodnie z raportem KOBiZE.

Tabela 15. Zestawienie produkcji po przeliczeniu na jednostkę masy w 2023 roku

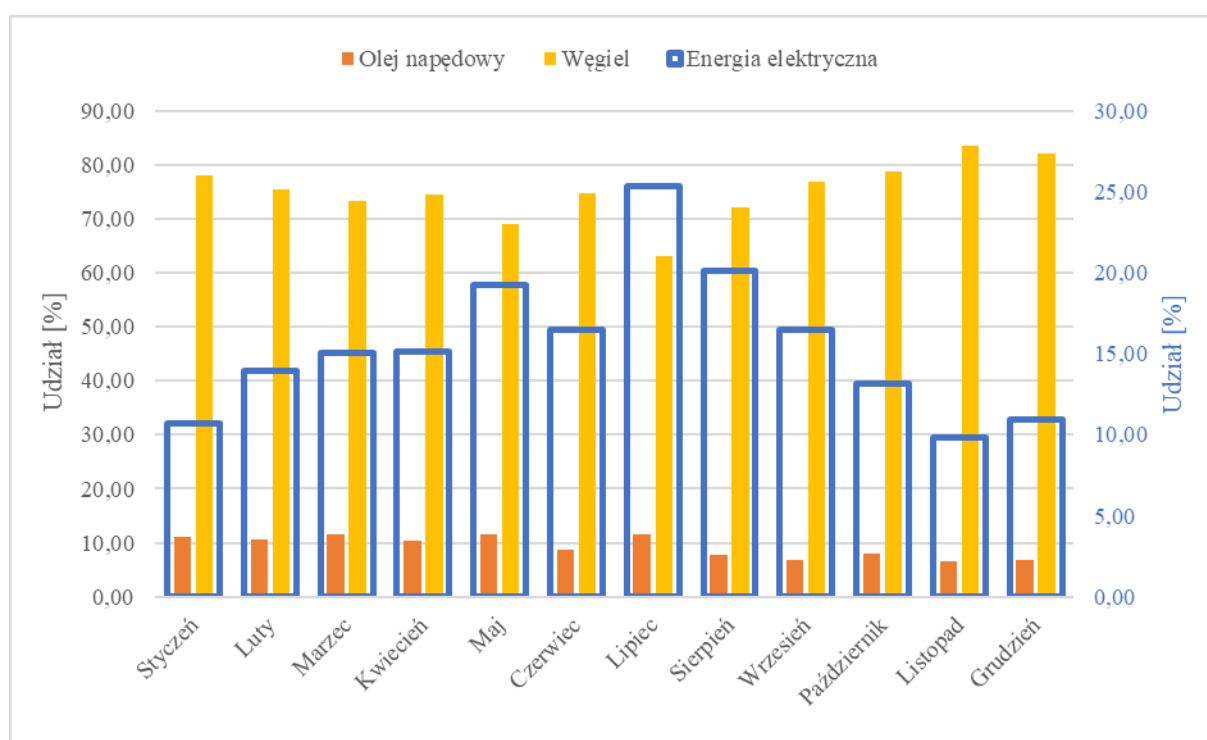
Miesiąc	Produkcja ogółem w kg
styczeń	56 445
luty	52 861
marzec	53 422
kwiecień	51 672
maj	53 445
czerwiec	53 188
lipiec	48 815
sierpień	45 001
wrzesień	43 729
październik	43 907
listopad	42 497
grudzień	41 158
Razem	586 140

Tabela 16. Charakterystyka zużycia nośników energetycznych w zakładzie w 2023 roku

Miesiąc	Energia elektryczna	Węgiel	ON
	kWh	kg	litry
styczeń	9 558	20 000	2 580
luty	9 685	15 000	1 917
marzec	11 449	15 980	2 269
kwiecień	10 643	15 000	1 870
maj	11 313	11 600	1 760
czerwiec	12 554	16 300	1 721
lipiec	14 050	10 000	1 655
sierpień	14 850	15 200	1 472
wrzesień	13 507	18 000	1 413
październik	10 121	17 380	1 589
listopad	8 198	20 000	1 431
grudzień	8 405	18 000	1 348
Razem	134 333	192 460	21 025

