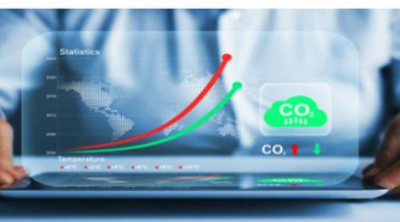




INSTYTUT BIOTECHNOLOGII
PRZEMYSŁU ROLNO-SPOŻYWCZEGO
im. prof. Wacława Dąbrowskiego
PAŃSTWOWY INSTYTUT BADAWCZY

Analiza oraz metodologia pomiaru śladu węglowego dla wybranych technologii i produktów rolno-spożywczych wytwarzanych przez krajowy przemysł spożywczy



Badania realizowane w ramach:

Zadanie 4. Analiza oraz metodologia pomiaru śladu węglowego dla wybranych technologii i produktów rolno-spożywczych wytwarzanych przez krajowy przemysł spożywczy na zlecenie Ministerstwa Rolnictwa i Rozwoju Wsi

Umowa nr DRE.prz.070.2.2023

Opracowanie:

**dr inż. Magdalena Wróbel-Jędrzejewska
mgr inż. Ewelina Włodarczyk
mgr inż. Paweł Kuleta
mgr 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

Lódź, grudzień 2023

ISBN 978-83-963861-9-9

1. WPROWADZENIE

Zachodząca zielona transformacja gospodarcza, wdrażane ambitne plany i strategie klimatyczne wymagają tworzenia i wprowadzenia w przemyśle i rolnictwie nowych rozwiązań w minimalnym stopniu obciążających środowisko naturalne. Wskazanie działań i mechanizmów umożliwiających adaptację rolnictwa i przetwórstwa rolno-spożywczego do zmian klimatu i wdrażania technologii niskoemisyjnych, są istotnymi zagadnieniami znajdującymi swoje umocowanie w dokumentach strategicznych (SZRWRiR, WPR, SOR, F2F, Zielony Ład). Potrzeba opracowania jednolitych standardów metodologii analizy śladu węglowego dla produktów spożywczych wynika również z zapotrzebowania przedsiębiorstw zrzeszonych w Krajowej Grupie Spożywczej S.A., określanej mianem największego państwowego producenta żywności w Polsce, który jest podmiotem o znaczeniu strategicznym również dla bezpieczeństwa żywnościowego w kraju.

Rolnictwo i przemysł rolno-spożywczy wymagają naukowego wsparcia w zakresie wdrażanych zielonych schematów gospodarowania. Tworzone rozwiązania przemysłowe powinny być możliwie obojętne dla środowiska, niskoemisyjne i bezodpadowe. Prowadzone w ramach tej koncepcji badania powinny być ukierunkowane na analizę istniejących procesów technologicznych, identyfikację możliwych do rozwiązania problemów oraz opracowanie nowych rozwiązań technologicznych wpływających istotnie na ślad węglowy produkcji żywności. Gospodarka obiegu zamkniętego to stałe współdziałanie całego łańcucha podmiotów: zaczynając od rolników, producentów żywności, dostawców i sieci handlowych po konsumentów oraz świadome podejmowanie działań na rzecz środowiska. Ochrona środowiska naturalnego poprzez m.in. zmniejszenie emisji gazów cieplarnianych (GHG) to obowiązek producentów żywności. Wielkim wyzwaniem jest sprostanie celom Unii Europejskiej, która chce stać się obszarem neutralnym dla klimatu do 2050 roku. Racjonalne zarządzanie energią w produkcji żywności jest jednym z kluczowych działań w kontekście ograniczenia emisji GHG na terenach rolniczych Polski. Postępujące gwałtowne zmiany klimatu oraz globalne ocieplenie powodują, że energia staje się coraz bardziej newralgicznym punktem produkcji żywności, w całym łańcuch wytwórczym „od pola do stołu”.

Produkcja żywności jest głównym czynnikiem przyczyniającym się do emisji gazów cieplarnianych i utraty bioróżnorodności. Identyfikacja emisji w rolnictwie oraz wskazanie kierunków ich redukcji jest zagadnieniem złożonym. Wszelkie działania muszą być tak ukierunkowane, aby nie zagrażały bezpieczeństwu żywnościowemu. Badania te powinny być prowadzone, gdyż nie ma jednego uniwersalnego rozwiązania, dla wszystkich przypadków, całej gospodarki rolno-przetwórczej, w zależności do warunków regionalnych czy krajowych.

Plan Strategiczny dla WPR wspiera zrównoważony rozwój polskich gospodarstw sektora przetwórstwa oraz poprawę warunków życia i pracy w małych miejscowościach wiejskich. Zrównoważone metody gospodarowania muszą być przyjazne klimatowi i środowisku, realizowane poprzez ochronę wody, gleby i powietrza oraz dbanie o bioróżnorodność. Zgodnie z rezolucją z 20 października 2021 roku Parlamentu Europejskiego w sprawie strategii „od pola do stołu” na rzecz sprawiedliwego, zdrowego i przyjaznego dla środowiska systemu żywnościowego, która wdraża założenia nowej Wspólnej Polityki Rolnej, kładzie się duży nacisk na prowadzenie działań z poszanowaniem środowiska naturalnego, ze szczególnym uwzględnieniem konieczności obniżenia poziomu emisji GHG, w celu dostarczenia żywności charakteryzującej się wysoką jakością. Aby realizować zadania poprawiające efektywność energetyczną nie wystarczy już tylko pomiar parametrów mediów energetycznych, lecz należy w sposób ciągły aktywnie nimi zarządzać. Gospodarka energetyczna w polskim rolnictwie charakteryzuje się nadal nadmiernym zużyciem energii, surowców i materiałów. Dlatego niezwykle istotnym problemem jest racjonalne użytkowanie energii we wszystkich gałęziach gospodarki rolnej.

Wskazanie działań i mechanizmów umożliwiających adaptację rolnictwa i przetwórstwa rolno-spożywczego do zmian klimatu i wdrażania technologii niskoemisyjnych, są istotnymi zagadnieniami znajdującymi swoje umocowanie w następujących dokumentach strategicznych tj.: 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”.

Do oceny takich oddziaływań w zakresie upraw, hodowli, produkcji i dystrybucji żywności można wykorzystać ślad węglowy (CF). Przy analizie CF każdego produktu wymagane jest indywidualne podejście, jednak uwzględniające cykl życia produktu. Ślad węglowy jest jednym z najlepszych i wiarygodnych narzędzi do weryfikacji procesów i ograniczenia emisji GHG w działalności gospodarczej. W analizie CF dopuszcza się również zmniejszenie zakresu np. tylko proces produkcji (cradle to gate), co musi być wyszczególnione w analizie. Tak szeroki zakres wymaga większego nakładu pracy, jednak pozwala w transparentny sposób przedstawić procesy zachodzące w całym cyklu życia.

Policzenie CF nie jest jeszcze obowiązkowe, ale jest coraz powszechniej stosowane wraz z rozwojem założeń gospodarki niskoemisyjnej oraz wprowadzaniem strategii społecznej odpowiedzialności producentów żywności. Kolejnym powodem, dla którego podmioty decydują się na obliczanie CF jest raportowanie wyników poczynionych redukcji emisji. Zgodnie z zasadami zrównoważonego rozwoju oraz z zarządzaniem ryzykiem klimatycznym powinno realizować się działania mające na celu obniżenie ich wpływu na środowisko.

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 prowadzonych prac. 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).

Wyniki prowadzonych prac, w postaci zwięzłego opracowania oraz broszur informacyjnych, zostaną udostępnione krajowym producentom żywności. Analiza śladu węglowego wykorzystana na potrzeby benchmarku krajowych producentów będzie istotnym elementem rozwoju polskiego przemysłu w kierunku gospodarki niskoemisyjnej i energochłonnej. Dodatkowo, wyniki analiz mogą posłużyć do promocji polskiej żywności, znakowanej w przyszłości śladem węglowym. 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, jednocześnie mają znaczenie dla zdrowia publicznego. Spodziewane wyniki mają również wymiar ekonomiczny. Modyfikacja stosowanych technologii oparta o analizę śladu węglowego pozwoli jednocześnie zmaksymalizować efekty ekonomiczne, związane z obniżeniem kosztów eksploatacyjnych, z efektami środowiskowymi i społecznymi, wynikającymi z redukcji zanieczyszczeń.

2. CEL BADANIA:

- określono i opracowano standardów metodologicznych dla pomiaru śladu węglowego (CF) dla wybranego produktu rolno-spożywczego z uwzględnieniem krajowych metod produkcji, pozwalających na uzyskanie jednolitych systemów analizy CF dla określonych produktów.

3. ZAKRES PRAC:

- analiza rynku produktów rolno-spożywczych wytwarzanych przez krajowy przemysł spożywczy; wybór dwóch produktów i analiza procesu jego produkcji (pieczywo, cukier) (*opisane w pierwszej części raportu*),
- identyfikacja procesów jednostkowych w poszczególnych etapach wytwarzania wybranego produktu; identyfikacja i analiza działań związanych z emisją (pośrednią i bezpośrednią) GHG na etapach produkcji (*opisane w pierwszej części raportu*),
- opracowanie metodyki analizy CF dla wybranego produktu uwzględniając: określenie celu i zakresu analizy, jednostki funkcjonalnej oraz granic systemu, analizy zbioru wejść i wyjść; oceny wpływu w całym cyklu życia; porównanie śladu węglowego pomiędzy krajowymi producentami,
- przygotowanie raportu końcowego z badań.

4. MATERIAŁ BADAWCZY

Materiałem badawczym były produkty rolno-spożywcze wytwarzane w krajowych zakładach produkcyjnych (młyny, piekarnie i cukrownie). Prace skupiły się na analizie wybranych produktów (buraki cukrowe, cukier, mąka i pieczywo) przy użyciu kluczowych informacji dostarczonych przez współpracujące zakłady oraz pochodzących z opomiarowania linii produkcyjnych. Przeanalizowano szczegółowo różne etapy wytwarzania, począwszy od wyboru surowców, poprzez proces przetwarzania, aż po uzyskanie gotowego produktu. Dodatkowo, przeanalizowano proces uprawy buraka cukrowego. W ramach badań skupiono się również na aspektach związanych z transportem, obejmując środki transportu, warunki przechowywania oraz praktyki mające na celu ochronę jakości produktu w trakcie przemieszczania się w łańcuchu dostaw. Współpraca z zakładami produkcyjnymi umożliwiła dokładne spojrzenie na wewnętrzne procesy oraz zrozumienie środków podejmowanych przez firmy w celu utrzymania wysokich standardów jakości. Analiza danych skupiła się również na identyfikacji obszarów, w których możliwa jest optymalizacja lub wprowadzenie ulepszeń w celu zwiększenia wydajności procesów produkcji i logistyki. Zakres prac obejmował analizę

procesów technologicznych oraz przygotowanie diagramów procesów jednostkowych w cyklu produkcyjnym. Po scharakteryzowaniu procesów technologicznych określono zakresy pomiarowe śladu węglowego, jednostkę funkcjonalną oraz granice systemu pomiarowego. Przeprowadzono także analizę wejść i wyjść w określonym zakresie oraz w całym cyklu życia produktu. Opracowano metodę obliczania śladu węglowego procesu, uwzględniając składniki cyklu życia. Dodatkowo, zaplanowano koncepcję pomiaru i gromadzenia odpowiednich danych dotyczących m.in. emisyjności, produkcji. Na tej podstawie utworzono bazę danych do obliczeń śladu węglowego w zależności od wielkości produkcji.

5. METODYKA SZACOWANIA ŚLADU WĘGLOWEGO

Śladem węglowym (*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, sześćiofluorek 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 CO_{2eq}.

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:

- bezpośrednie 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.

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

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

gdzie:

CO_{2eq} – 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_{2eq} /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:

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

gdzie:

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

$(CO_{2eq})_i$ – wielkość emisji bezpośredniej z i -tego źródła wyrażona w ekwiwalentnej ilości CO_2 [kg CO_{2eq} /kg produktu],

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

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

gazy cieplarniane GHG	Wartość GWP [kg CO_{2eq} /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.

5.1. ANALIZA ŚLADU WĘGLOWEGO WYBRANYCH PRODUKTÓW ROLNO - SPOŻYWCZYCH NA ŚWIECIE

Przeanalizowano etapy produkcji, surowce wykorzystywane w procesach oraz rodzaje emisji generowanych w trakcie tych procesów. Określono aspekty procesów przetwórczych, które mają największy wpływ na środowisko i jakie emisje odgrywają kluczową rolę w całym łańcuchu produkcji.

5.1.1. Analiza ślady węglowej uprawy buraka cukrowego i produkcji cukru

Ślad węglowy uprawy buraka cukrowego, podobnie jak w przypadku innych upraw rolniczych, zależy od wielu czynników, takich jak metody uprawy, stosowane nawozy, zużycie energii i wody, transport, a także zarządzanie odpadami. Dokładne obliczenie śladu węglowego uprawy buraków cukrowych wymaga analizy wielu czynników i może różnić się w zależności od konkretnych warunków uprawy. Oto kilka kluczowych elementów, które wpływają na ślad węglowy uprawy buraka cukrowego:

- uprawa i pielęgnacja - efektywna uprawa buraków cukrowych wymaga energii, paliw i maszyn rolniczych. Zastosowanie technik uprawy bezpośredniej może pomóc w ograniczeniu emisji dwutlenku węgla związanych z orką i przygotowaniem gleby,
- zużycie nawozów - stosowanie nawozów sztucznych, które są wytwarzane z procesów, które wiążą się z emisją gazów cieplarnianych, może wpłynąć na ślad węglowy. Optymalizacja stosowania nawozów i stosowanie nawozów organicznych może pomóc w ograniczeniu emisji,
- pestycydy - nadmierne stosowanie pestycydów może wpływać na środowisko i wpływać na ślad węglowy produkcji buraków cukrowych.

Emisje gazów cieplarnianych (GHG) związane z uprawą buraka cukrowego wchodzą głównie w zakres 1 i zakres 3 protokołu bilansowania gazów cieplarnianych, ale również zakres 2 może mieć pewien wpływ, szczególnie w przypadku wykorzystania energii elektrycznej w trakcie procesu produkcji.

➤ zakres 1 (emisje bezpośrednie)

W zakresie 1 emisji GHG w uprawie buraka cukrowego znajdują się bezpośrednio emisje wynikające z działalności rolniczej. Przykłady to:

- emisje związane z użyciem paliw kopalnych do pracy maszyn rolniczych, takich jak ciągniki, kombajny, itp.
- emisje związane z procesami glebowymi, takie jak orka, a także emisje ze spalania resztek poźniwnych (np. palenie resztek roślinnych na polach).

➤ zakres 2 (emisje bezpośrednie i pośrednie)

W przypadku zakresu 2 emisji GHG, emisje wynikające z zastosowania nawozów azotowych, które mogą powodować emisje dwutlenku azotu (N₂O), silnie działającego jako gaz cieplarniany.

➤ zakres 3 (pozostałe pośrednie emisje): W zakresie 3 emisji GHG związane z uprawą buraka cukrowego mogą być bardziej istotne. Przykłady to:

- emisje wynikające z produkcji i dostarczania nawozów, które są wykorzystywane w uprawie buraków,
- emisje powstałe podczas transportu buraków cukrowych z pól do cukrowni.

Przykładowe emisje gazów cieplarnianych zidentyfikowane przy uprawie buraka zostały wymienione i opisane w tabeli 2. Konieczność dążenia do praktyk zrównoważonej uprawy, które minimalizują negatywny wpływ na środowisko. Skupienie się na efektywnym wykorzystaniu zasobów, stosowaniu metod rolnictwa zrównoważonego oraz ochronie bioróżnorodności mogą przyczynić się do zmniejszenia śladu węglowego uprawy buraka cukrowego. Badania i monitorowanie emisji GHG w uprawie buraka cukrowego są kluczowe, aby zidentyfikować obszary, w których można wprowadzić zmiany w celu zmniejszenia wpływu na środowisko naturalne.

Tabela 2. Emisje GHG związane z uprawą buraka

Emisje bezpośrednie (CO ₂ , CH ₄ , N ₂ O)	Emisje bezpośrednie i pośrednie	Emisje pośrednie (wyrażone w ekwiwalencie CO ₂)
emisje wytwarzane w trakcie: spalania paliw przez ciągniki i maszyny samobieżne biorące udział we wszystkich operacjach technologicznych uprawy,	emisje związane z N ₂ O z pól z uprawą w wyniku stosowania nawozów mineralnych	związane z produkcją nawozów mineralnych, pestycydów, wykorzystaniem energii elektrycznej oraz ciągników i maszyn rolniczych
Do obliczeń emisji gazów cieplarnianych generowanych przy spalaniu paliwa przez ciągniki w trakcie prac polowych wykorzystano współczynniki emisji dla różnego rodzaju paliw i technologii przetwarzania energii (silników) podane w EMEP/CORINAIR (2013).	Emisje bezpośrednie i pośrednie N ₂ O związane ze stosowaniem nawozów mineralnych obliczono na podstawie metodologii IPCC i EMEP/CORINAIR.	Wielkość emisji przypisaną etapowi produkcji nawozów mineralnych i dystrybucji obliczono na podstawie ilości stosowanych nawozów oraz współczynników emisji. Według źródeł literaturowych wynosiły one odpowiednio: 2,792 kg CO _{2eq} kg ⁻¹ N, 0,738 kg CO _{2eq} kg ⁻¹ P ₂ O ₅ i 0,352 kg CO _{2eq} kg ⁻¹ K ₂ O (GHGenius, 2010).

Ślad węglowy produkcji cukru, znany również jako emisje gazów cieplarnianych związane z produkcją cukru, odnosi się do ilości dwutlenku węgla (CO_{2eq}) i innych gazów cieplarnianych emitowanych w trakcie całego cyklu życia cukru, począwszy od uprawy surowców aż do produkcji i dystrybucji gotowego produktu.

Ślad węglowy produkcji cukru jest wynikiem różnych etapów produkcji, w tym:

- transport - emisje gazów cieplarnianych powstają w wyniku transportu surowców z pól do cukrowni oraz gotowego cukru do odbiorców,

- przetwarzanie - etapy przetwarzania, takie jak ekstrakcja soku, oczyszczanie, krystalizacja i suszenie, wymagają energii, co może przyczynić się do emisji gazów cieplarnianych,
- pakowanie, dystrybucja - etapy pakowania i transportu gotowego cukru do punktów sprzedaży również wpływają na całkowity ślad węglowy.

Redukcja śladu węglowego cukru może być osiągnięta poprzez wprowadzenie bardziej zrównoważonych praktyk uprawy, optymalizację procesów produkcji, zastosowanie odnawialnych źródeł energii, optymalizację transportu i zmniejszenie odpadów.

Warto zauważyć, że rzeczywisty ślad węglowy cukru może się różnić w zależności od metod produkcji, technologii i lokalizacji. Aby dokładnie określić i ocenić ślad węglowy produkcji cukru, przemysł cukrowniczy stosuje analizy cyklu życia (LCA - Life Cycle Assessment), które uwzględniają wszystkie etapy produkcji. Dzięki takiej analizie możliwe jest określenie kluczowych obszarów, które wymagają poprawy w celu zmniejszenia wpływu na środowisko i zmniejszenia emisji gazów cieplarnianych. Na podstawie danych literaturowych przeanalizowano metodyki analizy śladu węglowego dla produkcji cukru trzcinowego (tabela 3). Wyniki badań wskazują, że emisje gazów cieplarnianych z cukru trzcinowego mogą znacząco się różnić w zależności od regionu i innych czynników. A także od przyjętego zakresu analizy i rodzaju produkcji. Według Fishera CF cukru trzcinowego wynosił od 217 do 1121 g CO_{2eq} na kg cukru, co oznacza znaczną zmienność w procesach produkcji. W ramach badań opracowano model matematyczny, który pozwolił na lepsze zrozumienie procesu produkcji cukru i jego wpływu na emisje gazów cieplarnianych. Taki model może być użyteczny do prognozowania emisji w różnych scenariuszach i do optymalizacji produkcji. Przeprowadzono analizę przy użyciu dwóch różnych metod, tj. Monte Carlo i Bonsucro. To sugeruje, że uwzględniono różne aspekty emisji w produkcji cukru i kompleksowe podejście do oceny wpływu.

