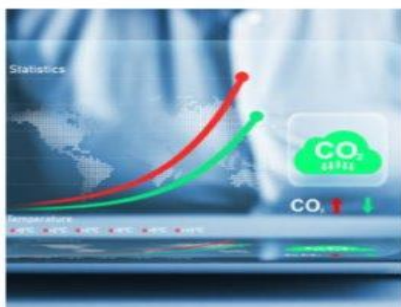




INSTYTUT BIOTECHNOLOGII
PRZEMYSŁU ROLNO-SPOŻYWCZEGO
im. prof. Wacława Dąbrowskiego
PAŃSTWOWY INSTYTUT BADAWCZY

Monitoring gazów cieplarnianych poprzez pomiar rzeczywistego zużycia energii elektrycznej w działalności przetwórczej i przechowalniczej w gospodarstwach rolnych



Badania realizowane w ramach:
Zadanie 5. Monitoring gazów cieplarnianych i zanieczyszczeń powietrza
na zlecenie Ministerstwa Rolnictwa i Rozwoju Wsi
Umowa nr DRR.prz.070.1.2022.

Opracowanie:

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

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

Zakład Technologii i Techniki Chłodnictwa

Łódź, grudzień 2022

Fotografia: pixabay.com

Wprowadzenie

Rolnictwo, zarówno przyczynia się do zmian klimatu, jak i odczuwa ich skutki. Kraje UE muszą zredukować swoje emisje gazów cieplarnianych pochodzących z rolnictwa i zmienić swój system produkcji żywności. W obliczu rosnącego globalnego popytu i konkurencji o zasoby, produkcję żywności w UE należy postrzegać w szerszym kontekście, łączącym rolnictwo, energetykę i bezpieczeństwo żywnościowe.

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 zagrażać bezpieczeństwu żywnościowemu. Nie ma jednego uniwersalnego rozwiązania, dla całej gospodarki rolno-przetwórczej, dlatego należy prowadzić badania z zastosowaniem uniwersalnych instrumentów, 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 gazów cieplarnianych, 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. Jest to jednoznaczne z koniecznością monitoringu mediów energetycznych. 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.

Analiza i monitoring mediów energetycznych

Monitoring gazów cieplarnianych może być przeprowadzony poprzez pomiar rzeczywistego zużycia energii elektrycznej w działalności przetwórczej i przechowalniczej, w tych gospodarstwach rolnych, które taką działalność prowadzą [<https://automatykaonline.pl/Artykuly/Pomiary/Monitoring-zuycia-energii>].

Monitoring energii umożliwia:

- analizowanie zużycia różnych mediów energetycznych, np. energii elektrycznej i ciepłej, ilości gazu, wody oraz sprężonego powietrza przez maszyny lub ciągi produkcyjne,
- sprawdzenie wartości progowych i ich przekroczeń,
- generowanie raportów dla właścicieli, personelu nadzorującego i technicznego,
- dokonanie wyboru najkorzystniejszych taryf – na podstawie analizy kosztów zużycia energii w danym gospodarstwie czy firmie,
- kontrolowanie zużycia energii elektrycznej i gazu w celu uniknięcia przekroczeń,
- analizę rozdziału kosztów mediów energetycznych na poszczególne ciągi technologiczne i procesy,
- optymalizację produkcji dzięki przesunięciu obciążenia na tańsze taryfy czasowe.

Systemowe podejście do oceny efektywności energetycznej w gospodarstwie wymaga:

- przeglądu stanu opomiarowania,
- analizy rzeczywistego zużycia mediów energetycznych,
- kontroli zużycia energii lub efektywności energetycznej,
- wykonania układów monitoringu mediów energetycznych,
- wprowadzenia działań dla poprawy efektywności zużycia mediów energetycznych.

Określenie wpływu na środowisko

Pozytywny wpływ na środowisko poprawy efektywności energetycznej wyraża się w kilku dziedzinach [<https://www.prawo.pl/akty/dz-u-ue-l-2021-350-9,69482104.html>]:

- zużycie energii i związane z tym zmiany klimatu - zmniejszenie zapotrzebowania na energię prowadzi do obniżenia zasobów wykorzystywanych do jej generowania, co przekłada się na ograniczenie emisji gazów cieplarnianych.

- zrównoważenie działalności człowieka - optymalizacja efektywności energetycznej umożliwia obniżenie emisji siarki, cząstek stałych i innych zanieczyszczeń. Może jednak prowadzić do zwiększenia zużycia materiałów.
- ekologia środowiskowa: zmniejszenie zapotrzebowania na media energetyczne obniża zapotrzebowanie na wodę i zmniejsza poziom wykorzystania gruntów.

Do oceny oddziaływania przemysłu rolno-spożywczego na środowisko wykorzystuje się wskaźniki, które powinny umożliwiać:

- zmniejszenie emisji gazów cieplarnianych,
- określenie związków między oszczędnością energii a emisjami dwutlenku węgla jeżeli rozpatrywać go w aspekcie nośników energii. Zazwyczaj stosuje się podejście liniowe z wykorzystaniem stałych współczynników emisji jednostek CO₂ na jednostkę zużycia paliwa. Można to zrobić na dwa sposoby: wyprowadzając współczynniki emisji z danych historycznych albo korzystając z publikowanych współczynników emisji (np. publikowanych przez IPCC lub KOBiZE).

Określanie wskaźników monitorowania mediów energetycznych powinno uwzględniać:

- monitoring działań lub procesów przy uwzględnieniu osiągniętej oszczędności energii,
- zużycie energii określone dla wartości bezwzględnych w odniesieniu do okresu objętego działaniem np. miesiąc, kwartał lub rok.
- oszczędność zużycia energii monitorowaną jako łączną lub całkowitą oszczędność,
- szacowanie skutków działań pod względem oszczędności energii przy uwzględnieniu zmienności warunków zewnętrznych np. pory roku, rotację towaru w komorach chłodniczych, warunki pogodowe.
- oszacowanie pożądanej oszczędności energii zgodne z metodami pomiaru ustanowionymi na podstawie Komisji (UE) 2019/1658.
- określenie kosztów inwestycji ze wskazaniem kosztów poniesionych na zaoszczędzanie energii.

Warto zwrócić uwagę na ocenę rzeczywistego wpływu danych procesów jednostkowych na całkowite zużycie energii w trakcie procesów przetwórstwa i przechowywania w gospodarstwach rolnych. Ocenę tą należy wykorzystać również w planowanych rozwiązaniach w przyszłości. Istnieje wiele czynników wpływających na efektywność energetyczną analizowanych działalności. Są one związane z czynnikami zewnętrznymi, ale także z sposobem prowadzenia procesów. Bez właściwej analizy tych czynników trudno jest wdrożyć środków służące poprawie efektywności energetycznej a co za tym idzie

powodujących zmniejszenie emisji gazów cieplarnianych i zanieczyszczeń powietrza. Ocenę, w której uwzględniono rzeczywisty wpływ analizowanych procesów produkcyjnych na zapotrzebowanie na energię, szersze korzyści i czynniki, które mogą na nie wpływać, należy zaplanować już na początkowym etapie przygotowania do prowadzenia działalności przetwórczej i przechowalniczej.

Zakres prac

- Badanie śladu węglowego procesów przetwórczych owoców i warzyw w Zakładzie Doświadczalnym IBPRS-PIB Zakładu Technologii i Techniki Chłodnictwa w Łodzi, wybranymi dwiema metodami, w celu określenia właściwej metody do szacowania śladu węglowego przetwórstwa, możliwej do zastosowania w gospodarstwach rolnych
 - Zdefiniowanie zakresu analizy śladu węglowego i określenie liczby punktów pomiarowych dla technologii i procesów produkcyjnych, określenie istotnych parametrów procesów
 - Opracowanie systemu opomiarowania zużycia energii (CF bezpośredni) w przetwórstwie oraz sposobu zbierania danych zgodnie z wybraną metodą analizy - opracowanie struktury bazy danych.
 - Oszacowanie emisji gazów cieplarnianych w związku ze zużyciem energii elektrycznej w wybranych procesach przetwórstwa produktów rolnych
- Badanie śladu węglowego przechowalnictwa owoców w komorach chłodniczych u dwóch producentów (2 owoce np. jabłka i borówka amerykańska), w celu określenia właściwej metody szacowania śladu węglowego, możliwej do zastosowania w gospodarstwach rolnych
 - Zdefiniowanie zakresu analizy śladu węglowego i określenie liczby punktów pomiarowych dla przechowalnictwa, określenie istotnych parametrów procesów
 - Opracowanie systemu opomiarowania komór przechowalniczych, w celu określenia zużycia energii (CF bezpośredni) oraz sposobu zbierania danych, zgodnie z wybraną metodą analizy - opracowanie struktury bazy danych.
 - Oszacowanie emisji gazów cieplarnianych w związku ze zużyciem energii elektrycznej w przechowalnictwie produktów rolnych
- Opracowanie raportu końcowego