Tabela 17. Emisja GHG związana ze zużyciem nośników energetycznych za 2023 rok

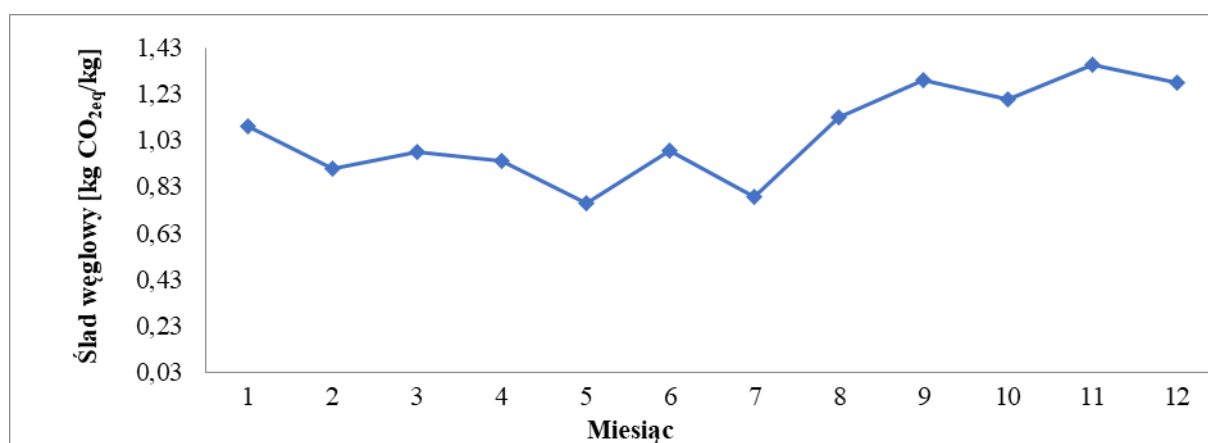
Miesiąc	Energia elektryczna		Węgiel		ON		Suma wszystkich emisji kg CO _{2eq}
	Emisja	Udział	Emisja	Udział	Emisja	Udział	
	kg CO _{2eq}	%	kg CO _{2eq}	%	kg CO _{2eq}	%	
styczeń	6 547	10,67	47 929,60	78,14	6 862,80	11,19	61 339,6
luty	6 634	13,91	35 947,20	75,39	5 099,22	10,69	47 680,6
marzec	7 843	15,03	38 295,75	73,40	6 035,54	11,57	52 173,9
kwiecień	7 290	15,12	35 947,20	74,56	4 974,20	10,32	48 211,9
maj	7 749	19,26	27 799,17	69,10	4 681,60	11,64	40 230,2
czerwiec	8 599	16,46	39 062,62	74,78	4 577,86	8,76	52 240,0
lipiec	9 624	25,33	23 964,80	63,08	4 402,30	11,59	37 991,4
sierpień	10 172	20,14	36 426,50	72,11	3 915,52	7,75	50 514,3
wrzesień	9 252	16,48	43 136,64	76,83	3 758,58	6,69	56 147,5
październik	6 933	13,13	41 650,82	78,87	4 226,74	8,00	52 810,4
listopad	5 616	9,79	47 929,60	83,57	3 806,46	6,64	57 351,7
grudzień	5 757	10,97	43 136,64	82,20	3 585,68	6,83	52 479,7
Razem	92 018	15,11	461 227	75,71	55 927	9,18	609 171