Tabela 3. Zestawienie różnych analiz szacowania CF produkcji cukru trzcinowego

Charakterystyka badań	Wartość CF	Czynniki wpływu na CF	*
<ul style="list-style-type: none"> - uwzględniono potencjalną globalną zmienność CF cukru trzcinowego - zbadano kluczowe czynniki wpływające na zmienność CF - zbudowano model matematyczny przedstawiający produkcję cukru z pola na rynek - kluczowe wartości wejściowe zostały zastąpione zakresami - przeprowadzono analizę dwiema metodami (Monte Carlo oraz Bonsucro) 	CF cukru surowego (zakres od pola do bramy) wynosił 217 - 809 g CO _{2eq} na kg	<ul style="list-style-type: none"> - kraj pochodzenia - metody uprawy - produkcja/eksport energii i efektywność energetyczna procesów 	[1]
	CF cukru białego i transport na lokalny rynek wynosił 100-150 g CO _{2eq} /kg	<ul style="list-style-type: none"> - transport - przetwarzanie 	
	CF cukru rafinowanego wynosił 329 - 1121 g CO _{2eq} /kg	<ul style="list-style-type: none"> - zwiększonego zużycia paliw kopalnych - efektywność energetyczna procesu 	
<ul style="list-style-type: none"> - zbadano CF cukru produkowanego we wschodniej Tajlandii - CF oszacowano na podstawie emisji gazów cieplarnianych (CO₂, CH₄ i N₂O) podczas procesu uprawy i mielenia trzciny cukrowej - dane dotyczące wykorzystania paliw kopalnych, nawozów chemicznych i organicznych oraz biomasy trzciny cukrowej podczas uprawy - uwzględniono emisje z cukrowni, wykorzystanie paliw kopalnych i emisje gazów cieplarnianych z oczyszczania ścieków 	CF produkcji cukru wynosił 0,55 kg CO _{2eq} / kg	<ul style="list-style-type: none"> - uprawa trzciny cukrowej - proces mielenia 	[2]
	CF uprawy trzciny cukrowej 0,49 kg CO _{2eq} / kg; CF procesu mielenia 0,06 kg CO _{2eq} / kg	<ul style="list-style-type: none"> - nawozów - rodzaju paliw kopalnych - spalania biomasy 	
<ul style="list-style-type: none"> - określono praktyki dotyczących produkcji cukru niskoemisyjnego poprzez ocenę śladu węglowego cukru produkowanego w czterech cukrowniach w Meksyku przy użyciu metody oceny cyklu życia - granice systemu obejmowały praktyki rolne, zbiór trzciny cukrowej, mielenie trzciny cukrowej i przetwarzanie cukru 	CF produkcji cukru 0,45–0,63 kg CO _{2eq} /kg	<ul style="list-style-type: none"> - rolnictwo - odpowiada za emisji dwutlenku węgla w 59–74%) (emisji gazów cieplarnianych na etapie rolnictwa pochodziła z produkcji nawozów, emisji podtlenku azotu (N₂O) i spalania biomasy) - etap produkcji - przyczynił się do 14–30% całkowitej emisji gazów cieplarnianych (głównie z powodu stosowania paliw kopalnych) 	[3]

* **Literatura**

[1] Fisher, J.; The variability and drivers of the carbon footprint of cane sugar; International Sugar Journal; ISSN 0020-8841; 2013

[2] Yuttitham M., Gheewala S.H., Chidthaisong A. Carbon footprint of sugar produced from sugarcane in eastern Thailand. Journal of Cleaner Production, 2011, 19, 17–18, 2119-2127. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2011.07.017>

[3] García, C. A., García-Treviño, E. S., Aguilar-Rivera, N., Armendáriz, C., 2016. Carbon footprint of sugar production in Mexico. J. Clean. Prod. 112, 4, 263–264. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.09.113>

Yuttitham i in. przeprowadzali ocenę śladu węglowego cukru produkowanego we wschodniej Tajlandii. CF został oszacowany na podstawie emisji gazów cieplarnianych, które występują podczas procesu uprawy i mielenia trzciny cukrowej. W badaniach uwzględniono

następujące czynniki wpływające na CF produkcji cukru, uprawa trzciny cukrowej, gdzie CF wynosił 0,49 kg CO_{2eq}/kg trzciny cukrowej i proces mielenia trzciny cukrowej, który 0,06 kg CO_{2eq}/kg cukru wyprodukowanego. Ponadto, uwzględniono emisje związane z używaniem nawozów chemicznych, rodzajem paliw kopalnych wykorzystywanych w procesie produkcji, a także spalaniem biomasy trzciny cukrowej podczas uprawy. Wszystkie te czynniki wpłynęły na ogólny CF produkcji cukru we wschodniej Tajlandii, który wynosił 0,55 kg CO_{2eq}/kg.

Przeprowadzono badania w celu oceny praktyk związanych z produkcją niskoemisyjnego cukru poprzez analizę śladu węglowego cukru w czterech cukrowniach w Meksyku. Analiza objęła cały cykl życia produkcji cukru, włączając praktyki rolne, zbiór trzciny cukrowej, mielenie trzciny cukrowej i przetwarzanie cukru [García i in., 2016]. Ślad węglowy produkcji cukru w badanych cukrowniach wynosił od 0,45 do 0,63 kg CO_{2eq}/kg. Największa część emisji gazów cieplarnianych w całym cyklu życia produkcji cukru (59-74%) pochodziła z sektora rolniczego. Emisje te były wynikiem produkcji nawozów, emisji podtlenku azotu (N₂O) i spalania biomasy. Oznacza to, że istnieje znaczący potencjał do redukcji emisji gazów cieplarnianych poprzez usprawnienie praktyk rolniczych. Etap produkcji cukru przyczynił się do 14-30% całkowitej emisji gazów cieplarnianych. Głównymi źródłami emisji w tym etapie były stosowanie paliw kopalnych. Możliwe jest zastosowanie bardziej zrównoważonych źródeł energii i efektywniejszych technologii w celu zmniejszenia emisji w tej fazie produkcji.

Badania skoncentrowały się na zidentyfikowaniu kluczowych czynników wpływających na emisje. To może pomóc producentom cukru w podejmowaniu działań mających na celu redukcję emisji, poprzez bardziej zrównoważone metody uprawy, bardziej efektywną produkcję energii i inne działania.

5.1.2. Analiza śladu węglowego uprawy zbóż i produkcji mąki

Na ślad środowiskowy młynarstwa największy wpływ ma produkcja zbóż. Ślad węglowy, podzbiór danych z oceny cyklu życia (LCA), jest wykorzystywany do ilościowego określenia wpływu emisji gazów cieplarnianych (GHG). Dla młynarzy uprawa pszenicy jest punktem w łańcuchu przetwórstwa o największym wpływie na środowisko, a co oznacza największy potencjał optymalizacji. Na podstawie oceny "od kołyski do bramy" jednej tony mąki stwierdzono, że uprawa pszenicy ma największy udział w śladzie środowiskowym mąki pszennej (ponad 60%). Mąka pszenna stanowi około 20% śladu środowiskowego produkcji chleba. Ślad węglowy (CF) jednej tony mąki jest obliczany jako suma danych inwentaryzacyjnych związanych z uprawą pszenicy, transportem, przetwarzaniem w młynie i dostawą do klienta. Jednakże mielenie jest tylko pierwszym etapem przetwarzania, a pszenica

jest surowcem. W związku z tym, aby uwzględnić CF produkcji chleba, należy wziąć pod uwagę wszystkie etapy aż do przetwarzania wtórnego (proces pieczenia). Na podstawie oceny produkcji chleba "od pola do stołu" stwierdzono, że produkcja pszenicy i proces pieczenia mają największy udział w śladzie węglowym w całym łańcuchu dostaw, wynoszącym około 80%. Obliczanie CF produktów jest skomplikowanym procesem, który wymaga bardzo szczegółowego podejścia. Ważne jest, aby stosować spójną metodologię w celu zapewnienia dokładnych, wiarygodnych wyników, które można porównać z innymi organizacjami lub produktami. W przypadku sektora młynarskiego najbardziej odpowiednim podejściem jest zastosowanie metody fizycznej alokacji zgodnie z normą ISO 14044 (<https://www.flourmillers.eu/page/carbon-footprinting/>).

Ślad węglowy produkcji mąki zależy od wielu czynników, w tym od rodzaju uprawy zbóż, sposobu przetwarzania, zużycia energii i transportu. Zasadniczo, produkcja mąki generuje emisje gazów cieplarnianych, takie jak dwutlenek węgla (CO₂) i metan (CH₄), choć ilość tych emisji może być zróżnicowana w zależności od kilku czynników. Główne czynniki wpływające na ślad węglowy produkcji mąki to rodzaj uprawy i rolnictwo. Uprawa zbóż jest pierwszym etapem produkcji mąki. Rodzaj uprawy, zastosowane praktyki rolnicze (takie jak stosowanie nawozów i pestycydów) oraz zarządzanie glebą mają wpływ na ilość emisji gazów cieplarnianych. Uprawy ekologiczne mogą generować mniejsze emisje w porównaniu do konwencjonalnych praktyk rolniczych. Kolejnym ważnym czynnikiem jest proces młócenia, suszenia i czyszczenia ziaren, który wymaga nakładów energii. Wykorzystanie energii pochodzącej z paliw kopalnych, takich jak węgiel lub gaz ziemny, może znacząco zwiększyć ślad węglowy produkcji mąki. Młyny korzystające z energii odnawialnej lub bardziej efektywnych źródeł mogą ograniczyć emisje. Transport ziaren do młynów i mąki do odbiorców końcowych ma wpływ na ślad węglowy. Długi transport może generować większe emisje, zwłaszcza jeśli korzysta się z pojazdów o niskiej efektywności paliwowej. Wykorzystanie zaawansowanych i efektywnych technologii podczas procesu młócenia i przetwarzania może zmniejszyć straty energii i zwiększyć wydajność, co może wpłynąć na obniżenie emisji gazów cieplarnianych. Zarządzanie odpadami w procesie produkcji mąki ma znaczenie. Niekontrolowane rozkładanie odpadów organicznych może generować emisje metanu, który jest silnym gazem cieplarnianym. Nowoczesne młyny o wyższej wydajności mogą przetwarzać ziarna bardziej efektywnie, co może ograniczyć zużycie energii na jednostkę mąki.

Przykładowa wartość śladu węglowego produkcji mąki wynosi 0,65 kg CO_{2eq} /kg. (<https://www.healabel.com/flour/>). Według innych źródeł literaturowych (<https://apps.carboncloud.com/climatehub/product-reports/id/9017061954>) CF mąki wynosi

0,78 kg CO_{2eq}/kg, gdzie jego składowe pochodzą z rolnictwa (97%), transportu (2%) i przetwarzania (1%). W celu zmniejszenia śladu węglowego produkcji mąki, przemysł młynarski może dążyć do zastosowania bardziej zrównoważonych praktyk, takich jak korzystanie z odnawialnych źródeł energii, optymalizacja transportu i minimalizacja strat w procesie produkcji. Działania te pomagają zmniejszyć emisje gazów cieplarnianych i przyczynić się do bardziej ekologicznej produkcji mąki.

5.1.3. Analiza śladu węglowego produkcji pieczywa

Ślad węglowy produkcji pieczywa jest wynikiem wielu czynników i procesów, które mają miejsce na różnych etapach produkcji, od uprawy zbóż po wypiek pieczywa. Produkcja samego pieczywa czyli wypiek wymaga dużych nakładów energetycznych. Piekarnictwo korzystające z energii odnawialnej lub bardziej efektywnych źródeł energii może ograniczyć emisje gazów cieplarnianych. Transport składników w przypadku pieczywa zawierającego różne składniki, takie jak pestki, owoce, czy przyprawy, ślad węglowy zwiększa się w wyniku transportu tych składników do piekarni. Opakowania pieczywa, takie jak torebki papierowe lub plastikowe, mają wpływ na ślad węglowy. Materiały opakowaniowe i ich produkcja oraz transport również generują emisje. Zarządzanie odpadami z produkcji pieczywa jest istotne. Składowanie pieczywa i jego dystrybucja do sklepów oraz punktów sprzedaży ma wpływ na ślad węglowy. Efektywny transport i magazynowanie mogą pomóc ograniczyć emisje.

W celu obniżenia śladu węglowego produkcji pieczywa, przemysł piekarski może dążyć do zrównoważonych praktyk, takich jak korzystanie z odnawialnych źródeł energii, optymalizacja transportu, minimalizacja strat w procesie produkcji i recykling opakowań. Działania te przyczyniają się do bardziej ekologicznej produkcji pieczywa, co jest istotne w kontekście walki z zmianami klimatycznymi. Na podstawie danych literaturowych przeanalizowano metodyki analizy śladu węglowego dla produkcji pieczywa (tabela 4). Identyfikację udziału poszczególnych procesów jednostkowych w emisji GHG przedstawiono w tabeli 5. Największe emisje związane są z wytworzeniem surowców oraz produkcją pieczywa.

Tabela 4. Zestawienie różnych analiz szacowania CF produkcji pieczywa

Charakterystyka badań	Wartość CF	Czynniki wpływu na CF	*
- uwzględniono surowce, opakowania, transport, przetwarzanie, odpady, zużycie zasobów	CF dla białego chleba kanapkowego wynosił 0,5951 kg CO _{2eq} na 800g jednostki funkcjonalnej	kraj pochodzenia pszenicy, produkcja/eksport energii i efektywność energetyczna procesów	[1]
- zbadano CF chleba żytniego produkowanego w Danii - stwierdzono, że w cyklu życia chleba dominują emisje gazów cieplarnianych z etapu surowcowego, co odpowiada za 412 g CO _{2eq} .	CF dla 1 kg chleba żytniego wynosi 731 g CO _{2eq}	oszacowano ślad węglowy, biorąc pod uwagę łańcuch dostaw dla piekarni	[2]
szacowanie śladu węglowego metodyką PAS 2050. Wyniki zostały również obliczone zgodnie z metodologią ISO 14044	wyniki dotyczące CF mieściły się w zakresie od 977 do 1,244 g CO _{2eq} na bochenek chleba	oszacowano ślad węglowy chleba produkowanego i spożywanego w Wielkiej Brytanii przeanalizowano wpływ kraju pochodzenia pszenicy (Wielka Brytania, Kanada, Francja, Niemcy, Hiszpania i USA)	[3]

***Literatura**

[1] <https://bakingbiscuit.com/strategies-to-improve-sustainability-credentials-in-bakery/>

[2] Jensen J. K., Arlbjørn J. S., Product carbon footprint of rye bread, Journal of Cleaner Production, Volume 82, 2014, Pages 45-57, ISSN 0959-6526, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.06.061>.

[3] Espinoza-Orias N., Stichnothe H., Azapagic A. 2011. The carbon footprint of bread. Int. J. Life Cycle Assess, 16, 351–365. <https://link.springer.com/article/10.1007/s11367-011-0271-0>

Tabela 5. Emisje gazów cieplarnianych w cyklu życia białego chleba kanapkowego (Wiltshire i in., 2008; Tucker i in., 2010)

	CF[kg CO _{2eq} /800 g]	Udział [%]	Szczegóły analizy
Surowy materiał	0,3972	66,7	Dominują emisje pszenicy z N ₂ O i CH ₄ . Zawiera drobne surowce.
Opakowania	0,0323	5,4	Obliczono dla jednorazowego worka polietylenowego.
Transport	0,0038	0,6	Transport drogowy surowców, opakowań i odpadów.
Przetwarzanie	0,1601	27,0	Dominuje użycie gazu podczas pieczenia.
Odpady	0,0014	0,2	Odpady ciasta i chleba trafiają na paszę dla zwierząt, część na wysypisko.
Zasoby	0,0003	0,1	Emisje związane ze zużyciem wody są bardzo niskie w przypadku działalności piekarniczej.
Całkowity	0,5951	100,0	

Znaczny wpływ na środowisko naturalne ze względu na dużą energochłonność stosowanych procesów jednostkowych ma produkcja pieczywa. Zmiana klimatu szybko staje się poważnym problemem, który w coraz większym stopniu będzie wymagał uwagi producentów pieczywa. Oszacowanie emisji gazów cieplarnianych w produkcji pieczywa, za pomocą wskaźnika zwanego śladem węglowym, jest istotną częścią każdego badania zrównoważonego rozwoju. Procedura szacowania określa zapotrzebowanie na energię,

uwzględniając zarówno efekty bezpośrednie, głównie zużycie energii, jak i efekty pośrednie, które obejmują energię zużywaną w innych procesach.

Główne problemy to niepewność co do emisji związanych z produkcją pieczywa to sposób, w jaki emisje są przydzielane do produktów ubocznych. Procedura obliczeniowa szacuje emisje gazów cieplarnianych od pola do bramy, może być wykorzystana do istniejącej operacji lub przy projektowaniu nowych linii technologicznych, aby pomóc w dokonywaniu dobrych wyborów dotyczących zrównoważonego rozwoju.

6. WYNIKI BADAŃ

6.1 BADANIA I ANALIZA CF PRODUKCJI MĄKI

Przeprowadzono analizę produkcji mąki dla czterech krajowych zakładów przetwórstwa zbóż 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 2022 i 2023 rok. Na podstawie uzyskanych danych przeprowadzono badania śladu węglowego wytwarzania mąki. Poniżej zaprezentowano uzyskane dane dotyczące procesów produkcji mąki w analizowanych obiektach.

6.1.1 Analiza zakładu nr 1

Zakład ten charakteryzuje się produkcją następującego asortymentu: mąk pszennych, otrębów pszennych paszowych, zarodków pszennych paszowych. Przeanalizowano proces produkcji w zakładzie i składał się z wielu etapów. W tabeli 6 przedstawiono procesy jednostkowe wraz z zastosowanymi urządzeniami.

Tabela 6. Zastosowane urządzenia w etapach procesu technologicznego produkcji mąki dla zakładu 1

Etapy procesu	Urządzenia
transport zboża	redler, ślimaki, podnośniki
czyszczenie zboża	combi, tryjer, maszyna szorująca, tarar
badanie zboża	myfd
namaczanie zboża	zamoczka
rozmienienie zboża	mlewniki
transport mąki	dmuchawy, ślimaki
segregacja młewa	odsiewacze, wialnie kaszkowe
oddzielenie otrębów od mąki	rzutniki otrębowe
aspiracja młyna i transport pneumatyczny	filtrocyclony
sterylizacja mąki	matadory
oczyszczanie mąki	przesiewacze

Ziarna, które są dostarczane do młyna najpierw poddaje się rygorystycznej ocenie w laboratorium. Próbkę trafiają do laboratorium i podlegają analizie na obecność szkodników, ocenie organoleptycznej oraz analizie fizyko-chemicznej. Pozytywnie oceniona dostawa jest przyjmowana do elewatora zbożowego. Po zsypaniu surowca z naczepy zboże trafia do wstępnego czyszczenia, gdzie przechodząc przez wialnię bębnową jest wstępnie oczyszczane z większych zanieczyszczeń typu kamienie, plewy, piasek, szkło. Następnie ziarno trafia do komory elewatora, gdzie jest składowane. Podczas przekazania ziarna do elewatora przymłyńskiego surowiec ponownie przechodzi przez wialnię bębnową. W elewatorze przymłyńskim następuje odzielenie zanieczyszczeń lekkich przy użyciu wentylatora aspiracyjnego. Z elewatora przymłyńskiego pszenica jest przekazywana do młyna, gdzie następuje czyszczenie zasadnicze zwane czyszczenie czarne. W tym urządzeniu ziarno przechodzi przez zespół sit, na których następuje odseparowanie ziarna od zanieczyszczeń, w tym ewentualnych szkodników. Dodatkowo strumień powietrza usuwa zanieczyszczenia lekkie. Następnie ziarno przechodzi przez tryjer. W urządzeniu tym następuje oddzielenie ziarna od obcych nasion, lub ziaren uszkodzonych. Dalszy etap to nawilżanie ziarna do wilgotności ok. 16,0-16,5% i kondycjonowanie przez ok. 20-24 godz. Po kondycjonowaniu następuje czyszczenie białe, które odbywa się w maszynie szorującej. Etap ten polega na oczyszczaniu ziarna z pyłu, piasku, łuski oraz wydzielaniu zanieczyszczeń organicznych w tym potencjalnie szkodników oraz jaj, a ponadto do obniżania mikro-flory bakteryjnej. W dalszej kolejności ziarno trafia do przemiału. Jest to wieloetapowy proces, w wyniku którego powstają półprodukty, które ponownie trafiają do przemiału. Na różnych etapach procesu częściowo odseparowywana jest mąka (tzw. mąki pasażowe), która trafia do koryta zbiorczego. Mąki pasażowe w korycie zbiorczym łączą się w całość, tworząc produkt finalny – mąkę pszenną. Na tym etapie co około godzinę (ok. 10 ton) pobierane są próbki, które są badane w laboratorium. Badane są cechy fizyko-chemiczne (wilgotność, popiół, gluten, liczba opadania, granulacja a także parametry reologiczne). Następnie mąka przechodzi przez entoleter, którego zadaniem jest mechaniczne uszkodzenie potencjalnie występujących w produkcie jaj oraz szkodników. Wyprodukowana mąka trafia do dedykowanego silosa, skąd przekazywana jest do pakowania w worki papierowe lub do mąkowozów. Bezpośrednio przed zapakowaniem do worka, lub załadunkiem do mąkowozu mąka przechodzi przez magnes, który wychwytuje potencjalne zanieczyszczenia ferromagnetyczne w mące. Zapakowana w worki mąka dodatkowo przechodzi przez detektor metalu. Jeśli urządzenie wykryje ciało ferromagnetyczne, worek z mąką zostaje odrzucony. Z zapakowanego worka pobierana jest próbka kontrolna, która przekazywana jest do laboratorium. Podczas załadunku mąkowozu również pobierana

jest próbka mąki do badania. Badane są właściwości fizyko-chemiczne, organoleptyczne oraz obecność szkodników i ciał obcych. Produkt spełniający parametry specyfikacji jest zwalniany do sprzedaży poprzez wystawienie atestu jakościowego. Otręby oraz zarodki powstałe podczas przemiału stanowią materiał paszowy. Otręby w toku produkcji trafiają do silosów, skąd są ładowane luzem na samochody. Zarodki pszenne są pakowane bezpośrednio do opakowań typu big bag.