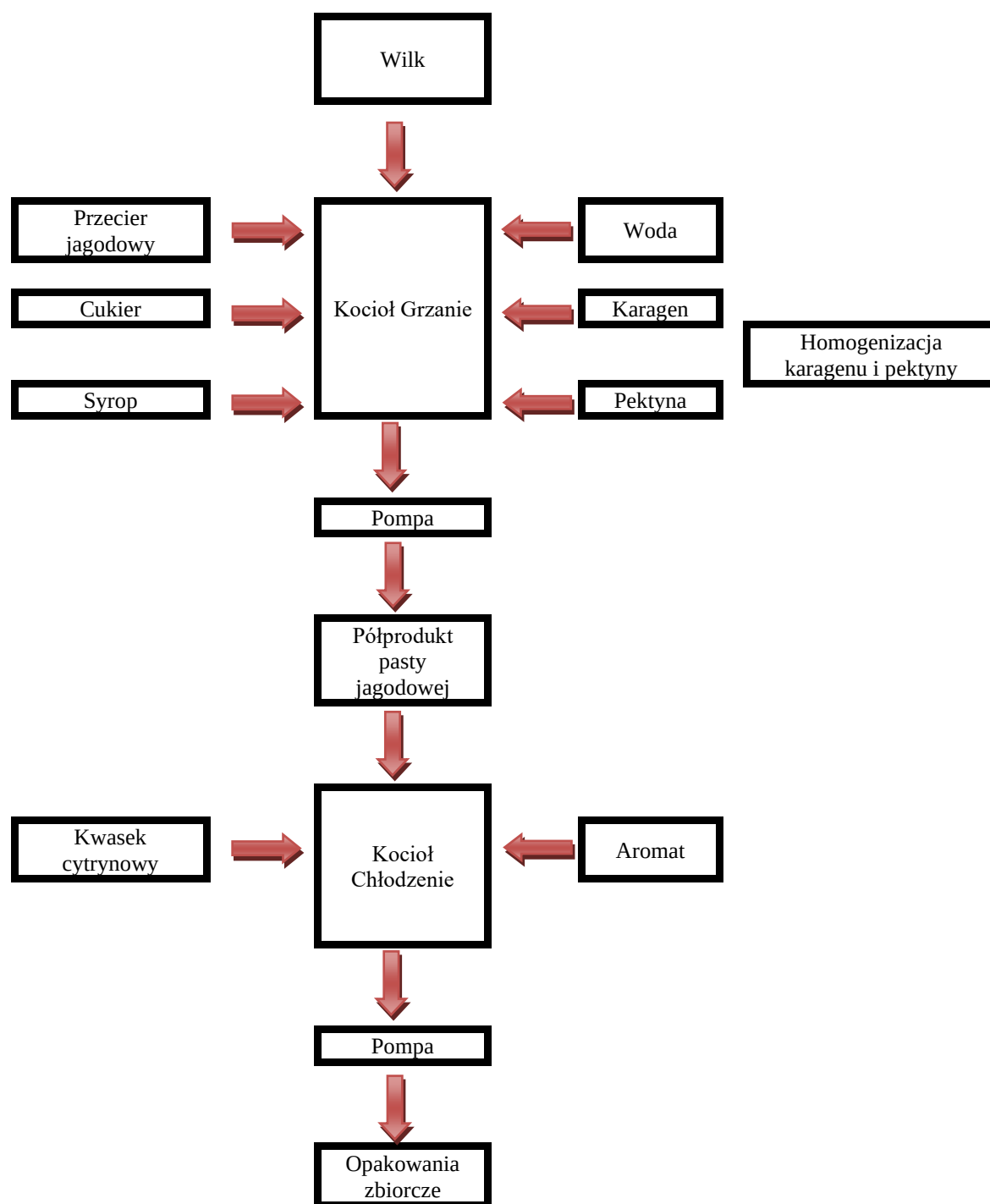
1. Badanie śladu węglowego procesów przetwórczych owoców i warzyw

Badanie śladu węglowego procesów przetwórczych owoców i warzyw w Zakładzie Doświadczalnym IBPRS-PIB Zakładu Technologii i Techniki Chłodnictwa w Łodzi zostało przeprowadzone dwiema metodami na przykładzie produkcji past owocowych: jagodowej z cząstkami owoców i wiśniowej homogenizowanej.

1.1. Produkcja past jagodowych z cząstkami owoców

Przeanalizowano „cykl życia pasty jagodowej z cząstkami owoców” definiując wszystkie procesy jednostkowe wchodzące w skład tej produkcji. Szczegółowej analizie poddano proces produkcji pasty owocowej (rys. 1). Każdy cykl produkcyjny obejmował etapy: pobieranie odpowiedniej ilości surowców z magazynu, rozmrażanie owoców, rozdrabnianie owoców, łączenie składników i dodatków, kontrola jakościowa, pakowanie i przechowywanie. Recepturę pasty jagodowej z cząstkami owoców zamieszczono w tabeli 1, a schemat produkcji wraz z punktami pomiarowymi zaprezentowano na rysunku 2.

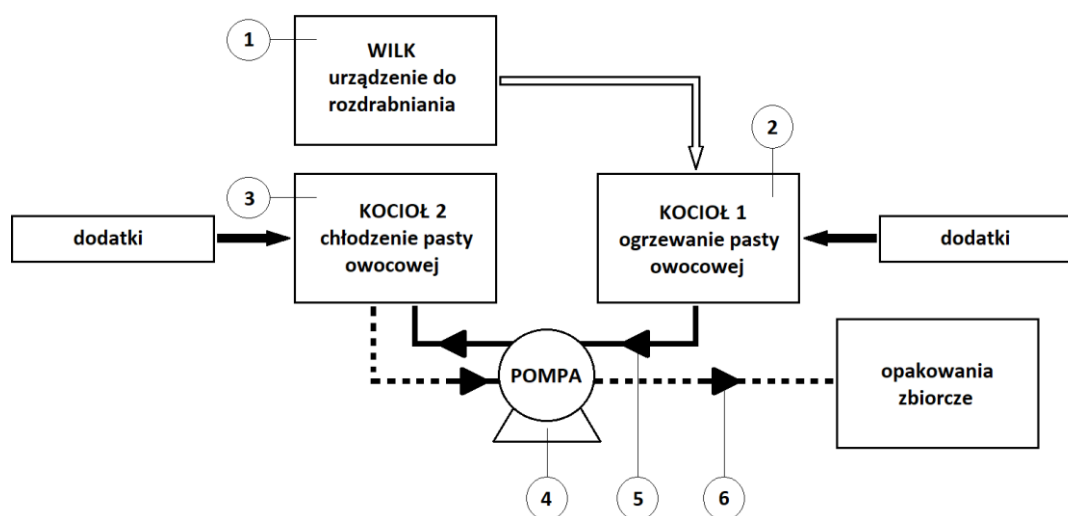
Proces produkcyjny rozpoczynał się od rozmrożenia, do temperatury otoczenia, owoców pobranych z komory zamrażalniczej. Następnie poddano je rozdrobnieniu w urządzeniu rozdrabniającym (wilk). Tak przygotowany surowiec przetransportowano w wiaderkach do kotła 1 (rys. 2), zaopatrzonego w mieszadło i grzałkę, w celu ogrzania i uzupełnienia o niezbędne dodatki. Po podgrzaniu, pastę przepompowywano do kotła 2 (rys. 2), zaopatrzonego w mieszadło, dzięki któremu przyspieszany był proces chłodzenia pasty. Po wychłodzeniu, pastę przepompowywano była do opakowań zbiorczych (beczek) i przetransportowano do komory zamrażalniczej.