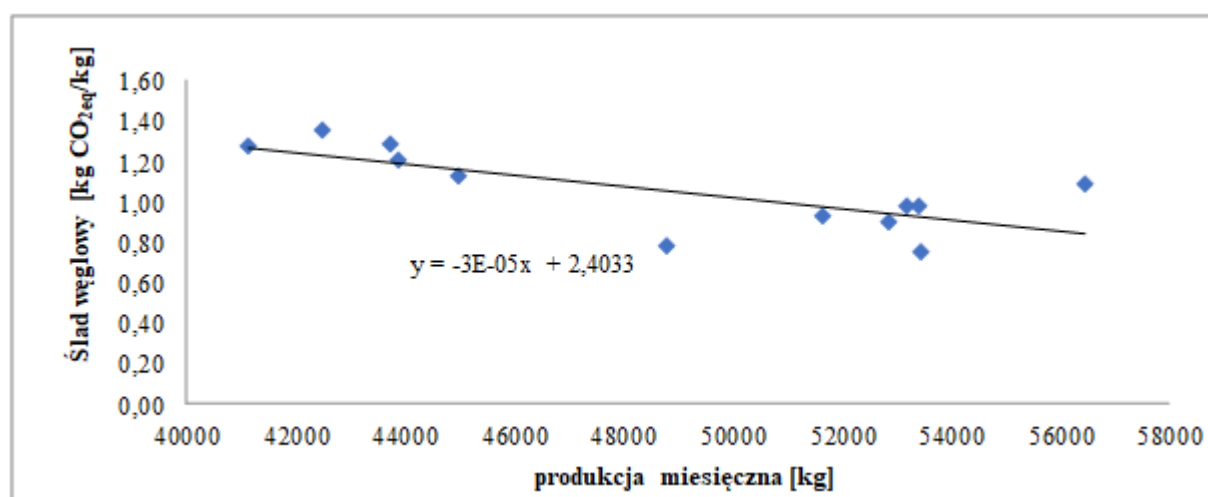
Rys. 26. Miesięczny udział emisji poszczególnych nośników energii dla zakładu w 2023 roku

Tabela 18. Miesięczne wartości śladu węglowego dla zakładu w 2023 roku

Miesiąc	2023 rok
	CF [kg CO _{2eq} /kg]
styczeń	1,0867
luty	0,9020
marzec	0,9766
kwiecień	0,9330
maj	0,7527
czerwiec	0,9822
lipiec	0,7783
sierpień	1,1225
wrzesień	1,2840
październik	1,2028
listopad	1,3496
grudzień	1,2751
CF_{SR}	1,0393



Rys. 27. Miesięczny ślad węglowy dla zakładu w 2023 roku



Rys. 28. Zależność CF od miesięcznej wielkości produkcji dla zakładu w 2023 roku

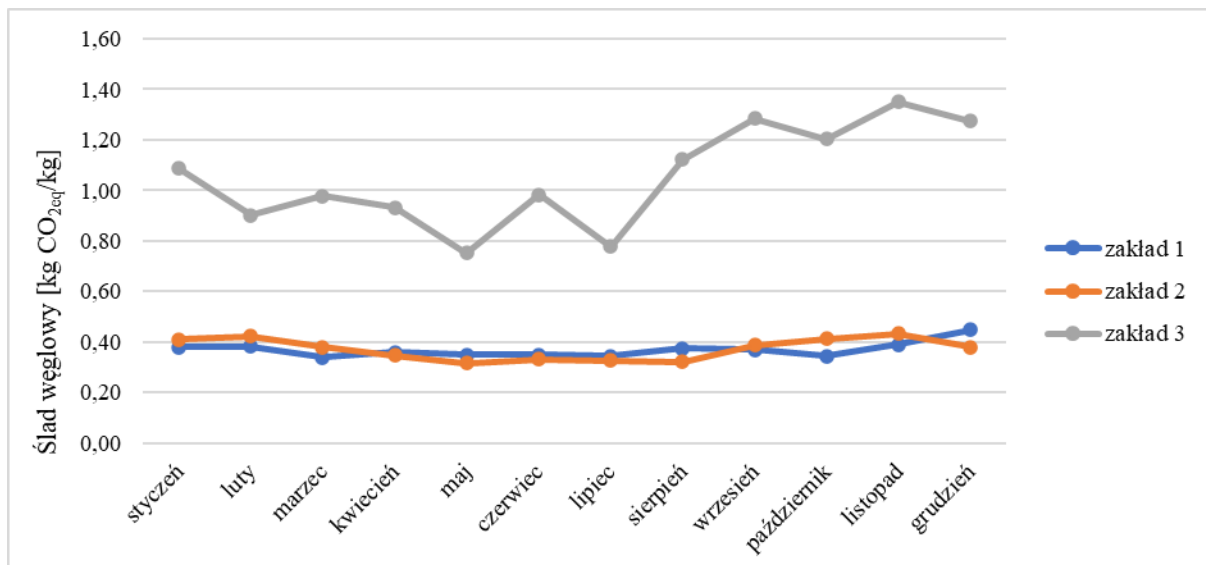
Na podstawie danych zużycia nośników energetycznych (tabela 16) wyliczono emisję GHG oraz określono udział procentowy poszczególnych źródeł (tabela 17) dla zakładu