Po scharakteryzowaniu procesów technologicznych przeprowadzono identyfikację i analizę działań związanych z emisją (pośrednią i bezpośrednią) gazów cieplarnianych na etapach produkcji i transportu w zakładzie. Dotyczyły m.in. produkcji i zużycia nośników energetycznych w celu wyznaczenia śladu węglowego. Posłużono się wskaźnikami konwersji zastosowanych nośników energii (tabela 7). Opracowano bazę danych, w której gromadzono dane produkcyjne i zużycia nośników energetycznych, a dane zbiorcze dla roku 2022 przedstawiono w tabelach 8 i 9.

Tabela 7. Współczynniki konwersji zastosowanych nośników energii do analizy produkcji mąki w zakładzie 1

Media energetyczne	Źródło	Wartość wskaźnika
Olej opałowy [litry]	https://www.gov.uk/government/publications/greenhouse-gas-reporting-conversion-factors-2023	2,54 kg CO _{2eq} /litr
Olej napędowy [litry]		2,66 kg CO _{2eq} /litr
Benzyna [litry]		2,35 kg CO _{2eq} /litr
Energia elektryczna [kWh]	KOBiZE, 2022	0,708 kg CO _{2eq} /kWh

Tabela 8. Wielkość produkcji [kg] w zakładzie 1 w 2022 roku

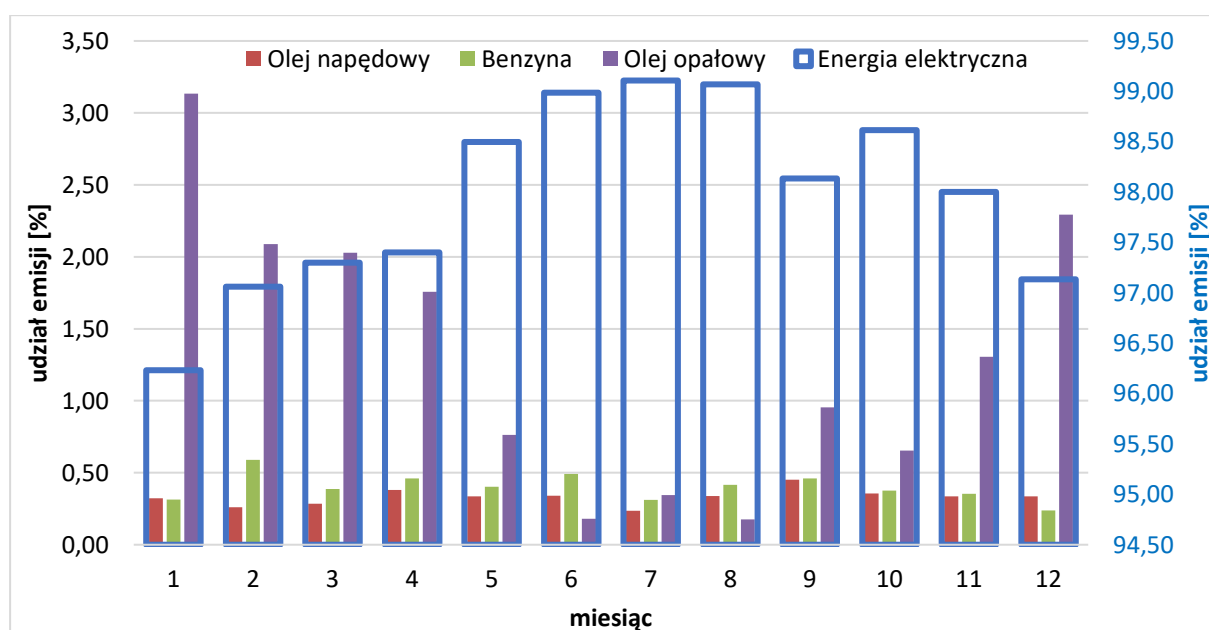
Lp.	Miesiąc	Mąki paczkowane	Mąki produkcyjne	Otręby	Zarodki	Suma produkcji
1	Styczeń	93 800	8 902 873	2 402 940	27 380	11 426 993
2	Luty	94 760	8 454 815	2 269 270	29 740	10 848 585
3	Marzec	122 430	9 287 042	2 506 780	39 840	11 956 092
4	Kwiecień	193 500	8 290 305	2 158 130	41 560	10 683 495
5	Maj	86 400	8 815 330	2 416 570	14 240	11 332 540
6	Czerwiec	10 180	8 424 750	2 356 490	28 600	10 820 020
7	Lipiec	22 300	8 649 555	2 290 380	26 450	10 988 685
8	Sierpień	24 640	9 045 230	2 414 890	42 755	11 527 515
9	Wrzesień	11 128	7 662 115	2 086 790	28 570	9 788 603
10	Październik	3 390	9 114 930	2 534 650	55 230	11 708 200
11	Listopad	1 730	9 046 222	2 354 180	27 060	11 429 192
12	Grudzień	780	8 634 275	2 362 460	38 850	11 036 365
Razem		665 038	104 327 442	28153 530	400 275	133 546 285

Tabela 9. Charakterystyka zużycia nośników energetycznych w zakładzie 1 w 2022 roku

Lp.	Miesiąc	Energia elektryczna	ON – olej napędowy	PB - benzyna	Olej opałowy
		kWh	litr	litr	litr
1	Styczeń	705 296	629,04	690,9	6 400
2	Luty	640 119	457,64	1 173,6	3 840
3	Marzec	709 074	552,25	850,7	4 120
4	Kwiecień	628 321	653,42	893,7	3 160
5	Maj	648 287	589,58	799,6	1 400
6	Czerwiec	626 336	574,4	938,3	320
7	Lipiec	660 197	419,5	623,5	640
8	Sierpień	642 850	585,99	813,1	320
5	Wrzesień	560 624	685,32	791,7	1 520
6	Październik	676 789	652,07	777,7	1 250
7	Listopad	653 792	598,39	712,7	2 430
8	Grudzień	651 087	598,95	478,8	4 285
Razem		7 802 772	6 996,55	9 544,80	29 685

Tabela 10. Emisja GHG związana ze zużyciem nośników energetycznych dla zakładu 1 za 2022 rok

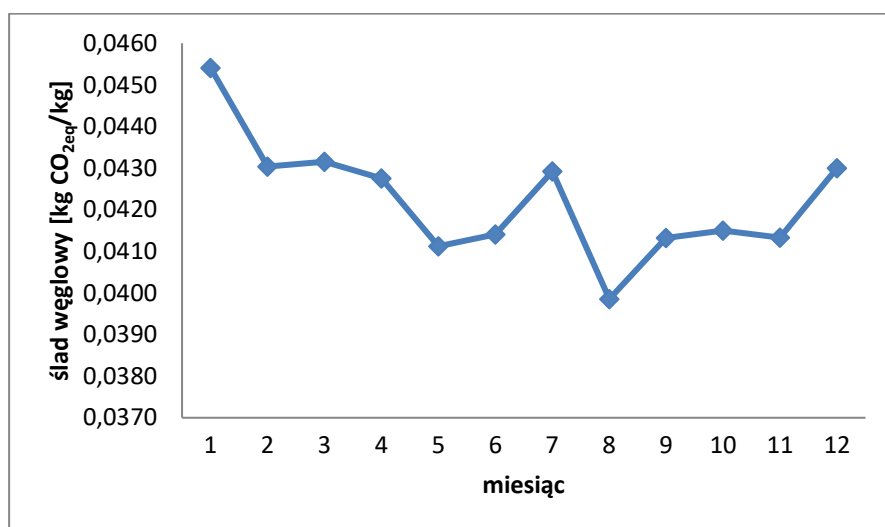
Lp.	Miesiąc	Energia elektryczna		Olej napędowy		Benzyna		Olej opałowy		Suma emisji kg CO _{2eq}
		Emisja	Udział	Emisja	Udział	Emisja	Udział	Emisja	Udział	
		kg CO _{2eq}	%	kg CO _{2eq}	%	kg CO _{2eq}	%	kg CO _{2eq}	%	
1	Styczeń	499 349,6	96,23	1 673,2	0,32	1 623,6	0,31	16 257,0	3,13	518 903,4
2	Luty	453 204,3	97,06	1 217,3	0,26	2 758,0	0,59	9 754,2	2,09	466 933,7
3	Marzec	502 024,4	97,30	1 469,0	0,28	1 999,2	0,39	10 465,4	2,03	515 958,0
4	Kwiecień	444 851,3	97,40	1 738,1	0,38	2 100,4	0,46	8 026,9	1,76	456 716,6
5	Maj	458 987,2	98,50	1 568,3	0,34	1 879,2	0,40	3 556,2	0,76	465 990,9
6	Czerwiec	443 445,9	98,99	1 527,9	0,34	2 205,2	0,49	812,8	0,18	447 991,8
7	Lipiec	467 419,5	99,11	1 115,9	0,24	1 465,3	0,31	1 625,7	0,34	471 626,4
8	Sierpień	455 137,8	99,07	1 558,7	0,34	1 911,0	0,42	812,8	0,18	459 420,4
5	Wrzesień	396 921,8	98,13	1 823,0	0,45	1 860,6	0,46	3 861,0	0,95	404 466,4
6	Październik	479 166,6	98,61	1 734,5	0,36	1 827,6	0,38	3 175,2	0,65	485 903,9
7	Listopad	462 884,7	98,00	1 591,7	0,34	1 675,0	0,35	6 172,6	1,31	472 324,0
8	Grudzień	460 969,6	97,13	1 593,2	0,34	1 125,3	0,24	10 884,6	2,29	474 572,7
Razem		5524 362,6	97,94	18 610,8	0,33	22 430,3	0,40	75 404,5	1,34	5 640 808,2



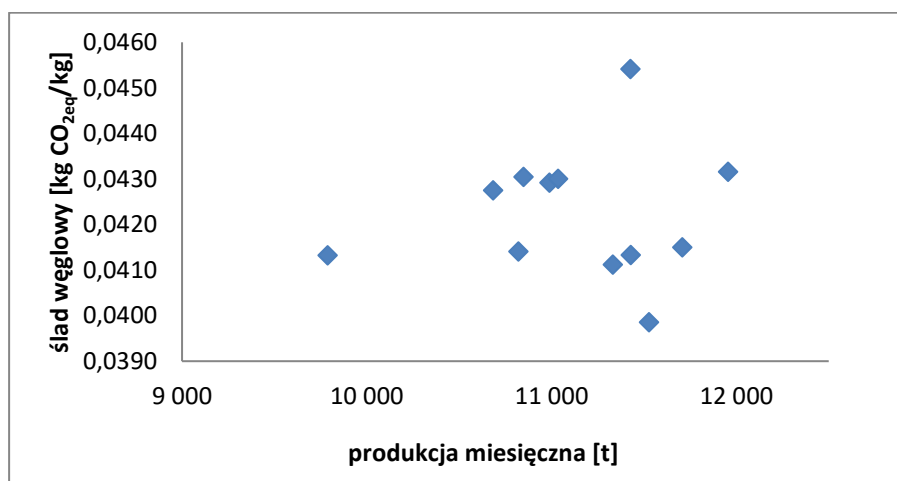
Rys. 1. Miesięczny udział emisji poszczególnych nośników energii dla zakładu 1 w 2022 roku

Tabela 11. Miesięczne wartości śladu węglowego dla zakładu 1 w 2022 roku

Lp.	Miesiąc	CF [kg CO _{2eq} /kg]	CF [g CO _{2eq} /kg]
1	Styczeń	0,0454	45,4
2	Luty	0,0430	43,0
3	Marzec	0,0431	43,1
4	Kwiecień	0,0427	42,7
5	Maj	0,0411	41,1
6	Czerwiec	0,0414	41,4
7	Lipiec	0,0429	42,9
8	Sierpień	0,0399	39,9
9	Wrzesień	0,0413	41,3
10	Październik	0,0415	41,5
11	Listopad	0,0413	41,3
12	Grudzień	0,0430	43,0
	CF_{ŚR}	0,0422	42,2



Rys. 2. Miesięczny ślad węglowy dla zakładu 1 w 2022 roku



Rys. 3. Zależność CF od miesięcznej wielkości produkcji dla zakładu 1 w 2022 roku

Na podstawie danych zużycia nośników energetycznych wyliczono emisję GHG oraz określono udział procentowy poszczególnych źródeł (tabela 10) dla zakładu 1 i przedstawiono graficznie na rysunku 1. Uwzględniając otrzymane wyniki wyznaczono ślad węglowy dla poszczególnych miesięcy w analizowanym roku (tabela 11). Określony ślad węglowy produkcji mąki w zakładzie 1 (zakres analizy: produkcja i transport) w odniesieniu do masy jednostkowej wynosił 0,0399 - 0,0454 kg CO_{2eq}/kg, a średni CF 0,0422 kg CO_{2eq}/kg. Stwierdzono zależność śladu węglowego produkcji mąki od pory roku (rys. 2). Najniższa wartość występowała w miesiącach letnich, a najwyższa w miesiącach zimowych. Ponadto nie stwierdzono istotnego związku między śladem węglowym a miesięczną wielkością produkcji (rys. 3). Średnie emisje GHG związane z produkcją pochodziły głównie z pośrednich emisji (zużycie energii elektrycznej) i stanowiły 97,94% całkowitych emisji. Emisje GHG związane z transportem (zużycie oleju napędowego i benzyny) były stałe przez cały analizowany rok i wynosiły średnio tylko 0,73%.

6.1.2 Analiza zakładu nr 2

Zakład ten charakteryzuje się produkcją następującego asortymentu: mąki pszennej workowanej, paczkowanej i luzem oraz mąki żytniej workowanej, paczkowanej i luzem. Przeanalizowano proces produkcji w zakładzie i składał się z wielu etapów. W tabeli 12 przedstawiono procesy jednostkowe wraz z zastosowanymi urządzeniami.

Tabela 12. Zastosowane urządzenia w etapach procesu technologicznego produkcji mąki dla zakładu 2

Etapy procesu	Urządzenia
przyjęcie surowca	kosze przyjęciowe
czyszczenie wstępne	wialnie z separacją powietrzno-sitową
składowanie suchego ziarna	elevator
transport wewnętrzny do młyna	przenośniki
czyszczenie czarne	tryjer
sortownik optyczny	sortownika optycznego
nawilżanie i leżakowanie ziarna	komory leżakowe, nawilżacz
czyszczenie białe	maszyny szorujące z kanałem powietrznym
przemiał	mlewniki, odsiewacze
komory mączne betonowe	przenośniki łańcuchowe zbiorcze
pakowanie	Technipes (pakowanie w worki), Itelpack (pakowanie w torebki jednostkowe), przesiewacz, waga, detektor metali

Pierwszym etapem jest przyjęcie ziarna. Zważone i zbadane ziarno jest zasypywane na kosze przyjęciowe ze wstępnym czyszczeniem o wydajności 100 ton/h do silosów elevatora. Następnie ziarno z wybranych komór na podstawie parametrów kierowane jest do wstępnego czyszczenia na wialniach zbożowych z separacją powietrzno-sitową. Po wstępnym czyszczeniu

na elewatorze zboże transportowane jest na czyszczarnię młyna. Kolejnym etapem jest przygotowanie ziarna do przemiału. Pierwszym procesem na czyszczarni jest czyszczenie czarne, czyli oddzielenie z masy surowca zanieczyszczeń luźno związanych cięższych i lżejszych za pomocą oddzielnika kamieni i separacji powietrzno-sitowej. Na każdym etapie czyszczenia znajduje się zaporę magnetyczną. Następnym urządzeniem czyszczącym jest tryjer okrągłoziaarnowy, który oddziela z masy surowca elementy okrągłe takie jak nasiona chwastów. Następnym etapem jest usuwanie z ziarna elementów o kolorze innym niż kolor ziarna za pomocą sortownika optycznego. Tak oczyszczone zboże kierowane jest na komory leżakowe, zostaje nawilżone odpowiednią ilością wody i zostaje tam na około 12h. Wilgotność ziarna ustawia się od 15,5% do 16,3% i jest to uzależnione od pogody, pory roku i początkowej wilgotności ziarna. Po nawilżeniu następuje czyszczenie białe, czyli usuwanie okrywy owocowo nasiennej z ziarna za pomocą maszyn szorujących z kanałem powietrznym. Oczyszczone i nawilżone ziarno jest kierowane na przemiał właściwy. Oczyszczone ziarno po przejściu przez pierwszy rozczyn, czyli mielenie wstępne jest transportowane transportem fluidalnym na odsiewacze, na których oddzielane są poszczególne frakcje, które po przejściu przez kolejne mławniki ponownie transportowane są na dział odsiewaczy. Powstałe różne frakcje po odsiewaczach tworzą mąki pasażowe, z których komponowane są konkretne typy mąk o określonej jakości. W młynie zastosowano instalację trzech przenośników łańcuchowych zbiorczych do mąk pasażowych. Pod każdym wylotem mąki i miałów zamontowane są rozdzielacze dwudrogowe umożliwiające skierowanie produktu do odpowiedniego przenośnika zbiorczego. Gotowa mąka trafia na komory składowe. Możliwe jest prowadzenie przemiału na raz, gdzie gotowym produktem jest mąka. Gotowy produkt można skierować bezpośrednio na spedycję mączną do wydania na cysterny lub wysłać do pakowania w paczki czy worki. W celu załadowania mąki do cysterny trzeba przetransportować ją podajnikiem ślimakowym z komór składowych młyna na komory spedycyjne lub przez dwutonową mieszalnię mąk. Dwie linie działają niezależnie i pozwalają na prowadzenie przerzutów w jednym czasie. Mąka z komór spedycyjnych przechodzi przez przesiewacz kontrolny i zaporę magesową, a następnie przez rękaw załadunkowy na cysternę. Mąkę z komór składowych można także wysłać przenośnikiem ślimakowym na komory magazynowe, z których pobierana jest mąka na pakowanie. Możliwe jest pakowanie na trzech liniach pakujących: Technipes (pakowanie w worki) i dwóch paczkarkach Itelpack (pakowanie w torebki jednostkowe). Na każdej linii zamontowany jest przesiewacz, magnez, waga oraz detektor metali. Każda z linii wyposażona jest w robot paletyzujący. Mąka na paletach transportowana jest elektrycznym wózkiem widłowym na magazyn, a następnie na samochód.

Po scharakteryzowaniu procesów technologicznych przeprowadzono identyfikację i analizę działań związanych z emisją (pośrednią i bezpośrednią) gazów cieplarnianych na etapach produkcji i transportu w zakładzie. Dotyczyły m.in. produkcji i zużycia nośników energetycznych w celu wyznaczenia śladu węglowego. Posłużono się wskaźnikami konwersji zastosowanych nośników energii (tabela 13). Opracowano bazę danych, w której gromadzono dane produkcyjne i zużycia nośników energetycznych, a dane zbiorcze dla roku 2022 przedstawiono w tabelach 14 i 15.