Rys. 1. Schemat produkcji pasty jagodowej

Tabela 1. Receptura pasty jagodowej

Składniki	Ilość	Jednostka
owoce	350,00	kg
woda	50,00	litr
cukier	584,00	kg
syrop glukozowo-fruktozowy	116,00	kg
kwasek cytrynowy	1,00	kg
pektyna	2,40	kg
karagen	1,16	kg
aromat	0,58	litr



Rys. 2. Schemat produkcji pasty jagodowej z naniesionymi punktami pomiarowymi: 1 – pomiar zużycia energii na Wilku, 2 – pomiar zużycia energii grzałki i mieszadła na kotle 1, 3 – pomiar zużycia energii mieszadła na kotle 2, 4 – pomiar zużycia energii przez pompę, 5 – transport pasty do chłodzenia, 6 – transport pasty gotowej do opakowań zbiorczych

1.2. Produkcja past wiśniowych

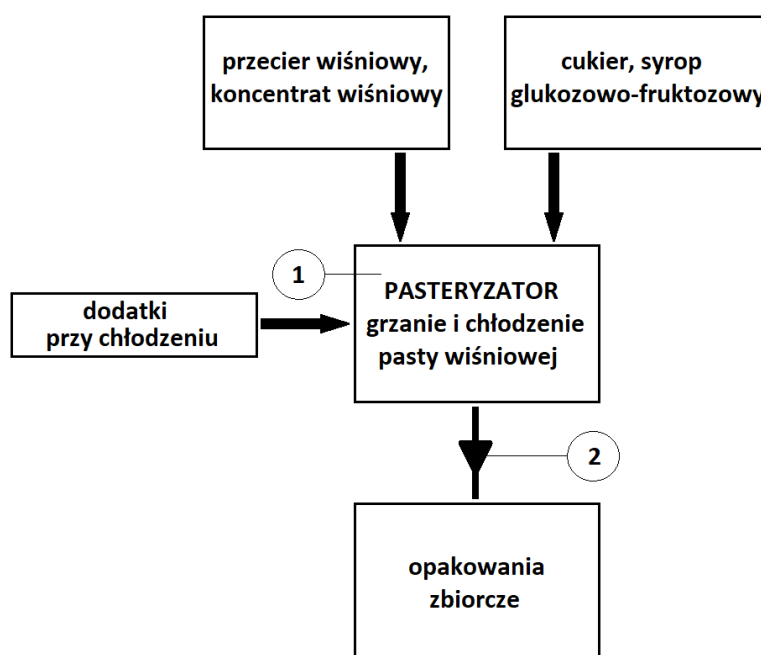
Analogicznie jak w przypadku pasty jagodowej z cząstkami owoców, przeanalizowano „cykl życia pasty wiśniowej” definiując wszystkie procesy jednostkowe wchodzące w skład tej produkcji. Szczegółowej analizie poddano proces produkcji pasty owocowej (rys. 3).

Każdy cykl produkcyjny obejmował następujące etapy: pobieranie odpowiedniej ilości surowców z magazynu, łączenie składników i dodatków, kontrola jakościowa, pakowanie i przechowywanie. Recepturę pasty wiśniowej zamieszczono w tabeli 2.

Tabela 2. Receptura pasty wiśniowej

Składniki	Ilość [kg]
przecier wiśniowy	27,00
koncentrat wiśniowy	13,00
cukier	70,00
kwasek cytrynowy	2,80
syrop	14,00
betamina	1,00
aromat	0,35
woda	13,00

Odważone, zgodnie z receptura składniki, tj. przecier wiśniowy, koncentrat wiśniowy oraz wodę dodano do pasteryzatorów 1 i 2. Następnie wprowadzono dodatki (cukier, syrop glukozowo-fruktozowy). Wszystkie składniki podgrzano do temperatury 80 °C i dokładnie wymieszano. Kolejny etap to schładzanie zawartości pasteryzatora do 70 °C. W tej temperaturze dodawany był kwasek cytrynowy, a przy 50 °C aromat i barwnik betanina. Wychłodzoną pastę przelano do opakowań (wiaderek) i do komory zamrażalniczej. Schemat produkcji wraz z punktami pomiarowymi został zaprezentowany na rysunku 3.



Rys. 3. Schemat produkcji pasty wiśniowej: 1 - pomiar zużycia energii przez pasteryzator, 2 - transport pasty gotowej do opakowań zbiorczych

1.3. Metodologia wyliczania śladu węglowego

Bazując na metodologii oceny cyklu życia produktu (LCA - Life Cycle Assessment), metodyka wyliczania CF została ujęta w postaci następujących kroków:

1. Zdefiniowanie metodologii – zastosowano globalny standard przedstawiony przez World Resources Institute (WRI) oraz World Business Council for Sustainable Development (WBCSD) w Protokole Gazów Cieplarnianych (GHGP) oraz zgodnie z normą ISO 14064 – Gazy cieplarniane – Część 1: Specyfikacja i wytyczne kwantyfikowania oraz raportowania emisji pochłaniania gazów cieplarnianych. Sposób postępowania, przedstawiony w wymienionych powyżej materiałach, zawiera szczegółowe zalecenia dotyczące procedur zbierania danych, ich obliczania i raportowania.
2. Ustanowienie granic i zakresu analizy – zdefiniowanie, który obszar działań zostanie poddany analizie ilościowej, główne procesy produkcyjne, procesy pomocnicze, itp. oraz jak daleko ma sięgać i jak głęboka ma być analiza, jakiego typu emisje będą przedmiotem analizy. Zaleca się takie zdefiniowanie granic i zakresu, aby włączyć całe spektrum źródeł emisji, im dokładniejsza analiza, tym dokładniej będzie oznaczony ślad węglowy.
3. Zebranie danych emisyjnych – najważniejszy proces, zależny od jakości zebranych danych i ich dokładności. Zbierane informacje dotyczą emisji bezpośredniej i pośredniej, m. in. zużycia energii elektrycznej, emisji generowanej przez: dostawców (surowców i dodatków), transport wewnętrzny, czynniki chłodnicze. Tworzona baza danych istotnych, musi mieć sprecyzowany poziom dokładności zapisu wraz ze zdefiniowanym akceptowalnym marginesem błędu.
4. Wyliczenie śladu węglowego i jego weryfikacja z uwzględnieniem wszystkich etapów procesu produkcyjnego.
5. Przedstawienie wyników analizy i wyliczonego CF wraz ze wskazaniem obszarów o największej emisyjności.

1.4. Zdefiniowanie zakresu analizy śladu węglowego i określenie liczby punktów pomiarowych dla technologii i procesów produkcyjnych, określenie istotnych parametrów procesów

Wykonano analizę technologii produkcji past owocowych w kontekście opracowania metodologii wyliczenia śladu węglowego oraz przygotowania schematów procesów jednostkowych w cyklu produkcyjnym. Po scharakteryzowaniu procesu technologicznego w warunkach rzeczywistej pracy określono zakres pomiarowy CF. Podejście do analizy zagadnienia przedstawiono jako metodę badawczą. Przeanalizowano bilans masowy składników wykorzystanych do produkcji w oparciu o wybraną technologię. Opracowano metodę liczenia śladu węglowego. Zaprojektowano i wykonano przenośne opomiarowanie linii technologicznej. Następnie przeprowadzono pomiar zużycia energii w czasie, w warunkach rzeczywistej produkcji, wraz z rejestracją jej wielkości oraz ilości cykli produkcyjnych na poszczególnych etapach.

Do analizy CF zastosowano metodologię, zgodnie z dokumentami: ISO 14067 Greenhouse gases – Carbon footprint of products – Requirements and guidelines for quantification and communication [ISO, 14067:2013]; ISO 14040 Zarządzanie środowiskowe, Ocena cyklu życia - Zasady i struktura; ISO 14044 Zarządzanie środowiskowe, Ocena cyklu życia - Wymagania i Wytyczne; PAS 2050 Publicly Available Specification 2050 [PAS 2050, 2008]. Wg w/w dokumentów analiza i wyznaczenie CF obejmowały następujące etapy:

- określenie zakresu analizy, jednostki funkcjonalnej oraz zakresu pomiarowego,
- analizę danych pomiarowych oraz ocenę technologii produkcji.

Ślad węglowy określono w odniesieniu do 1 kg produktu (jednostka funkcjonalna). Do rejestrowania pomiarów energii wykorzystano liczniki energii elektrycznej KE-N80 MID umieszczone w odpowiednich obudowach. Licznik z certyfikatem MID przeznaczony był do pomiarów parametrów elektrycznych w sieciach trójfazowych. Miernik został wyposażony w wewnętrzny zegar czasu rzeczywistego oraz moduł zapisu danych pomiarowych na karcie pamięci SD, w której rejestrowano zmierzone wielkości, nastawy i parametry. Dane emisyjne i produkcyjne rejestrowano za pomocą opracowanego systemu opomiarowania linii. Na podstawie uzyskanych danych z urządzeń pomiarowych oraz danych produkcyjnych, wyliczono ślad węglowy.

1.5. Opracowanie systemu opomiarowania zużycia energii (CF bezpośredni) w przetwórstwie oraz sposobu zbierania danych zgodnie z wybraną metodą analizy - opracowanie struktury bazy danych

W oparciu o analizę produkcji pasty, opracowano tabele 3-15 zawierające dane pomiarowe zużycia energii elektrycznej. Dzięki takiemu działaniu utworzono bazę danych opartą na zmierzonych parametrach procesów wytwarzania.