i przedstawiono to graficznie na rysunku 26. Uwzględniając otrzymane wyniki wyznaczono ślad węglowy dla poszczególnych miesięcy w analizowanym roku (tabela 18). Określony ślad węglowy produkcji w odniesieniu do masy jednostkowej wynosił 0,7527-1,3496 kg CO_{2eq}/kg, a średni CF 1,0393 kg CO_{2eq}/kg. Stwierdzono, zależność między śladem węglowym produkcji CF od pory roku (rys. 27), co oznacza, że w maju wartość jest najniższa, a w listopadzie najwyższa. Ponadto stwierdzono związek między śladem węglowym a miesięczną wielkością produkcji (rys. 28). Wzrost wielkości produkcji miesięcznej o około 27% powoduje obniżenie śladu węglowego o około 17%. Średnie emisje GHG związane z produkcją pochodziły głównie z emisje bezpośrednich GHG ze spalania węgla i wynosiły 75,71% całkowitej emisji. Emisje pośrednie ze zużycie energii elektrycznej stanowiły 15,11% całkowitych emisji, a emisje bezpośrednie z oleju napędowego do transportu samochodowego to 9,18%.

Zakład posiada także urządzenia chłodnicze (13 agregatów, 2 auta chłodnie, regały, szafy i lody chłodnicze) zawierające f-gazy stosowane jako płyn chłodniczy. Urządzenia te mogą stanowić ewentualne źródło emisji gazów o bardzo wysokim wskaźniku GWP. Sumaryczne zagrożenie związane z emisją tych substancji do atmosfery to około 358 000 kg CO_{2eq}. W 2023 roku zdarzyła się awaria techniczna, której skutkiem było uwolnienie się tych substancji do atmosfery. W związku z tym, emisja bezpośrednia z instalacji chłodniczej wyniosła 1 kg czynnika chłodniczego R-404a, co stanowiło 3922 kg CO_{2eq}.

8. Analiza śladów węglowych dla trzech analizowanych zakładów

Przeprowadzono analizę porównawczą zakładów. Na rysunku 29 przedstawiono miesięczny śladem węglowym dla wszystkich analizowanych przedsiębiorstw w 2023 roku, dzięki temu można sformułować następujące wnioski. Zakład 3 (małe przedsiębiorstwo) wykazało stopniowy spadek śladu węglowego na początku roku, osiągając najniższy poziom w maju, po czym nastąpił wzrost od lipca. Całoroczny trend wskazuje na zmienność CF, ale z tendencją do wzrostu pod koniec roku. Zakład 1 i 2 (duże i średnie przedsiębiorstwo) charakteryzowały się stabilnym CF w ciągu roku, z niewielkimi wahaniami i miały najniższe wartości CF spośród wszystkich analizowanych zakładów. Ślad węglowy (zakład 1 i 2) wahał się od 0,32 do 0,45 kg CO_{2eq}/kg w ciągu roku, co wskazuje na stabilne i niskie wartości. Zakład 3 posiadał nieco wyższy CF w porównaniu z zakładem 1 i 2, z wartościami od 0,78 do 1,35 kg CO_{2eq}/kg. Najwyższy poziom CF osiągnięto w miesiącu listopadzie. Podsumowując, dane wskazują na sezonowe zmiany w emisjach, gdzie większe wahania występują głównie w mniejszych przedsiębiorstwach, podczas gdy duże i średnie firmy, utrzymują stabilniejszy i niższy ślad węglowy.