Tabela 13. Współczynniki konwersji zastosowanych nośników energii do analizy produkcji mąki w zakładzie 2

Media energetyczne	Źródło	Wartość wskaźnika
Olej napędowy [litry]	https://www.gov.uk/government/publications/greenhouse-gas-reporting-conversion-factors-2023	2,66 kg CO _{2eq} /litr
Energia elektryczna [kWh]	KOBiZE, 2022	0,708 kg CO _{2eq} /kWh

Tabela 14. Wielkość produkcji [t] w zakładzie 2 w 2022 rok

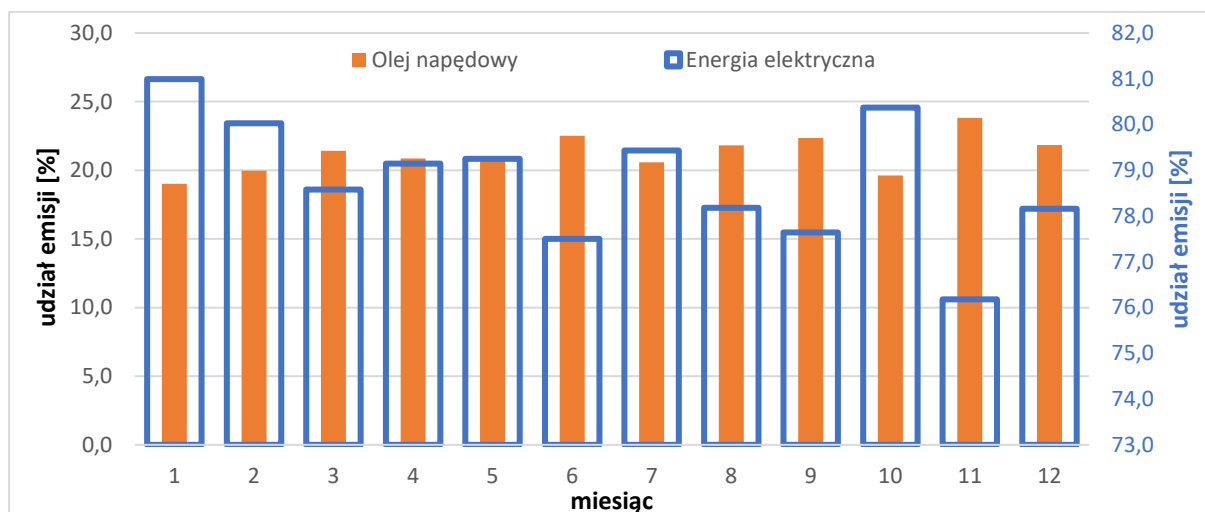
Lp.	Miesiąc	Mąka pszenna paczkowana	Mąka pszenna workowana	Mąka pszenna luz	Mąka żytnia paczkowana	Mąka żytnia workowana	Mąka żytnia luz	Suma produkcji
1	Styczeń	1 108,2	779,3	5 354,7	48,4	250,8	1 286,0	8 827,5
2	Luty	1 169,8	667,5	5 385,6	0,4	285,2	946,8	8 455,3
3	Marzec	1 610,0	1 481,6	5 115,6	47,9	443,0	706,5	9 404,6
4	Kwiecień	1 403,8	796,1	4 879,7	58,1	320,9	870,0	8 328,5
5	Maj	1 031,3	906,1	4 418,3	175,2	244,7	844,4	7 620,0
6	Czerwiec	937,9	754,7	5 739,7	0	302,1	847,6	8 582,0
7	Lipiec	1 258,7	950,5	4 979,4	0	368,9	870,2	8 427,7
8	Sierpień	1 196,1	1 118,7	5 242,0	9,3	291,2	768,2	8 625,5
9	Wrzesień	1 148,6	837,7	5 603,8	38,4	320,0	936,2	8 884,7
10	Październik	1 291,5	1 338,7	4 784,2	13,7	254,5	785,1	8 467,6
11	Listopad	1 222,2	669,7	3 459,3	14,0	302,7	602,4	6 270,3
12	Grudzień	1 550,8	735,1	4 722,4	27,4	278,9	962,7	8 277,4
Razem		14 928,9	11 035,8	59 684,6	432,6	3 662,8	10 426,2	100 170,9

Tabela 15. Charakterystyka zużycia nośników energetycznych w zakładzie 2 w 2022 roku

Lp.	Miesiąc	Energia elektryczna	Olej napędowy
		kWh	litr
1	Styczeń	847 040	52 916,23
2	Luty	830 716	55 186,05
3	Marzec	955 816	69 355,22
4	Kwiecień	819 583	57 490,30
5	Maj	791 321	55 142,14
6	Czerwiec	821 937	63 520,10
7	Lipiec	860 220	59 300,01
8	Sierpień	885 186	65 764,06
9	Wrzesień	831 694	63 738,97
10	Październik	828 603	53 860,66
11	Listopad	648 158	53 940,57
12	Grudzień	811 661	60 360,12
Razem		9 931 935	710 574,43

Tabela 16. Emisja GHG związana ze zużyciem nośników energetycznych dla zakładu 2 za 2022 rok

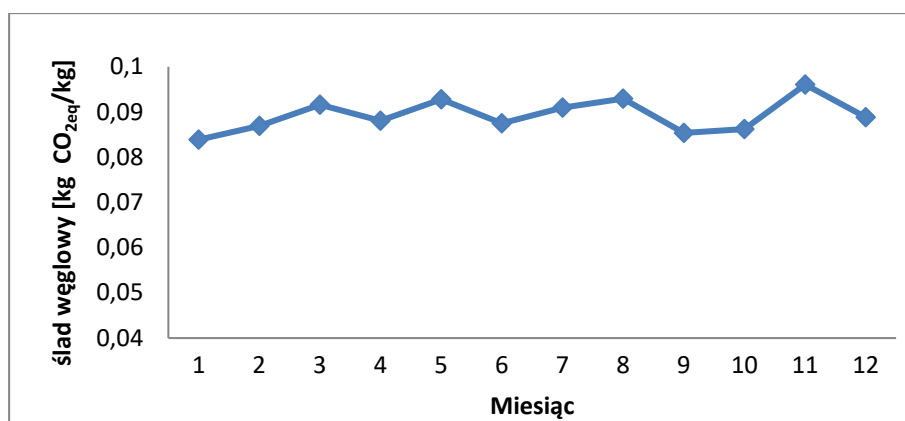
Lp.	Miesiąc	Energia elektryczna		Olej napędowy		Suma emisji kg CO _{2eq}
		Emisja	Udział	Emisja	Udział	
		kg CO _{2eq}	%	kg CO _{2eq}	%	
1	Styczeń	561 815,0	80,0	140 757,2	19,01	702 572,2
2	Luty	539 074,7	78,6	146 794,9	19,97	685 869,6
3	Marzec	610 473,0	76,8	184 484,9	21,42	794 957,9
4	Kwiecień	502 705,5	76,7	152 924,2	20,86	655 629,7
5	Maj	505 225,3	77,5	146 678,1	20,75	651 903,4
6	Czerwiec	510 950,1	75,1	168 963,5	22,50	679 913,6
7	Lipiec	538 785,2	77,4	157 738,0	20,57	696 523,2
8	Sierpień	475 313,0	73,1	174 932,4	21,82	650 245,4
9	Wrzesień	519 779,6	75,4	169 545,7	22,36	689 325,3
10	Październik	513 806,2	78,2	143 269,4	19,63	657 075,6
11	Listopad	389 606,0	73,1	143 481,9	23,82	533 087,9
12	Grudzień	491 467,4	75,4	160 557,9	21,84	652 025,3
Razem		6 159 001,0	76,5	1 890 128,0	21,19	8 049 129,0



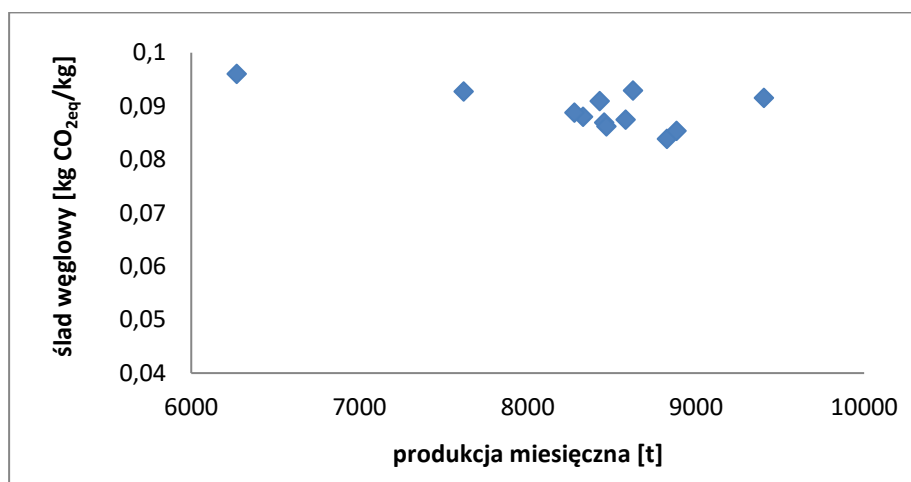
Rys. 4. Miesięczny udział emisji poszczególnych nośników energii dla zakładu 2 w 2022 roku

Tabela 17. Miesięczne wartości śladu węglowego dla zakładu 2 w 2022 roku

Lp.	Miesiąc	CF [kg CO _{2eq} /kg]	CF [g CO _{2eq} /kg]
1	Styczeń	0,0796	79,6
2	Luty	0,0811	81,1
3	Marzec	0,0845	84,5
4	Kwiecień	0,0787	78,7
5	Maj	0,0856	85,6
6	Czerwiec	0,0792	79,2
7	Lipiec	0,0826	82,6
8	Sierpień	0,0754	75,4
9	Wrzesień	0,0776	77,6
10	Październik	0,0776	77,6
11	Listopad	0,0850	85,0
12	Grudzień	0,0788	78,8
CF_{ŚR}		0,0804	80,4



Rys. 5. Miesięczny ślad węglowy dla zakładu 2 w 2022 roku

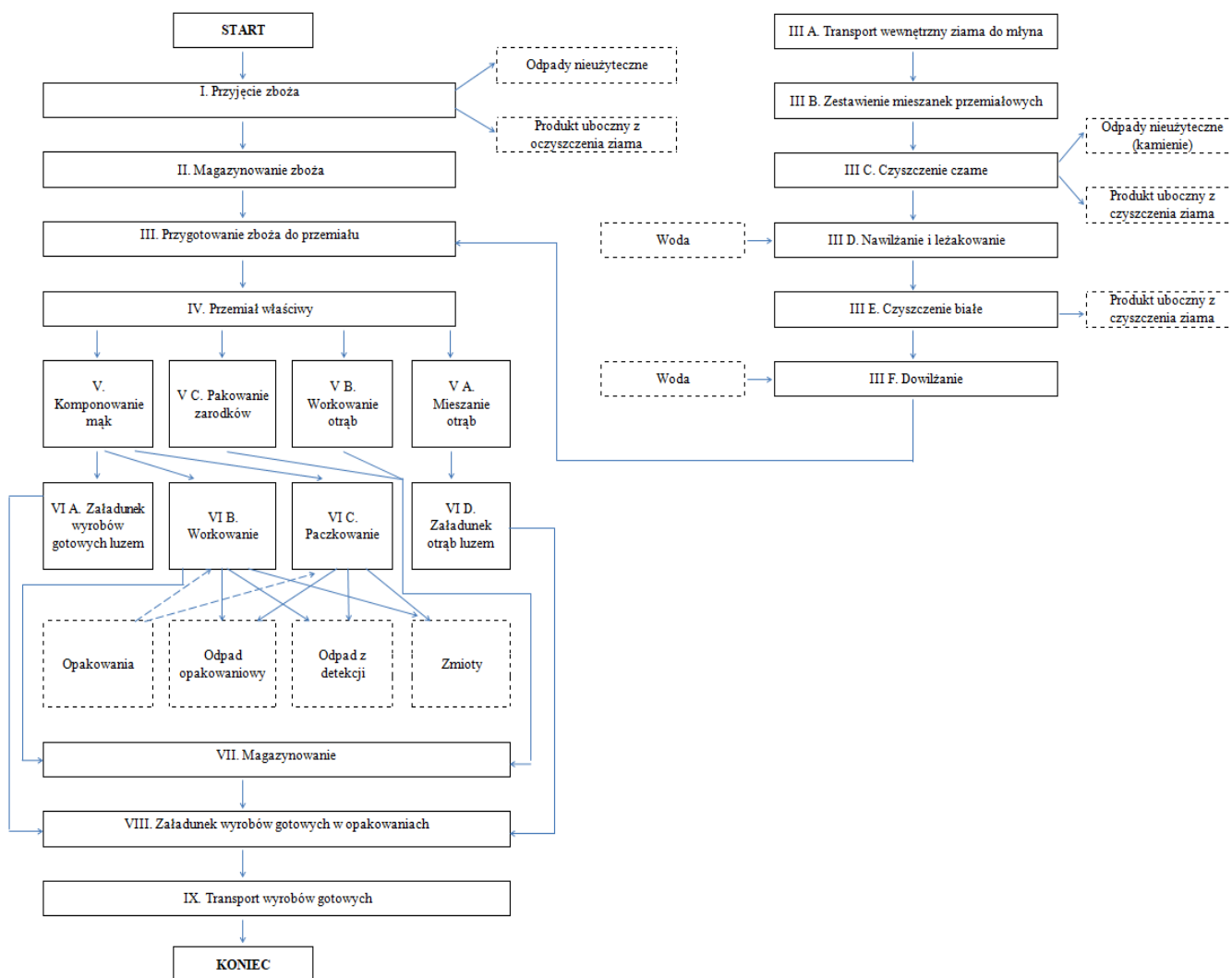


Rys. 6. Zależność CF od miesięcznej wielkości produkcji dla zakładu 2 w 2022 roku

Na podstawie danych zużycia nośników energetycznych wyliczono emisję GHG oraz określono udział procentowy poszczególnych źródeł (tabela 13) dla zakładu 2 i przedstawiono graficznie na rysunku 4. Uwzględniając otrzymane wyniki wyznaczono ślad węglowy dla poszczególnych miesięcy w analizowanym roku (tabela 17). Określony ślad węglowy produkcji mąki w zakładzie 2 (zakres analizy: produkcja i transport) w odniesieniu do masy jednostkowej wynosił 0,0754 - 0,0856 kg CO_{2eq}/kg, a średni CF 0,0804 kg CO_{2eq}/kg. Nie stwierdzono zależności między śladem węglowym produkcji mąki od pory roku (rys. 5). Ponadto nie stwierdzono istotnego związku między śladem węglowym a miesięczną wielkością produkcji (rys. 6). Średnie emisje GHG związane z produkcją pochodziły głównie z pośrednich emisji (zużycie energii elektrycznej) i stanowiły 76,5% całkowitych emisji. Emisje GHG związane z transportem (zużycie oleju napędowego) były na stałym poziomie przez cały analizowany rok i wynosiły średnio aż 21,19%.

6.1.3 Analiza zakładu nr 3

Zakład specjalizuje się w wytwarzaniu różnorodnych produktów, takich jak mąki pszenne, otręby pszenne paszowe oraz zarodki pszenne paszowe. Przeprowadzono szczegółową analizę procesu produkcyjnego w tym zakładzie, który obejmuje szereg etapów. Schemat technologiczny produkcji mąki pszennej przedstawiono na rysunku 7, a w tabeli 18 wykazano wszystkie procesy jednostkowe wraz z używanymi urządzeniami w zakładzie 3.



Rys. 7. Schemat technologiczny produkcji mąki pszennej

Początkowo, ziarna dostarczane do młyna są oceniane w laboratorium, przechodząc przez rygorystyczny proces oceny. Próbkę trafiają do laboratorium, gdzie są analizowane pod kątem obecności szkodników, oceny cech organoleptycznych oraz przeprowadzenia analizy fizykochemicznej. Po pomyślnej ocenie, dostawa jest akceptowana i kierowana do elewatora zbożowego. Po rozładowaniu surowca z naczepy, ziarno jest początkowo oczyszczane z większych zanieczyszczeń, takich jak kamienie, plewy, piasek czy szkło. Następnie ziarno

trafia do komory elewatora, gdzie jest składowane w oczekiwaniu na dalsze procesy przetwarzania.

Tabela 18. Zastosowane urządzenia w etapach procesu technologicznego produkcji mąki dla zakładu 3

Etapy procesu	Urządzenia
I. Przyjęcie zboża	-
II. Magazynowanie zboża	przenośniki łańcuchowe, przenośniki kubełkowe, separator zbożowy, filtrocyklony, transport grawitacyjny, zbiorniki zbożowe, wagi
III. Przygotowanie zboża do przemiału	biny, zbiorniki przymłyńskie, procentowniki, przenośniki transportu poziomego(ślimaki i redlery), wentylatory aspiracji, filtrocyklony aspiracyjne, przenośniki transportu pionowego (podnośniki kubełkowe), wagi rozliczeniowe z zaporami, urządzenie czyszczące kombi wraz z kanałami aspiracyjnymi, sortexy, nawilżacze pszenicy, urządzenia kontrolujące pomiar dozowania wody do ilości pszenicy, maszyna szorująca, kanał powietrzny, dowilżacz, pompy wodne, młyn bijakowy
IV. Przemiał właściwy	wagi, zespół walcy mielących, odsiewacze pasażowe płaskie, entoletery transportu pneumatycznego (sterylizatory), zespół wialni kaszkowych, rzutniki kaszkowe i otrębowe, filtrocyklony, ślimaki pasażowe, odsiewacze kontrolne, śluzы powietrzne z pneumocyklonami, matadory (sterylizatory), śluzы transportu produktów gotowych wraz ze zwrotnicami do komór, samplery (urządzenia pobierające próby mąki bezpośrednio z produkcji), dmuchawy transportu pneumatycznego
V. Komponowanie mąk	wybieraki komór mącznych, wagi dozowania, transport poziomy, homogenizator, przesiewacz mąki wraz z zaporą magesową, dmuchawa, matador (sterylizator), transport pneumatyczny wraz z zwrotnicami do komór
V C. Pakowanie zarodków	transport grawitacyjny
V B. Workowanie otrąb PUK	transport grawitacyjny
V A. Mieszanie otrąb	wybieraki ślimakowe, pompa hydrauliczna, transport poziomy otrąb, transport pionowy (podnośnik otrębowy), dmuchawa, filtrocyklon aspiracyjny, zwrotnice pneumatyczne
VI A. Załadunek wyrobów gotowych luzem	wybieraki komór mącznych luzem, transport poziomy (ślimaki), przesiewacze wraz z zaporami magesowymi, zasyp przejezdny poziomy(redler), rękawy załadunkowe przejezdne, waga ilościowa
VI B. Workowanie	wybieraki komór mącznych, transport poziomy (ślimaki), przesiewacze wraz z zaporami magesowymi, wagopakarka wentylowa z detektorem metalu, transport poziomy(taśmociągi), paletyzer, owijarka
VI C. Paczkowanie	wybieraki komór mącznych, transport poziomy (ślimaki), przesiewacze wraz z zaporami magesowymi, paczkarki jednostkowe z detektorami metalu, taśmociągi, tunele grzewcze, paletyzer
VI D. Załadunek otrąb luzem	wybieraki ślimakowe z komór otrębowych, transport poziomy (redler otrębowy), rękaw załadunkowy przejezdny, zaporą magesową, filtrocyklon, dmuchawa
VII. Magazynowanie	-
VIII. Załadunek wyrobów gotowych w opakowaniach	wózki widłowe wysokiego składowania, wózki akumulatorowe, wózki spalinowe

Mielenie odbywa się w dwóch procesach: rozdrabniania (mielenia), przesiewania i mieszania różnych produktów pośrednich. Mielenie odbywa się w młynach walcowych (mlewnikach), w których ziarno jest rozdrabniane/mielone a następnie przesiewane. Poprzez

wielokrotne, celowe rozdrabnianie i przesiewanie produktów o tej samej wielkości i tej samej strukturze, z ziarna (surowca) o zmiennych właściwościach wypiekowych, bez użycia środków chemicznych wytwarzany jest pożądaný wyrób o prawie stałych właściwościach wypiekowych. Frakcje mąki są po każdym procesie technologicznym oddzielane przez odpowiednio drobne sita. Maszyną do tego służącą jest przesiewacz, tj. duże urządzenie wyposażone w setki sit. Zasadniczo chodzi o sortowanie produktów – które mają mniej więcej tę samą wielkość i strukturę - i mielenie ich razem. Technologia procesu mielenia różni się między sobą specjalnymi parametrami, a mąka jest oddzielana przy każdym procesie co tworzy na końcu mąkę pasażową. Mąki pasażowe różnią się między sobą proporcjami, granulacją, zawartością białka i popiołem całkowitym. Są one celowo komponowane i mieszane razem w ślimaku pasażowym, aby utworzyć produkt końcowy. Standardem kontroli dla mąki jest określenie zawartości popiołu poprzez wypalenie próbki mąki w laboratorium. Kolor mąki i zawartość popiołu są ze sobą powiązane. Powstałą resztę po procesie mielenia stanowią otręby. Udział procentowy powstałych produktów w procesie mielenia na bazie 100% przeważonej i przemielonej pszenicy: mąki ok. 68%, mąka makaronowa (Krupczatka) ok. 10%, otręby ok. 20%, osuszka (utrata wilgotności produktów w procesie mielenia) ok. 2%. W procesie produkcji udział bierze tylko surowiec (pszenica), na żadnym etapie nie są stosowane dodatki chemiczne poprawiające lub stabilizujące jakość produktu gotowego lub mogące wpłynąć na datę minimalnej trwałości czy właściwości wypiekowe. Stałą i dobrą jakość wyrobów gotowych uzyskuje się tylko i wyłącznie przez przygotowanie odpowiednich mieszanek pszenicy.

Po scharakteryzowaniu procesów technologicznych, przeprowadzono szczegółową identyfikację oraz analizę działań związanych z emisją GHG, zarówno na etapach produkcji, jak i transportu w zakładzie 3. Badania obejmowały emisje pośrednie i bezpośrednie, skupiając się na produkcji i zużyciu nośników energetycznych w celu określenia śladu węglowego zakładu 3. W tym celu wykorzystano wskaźniki konwersji stosowanych nośników energii, co zostało przedstawione w tabeli 19. Dodatkowo, opracowano bazę danych, w której gromadzono informacje dotyczące produkcji oraz zużycia nośników energetycznych. Zestawione dane zbiorcze dla 2022 i 2023 roku zostały przedstawione w tabelach 20 i 21, umożliwiając pełniejsze zrozumienie i monitorowanie wpływu zakładu 3 na emisje gazów cieplarnianych.