Tabela 3. Pomiary parametrów produkcyjnych pasty jagodowej z dnia 18.07.2022

Ilość cykli		2	
wilk			
energia [kWh]		0,41	
kocioł 1 (grzanie)			
mieszanie	1	2	3
czas [min]	173	134	-
energia [kWh]	0,40	0,34	-
grzanie	1	2	3
czas [min]	160	134	-
energia [kWh]	80	67	-
kocioł 2 (chłodzenie)			
mieszanie	1	2	3
czas [min]	138	-	-
energia [kWh]	0,49	-	-
pompa			
przepompowanie z kotła do kotła	1	2	3
czas [min]	15	15	-
energia [kWh]	0,15	0,15	-
przepompowanie z kotła do beczek	1	2	3
czas [min]	20	20	-
energia [kWh]	0,20	0,20	-

Tabela 4. Pomiary parametrów produkcyjnych pasty jagodowej z dnia 19.07.2022

Tabela 1. Podstawy parametrów produkcyjnych pasty jagodowej z dnia 18.07.2022			
Ilość cykli	2		
wilk			
energia [kWh]	0,39		
kocioł 1 (grzanie)			
mieszanie	1	2	3
czas [min]	174	134	-
energia [kWh]	0,40	0,34	-
grzanie	1	2	3
czas [min]	161	134	-
energia [kWh]	80,50	67	-
kocioł 2 (chłodzenie)			
mieszanie	1	2	3
czas [min]	1190	138	-
energia [kWh]	4,27	0,49	-

pompa			
przepompowanie z kotła do kotła	1	2	3
czas [min]	15	15	-
energia [kWh]	0,15	0,15	-
przepompowanie z kotła do beczek	1	2	3
czas [min]	20	20	-
energia [kWh]	0,20	0,20	-

Tabela 5. Pomiary parametrów produkcyjnych pasty jagodowej z dnia 20.07.2022

Tabela 3. Parametry produkcyjnych pasty jagodowej 2 dnia 20.07.2022			
Ilość cykli	2		
wilk			
energia [kWh]	0,43		
kocioł 1 (grzanie)			
mieszanie	1	2	3
czas [min]	173	134	-
energia [kWh]	0,40	0,34	-
grzanie	1	2	3
czas [min]	160	133	-
energia [kWh]	80	66,5	-
kocioł 2 (chłodzenie)			
mieszanie	1	2	3
czas [min]	1188	140	-
energia [kWh]	4,26	0,47	-
pompa			
przepompowanie z kotła do kotła	1	2	3
czas [min]	15	15	-
energia [kWh]	0,15	0,15	-
przepompowanie z kotła do beczek	1	2	3
czas [min]	20	20	-
energia [kWh]	0,20	0,20	-

Tabela 6. Pomiary parametrów produkcyjnych pasty jagodowej z dnia 21.07.2022

Tabela 6.1 Podstawowe parametry produkcji energii jądrowej z dnia 21.07.2022			
Ilość cykli	2		
wilk			
energia [kWh]	0,40		
kocioł 1 (grzanie)			
mieszanie	1	2	3
czas [min]	184	131	-
energia [kWh]	0,41	0,31	-
grzanie	1	2	3
czas [min]	171	116	-
energia [kWh]	85,50	58	-
kocioł 2 (chłodzenie)			
mieszanie	1	2	3
czas [min]	1184	124	-
energia [kWh]	4,23	0,46	-
pompa			
przepompowanie z kotła do kotła	1	2	3

czas [min]	15	15	-
energia [kWh]	0,15	0,15	-
przepompowanie z kotła do beczek	1	2	3
czas [min]	20	20	-
energia [kWh]	0,20	0,20	-

Tabela 7. Pomiary parametrów produkcyjnych pasty jagodowej z dnia 22.07.2022

Ilość cykli	2		
wilk			
energia [kWh]	0,42	0,21	
kocioł 1 (grzanie)			
mieszanie	1	2	3
czas [min]	199	148	-
energia [kWh]	0,45	0,34	-
grzanie	1	2	3
czas [min]	151	140	-
energia [kWh]	75,50	70	-
kocioł 2 (chłodzenie)			
mieszanie	1	2	3
czas [min]	1188	166	141
energia [kWh]	4,27	0,56	0,51
pompa			
przepompowanie z kotła do kotła	1	2	3
czas [min]	15	15	-
energia [kWh]	0,15	0,15	-
przepompowanie z kotła do beczek	1	2	3
czas [min]	20	20	20
energia [kWh]	0,20	0,20	0,20

Tabela 8. Pomiary parametrów produkcyjnych pasty jagodowej z dnia 01.08.2022

Tabela 8. Podsumowanie produkcji energii pasty jagodowej z dnia 01.08.2022			
Ilość cykli	2		
Wilk			
energia [kWh]	0,41		
kocioł 1 (grzanie)			
mieszanie	1	2	3
czas [min]	173	134	-
energia [kWh]	0,40	0,34	-
grzanie	1	2	3
czas [min]	160	134	-
energia [kWh]	80	67	-
kocioł 2 (chłodzenie)			
mieszanie	1	2	3
czas [min]	138	-	-
energia [kWh]	0,49	-	-
pompa			
przepompowanie z kotła do kotła	1	2	3
czas [min]	15	15	-
energia [kWh]	0,15	0,15	-

przepompowanie z kotła do beczek	1	2	3
czas [min]		20	-
energia [kWh]		0,20	-

Tabela 9. Pomiary parametrów produkcyjnych pasty jagodowej z dnia 02.08.2022

Ilość cykli	2		
wilk			
energia [kWh]	0,38		
kocioł 1 (grzanie)			
mieszanie	1	2	3
czas [min]	174	144	-
energia [kWh]	0,40	0,33	-
grzanie	1	2	3
czas [min]	155	130	-
energia [kWh]	77,50	65	-
kocioł 2 (chłodzenie)			
mieszanie	1	2	3
czas [min]	1190	138	-
energia [kWh]	4,27	0,49	-
pompa			
przepompowanie z kotła do kotła	1	2	3
czas [min]	15	17	-
energia [kWh]	0,15	0,17	-
przepompowanie z kotła do beczek	1	2	3
czas [min]	25	20	-
energia [kWh]	0,25	0,20	-

Tabela 10. Pomiary parametrów produkcyjnych pasty jagodowej z dnia 03.08.2022

Ilość cykli	2		
wilk			
energia [kWh]	0,41		
kocioł 1 (grzanie)			
mieszanie	1	2	3
czas [min]	174	149	-
energia [kWh]	0,42	0,34	-
grzanie	1	2	3
czas [min]	159	149	-
energia [kWh]	79,5	74,5	-
kocioł 2 (chłodzenie)			
mieszanie	1	2	3
czas [min]	1198	152	-
energia [kWh]	4,32	0,51	-
pompa			
przepompowanie z kotła do kotła	1	2	3
czas [min]	15	20	-
energia [kWh]	0,15	0,2	-
przepompowanie z kotła do beczek	1	2	3
czas [min]	20	23	-

energia [kWh]	0,20	0,23	-
---------------	------	------	---

Tabela 11. Pomiarów parametrów produkcyjnych pasty jagodowej z dnia 04.08.2022

Ilość cykli	1		
wilk			
włączenie			
energia [kWh]			
kocioł 1 (grzanie)			
mieszanie	1	2	3
czas [min]	-	-	-
energia [kWh]	-	-	-
grzanie	1	2	3
czas [min]	-	-	-
energia [kWh]	-	-	-
kocioł 2 (chłodzenie)			
mieszanie	1	2	3
czas [min]	1197	-	-
energia [kWh]	4,27	-	-
pompa			
przepompowanie z kotła do kotła	1	2	3
czas [min]	-	-	-
energia [kWh]	-	-	-
przepompowanie z kotła do beczek	1	2	3
czas [min]	29	-	-
energia [kWh]	0,29	-	-

Tabela 12. Pomiarów parametrów produkcyjnych pasty jagodowej z dni 08-09.08.2022

Ilość cykli	2		
wilk			
energia [kWh]	0,40		
kocioł 1 (grzanie)			
mieszanie	1	2	3
czas [min]	182	152	-
energia [kWh]	0,45	0,35	-
grzanie	1	2	3
czas [min]	169	133	-
energia [kWh]	84,5	66	-
kocioł 2 (chłodzenie)			
mieszanie	1	2	3
czas [min]	155	-	-
energia [kWh]	0,54	-	-
pompa			
przepompowanie z kotła do kotła	1	2	3
czas [min]	19	17	-
energia [kWh]	0,19	0,17	-
przepompowanie z kotła do beczek	1	2	3
czas [min]		22	-
energia [kWh]		0,22	-

Tabela 13. Pomiary parametrów produkcyjnych pasty jagodowej z dnia 10.08.2022

Ilość cykli	3		
Wilk			
energia [kWh]	0,42		
kocioł 1 (grzanie)			
mieszanie	1	2	3
czas [min]	155	135	-
energia [kWh]	0,38	0,29	-
grzanie	1	2	3
czas [min]	144	119	-
energia [kWh]	72	59,5	-
kocioł 2 (chłodzenie)			
mieszanie	1	2	3
czas [min]	1162	131	135
energia [kWh]	4,31	0,47	0,48
pompa			
przepompowanie z kotła do kotła	1	2	3
czas [min]	15	14	-
energia [kWh]	0,15	0,14	-
przepompowanie z kotła do beczek	1	2	3
czas [min]	25	21	20
energia [kWh]	0,25	0,21	0,2