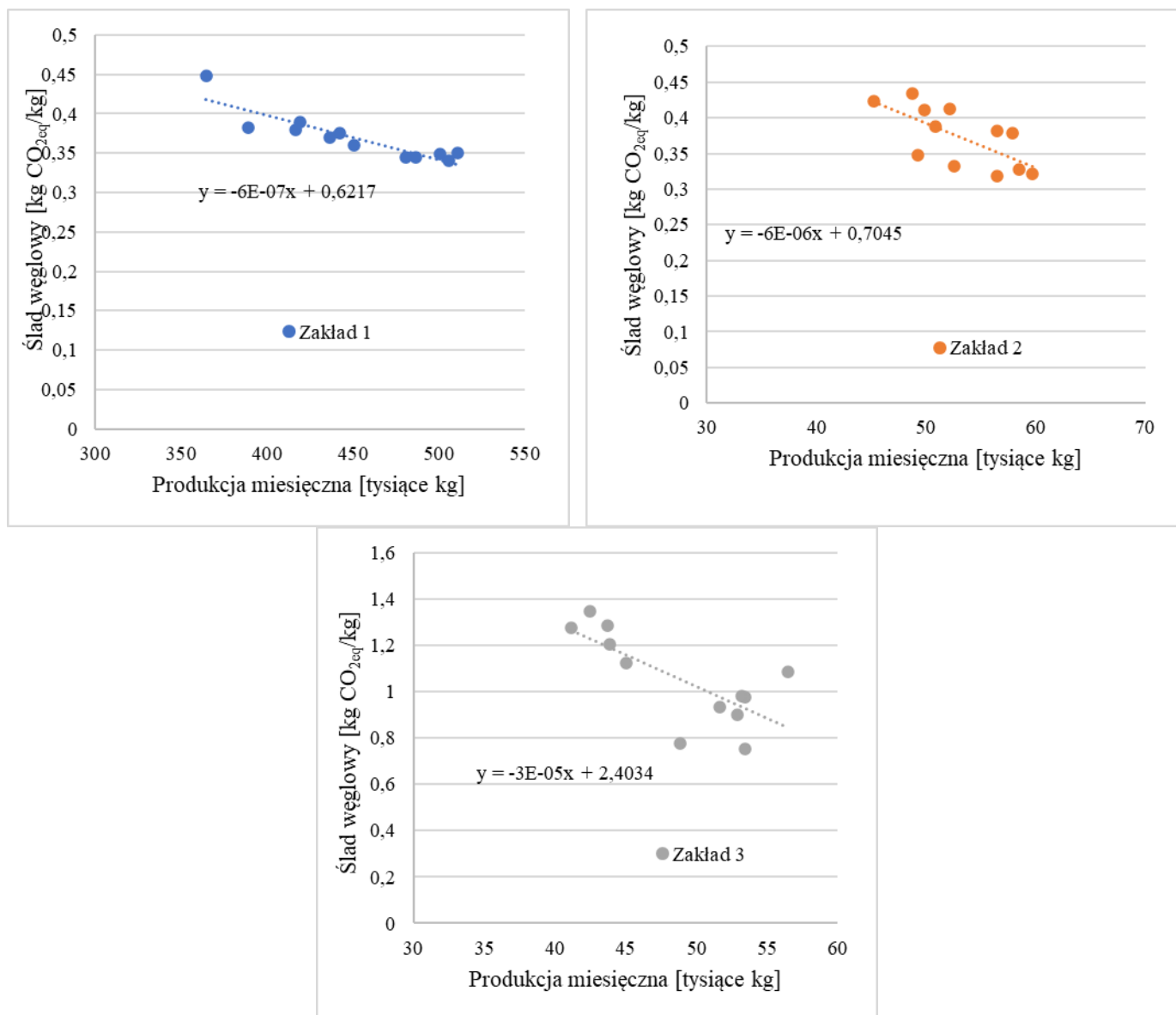


Rys. 29. Ślad węglowy dla wszystkich analizowanych przedsiębiorstw w 2023 roku

Tabela 18. Porównanie wielkości produkcji, emisji GHG i śladu węglowego dla wszystkich danych zakładów

Zakład	2023 rok		
	Wielkość produkcji	Emisja GHG	CF
	kg	kg CO _{2eq}	kg CO _{2eq} /kg
1	5 403 912	1 983 323	0,37
2	637 572	236 317	0,37
3	586 140	609 171	1,04