Tabela 19. Współczynniki konwersji zastosowanych nośników energii do analizy produkcji mąki w zakładzie 3

Media energetyczne	Źródło	Wartość wskaźnika
Olej opałowy [litry]	https://www.gov.uk/government/publications/greenhouse-gas-reporting-conversion-factors-2023	2,54 kg CO _{2eq} /litr
Olej napędowy [litry]		2,66 kg CO _{2eq} /litr
Benzyna [litry]		2,35 kg CO _{2eq} /litr
Gaz [kWh]		0,2 kg CO _{2eq} /kWh
Energia elektryczna [kWh]	KOBiZE, 2022	0,708 kg CO _{2eq} /kWh

Tabela 20. Wielkość produkcji [kg] w zakładzie 3 w 2022 i 2023 roku

Wielkość produkcji [t]			
Lp.	Miesiąc	2022 roku	2023 roku
1	Styczeń	16 697	16526,7
2	Luty	12 949	14815,7
3	Marzec	17 771	17713,6
4	Kwiecień	15 724	15457
5	Maj	16 521	16078
6	Czerwiec	14 839	14717
7	Lipiec	16 176	16603
8	Sierpień	14 686	16290
9	Wrzesień	15 470	17428
10	Październik	17 232	-
11	Listopad	16 977	-
12	Grudzień	15 268	-
Razem		190 310	145 629

Tabela 21. Charakterystyka zużycia nośników energetycznych w zakładzie 3 w 2022 i 2023 roku

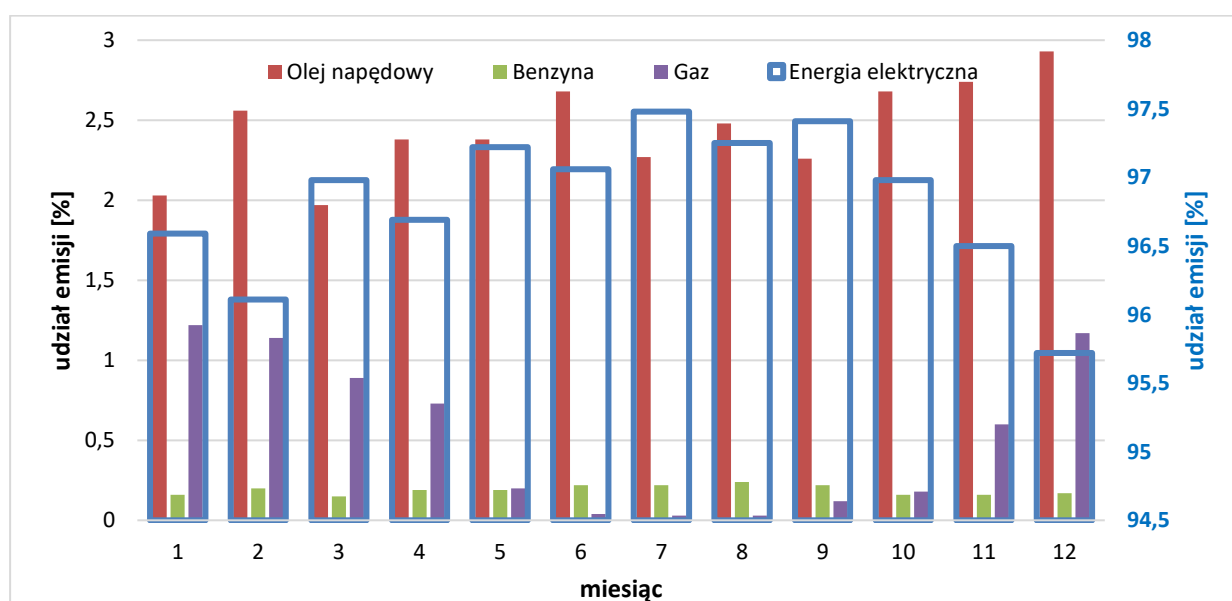
Lp.	Miesiąc	Energia elektryczna kWh	ON – olej napędowy litr	PB - benzyna litr	Gaz kWh
2022 roku					
1	Styczeń	1 047 000	5 862	511	46 760
2	Luty	828 000	5 862	511	34 720
3	Marzec	1 085 000	5 862	511	35 440
4	Kwiecień	945 000	6 191	572	25 310
5	Maj	949 000	6 191	572	6 916
6	Czerwiec	842 000	6 191	572	1 151
7	Lipiec	954 000	5 905	649	1 006
8	Sierpień	869 000	5 905	649	970
9	Wrzesień	957 000	5 905	649	4 041
10	Październik	1 070 000	7 878	525	7 160
11	Listopad	1 043 000	7 878	525	22 810
12	Grudzień	966 000	7 878	525	41 860
Razem		11 555 000	77 508	6 771	228 144
2023 roku					
1	Styczeń	1 033 000	6780	388	35860
2	Luty	972 000	6780	388	34580
3	Marzec	1 083 000	6780	388	26870
4	Kwiecień	921 000	7148	584	21070
5	Maj	935 000	7148	584	8260
6	Czerwiec	862 000	7148	584	15230
7	Lipiec	997 000	6580	496	913
8	Sierpień	980 000	6580	496	620
9	Wrzesień	1 034 700	6580	496	650
10	Październik	-	-	-	-
11	Listopad	-	-	-	-
12	Grudzień	-	-	-	-
Razem		8 817 700	61 526	4 404	144 053

Tabela 22. Emisja GHG związana ze zużyciem nośników energetycznych dla zakładu 3 za 2022 rok

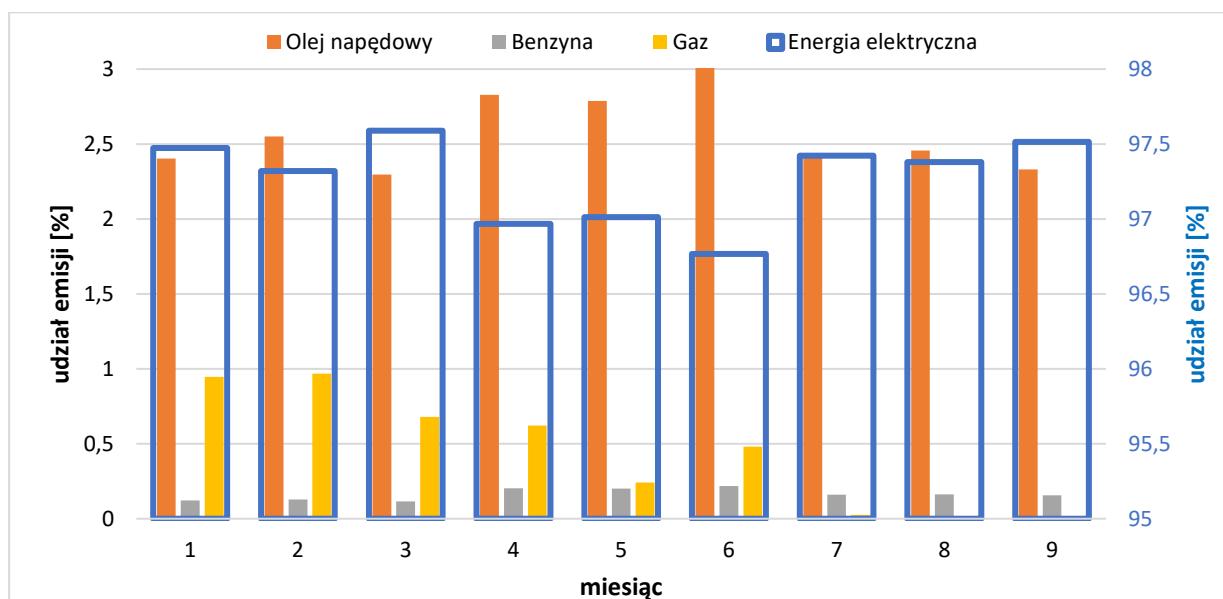
Lp.	Miesiąc	Energia elektryczna		Olej napędowy		Benzyna		Gaz		Suma emisji kg CO _{2eq}
		Emisja kg CO _{2eq}	Udział %	Emisja kg CO _{2eq}	Udział %	Emisja kg CO _{2eq}	Udział %	Emisja kg CO _{2eq}	Udział %	
1	Styczeń	741 276,0	96,59	15 592,9	2,03	1 200,9	0,16	9 352,0	1,22	767 421,8
2	Luty	586 224,0	96,11	15 592,9	2,56	1 200,9	0,20	6 944,0	1,14	609 961,8
3	Marzec	768 180,0	96,98	15 592,9	1,97	1 200,9	0,15	7 088,0	0,89	792 061,8
4	Kwiecień	669 060,0	96,69	16 468,1	2,38	1 344,2	0,19	5 062,0	0,73	691 934,3
5	Maj	671 892,0	97,22	16 468,1	2,38	1 344,2	0,19	1 383,2	0,20	691 087,5
6	Czerwiec	596 136,0	97,06	16 468,1	2,68	1 344,2	0,22	230,2	0,04	614 178,5
7	Lipiec	675 432,0	97,48	15 707,3	2,27	1 525,2	0,22	201,2	0,03	692 865,7
8	Sierpień	615 252,0	97,25	15 707,3	2,48	1 525,2	0,24	194,0	0,03	632 678,5
9	Wrzesień	677 556,0	97,41	15 707,3	2,26	1 525,2	0,22	808,2	0,12	695 596,7
10	Październik	757 560,0	96,98	20 955,5	2,68	1 233,8	0,16	1 432,0	0,18	781 181,2
11	Listopad	738 444,0	96,50	20 955,5	2,74	1 233,8	0,16	4 562,0	0,60	765 195,2
12	Grudzień	683 928,0	95,72	20 955,5	2,93	1 233,8	0,17	8 372,0	1,17	714 489,2
	Razem	8 180 940,0	96,83	206 171,3	2,44	15 911,85	0,19	45 628,8	0,54	8 448 651,9

Tabela 23. Emisja GHG związana ze zużyciem nośników energetycznych dla zakładu 3 za 2023 rok

Lp.	Miesiąc	Energia elektryczna		Olej napędowy		Benzyna		Gaz		Suma emisji kg CO _{2eq}
		Emisja kg CO _{2eq}	Udział %	Emisja kg CO _{2eq}	Udział %	Emisja kg CO _{2eq}	Udział %	Emisja kg CO _{2eq}	Udział %	
1	Styczeń	731364,0	96,55	18035,7	2,38	911,8	0,12	7172,0	0,95	757 483,5
2	Luty	688176,0	96,38	18035,7	2,53	911,8	0,13	6916,0	0,97	714 039,5
3	Marzec	766764,0	96,93	18035,7	2,28	911,8	0,12	5374,0	0,68	791 085,5
4	Kwiecień	652068,0	96,36	19013,7	2,81	1372,4	0,20	4214,0	0,62	676 668,1
5	Maj	661980,0	96,78	19013,7	2,78	1372,4	0,20	1652,0	0,24	684 018,1
6	Czerwiec	610296,0	96,30	19013,7	3,00	1372,4	0,22	3046,0	0,48	633 728,1
7	Lipiec	705876,0	97,40	17503,7	2,42	1165,6	0,16	182,6	0,03	724 727,9
8	Sierpień	693840,0	97,36	17503,7	2,46	1165,6	0,16	124,0	0,02	712 633,3
9	Wrzesień	732567,6	97,50	17503,7	2,33	1165,6	0,16	130,0	0,02	751 366,9
10	Październik	-	-	-	-	-	-	-	-	0,0
11	Listopad	-	-	-	-	-	-	-	-	0,0
12	Grudzień	-	-	-	-	-	-	-	-	0,0
	Razem	6242931,6	96,85	163659,2	2,54	10 349,40	0,16	28 810,60	0,45	6 445 750,8



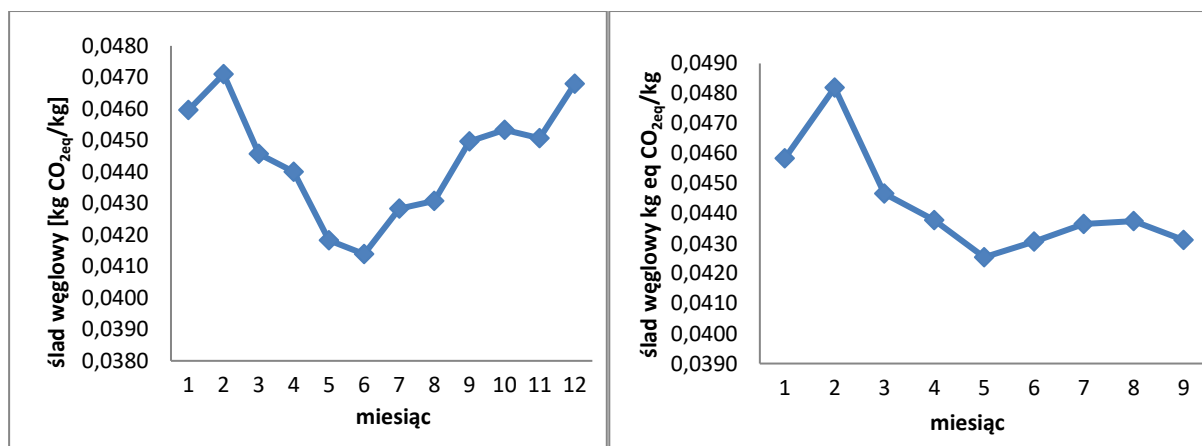
Rys. 8. Miesięczny udział emisji poszczególnych nośników energii dla zakładu 3 w 2022 roku



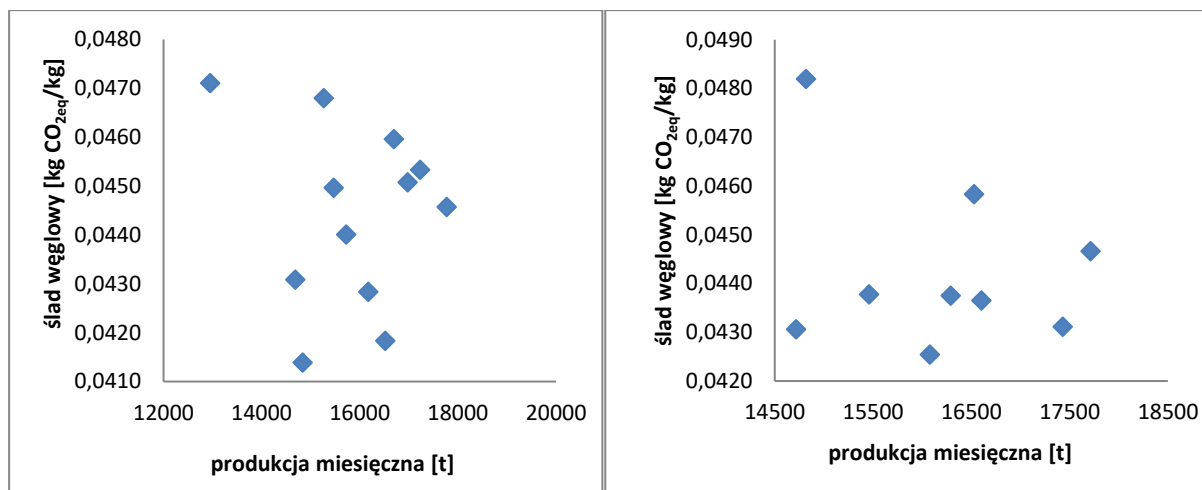
Rys. 9. Miesięczny udział emisji poszczególnych nośników energii dla zakładu 3 w 2023 roku

Tabela 24. Miesięczne wartości śladu węglowego dla zakładu 3 w 2022 i 2023 roku

Lp.	Miesiąc	2022		2023	
		CF [kg CO _{2eq} /kg]	CF [g CO _{2eq} /kg]	CF [kg CO _{2eq} /kg]	CF [g CO _{2eq} /kg]
1	Styczeń	0,0460	46,0	0,0458	45,8
2	Luty	0,0471	47,1	0,0482	48,2
3	Marzec	0,0446	44,6	0,0447	44,7
4	Kwiecień	0,0440	44,0	0,0438	43,8
5	Maj	0,0418	41,8	0,0425	42,5
6	Czerwiec	0,0414	41,4	0,0431	43,1
7	Lipiec	0,0428	42,8	0,0437	43,7
8	Sierpień	0,0431	43,1	0,0437	43,7
9	Wrzesień	0,0450	45,0	0,0431	43,1
10	Październik	0,0453	45,3	-	-
11	Listopad	0,0451	45,1	-	-
12	Grudzień	0,0468	46,8	-	-
	CFŚR	0,0444	44,4	0,0443	44,3



Rys. 10. Miesięczny ślad węglowy dla zakładu 3 w 2022 i 2023 roku



Rys. 11. Zależność CF od miesięcznej wielkości produkcji dla zakładu 3 w 2022 i 2023 roku

Biorąc pod uwagę dane zużycia nośników energetycznych wyliczono emisję GHG oraz określono udział procentowy poszczególnych źródeł (tabela 22 i 23) dla zakładu 3 i przedstawiono graficznie na rysunkach 8 i 9. Uwzględniając otrzymane wyniki wyznaczono ślad węglowy dla poszczególnych miesięcy w analizowanych latach 2022 i 2023 (tabela 24). Określony ślad węglowy produkcji mąki w zakładzie 3 (zakres analizy: produkcja i transport) w odniesieniu do masy jednostkowej wynosił CF 0,0414 - 0,0471 kg CO_{2eq}/kg i średni CF_{ŚR} 0,0444 kg CO_{2eq}/kg (rok 2022) oraz CF 0,0425 - 0,0482 kg CO_{2eq}/kg i średni CF_{ŚR} 0,0443 kg CO_{2eq}/kg (rok 2023). Stwierdzono, że istnieje zależność śladu węglowego produkcji mąki od pory roku (rys. 10). Najniższa wartość występowała w miesiącach letnich, a najwyższa w miesiącach zimowych. Ponadto nie stwierdzono istotnego związku między śladem węglowym a miesięczną wielkością produkcji (rys. 11). Średnie emisje GHG związane z produkcją pochodziły głównie z pośrednich emisji (zużycie energii elektrycznej) i stanowiły 96,83% (rok 2022) oraz 96,85% (rok 2023) całkowitych emisji. Emisje GHG związane z transportem były znikome i wynosiły średnio: dla oleju napędowego 2,44% (rok 2022) i 2,54% (rok 2023), dla benzyny 0,19% (rok 2022) i 0,16% (rok 2023) oraz dla gazu 0,54% (rok 2022) i 0,45% (rok 2023).

6.1.4 Analiza zakładu nr 4

Po scharakteryzowaniu procesów technologicznych przeprowadzono identyfikację i analizę działań związanych z emisją (pośrednią i bezpośrednią) gazów cieplarnianych na etapach produkcji i transportu w zakładzie. Dotyczyły m.in. produkcji i zużycia nośników energetycznych w celu wyznaczenia śladu węglowego. Posłużono się wskaźnikami konwersji

zastosowanych nośników energii (tabela 25). Opracowano bazę danych, w której gromadzono dane produkcyjne i zużycia nośników energetycznych, a dane zbiorcze dla 2022 i 2023 roku przedstawiono w tabelach 26 - 28.