Tabela 14. Pomiary parametrów produkcyjnych pasty wiśniowej z dnia 25.07.2022

Tabela 1.1. Podstawy parametry produkcyjnych pasty mlekowej 2 dnia 23.07.2022		
Ilość cykli	4 (dwa załadowania każdego pasteryzatora)	
pasteryzator 1		
	1	2
czas [min]	140	139
energia [kWh]	14,83	14,98
pasteryzator 2		
	1	2
czas [min]	147	143
energia [kWh]	14,76	14,83

Tabela 15. Pomiary parametrów produkcyjnych pasty wiśniowej z dnia 26.07.2022

Tabela 10.1 Podstawowe parametry techniczne produkcyjnych pasteryzatorów z dnia 20.07.2022		
Ilość cykli	3 (dwa załadowania pasteryzatora 1 i jedno załadowanie pasteryzatora 2)	
pasteryzator 1		
	1	2
czas [min]	136	133
energia [kWh]	14,70	13,42
pasteryzator 2		
	1	2
czas [min]	151	-
energia [kWh]	14,46	-

1.6. Oszacowanie emisji gazów cieplarnianych w związku ze zużyciem energii elektrycznej w wybranych procesach przetwórstwa produktów rolnych

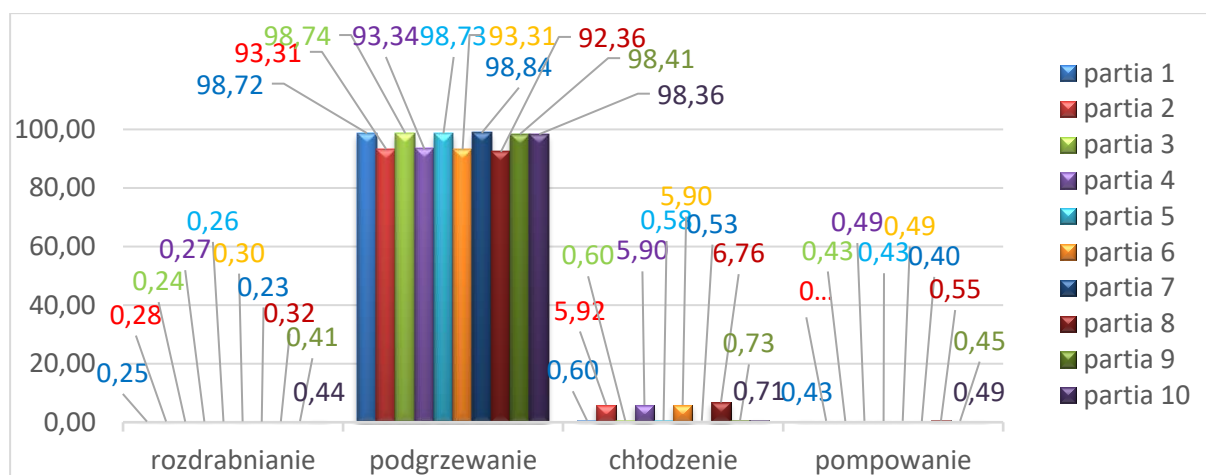
Uwzględniając dostępne dane dotyczące produkcji, zgromadzone dane emisyjne oraz założone wskaźniki, dokonano obliczeń emisyjności CO₂ oraz udziałów zużycia energii (tabele 16-22) dla produkcji pasty jagodowej z cząstkami owoców i wiśniowej.

Tabela 16. Charakterystyka produkcji pasty jagodowej w odniesieniu do poszczególnych partii, 18-22.07.2022

Data	Partia	Produkcja:		Energia:		Wyemitowany CO ₂		CF/kg
18 07 2022	1	525	kg	81,45	kWh	56,85	kg CO ₂	0,1083
	2	525	kg	72,17	kWh	50,37	kg CO ₂	0,0960
19 07 2022	3	525	kg	81,94	kWh	57,19	kg CO ₂	0,1090
	4	525	kg	72,15	kWh	50,36	kg CO ₂	0,0959
20 07 2022	5	525	kg	81,44	kWh	56,84	kg CO ₂	0,1083
	6	525	kg	71,64	kWh	50,00	kg CO ₂	0,0952
21 07 2022	7	525	kg	86,92	kWh	60,67	kg CO ₂	0,1156
	8	525	kg	63,13	kWh	44,06	kg CO ₂	0,0839
22 07 2022	9	525	kg	77,18	kWh	53,87	kg CO ₂	0,1026
	10	525	kg	71,52	kWh	49,92	kg CO ₂	0,0951
	RAZEM	5250	kg	759,50	kWh	530,13	kg CO₂	0,1010

Tabela 17. Udziały zużycia energii dla procesów produkcyjnych w poszczególnych partiach, 18-22.07.2022

	partia 1		partia 2		partia 3		partia 4		partia 5	
	kWh	%	kWh	%	kWh	%	kWh	%	kWh	%
rozdrabnianie	0,205	0,25	0,205	0,28	0,195	0,24	0,195	0,27	0,215	0,26
podgrzewanie	80,4	98,72	67,34	93,31	80,9	98,74	67,34	93,34	80,4	98,73
chłodzenie	0,49	0,60	4,27	5,92	0,49	0,60	4,26	5,90	0,47	0,58
pompowanie	0,35	0,43	0,35	0,48	0,35	0,43	0,35	0,49	0,35	0,43
RAZEM	81,445	100,0	72,165	100,00	81,935	100,0	72,145	100,0	81,435	100,0
	partia 6		partia 7		partia 8		partia 9		partia 10	
	kWh	%	kWh	%	kWh	%	kWh	%	kWh	%
rozdrabnianie	0,215	0,30	0,2	0,23	0,2	0,32	0,315	0,41	0,315	0,44
podgrzewanie	66,84	93,31	85,91	98,84	58,31	92,36	75,95	98,41	70,34	98,36
chłodzenie	4,23	5,90	0,46	0,53	4,27	6,76	0,56	0,73	0,51	0,71
pompowanie	0,35	0,49	0,35	0,40	0,35	0,55	0,35	0,45	0,35	0,49
RAZEM	71,635	100,0	86,92	100,0	63,13	100,0	77,175	100,0	71,515	100,0



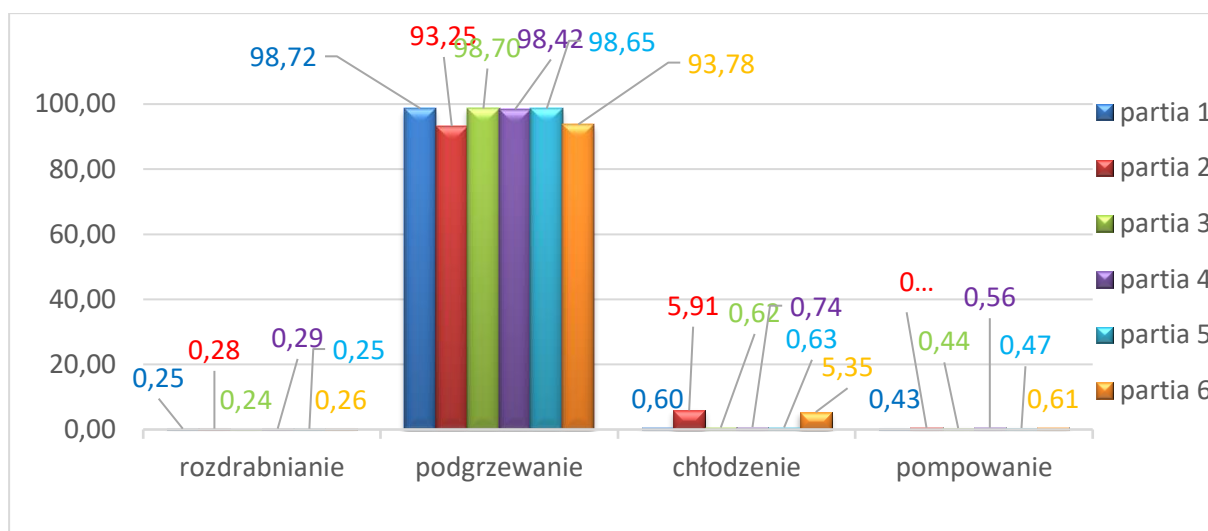
Rys. 4. Udziały zużycia energii dla procesów produkcyjnych w poszczególnych partiach, 18-22.07.2022

Tabela 18. Charakterystyka produkcji pasty jagodowej w odniesieniu do poszczególnych partii, 01-03.08.2022

Data	Partia	Produkcja:		Energia:		Wyemitowany CO ₂		CF/kg
01 08 2022	1	525	kg	81,45	kWh	56,85	kg CO ₂	0,1083
	2	525	kg	72,22	kWh	50,41	kg CO ₂	0,0960
02 08 2022	3	525	kg	78,95	kWh	55,11	kg CO ₂	0,1050
	4	525	kg	70,19	kWh	48,99	kg CO ₂	0,0933
03 08 2022	5	525	kg	81,07	kWh	56,58	kg CO ₂	0,1078
	6	525	kg	79,61	kWh	55,56	kg CO ₂	0,1058
	RAZEM	3150	kg	463,47	kWh	323,50	kg CO₂	0,1027