Na podstawie porównania trzech zakładów (tabela 18) w zakresie wielkości produkcji, emisji gazów cieplarnianych (GHG) oraz śladu węglowego (CF) sformułowano następujące wnioski. Zakład 1 charakteryzuje się największą produkcją (5 403 912 kg), co jest zgodne z oczekiwaniami w stosunku do jego wielkości, natomiast Zakład 3 znacznie mniejszą wielkością produkcji (586 140 kg). Zakład 1 generuje największą emisję (1 983 323 kg CO_{2eq}), podczas gdy Zakład 2 ma stosunkowo niską emisję (236 317 kg CO_{2eq}). Oznacza to, że większa skala produkcji w zakładzie 1 wiąże się z wyższymi emisjami, jednak zakład 3, mimo niskiej produkcji, emituje więcej GHG na jednostkę produkcji niż zakład 2 o podobnej wielkości produkcji. Średni ślad węglowy w badanych zakładach, zależnie od technologii i wielkości zakładu, wynosił od 0,37 kg CO_{2eq}/kg do 1,04 kg CO_{2eq}/kg, co podkreśla potrzebę ujednolicenia standardów. Zakład 1 i 2 posiadają najniższy ślad węglowy na kilogram produkcji (0,37 kg CO_{2eq}/kg), co świadczy o lepszym zarządzaniu mediami energetycznymi i procesami produkcyjnymi w kierunku niskoemisyjności. Natomiast, zakład 3 wykazuje najwyższy CF (1,04 kg CO_{2eq}/kg), co sugeruje, że przy niskiej skali produkcji jest mniej wydajny w kontekście emisji GHG na jednostkę produktu.



Rys. 30. Porównanie wpływu wielkości produkcji na ślad węglowy dla wszystkich badanych zakładów

Planując produkcję w każdym z tych zakładów możemy prognozować ślad węglowy wykorzystując wyznaczone zależności (rys. 30). Zakład 1 charakteryzuje się najlepszym stosunkiem emisji GHG do produkcji, co oznacza, że jego procesy są bardziej ekologiczne i mniej szkodliwe dla środowiska w porównaniu do innych zakładów.

9. Podsumowanie

Produkcja mleka i jego przetworów wiąże się z emisją gazów cieplarnianych. Główne źródła emisji to hodowla zwierząt, transport, przetwórstwo oraz energia zużywana na różnych etapach produkcji. W ramach zadania badania skupiły się na analizie śladu węglowego w zakresie 1 i 2, zawężając zakres analizy do przetwórstwa i transportu, dla różnych mleczarni.

Analiza śladu węglowego wykazała udziały poszczególnych emisji w całym analizowanym zakresie. Ulepszenie procesów produkcji, transportu oraz przechowywania może znacząco zmniejszyć emisję gazów cieplarnianych. Optymalizacja procesów przetwórczych, szczególnie w kontekście zużycia energii, może przyczynić się do redukcji śladu węglowego. Badania potwierdziły konieczność opracowania jednolitych standardów dla pomiaru śladu węglowego. Spójna metodologia umożliwi transparentne i porównywalne wyniki w skali krajowej i międzynarodowej, co jest niezbędne do skutecznej promocji produktów rolno-spożywczych o niskim wpływie na środowisko. Wprowadzenie działań mających na celu zmniejszenie emisji gazów cieplarnianych przyczyni się nie tylko do ochrony środowiska, ale także do obniżenia kosztów operacyjnych zakładów przetwórczych, co może stanowić istotny argument na rzecz zrównoważonego rozwoju przemysłu. Kluczowym elementem redukcji śladu węglowego jest współpraca wszystkich podmiotów w łańcuchu dostaw – od producentów surowców po finalnych odbiorców. Zintegrowane podejście do ograniczania emisji będzie bardziej skuteczne i pozwoli na osiągnięcie celów klimatycznych na poziomie krajowym i unijnym. Wyniki badań mogą służyć jako podstawa do dalszych działań w kierunku gospodarki o obiegu zamkniętym, a także pomóc w promocji polskiej żywności, która w przyszłości może być znakowana śladem węglowym.



**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**

tel. (+48) 42 674 64 14

magdalena.jedrzejewska@ibprs.pl