Tabela 25. Współczynniki konwersji zastosowanych nośników energii do analizy produkcji mąki w zakładzie 4

Media energetyczne	Źródło	Wartość wskaźnika
Olej napędowy [litr]	https://www.gov.uk/government/publications/green-house-gas-reporting-conversion-factors-2023	2,66 kg CO _{2eq} /litr
Energia elektryczna [kWh]	KOBiZE, 2022	0,708 kg CO _{2eq} /kWh

Tabela 26. Wielkość produkcji [t] w zakładzie 4 w 2022 roku

Lp.	Miesiąc	1850 W50	450P	500 W25	500 W50	550P	650L	650 W50
1	styczeń	0,00	50,44	0,00	2,98	0,66	2 970,36	0,00
2	luty	0,00	66,05	1,85	0,79	1,32	2 811,24	0,00
3	marzec	0,00	152,55	0,92	3,20	4,28	2 522,72	1,24
4	kwiecień	0,00	64,11	0,00	2,60	0,35	2 399,84	1,74
5	maj	0,11	8,86	1,18	4,23	0,00	3 306,10	26,62
6	czerwiec	0,08	35,92	1,72	0,00	0,15	3 043,00	0,00
7	lipiec	0,00	39,36	0,00	1,74	0,66	2 879,38	0,00
8	sierpień	0,00	64,18	0,92	3,27	1,53	3 002,50	0,00
9	wrzesień	0,00	61,96	1,06	0,93	1,98	3 142,20	0,00
10	październik	0,00	59,32	2,28	0,00	0,76	3 112,98	27,42
11	listopad	0,05	115,40	2,81	0,00	1,98	3 119,72	0,00
12	grudzień	0,03	48,56	3,20	0,00	1,37	3 332,78	0,00
	Razem	0,27	766,71	15,94	19,74	15,04	35 642,82	57,02
Lp.	Miesiąc	750L	750 W50	500L	500P	Otręby luz	Otręby W25	Suma produkcji całego asortymentu
1	styczeń	1 033,54	2,74	0,00	14,52	886,24	0,20	4 961,68
2	luty	1 092,36	5,04	0,00	17,82	847,72	0,20	4 844,39
3	marzec	1 420,22	3,54	27,42	39,80	934,35	0,20	5 110,44
4	kwiecień	1 008,28	3,50	0,00	14,21	773,80	0,40	4 268,83
5	maj	904,44	7,82	0,00	0,00	901,03	0,20	5 160,59
6	czerwiec	900,06	2,92	0,00	5,43	884,63	0,20	4 874,11
7	lipiec	890,61	2,28	0,00	21,12	855,27	0,47	4 690,89
8	sierpień	926,14	3,95	0,00	11,43	1 008,73	0,20	5 022,85
9	wrzesień	1 012,76	2,62	0,00	19,14	924,38	0,20	5 167,23
10	październik	659,77	2,84	0,00	26,45	874,71	0,40	4 766,93
11	listopad	875,34	1,14	0,00	21,78	897,92	0,20	5 036,34
12	grudzień	606,24	3,71	0,00	10,82	904,17	0,40	4 911,29
	Razem	11 329,76	42,10	27,42	202,52	10 692,95	3,27	58 815,58

Tabela 27. Wielkość produkcji [t] w zakładzie 4 w 2023 roku

Lp.	Miesiące	1850 W50	450P	500 W25	500P	550P	650L	750L
1	styczeń	0,08	47,94	0,92	7,33	0,00	2 575,74	1 022,89
2	luty	0,00	59,82	3,96	13,20	0,00	2 469,42	1 268,03
3	marzec	0,05	72,25	2,97	22,64	2,18	2 658,36	854,92
4	kwiecień	0,00	37,74	0,00	16,04	1,98	2 165,76	1 334,26
5	maj	0,00	33,81	4,46	12,71	1,32	2 629,35	1 196,66
6	czerwiec	0,00	66,42	1,00	12,31	2,28	2 365,64	964,48
7	lipiec	0,00	40,79	3,15	9,90	1,98	2 501,06	1 297,92
8	sierpień	0,00	91,77	2,96	28,49	3,35	3 136,88	877,88
9	wrzesień	0,00	92,25	2,47	12,79	1,52	2 666,34	1 225,66
10	październik	0,00	30,18	2,63	12,23	2,23	2 662,71	866,74
Razem		0,13	572,97	24,52	147,64	16,84	25 831,26	10 909,44
Lp.	Miesiące	750 W50	Odpady uż.	Otręby pasz.	Otręby luz	Otręby W25	Suma produkcji całego asortymentu	
1	styczeń	5,13	0,40	0,00	818,95	0,25	4 479,63	
2	luty	2,26	0,00	0,00	882,67	0,10	4 699,46	
3	marzec	4,04	0,00	0,00	883,13	0,20	4 500,74	
4	kwiecień	0,00	0,00	0,00	786,32	0,05	4 342,15	
5	maj	4,32	0,00	0,00	921,73	0,80	4 805,17	
6	czerwiec	0,00	0,00	15,14	832,20	0,00	4 259,47	
7	lipiec	4,19	0,00	66,16	872,06	0,40	4 797,61	
8	sierpień	0,12	0,00	22,22	954,09	0,02	5 117,79	
9	wrzesień	3,87	0,00	18,66	937,83	0,20	4 961,59	
10	październik	0,00	0,00	18,54	781,13	0,20	4 376,59	
Razem		23,93	0,40	140,72	8 670,11	2,22	46 340,19	

Tabela 28. Charakterystyka zużycia nośników energetycznych w zakładzie 4 w 2022 i 2023 roku

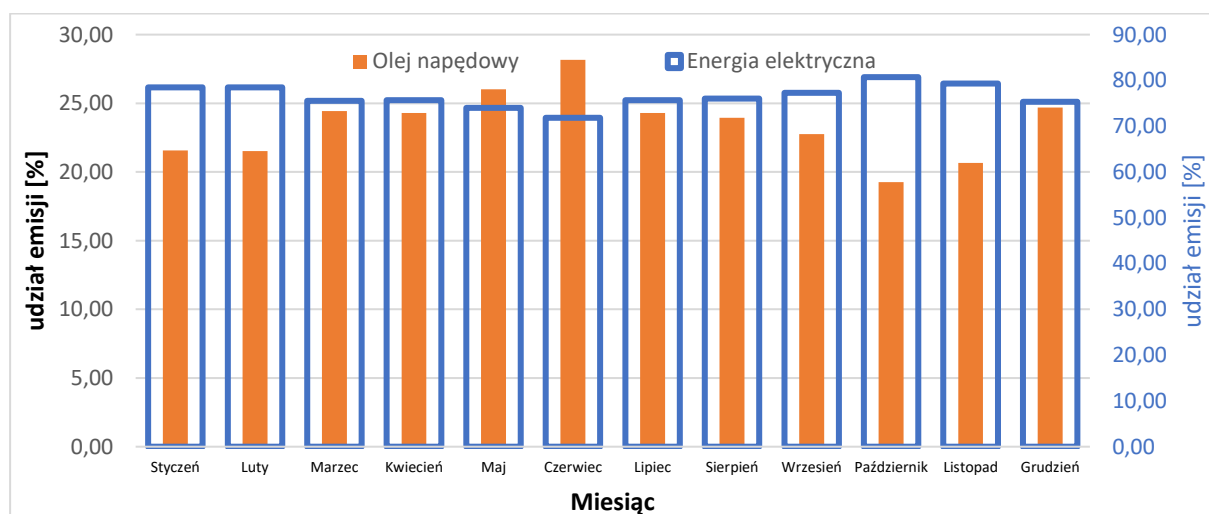
Lp.	Miesiące	2022		2023	
		Energia elektryczna	ON – olej napędowy	Energia elektryczna	ON – olej napędowy
		kWh	litr	kWh	litr
1	Styczeń	318 496	23 296	284 509	24 617
2	Luty	279 986	20 439	270 728	22 624
3	Marzec	259 604	22 336	243 615	23 525
4	Kwiecień	226 381	19 329	223 784	21 685
5	Maj	226 763	21 225	232 821	23 476
6	Czerwiec	194 450	20 286	212 220	21 147
7	Lipiec	237 288	20 263	210 684	18 001
8	Sierpień	248 918	20 860	265 606	24 560
9	Wrzesień	282 209	22 119	257 647	22 737
10	Październik	297 690	18 912	258 839	22 341
11	Listopad	312 312	21 643		
12	Grudzień	300 543	26 223		
Razem		3 184 640	256 931	2 460 453	224 713

Tabela 29. Emisja GHG związana ze zużyciem nośników energetycznych dla zakładu 4 za 2022 rok

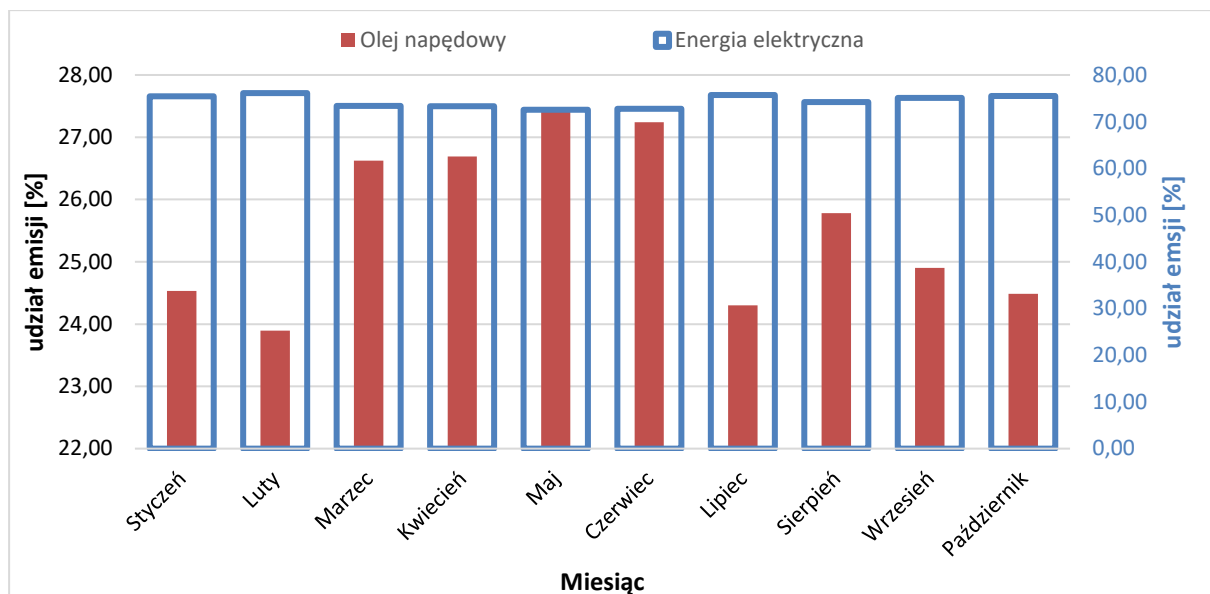
Lp.	Miesiąc	Energia elektryczna		Olej napędowy		Suma emisji
		Emisja	Udział	Emisja	Udział	kg CO _{2eq}
		kg CO _{2eq}	%	kg CO _{2eq}	%	
1	Styczeń	318 496,00	78,44	61 967,00	21,56	287 462,50
2	Luty	279 986,00	78,48	54 368,00	21,52	252 597,80
3	Marzec	259 604,00	75,57	59 414,00	24,43	243 213,40
4	Kwiecień	226 381,00	75,71	51 415,00	24,29	211 692,90
5	Maj	226 763,00	73,98	56 459,00	26,02	217 006,70
6	Czerwiec	194 450,00	71,84	53 961,00	28,16	191 631,40
7	Lipiec	237 288,00	75,71	53 900,00	24,29	221 899,50
8	Sierpień	248 918,00	76,05	55 488,00	23,95	231 721,50
9	Wrzesień	282 209,00	77,25	58 837,00	22,75	258 640,50
10	Październik	297 690,00	80,73	50 306,00	19,27	261 070,40
11	Listopad	312 312,00	79,34	57 570,00	20,66	278 687,30
12	Grudzień	300 543,00	75,31	69 753,00	24,69	282 537,60
Razem		3 184 640,00	76,74	683 436,00	23,26	2 938 161,60

Tabela 30. Emisja GHG związana ze zużyciem nośników energetycznych dla zakładu 4 za 2023 rok

Lp.	Miesiąc	Energia elektryczna		Olej napędowy		Suma emisji
		Emisja	Udział	Emisja	Udział	kg CO _{2eq}
		kg CO _{2eq}	%	kg CO _{2eq}	%	
1	Styczeń	201 432,00	75,47	65 481,00	24,53	266 913,60
2	Luty	191 675,00	76,11	60 180,00	23,89	251 855,30
3	Marzec	172 479,00	73,38	62 577,00	26,62	235 055,90
4	Kwiecień	158 439,00	73,31	57 682,00	26,69	216 121,20
5	Maj	164 837,00	72,52	62 446,00	27,48	227 283,40
6	Czerwiec	150 252,00	72,76	56 251,00	27,24	206 502,80
7	Lipiec	149 164,00	75,70	47 883,00	24,30	197 046,90
8	Sierpień	188 049,00	74,22	65 330,00	25,78	253 378,60
9	Wrzesień	182 414,00	75,10	60 480,00	24,90	242 894,50
10	Październik	183 258,00	75,51	59 427,00	24,49	242 685,10
Razem		1 742 001,00	74,45	597 737,00	25,55	2 339 737,30



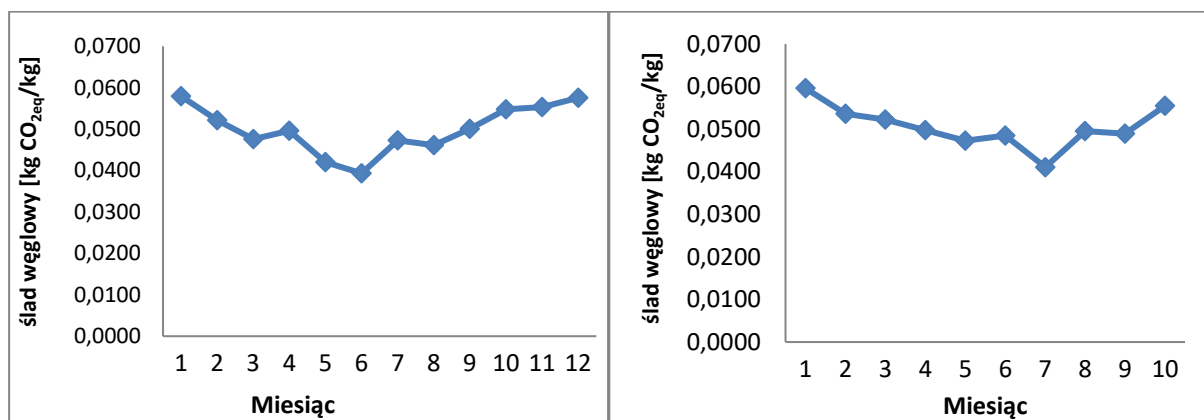
Rys. 12. Miesięczny udział emisji poszczególnych nośników energii dla zakładu 4 w 2022 roku



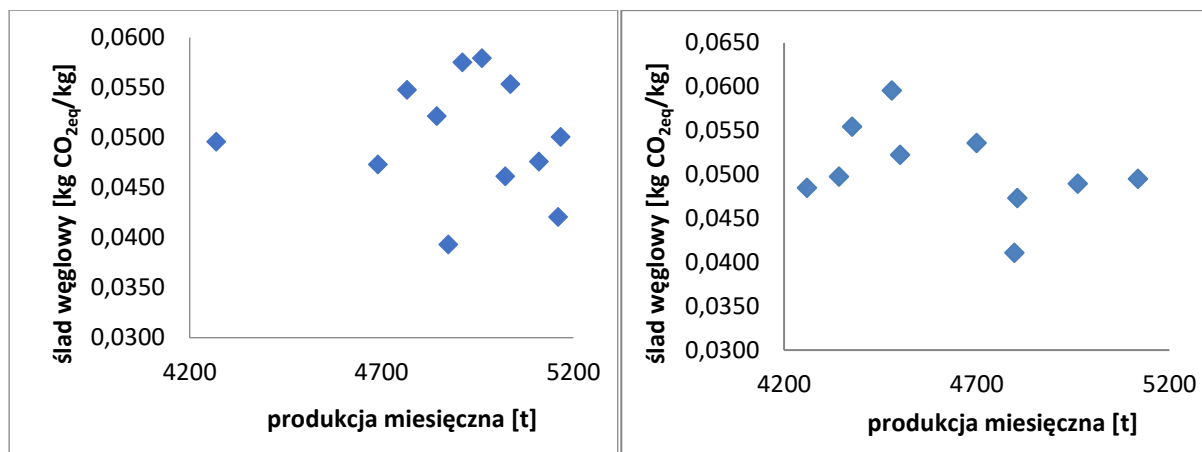
Rys. 13. Miesięczny udział emisji poszczególnych nośników energii dla zakładu 4 w 2023 roku

Tabela 31. Miesięczne wartości śladu węglowego dla zakładu 4 w 2022 roku

Lp.	Miesiąc	2022 rok	2023 rok
		CF [kg CO _{2eq} /kg]	CF [kg CO _{2eq} /kg]
1	styczeń	0,0579	0,0596
2	luty	0,0521	0,0536
3	marzec	0,0476	0,0522
4	kwiecień	0,0496	0,0498
5	maj	0,0421	0,0473
6	czerwiec	0,0393	0,0485
7	lipiec	0,0473	0,0411
8	sierpień	0,0461	0,0495
9	wrzesień	0,0501	0,0490
10	październik	0,0548	0,0555
11	listopad	0,0553	
12	grudzień	0,0575	
CF_{ŚR}		0,0500	0,0505



Rys. 14. Miesięczny ślad węglowy dla zakładu 4 w 2022 i 2023 roku



Rys. 15. Zależność CF od miesięcznej wielkości produkcji dla zakładu 4 w 2022 i 2023 roku

Na podstawie danych zużycia nośników energetycznych wyliczono emisję GHG oraz określono udział procentowy poszczególnych źródeł (tabela 29 i 30) dla zakładu 4 i przedstawiono graficznie na rysunkach 12 i 13. Uwzględniając otrzymane wyniki wyznaczono ślad węglowy dla poszczególnych miesięcy w analizowanym roku (tabela 31). Określony ślad węglowy produkcji mąki w zakładzie 4 (zakres analizy: produkcja i transport) w odniesieniu do masy jednostkowej wynosił 0,0421 - 0,0579 kg CO_{2eq}/kg (dla 2022 roku) i 0,0411 - 0,0596 kg CO_{2eq}/kg (dla 2023 roku), a średni CF 0,0500 kg CO_{2eq}/kg (dla 2022 roku) i 0,0505 kg CO_{2eq}/kg (dla 2023 roku). Stwierdzono, że istnieje zależność między śladem węglowym produkcji mąki od pory roku (rys. 14) dla rozpatrywanych lat (2022 i 2023). Ponadto nie stwierdzono istotnego związku między śladem węglowym a miesięczną wielkością produkcji (rys. 15). Średnie emisje GHG związane z produkcją pochodziły głównie z pośrednich emisji (zużycie energii elektrycznej) i stanowiły 76,74% (dla 2022 roku); 74,45% (dla 2023 roku) całkowitych emisji. Emisje GHG związane z transportem (zużycie oleju napędowego) były stałe przez cały analizowany rok i wynosiły średnio tylko 23,26% (dla 2022 roku); 25,55% (dla 2023 roku).

6.2 BADANIA I ANALIZA CF PRODUKCJI PIECZYWA

Przeprowadzono analizę produkcji pieczywa dla jednego zakładu. W badaniach wykorzystano wartości pomiarów energii i paliw za 2022 i 2023 rok, w celu opracowania bazy danych. Przeprowadzono analizę produkcji pieczywa w kontekście opracowania metodologii wyliczenia śladu węglowego. Po scharakteryzowaniu procesu technologicznego, określono zakres pomiarowy CF. Opracowano metodę liczenia śladu węglowego. Na podstawie uzyskanych danych przeprowadzono badania śladu węglowego produkcji pieczywa, w celu

określenia właściwej metody szacowania śladu węglowego, możliwej do zastosowania w innych piekarniach. Poniżej zaprezentowano uzyskane dane dotyczące procesów produkcji pieczywa. Posłużono się wskaźnikami konwersji zastosowanych nośników energii (tabela 32).