Tabela 19. Udziały zużycia energii dla procesów produkcyjnych w poszczególnych partiach, 01-03.08.2022

	partia 1		partia 2		partia 3		partia 4		partia 5		partia 6	
	kWh	%	kWh	%	kWh	%	kWh	%	kWh	%	kWh	%
rozdrabnianie	0,205	0,25	0,205	0,28	0,19	0,24	0,19	0,29	0,205	0,25	0,205	0,26
podgrzewanie	80,4	98,72	67,34	93,25	77,9	98,70	65,33	98,42	79,92	98,65	74,84	93,78
chłodzenie	0,49	0,60	4,27	5,91	0,49	0,62	0,49	0,74	0,51	0,63	4,27	5,35
pompowanie	0,35	0,43	0,4	0,55	0,35	0,44	0,37	0,56	0,38	0,47	0,49	0,61
RAZEM	81,445	100,00	72,215	100,00	78,93	100,00	66,38	100,00	81,015	100,00	79,805	100,00



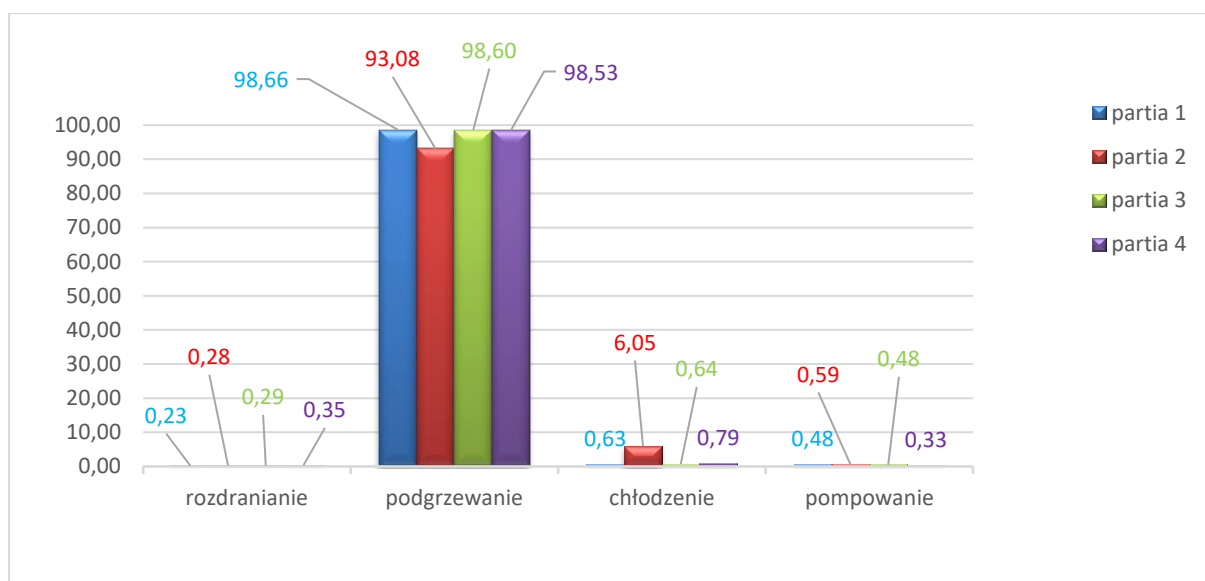
Rys. 5. Udziały zużycia energii dla procesów produkcyjnych w poszczególnych partiach, 01-03.08.2022

Tabela 20. Charakterystyka produkcji pasty jagodowej w odniesieniu do poszczególnych partii, 09-10.08.2022

Data	Partia	Produkcja:		Energia:		Wyemitowany CO ₂		CF/kg
09 08 2022	1	507	kg	86,10	kWh	60,10	kg CO ₂	0,1185
	2	541	kg	71,28	kWh	49,75	kg CO ₂	0,0920
10 08 2022	3	455	kg	73,42	kWh	51,25	kg CO ₂	0,1126
	4	467	kg	60,82	kWh	42,45	kg CO ₂	0,0909
	RAZEM	1970	kg	291,62	kWh	203,55	kg CO₂	0,1033

Tabela 21. Udziały zużycia energii dla procesów produkcyjnych w poszczególnych partiach, 09-10.08.2022

	partia 1		partia 2		partia 3		partia 4	
	kWh	%	kWh	%	kWh	%	kWh	%
rozdranianie	0,2	0,23	0,2	0,28	0,21	0,29	0,21	0,35
podgrzewanie	84,95	98,66	66,35	93,08	72,38	98,60	59,79	98,53
chłodzenie	0,54	0,63	4,31	6,05	0,47	0,64	0,48	0,79
pompowanie	0,41	0,48	0,42	0,59	0,35	0,48	0,2	0,33
RAZEM	86,1	100,00	71,28	100,00	73,41	100,00	60,68	100,00



Rys. 6. Udziały zużycia energii dla procesów produkcyjnych w poszczególnych partiach, 09-10.08.2022

Tabela 22. Charakterystyka produkcji pasty wiśniowej w odniesieniu do poszczególnych partii, 25-26.07.2022

Data	Partia	Produkcja:		Energia:		Wyemitowany CO ₂		CF/kg
25 07 2022	1	272	kg	29,81	kWh	20,81	kg CO ₂	0,0765
	2	272	kg	29,59	kWh	20,65	kg CO ₂	0,0759
26 07 2022	3	272	kg	28,12	kWh	19,63	kg CO ₂	0,0722
	4	138	kg	14,46	kWh	10,09	kg CO ₂	0,0731
	RAZEM	954	kg	101,98	kWh	71,18	kg CO₂	0,0746

Na podstawie opomiarowania linii technologicznych, wyznaczony średni ślad węglowy produkcji past: jagodowej i wiśniowej wyniósł odpowiednio 0,102 i 0,075 kg CO₂ na kg produktu. Wykazano, że są to technologie niskoemisyjne. Analizując dane zużycia energii dla poszczególnych etapów produkcyjnych pasty jagodowej (20 partii) stwierdzono, że proces podgrzewania, czyli pasteryzacji, jest najbardziej energochłonnym procesem w całym cyklu, natomiast najmniejszy procent zużycia energii przypada na rozdrabianie (rys. 4-6). Chłodzenie odbywa się poprzez wymianę ciepła z otoczeniem i jest intensyfikowane dzięki zastosowaniu mieszała, dlatego też jego udział w całym zużyciu energii jest mało znaczący, podobnie jak procesu pompowania. Analogiczne wyniki zostały uzyskane dla wszystkich analizowanych okresów produkcyjnych.

1.7. Oszacowanie emisji gazów cieplarnianych w związku ze zużyciem energii elektrycznej w wybranych procesach przetwórstwa produktów rolnych – metoda alokacji

Świadome działania w kierunku ochrony środowiska to m.in. zmniejszenie emisji gazów cieplarnianych do atmosfery generowanych przez działalności przetwórcze i przechowalnicze podczas produkcji rolno-spożywczej. Pierwszym wyzwaniem w tym kierunku jest określenie śladu węglowego technologii i na jego podstawie prowadzenie działań zmierzających do redukcji emisji gazów cieplarnianych.

Podczas szacowania emisji gazów cieplarnianych, związanej ze zużyciem energii elektrycznej, zastosowano metodę alokacji. Na podstawie wywiadów i analizy stosownych dokumentów powiązано zużycie energii elektrycznej i wielkości produkcji past owocowych w IBPRS-PIB w latach 2019-2022.