Tabela 32. Współczynniki konwersji zastosowanych nośników energii do analizy produkcji pieczywa w zakładzie

Media energetyczne	Źródło	Wartość wskaźnika
Olej napędowy [litry]	https://www.gov.uk/government/publications/greenhouse-gas-reporting-conversion-factors-2023	2,66 kg CO _{2eq} /litr
Benzyna [litry]		2,35 kg CO _{2eq} /kWh
Gaz [kWh]		0,2 kg CO _{2eq} /kWh
Energia elektryczna [kWh]	KOBiZE, 2022	0,708 kg CO _{2eq} /kWh

Tabela 33. Zużycie mediów energetycznych od września 2022 do sierpnia 2023 roku

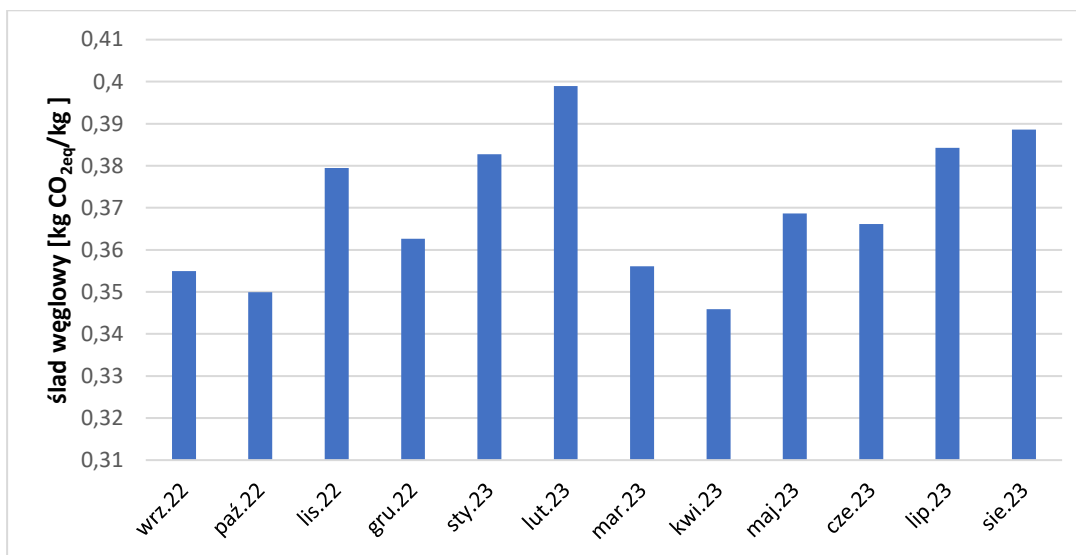
Miesiąc	Energia elektryczna [kWh]	Gaz [kWh]	ON - olej napędowy [litr]	PB - benzyna [itr]
Wrzesień 2022	281174,68	622942,00	12517,00	552,00
Październik 2022	283776,18	624708,00	12781,00	558,00
Listopad 2022	285291,20	689910,00	13253,00	503,00
Grudzień 2022	282344,59	707535,00	13565,00	605,00
Styczeń 2023	277818,60	703381,00	14411,00	559,00
Luty 2023	268548,79	644160,00	13945,00	510,00
Marzec 2023	285322,91	736948,00	14450,00	499,00
Kwiecień 2023	273366,39	621712,00	13429,00	541,00
Maj 2023	292417,12	646620,00	14569,00	590,00
Czerwiec 2023	283658,16	567951,00	13644,00	598,00
Lipiec 2023	283217,79	551455,00	12496,00	575,00
Sierpień 2023	299381,58	578517,00	13052,00	587,00
Razem	3396317,99	7695839,00	162112,00	6677,00

Tabela 34. Wielkość produkcji pieczywa

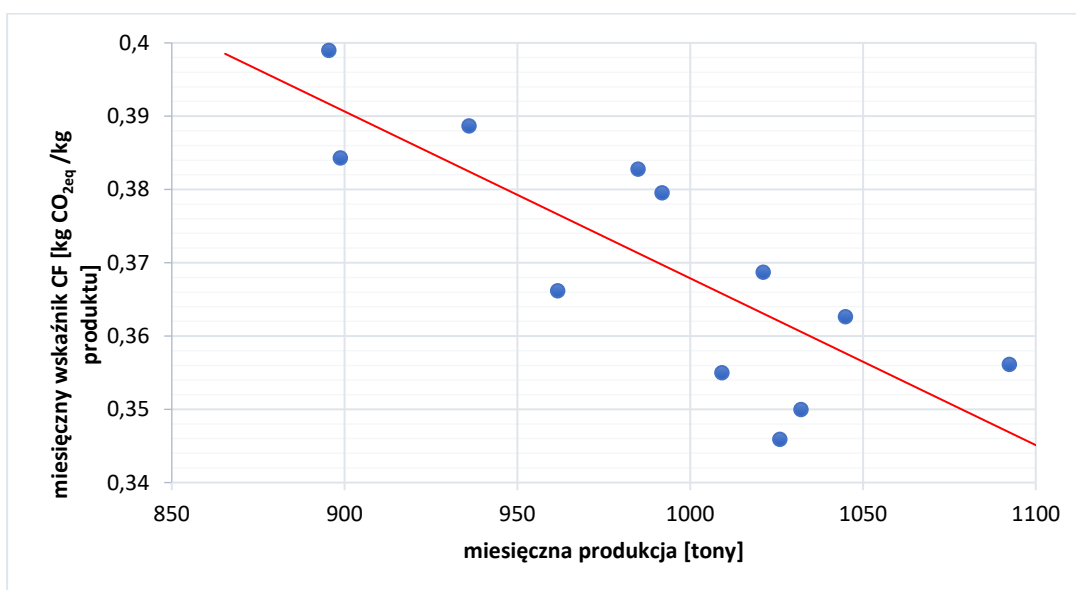
Miesiąc	Wielkość produkcji [t]
Wrzesień 2022	1009,22
Październik 2022	1032,08
Listopad 2022	991,82
Grudzień 2022	1044,91
Styczeń 2023	984,96
Luty 2023	895,42
Marzec 2023	1092,37
Kwiecień 2023	1025,98
Maj 2023	1021,16
Czerwiec 2023	961,64
Lipiec 2023	898,78
Sierpień 2023	935,99
Razem	100 170,90

Tabela 35. Ślad węglowy produkcji pieczywa

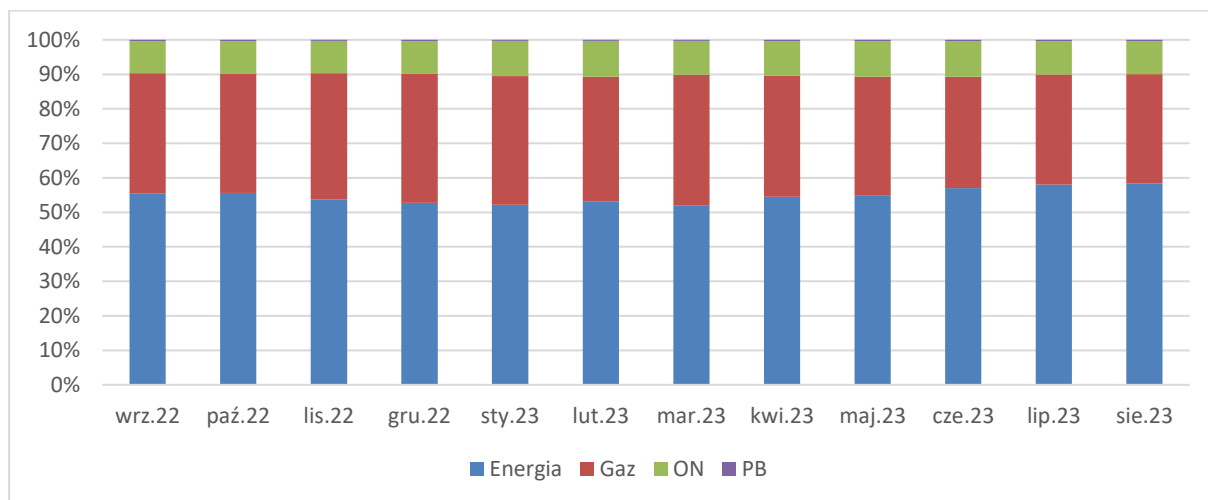
Miesiąc	CF [kg CO _{2eq} /kg]
Wrzesień 2022	0,35
Październik 2022	0,35
Listopad 2022	0,38
Grudzień 2022	0,36
Styczeń 2023	0,38
Luty 2023	0,40
Marzec 2023	0,36
Kwiecień 2023	0,35
Maj 2023	0,37
Czerwiec 2023	0,37
Lipiec 2023	0,38
Sierpień 2023	0,39
CF_{SR}	0,37



Rys 16. Miesięczny wskaźnik śladu węglowego CF [kg CO_{2eq}/kg]



Rys 17. Zależność wskaźnika CF od produkcji miesięcznej



Rys. 18. Miesięczny udział emisji poszczególnych nośników energii dla zakładu w zakresie analizowanego roku (wrzesień 2022 - sierpień 2023)

Na podstawie danych zużycia nośników energetycznych oraz wielkości produkcji (tabela 33 i 34) wyliczono emisję GHG. Uwzględniając otrzymane wyniki wyznaczono ślad węglowy dla poszczególnych miesięcy w analizowanym okresie (tabela 35). Określony ślad węglowy produkcji pieczywa w zakładzie (zakres analizy: produkcja i transport) w odniesieniu do masy jednostkowej wynosił 0,35 – 0,40 kg CO_{2eq}/kg, a średni CF 0,37 kg CO_{2eq}/kg. Stwierdzono brak zależności śladu węglowego produkcji pieczywa od analizowanego miesiąca (rys. 16). Najniższa wartość CF jest w kwietniu 2023, a najwyższa w lutym 2023 dla wartości produkcji miesięcznej wynoszącej odpowiednio 1026 ton i 895 ton. Ponadto, zidentyfikowano zależność między śladem węglowym a miesięczną wielkością produkcji (rys. 17), im wyższa produkcja tym mniejsza jednostkowa emisja GHG. Udziały poszczególnych źródeł w emisji przedstawiono na rysunku 18. Emisja gazów cieplarnianych związana z produkcją pieczywa pochodzi głównie z emisji pośredniej wynikającej ze zużytej energii elektrycznej, co stanowi od 52 – 58% emisji całkowitej (średnio ok. 55%). Kolejne źródło emisji związane jest ze zużytym gazem (emisja bezpośrednia) i wynosi od 32 - 38% emisji całkowitej (średnio 35%).

6.3 BADANIA I ANALIZA CF PRODUKCJI CUKRU

Przeprowadzono analizę produkcji cukru dla trzech krajowych cukrowni w kontekście opracowania metodologii wyliczenia śladu węglowego. Zakres analizy został rozszerzony o uprawę buraka cukrowego. Dzięki współpracy z Krajową Grupą Spożywcą otrzymano również karty pola (dane uzyskane od gospodarstw uprawiających buraki cukrowe). Przeanalizowano dane dotyczące uprawy buraka cukrowego, ilość zastosowanych nawozów i

środków ochrony roślin. Analiza obejmowała proces produkcji buraka cukrowego od momentu przygotowania pola do uprawy, aż po transport do miejsca składowania oraz proces produkcji cukru i pozostałego asortymentu. W zakładzie produkcyjnym, 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 2022 rok. Na podstawie uzyskanych danych przeprowadzono badania śladu węglowego wytwarzania cukru. Poniżej zaprezentowano uzyskane dane dotyczące procesów uprawy buraka i produkcji cukru w analizowanych obiektach.

Analiza CF uprawy buraka wymaga uwzględnienie ekwiwalentu CO₂ emisji metanu CH₄ i podtlenku azotu N₂O, pochodzących z produkcji nawozów naturalnych. Emisje pochodzące z produkcji nawozów naturalnych były uwzględniane oddzielnie od emisji pochodzących ze składowania nawozów naturalnych i ich emisji z gleby zgodnie z wytycznymi IPCC. Wyliczone emisje CO₂ pochodzące z uprawy buraka cukrowego (z różnych źródeł) dla trzech analizowanych gospodarstw rolnych (zlokalizowanych w różnych województwach) zestawiono w tabelach 36 i 37, natomiast asymilację CO₂ uprawy buraka przedstawiono w tabeli 38.

Tabela 36. Emisje CO₂ pochodzące z zastosowanych nawozów, środków ochrony roślin, paliwa i nasion dla trzech badanych obiektów w okresie trzech lat

Emisje CO₂ [kg CO_{2eq}/ha]				
Obiekt badany	Rok	1	2	3
1 - woj. zachodnio-pomorskie	Nawozy			
	Korn Kali	1047,00	1047,00	1047,00
	Magnesit	0,00	0,00	698,00
	RMS	809,60	809,60	736,00
	Kizeryt	418,80	418,80	0,00
	Środki ochrony			
	Goltix 700	22,00	22,00	22,00
	Betanol elite	22	22	22
	Kemiron koncentrat	0	0	4,4
	Tebu 250 ew	8,8	8,8	8,8
	Paliwo ON	294,84	288,36	291,6
	Mat. siewny	1,33	1,33	1,33
	Suma	2624,37	2617,89	2831,13
	2 - woj. kujawsko-pomorskie	Nawozy		
Polifoska 6		867,00	867,00	867,00
Sól potasowa		24,00	24,00	24,00
Saletrzak		1104,00	1104,00	1104,00
Saletra amonowa		736,00	736,00	736,00
Środki ochrony				
Goltix		11,00	11,00	11,00
Belveder		11,00	11,00	11,00
Agil		8,80	8,80	8,80

	Metafol	11,00	11,00	11,00
	Paliwo ON	437,40	437,40	437,40
	Mat. siewny	1,18	1,18	1,18
	Suma	3211,38	3211,38	3211,38
3 – woj. lubelskie	Nawozy			
	Lubotos pod bur.	2312,00	2312,00	2312,00
	Saletra z borem	2576,00	2576,00	2576,00
	Środki ochrony			
	Piramin Turbo	27,50	27,50	27,50
	Beetup	44,00	44,00	44,00
	Goltrix	27,50	27,50	27,50
	Yargo	11,00	11,00	11,00
	Paliwo ON	291,60	324,00	324,00
	Mat. siewny	1,26	1,26	1,26
	Suma	5290,86	5323,26	5323,26

Tabela 37. Emisje związane z N₂O przy uprawie buraka cukrowego dla trzech badanych obiektów w okresie trzech lat

Emisje N ₂ O [CO ₂ eq kg/ha] z nawozów				
Obiekt badany	Rok	1	2	3
1 - woj. zachodnio-pomorskie	RMS	819,50	819,50	745,00
	Suma	819,50	819,50	745,00
2 – woj. kujawsko-pomorskie	Polifoska 6	1117,50	1117,50	1117,50
	Saletrzak	1117,50	1117,50	1117,50
	Saletra amonowa	745,00	745,00	745,00
	Suma	2980,00	2980,00	2980,00
3 – woj. lubelskie	Lubotos pod bur.	2980,00	2980,00	2980,00
	Saletra z borem	2398,90	2398,90	2398,90
	Suma	5378,90	5378,90	5378,90

Tabela 38. Asymilacja CO₂ uprawy buraka dla trzech badanych obiektów w okresie trzech lat

Asymilacja CO ₂ [CO ₂ eq kg/ha]					
Obiekt badany	Rok		1	2	3
1 - woj. zachodnio-pomorskie	Korzeń	S. masa %	23,00	23,00	23,00
		Sucha m.kg.	18726,60	12905,30	14526,80
		Wskaźnik s.m.	19,00	19,00	19,00
		S.m. kg	355,80	245,20	276,01
		C/N	40,00	40,00	40,00
		Masa C	14232,22	9808,03	11040,37
		Asym.CO ₂	52190,01	35966,37	40485,40
	Liście	S. masa%	13,00	13,00	13,00
		Sucha m.kg.	8636,74	5951,95	6699,79
		Wskaźnik s.m.	33,00	33,00	33,00
		S.m. kg	285,01	196,41	221,09
		C/N	11,00	11,00	11,00
		Masa C	3135,14	2160,56	2432,02
		Asym.CO ₂	11496,65	7922,83	8918,31
	Suma		63686,66	43889,20	49403,70
	Wartość średnia			52326,52	
2 – woj. kujawsko-pomorskie	Korzeń		2012	2013	2014
		S. masa%	23,00	23,00	23,00
		Sucha m.kg.	13869,00	1242,00	12144,00
		wskaźnik s.m.	19,00	19,00	19,00
		S.m. kg	263,51	235,98	230,74

		C/N	40,00	40,00	40,00	
		Masa C	10540,44	9439,20	9229,44	
		Asym.CO ₂	38652,14	34613,86	33844,66	
	Liście	S. masa%	13,00	13,00	13,00	
		Sucha m.kg.	6396,41	5728,13	5600,83	
		wskaźnik s.m.	33,00	33,00	33,00	
		S.m. kg	211,08	189,03	184,82	
		C/N	11,00	11,00	11,00	
		Masa C	2321,89	2079,31	2033,10	
		Asym.CO ₂	8514,47	7624,90	7455,45	
	Suma		47166,61	42238,76	41300,12	
	Wartość średnia		43568,50			
	3 – woj. lubelskie	Korzeń	S. masa%	23,00	23,00	23,00
			Sucha m.kg.	16675,00	10005,00	17457,00
			Wskaźnik s.m.	19,00	19,00	19,00
S.m. kg			316,82	190,09	331,68	
C/N			40,00	40,00	40,00	
Masa C			12673,00	7603,80	13267,32	
Asym.CO ₂			46472,31	27883,39	48651,71	
Liście		S. masa%	13,00	13,00	13,00	
		Sucha m.kg.	7690,54	4614,32	8051,20	
		Wskaźnik s.m.	33,00	33,00	33,00	
		S.m. kg	253,79	152,27	265,68	
		C/N	11,00	11,00	11,00	
		masa C	2791,67	1674,99	2922,58	
		Asym.CO ₂	10237,13	6142,28	10717,22	
Suma			56709,44	34025,67	59368,92	
Wartość średnia		50034,68				

Badania zostały przeprowadzane z zastosowaniem metody LCA skumulowanych emisji gazów cieplarnianych powstających podczas uprawy buraka cukrowego. Analiza emisji CO_{2eq} pochodzące z zastosowanych nawozów, środków ochrony roślin, paliwa i nasion dla trzech badanych obiektów w okresie trzech lat wykazała że najwyższa wartość została zarejestrowana dla obiektu 3 zlokalizowanego w woj. lubelskim i emisja kształtowała się na poziomie 5300 CO_{2eq} kg/ha. Najniższa emisja została wyliczona dla obiektu 1 zlokalizowanego w woj. zachodnio-pomorskie i mieściła się w zakresie od 2600 do 2800 CO_{2eq} kg/ha. W przypadku obiektu 2 zlokalizowanego w woj. kujawsko-pomorskie, emisje wynosiły 3200 CO_{2eq} kg/ha. Analiza emisji związane z N₂O przy uprawie buraka cukrowego dla trzech badanych obiektów w okresie trzech lat wykazała, że najwyższa wartość została zarejestrowana dla obiektu 3 zlokalizowanego w woj. lubelskim i emisja kształtowała się na poziomie około 5400 CO_{2eq} kg/ha. Najniższa emisja została wyliczona dla obiektu 1 zlokalizowanego w woj. zachodnio-pomorskim i mieściła się w zakresie od 750 do 820 CO_{2eq} kg/ha. W przypadku obiektu 2 zlokalizowanego w woj. kujawsko-pomorskim, emisja wynosiła około 3000 CO_{2eq} kg/ha. Średnie wielkości asymilacji CO₂ uprawy buraka dla trzech badanych obiektów w okresie trzech lat była najmniejsza w obiekcie nr 2 i wyniosła około 43600 CO_{2eq} kg/ha, a najwięcej

dla obiektu nr 1 i wyniosła około 52300 CO_{2eq} kg/ha. Dla obiektu nr 3 średnia asymilacji CO₂ wyniosła 50000 CO_{2eq} kg/ha. Emisje GHG uprawy buraka cukrowego zależą od wielu czynników, takich jak metody uprawy, stosowane nawozy, transport, a także zarządzanie odpadami. Dokładne obliczenie śladu węglowego uprawy buraków cukrowych wymaga analizy wielu czynników i otrzymane wyniki różnią się w zależności od konkretnych warunków uprawy oraz wielkości gospodarstwa. Stwierdzono, że głównym źródłem emisji GHG w uprawie buraka cukrowego są nawozy (ich rodzaj oraz użyta ilość).

Przeprowadzono szczegółową analizę produkcji cukru dla trzech krajowych cukrowni, koncentrując się na opracowaniu metodyki obliczania śladu węglowego. Analizie poddano produkcję cukru oraz pozostałego asortymentu. Po dokładnym scharakteryzowaniu procesu technologicznego w zakładzie produkcyjnym (cukrowni), określono zakres pomiarowy śladu węglowego. Opracowano metodologię obliczania śladu węglowego, a zebrane dane emisyjne i produkcyjne zostały zarejestrowane w dedykowanej bazie danych. W badaniach wykorzystano wskaźniki emisyjności energii elektrycznej i paliw za 2022 rok (tabela 39). Na podstawie zebranych informacji przeprowadzono analizę śladu węglowego związanego z produkcją cukru. Opracowano bazę danych, w której gromadzono dane produkcyjne i zużycia nośników energetycznych, a dane zbiorcze dla 2022 roku przedstawiono w tabelach 40 - 44. Poniżej przedstawiono uzyskane dane dotyczące procesów produkcji cukru w badanych obiektach.

Tabela 39. Współczynniki konwersji zastosowanych nośników energii do analizy produkcji cukru w zakładzie

Media energetyczne	Źródło	Wartość wskaźnika
Olej opałowy [litr]	https://www.gov.uk/government/publications/greenhouse-gas-reporting-conversion-factors-2023	2,54 kg CO _{2eq} /litr
Olej napędowy [litr]		2,66 kg CO _{2eq} /litr
Benzyna [litr]		2,35 kg CO _{2eq} /litr
Gaz [kWh]		0,2 kg CO _{2eq} /kWh
Koks [ton]		3386,57 kg CO _{2eq} /tona
Miał węglowy [ton]		2396,48 kg CO _{2eq} /tona
Antracyt [ton]		2396,48 kg CO _{2eq} /tona
Energia elektryczna [kWh]	KOBiZE, 2022	0,708 kg CO _{2eq} /kWh

Tabela 40. Udział procentowy produkcji poszczególnych produktów [%] w 2022 roku

Cukrownie	Melasa	Wysłodki	Cukier w soku	Węgiel	Cukier
Zakład 1	6,40	60,05	0	6,28	27,27
Zakład 2	7,07	54,75	6,46	6,27	25,45
Zakład 3	7,48	53,99	5,66	5,86	27,02

Tabela 41. Charakterystyka zużycia nośników energetycznych w zakładzie 1 w 2022 roku

	Energia elektryczna	Olej napędowy	Benzyna	Gaz	Olej opalowy	Koks	Miał węglowy
	[kWh]	[t]	[t]	[t]	[t]	[t]	[t]
Styczeń	454 311	0,12	0,15	0,15	0,02	12,50	195,64
Wrzesień	2 240 759	2,20	2,65	2,72	0,29	222,67	3486,09
Październik	3 053 310	3,10	3,74	3,83	0,41	313,46	4907,40
Listopad	2 985 052	2,88	3,47	3,56	0,38	291,12	4557,66
Grudzień	3 081 389	2,89	3,48	3,57	0,39	292,25	3040,96

Tabela 42. Charakterystyka zużycia nośników energetycznych w zakładzie 2 w 2022 roku

	Energia elektryczna	Olej napędowy	Benzyna	Gaz	Koks	Miał węglowy
	[kWh]	[t]	[t]	[t]	[t]	[t]
Styczeń	486 192	0	0	0	0	0
Wrzesień	4 522 874	9,63	0,07	0,69	477,58	7663,46
Październik	6 178 322	14,28	0,11	1,03	708,48	11368,54
Listopad	5 949 303	13,14	0,10	0,95	652,15	10464,64
Grudzień	6 082 534	13,13	0,10	0,95	651,48	10453,79

Tabela 43. Charakterystyka zużycia nośników energetycznych w zakładzie 3 w 2022 roku

	Energia elektryczna	Olej napędowy	Benzyna	Gaz	Miał węglowy	Koks	Antracyt
	[kWh]	[t]	[t]	[t]	[t]	[t]	[t]
Styczeń	837 325	0,16	0,28	0	491,55	37,43	0,04
Wrzesień	1 610 159	0,55	0,97	0	1667,76	126,99	0,13
Październik	4 293 711	2,11	3,69	0	6374,28	485,34	0,48
Listopad	4 215 939	2,04	3,57	0	6169,79	469,77	0,47
Grudzień	4 473 987	2,13	3,73	0	6441,62	490,47	0,49

Tabela 44. Wielkość produkcji cukru [t] dla 2022 roku dla trzech zakładów

	Zakład 1	Zakład 2	Zakład 3
Styczeń	3113	0	8394
Wrzesień	55471	122205	28480
Październik	78087	181288	108852
Listopad	72522	166874	105360
Grudzień	72803	166701	110002

Tabela 45. Emisja GHG związana ze zużyciem nośników energetycznych dla zakładu 1 za 2022 rok

	Energia elektryczna		Olej napędowy		Benzyna		Gaz	
	Emisja	Udział	Emisja	Udział	Emisja	Udział	Emisja	Udział
	kg CO _{2eq}	%	kg CO _{2eq}	%	kg CO _{2eq}	%	kg CO _{2eq}	%
Styczeń	321652,19	38,56	395,70	0,05	469,74	0,06	463,04	0,06
Wrzesień	1586457,40	14,80	7051,08	0,07	8370,28	0,08	8251,05	0,08
Październik	2161743,50	14,39	9925,87	0,07	11782,91	0,08	11615,07	0,08
Listopad	2113416,80	15,04	9218,49	0,07	10943,18	0,08	10787,31	0,08
Grudzień	2181623,40	20,79	9254,20	0,09	10985,58	0,10	10829,10	0,10
Suma	8364893,30	16,36	35845,35	0,07	42551,69	0,08	41945,58	0,08
	Olej opalowy		Koks		Miał węglowy		Suma emisji wszystkich nośników	
	Emisja	Udział	Emisja	Udział	Emisja	Udział		
	kg CO _{2eq}	%	kg CO _{2eq}	%	kg CO _{2eq}	%		
Styczeń	52,23	0,01	42319,71	5,07	468840,81	56,20	834193,43	
Wrzesień	930,77	0,01	754101,02	7,03	8354342,65	77,94	10719504,26	
Październik	1310,26	0,01	1061554,45	7,07	11760479,44	78,31	15018411,50	
Listopad	1216,88	0,01	985901,00	7,02	10922349,30	77,72	14053832,96	
Grudzień	1221,59	0,01	989721,06	9,43	7287590,49	69,46	10491225,44	
Suma	4731,73	0,01	3833597,24	7,50	38793602,69	75,89	51117167,58	

Tabela 46. Emisja GHG związana ze zużyciem nośników energetycznych dla zakładu 2 za 2022 rok

	Energia elektryczna		Olej napędowy		Benzyna		
	Emisja	Udział	Emisja	Udział	Emisja	Udział	
	kg CO _{2eq}	%	kg CO _{2eq}	%	kg CO _{2eq}	%	
Styczeń	344223,90	100,00	0,00	0,00	0,00	0,000	
Wrzesień	3202195,00	13,79	30839,98	0,13	209,48	0,001	
Październik	4374252,00	12,84	45750,33	0,13	308,83	0,001	
Listopad	4212107,00	13,35	42112,77	0,13	284,62	0,001	
Grudzień	4306434,00	13,62	42069,12	0,13	281,57	0,001	
Suma	16439211,0	13,61	160772,20	0,13	1084,50	0,001	
	Gaz		Koks		Miał węglowy		Suma emisji wszystkich nośników
	Emisja	Udział	Emisja	Udział	Emisja	Udział	
	kg CO _{2eq}	%	kg CO _{2eq}	%	kg CO _{2eq}	%	
Styczeń	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	344223,90
Wrzesień	2106,39	0,01	1617373,27	6,97	18365317,95	79,10	23218042,07
Październik	3670,70	0,01	2399331,98	7,04	27244480,67	79,97	34067794,51
Listopad	2876,33	0,01	2208563,86	7,00	25078303,40	79,50	31544247,98
Grudzień	2873,35	0,01	2206274,22	6,98	25052304,47	79,25	31610236,73
Suma	11526,76	0,01	8431543,33	6,98	95740406,49	79,27	120784544,29

Tabela 47. Emisja GHG związana ze zużyciem nośników energetycznych dla zakładu 3 za 2022 rok

	Energia elektryczna		Olej napędowy		Benzyna		Gaz	
	Emisja	Udział	Emisja	Udział	Emisja	Udział	Emisja	Udział
	kg CO _{2eq}	%	kg CO _{2eq}	%	kg CO _{2eq}	%	kg CO _{2eq}	%
Styczeń	592826,10	31,22	520,61	0,03	898,18	0,047	0	0
Wrzesień	1139992,60	20,46	1766,38	0,03	3047,44	0,055	0	0
Październik	3039947,40	15,22	6751,20	0,03	11647,48	0,058	0	0
Listopad	2984884,80	15,40	6534,62	0,03	11273,83	0,058	0	0
Grudzień	3167582,80	15,61	6822,52	0,03	11770,54	0,058	0	0
Suma	10925234,00	16,28	22395,33	0,03	38637,48	0,058	0	0
	Miał węglowy		Koks		Antracyt		Suma emisji wszystkich nośników	
	Emisja	Udział	Emisja	Udział	Emisja	Udział		
	kg CO _{2eq}	%	kg CO _{2eq}	%	kg CO _{2eq}	%		
Styczeń	1177978,62	62,03	126748,21	6,67	89,14	0,005	1899060,86	
Wrzesień	3996763,29	71,73	430043,97	7,72	302,43	0,005	5571916,11	
Październik	15275831,37	76,46	1643649,80	8,23	1155,89	0,006	19978983,14	
Listopad	14785778,79	76,29	1590921,09	8,21	1118,81	0,006	19380511,94	
Grudzień	15437217,53	76,10	1661014,63	8,19	1168,10	0,006	20285576,13	
Suma	50673569,60	75,50	5452377,70	8,12	3834,37	0,006	67116048,48	

Tabela 48. Ślad węglowy produkcji cukru [kg CO_{2eq}/kg] (uwzględniając wszystkie nośniki energii) dla trzech zakładów

CF	Zakład 1	Zakład 2	Zakład 3
Styczeń	0,27	0	0,23
Wrzesień	0,19	0,19	0,20
Październik	0,19	0,19	0,18
Listopad	0,19	0,19	0,18
Grudzień	0,14	0,19	0,18
CF_{sr}	0,18	0,19	0,19

Obliczono emisję GHG oraz określono udział procentowy poszczególnych źródeł (tabela 45 - 47) dla analizowanych zakładów wykorzystując dane zużycia nośników energetycznych. Na podstawie uzyskanych wyników wyznaczono ślad węglowy dla poszczególnych miesięcy (Styczeń, Wrzesień, Październik, Listopad, Grudzień), którego wartości zamieszczono w tabeli 48. Określony ślad węglowy produkcji cukru w odniesieniu do masy jednostkowej wynosił 0,14 – 0,27 kg CO_{2eq}/kg, a średni CF_{SR} wynosił: dla zakładu 1 - 0,18; dla zakładu 2 – 0,19; dla zakładu 3 - 0,19 kg CO_{2-e}/kg. Stwierdzono zależność między śladem węglowym a miesięczną wielkością produkcji. Średnie emisje GHG związane z produkcją pochodzą głównie z emisji bezpośredniej wynikającej ze zużytego mialu węglowego, co stanowi od 75 do 79 % emisji całkowitej. Emisje gazów cieplarnianych (GHG) związane z produkcją cukru są uzależnione od szeregu zmiennych. Precyzyjne obliczenia śladu węglowego wymagają analizy wielu czynników, a uzyskane wyniki mogą się różnić w zależności od konkretnych warunków produkcyjnych.

7. POSUMOWANIE I WNIOSKI

Przeprowadzona analiza branży młynarskiej, piekarniczej i cukrowniczej pozwoliła na sformułowanie następujących stwierdzeń. Na podstawie badań śladu węglowego dla 4 zakładów wykazano, że średni wskaźnik CF wytwarzania mąki mieści się w zakresie od 0,0422 do 0,0804 kg CO_{2eq}/kg produktu. Uzyskano powtarzalność wyników dla dwóch lat produkcji (2022, 2023 roku). Wartości śladu węglowego dla produkcji mąki w analizowanych zakładach różnią się w zależności od zastosowanych urządzeń, technologii oraz lokalizacji zakładu. Ten wynik może stanowić punkt odniesienia do działań mających na celu redukcję emisji gazów cieplarnianych w procesie produkcyjnym.

Na podstawie analizy produkcji pieczywa dla jednego zakładu dla dwóch lat (2022 i 2023) wyliczono emisję GHG. Określony ślad węglowy produkcji pieczywa w zakładzie w odniesieniu do masy jednostkowej wynosił 0,35 – 0,40 kg CO_{2eq}/kg, a średni CF 0,37 kg CO_{2eq}/kg. Nie znaleziono zależności śladu węglowego produkcji pieczywa od analizowanego miesiąca, natomiast stwierdzono zależność między śladem węglowym a miesięczną wielkością produkcji. Im wyższa produkcja tym mniejsza jednostkowa emisja GHG. Emisja gazów cieplarnianych związana z produkcją pieczywa pochodzi głównie z emisji pośredniej wynikającej ze zużytej energii elektrycznej, co stanowi średnio 55% emisji całkowitej.

Przeprowadzona analiza produkcji cukru dla trzech krajowych cukrowni umożliwiła opracowanie bazy danych i obliczenie śladu węglowego. Wyznaczono ślad węglowy dla poszczególnych miesięcy (styczeń, wrzesień, październik, listopad, grudzień za rok 2022), który wynosił 0,14 - 0,27 kg CO_{2eq}/kg, a średni CF_{SR}: dla zakładu 1 - 0,18; dla zakładu 2 – 0,19; dla zakładu 3 - 0,19 kg CO_{2-e}/kg. Stwierdzono zależność między śladem węglowym a miesięczną wielkością produkcji. Emisje GHG związane z produkcją pochodzą głównie z emisji bezpośredniej wynikającej ze zużytego mialu węglowego i stanowiły średnio 77 % emisji całkowitej. Analiza śladu węglowego produkcji mąki, pieczywa i cukru w zakładach pozwala zidentyfikować kluczowe obszary do optymalizacji i wprowadzenia działań mających na celu zwiększenie zrównoważenia procesu produkcyjnego. Dalsze badania i implementacja konkretnych środków mogą przyczynić się do znaczącego zmniejszenia negatywnego wpływu produkcji na środowisko.

Skuteczne zarządzanie środowiskowe w sektorze rolniczym i biznesie rozpoczyna się od zrozumienia wpływu na klimat poprzez pomiar śladu węglowego (CF). Rozpowszechnianie wiedzy na temat tego śladu stanowi efektywny bodziec do wdrożenia rozwiązań sprzyjających efektywności zarówno u konsumentów, jak i producentów. CF staje się mierzalnym i rozsądnym fundamentem do rozpoczęcia dyskusji nad strategiami zwiększającymi

efektywność procesów produkcyjnych oraz rozwijania technologii o niskim wpływie emisyjnym. Dla każdej gałęzi produkcji i produktu niezbędne jest przeprowadzenie szczegółowej analizy i dostosowanie metody obliczeń śladu węglowego do konkretnych potrzeb, uwzględniając specyfikę produktów i zastosowanych technologii. Wybór energooszczędnych urządzeń i technologii podczas projektowania ma potencjał generowania oszczędności i jednoczesnego przyczyniania się do ochrony naszej planety. Optymalizacja procesów produkcji i zastosowanie technologii niskoemisyjnych stają się kluczowymi krokami w kierunku zrównoważonej i odpowiedzialnej działalności gospodarczej. Obliczanie śladu węglowego stanowi kluczowy element w redukcji niekorzystnego wpływu na zmiany klimatu, procesy produkcji żywności oraz optymalizację i ograniczenie emisji CO₂ do atmosfery przez branżę spożywczą. Analiza emisji gazów cieplarnianych według GHG Protocol obejmuje trzy główne zakresy dla organizacji czy przedsiębiorstwa. W zakresie 1 skupiamy się na emisjach bezpośrednich, takich jak te związane z procesami technologicznymi oraz czynnikami chłodniczymi, które uwalniają się bezpośrednio w trakcie produkcji. W zakresie 2 mamy do czynienia z emisjami pośrednimi, które wynikają np. z importu energii elektrycznej, ciepłej, pary technologicznej czy chłodu, co wpływa na całkowitą bilans emisji przedsiębiorstwa. Z kolei w zakresie 3 analizujemy inne pośrednie emisje generowane w całym łańcuchu wartości przedsiębiorstwa. Obejmują one aspekty takie jak produkcja surowców, zarządzanie odpadami, a także transport surowców i gotowych produktów. Dzięki uwzględnieniu tych trzech obszarów możemy kompleksowo ocenić wpływ organizacji na środowisko i zidentyfikować obszary, w których można wprowadzić ulepszenia mające na celu zminimalizowanie negatywnego oddziaływania na klimat.

Na podstawie przeprowadzonych prac badawczych sformułowano wytyczne dotyczące kroków analizy śladu węglowego możliwe do zastosowania w rozpatrywanych branżach przemysłu rolno-spożywczego:

- odpowiednia motywacja i cel obliczenia CF,
- zaangażowanie najwyższego kierownictwa: jeśli projekt jest realizowany bez jego bezpośredniego wsparcia prawdopodobieństwo niepowodzenia jest wysokie,
- odpowiednie ustalenie granic analizy (granice organizacyjne i operacyjne),
- zaangażowanie kluczowych pracowników w celu zidentyfikowania procesów i źródeł emisji oraz w procesie zbierania danych,
- przeciwdziałanie problemom związanym z analizą emisji zakresu 3 - zastosowanie zasady istotności, współpraca z dostawcami,
- obliczenie CF jako pierwszy krok: analiza wyników i możliwości redukcji śladu,

- zbudowanie strategii redukcji emisji GHG i monitorowanie działań,
- zarządzanie zmianami i innymi czynnikami,
- raportowanie np. CSRD.

Zmniejszenie śladu węglowego w produkcji żywności jest możliwe dzięki kilku kluczowym strategiom:

1. Dokładna analiza i uniwersalne systemy pomiarowe:

- Wykorzystanie odpowiednich metod analizy śladu węglowego (CF) i stworzenie uniwersalnych systemów pomiarowych pozwalają identyfikować konkretne etapy produkcji żywności, które generują emisję gazów cieplarnianych.

2. Optymalizacja procesów produkcji rolno-spożywczej:

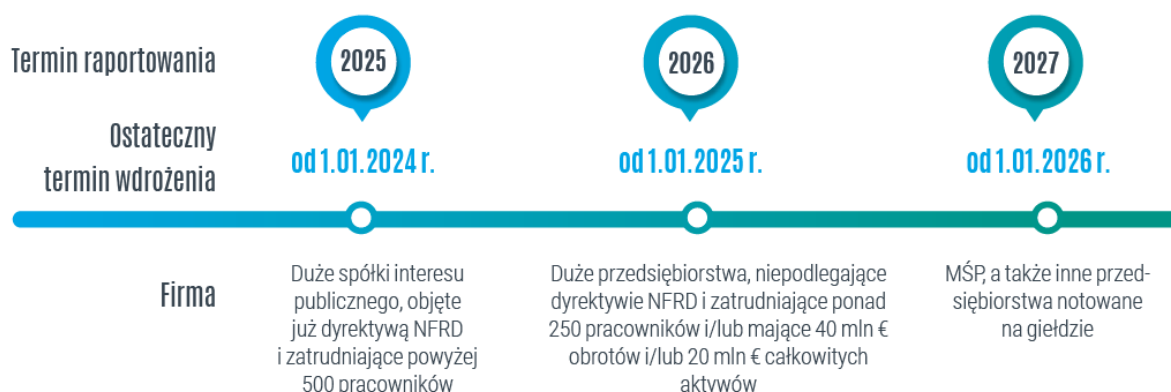
- Skrócenie łańcucha dostaw, co zmniejsza zużycie energii i emisję związane z transportem.
- Optymalizacja instalacji chłodniczych i urządzeń produkcyjnych w celu zwiększenia efektywności energetycznej.
- Racjonalne wykorzystanie chłodu i ciepła, co przyczynia się do ograniczenia energochłonności procesów produkcji.
- Modyfikacja technologii spożywczych, mająca na celu zredukowanie emisji gazów cieplarnianych związanych z konkretnymi etapami produkcji.

3. Minimalizacja śladu węglowego w nowych rozwiązaniach technologicznych:

- Opracowywanie receptur żywności, uwzględniając wybór składników o niższym śladzie węglowym.
- Optymalizacja technologii produkcji, skupiająca się na zmniejszeniu zużycia energii i zminimalizowaniu emisji w poszczególnych etapach procesu produkcyjnego.
- Wybór urządzeń produkcyjnych i przechowalniczych, które charakteryzują się niską emisją gazów cieplarnianych.
- Konfiguracja linii produkcyjnych, uwzględniająca ilość i rodzaj urządzeń w celu zminimalizowania wpływu na środowisko.
- Planowanie produkcji, obejmujące organizację procesów produkcyjnych w sposób sprzyjający redukcji śladu węglowego.

Te działania mają na celu efektywne zmniejszenie wpływu produkcji żywności na środowisko poprzez zastosowanie nowoczesnych technologii i praktyk, które uwzględniają aspekty zrównoważonego rozwoju. Globalne wyzwania związane z koniecznością dążenia do zrównoważonego rozwoju z każdym rokiem zyskują na znaczeniu. Wraz ze wzrostem liczby ludności rośnie zapotrzebowanie na żywność. Produkcja żywności wiąże się z emisją ogromnej ilości gazów

cieplarnianych (GHG), co wywołuje negatywne skutki dla klimatu Ziemi. Do wyzwań rolnictwa i przetwórstwa, możemy zaliczyć: zapewnienie odpowiedniej ilości żywności i ograniczenie emisji GHG. Dlatego Unia Europejska (w grudniu 2022 r.) wprowadziła nowy obowiązek dla producentów dotyczący sprawozdawczości w zakresie zrównoważonego rozwoju. Dyrektywa CSRD ma na celu ujednolicenie standardów raportowania i zwiększenie porównywalności danych oraz dotyczyć będzie śladu węglowego i podejmowanych działań proklimatycznych (jednoznaczny sposób komunikowania środowiskowej polityki). Wprowadza ona harmonogram zastosowania nowych obowiązków, co przedstawia poniższy diagram. W 2027 r. obejmie już wszystkie podmioty.



Kluczowe cele działań proklimatycznych to:

- **podniesienie poziomu ochrony środowiska**
- przyczynienie się do **przyspieszenia zielonej transformacji** w kierunku zielonej i neutralnej dla klimatu gospodarki o obiegu zamkniętym w UE,
- ochrona konsumentów i przedsiębiorstw przed **pseudoekologicznym marketingiem**
- umożliwienie konsumentom przyczynienia się do przyspieszenia zielonej transformacji dzięki podejmowaniu świadomych decyzji o zakupie opartych na wiarygodnych oświadczeniach środowiskowych i oznakowaniu ekologicznym,
- **zwiększenie pewności prawa** w odniesieniu do oświadczeń środowiskowych i równych szans na rynku wewnętrznym,
- zwiększenie konkurencyjności podmiotów gospodarczych, które podejmują działania w celu **zwiększenia zrównoważenia środowiskowego** swoich produktów i działań.

Przeprowadzone badania procesów produkcyjnych w branżach: zbożowo-młynarskiej, piekarniczej i cukrowniczej dostarczyły pełnego zrozumienia dla tych istotnych gałęzi gospodarki. Na podstawie uzyskanych wyników przeprowadzono szereg analiz niezbędnych do pełnej charakteryzacji tych procesów. Obliczenia śladu węglowego okazały się kluczowe, zwłaszcza biorąc pod uwagę złożoność tych procesów oraz ich zależność od różnych warunków prowadzenia. To tylko potwierdza potrzebę cyklicznego wykonywania tych obliczeń,

umożliwiająca stałą kontrolę nad wpływem na środowisko naturalne oraz stanowi podstawę do wprowadzania modyfikacji w technologiach związanych z produkcją żywności. Badania te powinny być kontynuowane, aby uchwycić ewolucję poziomu śladu węglowego, stanowiąc jednocześnie narzędzie opisujące konieczność wprowadzania usprawnień w procesach technologicznych. Zapewnienie ciągłego monitoringu pozwala dostosowywać praktyki produkcyjne do zmiennych warunków oraz skutecznie reagować na potrzeby zrównoważonego rozwoju, co jest kluczowe w kontekście ochrony środowiska naturalnego.



**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