Tabela 23. Dane zużycia energii, masy wyprodukowanych past owocowych i ich sumaryczny CF w roku 2019

	Jagoda z częstkami	Truskawka z częstkami	Truskawka homo	Wiśnia homo	Jabłko homo	Suma	IBPRS produkcja kWh	Wyemitowany CO ₂ kg	CF kg CO ₂ /kg
styczeń	-	54	-	540	-	594	1839,5	1322,60	2,2266
luty	-	-	-	-	-	0	-	-	-
marzec	2550	18	72	1116	-	3756	1849,5	1329,79	0,3540
kwiecień	5250	108	72	54	-	5484	1945,5	1398,81	0,2551
maj	5268	180	108	36	72	5664	3344,5	2404,70	0,4246
czerwiec	3036	162	378	540	-	4116	3930,5	2826,03	0,6866
lipiec	8118	126	72	36	-	8352	6039,5	4342,40	0,5199
sierpień	3036	90	-	1620	-	4746	3701,5	2661,38	0,5608
wrzesień	1500	-	-	1080	-	2580	1378,5	991,14	0,3842
październik	18	90	-	1080	-	1188	2541,5	1827,34	1,5382
listopad	-	-	-	-	-	0	-	-	-
grudzień	-	-	-	540	-	540	150,5	108,21	0,2004
SUMA	28776	828	702	6642	72	37020	-	-	-

Tabela 24. Dane zużycia energii, masy wyprodukowanych past owocowych i ich sumaryczny CF w roku 2020

	Jagoda z częstkami	Truskawka z częstkami	Truskawka homo	Wiśnia homo	Jabłko homo	Suma	IBPRS produkcja kWh	Wyemitowany CO ₂ kg	CF kg CO ₂ /kg
styczeń	-	-	-	-	-	0	-	-	-
luty	3000	-	18	540	-	3558	761,0	547,16	0,1538
marzec	-	-	-	-	-	0	-	-	-
kwiecień	3000	54	-	1080	-	4134	1295,0	931,11	0,2252
maj	6900	108	126	576	-	7710	2259,0	1624,22	0,2107

Monitoring gazów cieplarnianych poprzez pomiar rzeczywistego zużycia energii elektrycznej w działalności przetwórczej i przechowalniczej w gospodarstwach rolnych

czerwiec	7200	108	324	1674	-	9306	5906,0	4246,41	0,4563
lipiec	11700	72	-	1080	-	12852	6333,0	4553,43	0,3543
sierpień	-	126	-	540	-	666	4968,0	3571,99	5,3633
wrzesień	750	-	-	1080	-	1830	1193,0	857,77	0,4687
październik	1500	-	-	-	-	1500	4767,0	3427,47	2,2850
listopad	-	-	-	-	-	0	-	-	-
grudzień	-	-	-	-	-	0	-	-	-
RAZEM	34050	468	468	6570	0	41556	-	-	-

Tabela 25. Dane zużycia energii, masy wyprodukowanych past owocowych i ich sumaryczny CF w roku 2021

	Jagoda z częstkami	Truskawka z częstkami	Truskawka homo	Wiśnia homo	Jablko homo	Suma	IBPRS produkcja kWh	Wyemitowany CO ₂ kg	CF kg CO ₂ /kg
styczeń	-	-	-	-	-	0	-	-	-
luty	-	-	-	-	-	0	-	-	-
marzec	10800	90	198	36	-	11124	3717,5	2594,82	0,2333
kwiecień	-	-	-	-	-	0	-	-	-
maj	6018	126	72	1116	-	7332	3416,5	2384,72	0,3252
czerwiec	7500	260	180	36	144	8120	6394,5	4463,36	0,5497
lipiec	3000	108	216	-	-	3324	6915,5	4827,02	1,4522
sierpień	1500	54	-	1080	-	2634	3251,5	2269,55	0,8616
wrzesień	5670	-	-	-	-	5670	4734,5	3304,68	0,5828
październik	-	-	-	-	-	0	-	-	-
listopad	-	90	-	1080	-	1170	1512,5	1055,73	0,9023
grudzień	10350	54	-	-	-	10404	2322,5	1621,11	0,1558
RAZEM	44838	782	666	3348	144	49778	-	-	-

Tabela 26. Dane zużycia energii, masy wyprodukowanych past owocowych i ich sumaryczny CF w roku 2022

	Jagoda z częstkami	Truskawka z częstkami	Truskawka homo	Wiśnia homo	Jablko homo	Suma	IBPRS produkcja kWh	Wyemitowany CO ₂ kg	CF kg CO ₂ /kg
styczeń	5250	-	-	1080	-	6330	1826	1274,55	0,2014
luty	-	-	-	-	-	0	-	-	-
marzec	5250	198	-	1080	-	6528	1438	1003,72	0,1538
kwiecień	5250	54	-	-	-	5304	1261	880,18	0,1659
maj	5250	144	-	-	-	5394	2079	1451,14	0,2690
czerwiec	5250	180	252	1134	-	6816	3882	2709,64	0,3975
lipiec	5250	-	-	1080	-	6330	4162	2905,08	0,4589
sierpień	10500	108	177	-	-	10785	19270	13450,46	1,2471
wrzesień	-	-	-	-	-	0	-	-	-
październik	-	-	-	-	-	0	-	-	-
listopad	-	-	-	-	-	0	-	-	-
grudzień	-	-	-	-	-	0	-	-	-
RAZEM	42000	684	429	4374	0	47487	-	-	-

Tabela 27. Porównanie danych dla pasty jagodowej z cząstkami owoców uzyskanych z pomiarów i alokacji za sierpień 2022

Wartość	Opis
10 785,000	pasty wyprodukowane [kg]
19 270,000	zużyta energia elektryczna z alokacji [kWh]
97,360	udział pasty jagodowej w produkcji [%]
10 500,000	wyprodukowana pasta jagodowa [kg]
1 519,000	zużyta energia elektryczna z pomiarów [kWh]
1 060,260	wyemitowany CO ₂ pasty jagodowej z pomiarów [kg]
0,101	CF pasty jagodowej z pomiarów [kg CO ₂ /kg pasty]
18 760,780	zużyta energia elektryczna z alokacji [kWh]
13 095,020	wyemitowany CO ₂ pasty jagodowej z alokacji [kg]
1,247	CF pasty jagodowej z alokacji [kg CO ₂ /kg pasty]

Przeanalizowane dane przedstawione zostały w tabelach 23–26. Dokonano dodatkowo analizy porównawczej dla produkcji pasty jagodowej z cząstkami owoców (dla sierpnia 2022 roku), uwzględniając dane uzyskane na drodze alokacji i pomiarów bezpośrednich, a ich wyniki zostały przedstawione w tabeli 27. Oszacowane CF pasty jagodowej dla wartości zużycia energii elektrycznej zmierzonej i pochodzącej z alokacji, wynoszą odpowiednio 0,101 oraz 1,247 kg CO₂/kg. Wysoka wartość śladu węglowego przy metodzie alokacji jest spowodowana uwzględnieniem w analizie również innych emisji około produkcyjnych związanych m.in. zużyciem energii elektrycznej: na prace administracyjno-biurowe, przez urządzenia pracujące na hali produkcyjnej nie biorące udziału przy produkcji past, przez instalację schładzającą pracującą na hali produkcyjnej, oświetlenie hali produkcyjnej, ogrzanie hali produkcyjnej.

2. Badanie śladu węglowego przechowalnictwa owoców w komorach chłodniczych

Nawiązano współpracę z Ośrodkami Doradztwa Rolniczego (Ośrodek Doradztwa Rolniczego zs. w Bratoszewicach, Śląski Ośrodek Doradztwa Rolniczego w Częstochowie, Świętokrzyski Ośrodek Doradztwa Rolniczego w Modliszewicach) w celu wyboru gospodarstw przetwórczych wraz z rodzajem wytwarzanych produktów do badań. Na podstawie zgromadzonych ankiet do badań wytypowano gospodarstwa zajmujące się uprawą i przechowalnictwem owoców, tj. jabłek i borówki amerykańskiej. Opracowano bazy danych do analizy śladu węglowego. Zgromadzono dane produkcyjne i emisyjne, m.in. oparte na wartościach pomiarów pochodzących z systemów monitorowania zużycia energii elektrycznej

zainstalowanych u rolników. Na podstawie uzyskanych danych, przeprowadzono badania śladu węglowego przechowalnictwa tych owoców w komorach chłodniczych.

2.1. Borówka amerykańska - produkcja i przechowywanie

W ostatnich latach w Polsce rozwinęła się produkcja borówki amerykańskiej. Ze względu na ich nietrwałość, owoce te nie nadają się do długiego przechowywania i wymagają szczególnych warunków w tym zakresie. Zbiór borówek przeprowadzamy w okresie, gdy ich barwa jest nieco jaśniejsza, niż typowa dla danej odmiany. W czasie przechowywania owoce borówek ciemnieją i wówczas w handlu są mniej atrakcyjne dla konsumentów. Owoce można zaklasyfikować do przechowania, jeśli są nieuszkodzone. Nawet niewielkie uszkodzenia borówek są przyczyną rozwoju groźnych chorób grzybowych. Najgroźniejsza jest szara pleśń, której sprawcą jest grzyb *Botrytis cinerea*. Gnicie owoców powodują także grzyby *Rhizopus stolonifer* oraz *Colletotrichum gloeosporioides*.

Dla właściwego przechowywania borówek należy przestrzegać wielu zasad. Ograniczenie strat możliwe jest m.in. dzięki szybkiemu schłodzeniu po zbiorze owoców borówek do temperatury 5 °C. Borówki mogą być przechowywane w:

- chłodni w otaczającej je atmosferze (0-1 °C) do 2-3 tygodnie przechowywania,
- modyfikowanej atmosferze do 4-5 tygodni przechowywania,
- kontrolowanej atmosferze (5-10 % CO₂: 5-3 % O₂) do 8-10 tygodni,
- z użyciem absorberów etylenu.

Konieczna jest minimalizacja uszkodzeń mechanicznych. Nie wolno dopuszczać do ugniatania wielu warstw. Bardzo korzystne dla przechowywania borówek jest błyskawiczne schłodzenie tuż po zbiorze. Owoce schłodzone składujemy w temperaturze od 0,5 do 0°C i wilgotności przekraczającej 90% przez kilka dni. Okres ten można znacznie wydłużyć przechowując towar w kontrolowanej atmosferze. Dzięki takim warunkom przy trwającym procesie oddychania owoców następuje spadek tlenu i jednoczesny wzrost dwutlenku węgla. Przechowywanie owoców borówek nawet przez kilka tygodni jest możliwe pod warunkiem przestrzegania terminu zbioru tych owoców. Do długiego przechowywania nie wykorzystuje się owoców pochodzących z ostatnich zbiorów, przejrzałych, drobnych i zebranych po deszczu (zwiększa się wówczas ryzyko porażenia przez patogeny grzybowe).

2.2. Badanie śladu węglowego przechowywania borówki amerykańskiej

Zakres analizy obejmował proces przechowywania chłodniczego borówki. Analiza została przeprowadzona dla 3 lat (2020-2022). Dodatkowo, poddano analizie CF również proces transportu (od zakładu do klienta). Przeprowadzono monitoring zużycia energii w przechowalnictwie oraz sposobu zbierania danych zgodnie z wybraną metodą analizy oraz opracowano struktury bazy danych. Obliczenia dotyczą tylko przechowywania i działalności przetwórczej w badanym gospodarstwie wg danych pozyskanych od właściciela gospodarstwa. Punkty pomiarowe są zdeterminowane- budową komór chłodniczych, instalacji chłodniczych oraz instalacji elektrycznych. Punkty pomiarowe to liczniki elektryczne na przyłączach energetycznych. Na podstawie odczytów z tych punktów oraz analizy zużycia energii z dokumentów rozliczeń z dostawcą energii określone zostały odpowiednie zużycia energii. Instalacje chłodnicze oraz tablice znamionowe zostały przedstawione na rysunku 7. Masę towarową określono na podstawie dokumentów sprzedaży.



Rys. 7. Instalacje chłodnicze i tablice znamionowe urządzeń

Borówka amerykańska przechowywana była w trzech komorach chłodniczych w okresie czerwiec - październik, w temperaturze około $+1^{\circ}\text{C}$, od 1 do 7 dni. Przed wprowadzeniem do komory owoce trafiają na linię sortowniczą, a następnie są pakowane w opakowania. Określono ilość produkcji w latach 2020-2022 wraz z ilością energii zużytej na tę produkcję.

W analizie uwzględniono coroczne wskaźniki publikowane przez Krajowy Ośrodek Bilansowania i Zarządzania Emisjami. Zakres analizy obejmował proces przetwórczy i przechowywanie chłodnicze w małym zakładzie w gospodarstwie rolniczym. Oszacowano emisje gazów cieplarnianych związane ze zużyciem energii elektrycznej w przechowalnictwie chłodniczym borówki amerykańskiej. Baza danych użyta do analizy obejmowała parametry:

- dane produkcyjne przechowywania borówki amerykańskiej – wielkość produkcji:
- ✓ 2020 r. - 42 tony

- ✓ 2021 r. - 74 tony
- ✓ 2022 r. - 94 tony
- dane energetyczne (zużycie energii elektrycznej) dla przechowywania borówki amerykańskiej:
- ✓ 2020 r. - 5600 kWh
- ✓ 2021 r. - 6300 kWh
- ✓ 2020 r. - 9100 kWh
- wskaźniki emisji przy produkcji energii elektrycznej w [kgCO₂/kWh] dla odbiorców końcowych energii wg KOBIZE ogłoszony w danym roku:
- ✓ 2020 r. - 0,719 kg CO₂/ kWh
- ✓ 2021 r. - 0,698 kg CO₂/ kWh
- ✓ 2022 r. - 0,698 kg CO₂/ kWh

Obliczenia prowadzono wg wzoru:

$$E_{\text{qw CO}_2} = (\text{zużycie energii}) \times (\text{wskaźnik emisji KOBIZE}) / \text{wielkość produkcji}$$

Wyznaczono ekwiwalent emisji CO₂ dla przechowywania borówki odniesiony do 1 kg produktu za dany rok:

- 2020 r. - 0,0959 kg CO₂/kg produktu
- 2021 r. - 0,0594 kg CO₂/kg produktu
- 2022 r. - 0,0676 kg CO₂/kg produktu

W tabeli 28 przedstawiono dane wykorzystane do wyznaczania emisji CO₂ w latach 2020-2022, przy produkcji borówki amerykańskiej, w przykładowym zakładzie w gospodarstwie rolniczym. W celu wyznaczenia śladu węglowego posłużono się wielkościami produkcji i zużytej energii elektrycznej oraz zastosowano wskaźniki emisji [KOBIZE] (wskaźnik emisji CO₂ na lata 2021 i 2022 jest jednakowy, ponieważ nie opublikowano nowego wskaźnika na rok 2022). CF produkcji borówki amerykańskiej kształtował się w granicach 0,0594-0,0959 kg CO₂/kg produktu.

Tabela 28. Dane do wyznaczania emisji CO₂ w latach 2020-2022

Rok	Produkcja	Energia	Wskaźnik emisji [KOBIZE]	Ślad węglowy
	[kg]	[kWh]	[kg CO ₂ /kWh]	[kg CO ₂ /kg prod]
2020	42 000	5 600	0,719	0,0959
2021	74 000	6 300	0,698	0,0594
2022	94 000	9 100	0,698	0,0676

Razem	210 000	21 000		
--------------	----------------	---------------	--	--

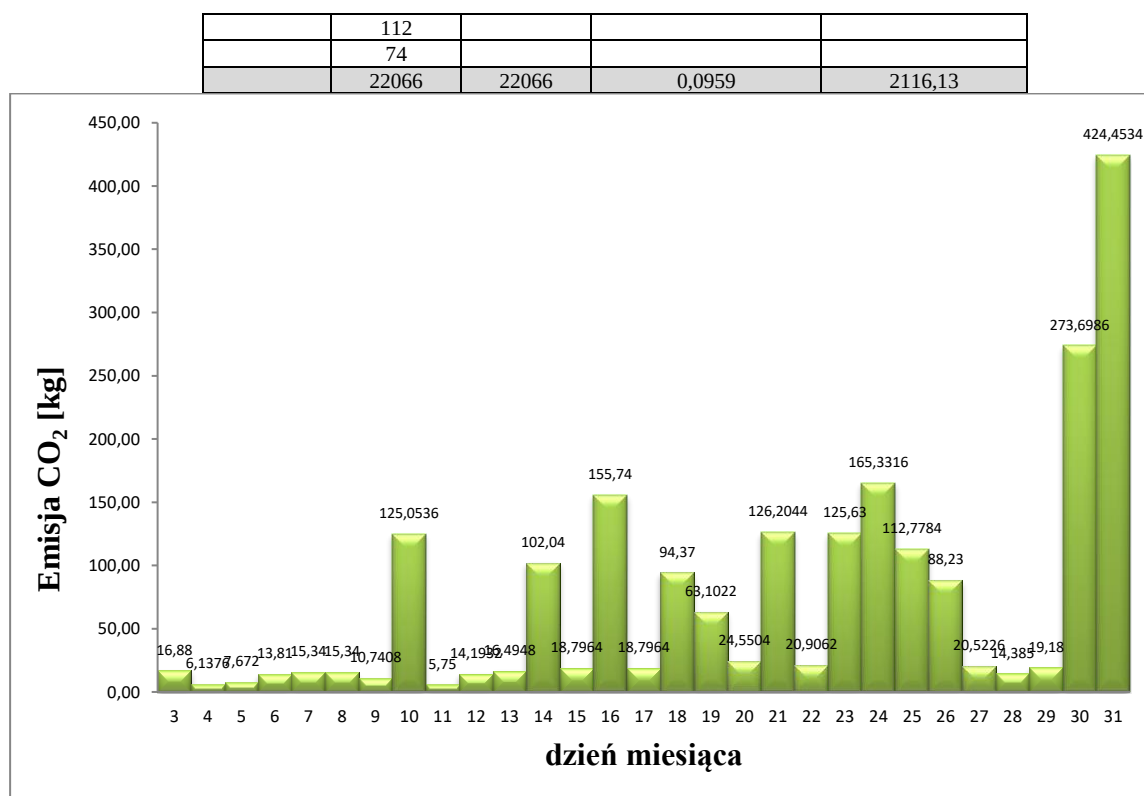
Na podstawie pozyskanych danych produkcyjnych oraz po określeniu zużycia energii, przeprowadzono analizy emisji CO₂ na dany dzień, wyznaczono emisje miesięczne oraz emisje roczne związane z przechowywaniem borówki amerykańskiej. Uzyskane wielkości zgromadzono w tabelach 29-31 za rok 2020, 33-35 za rok 2021 oraz 37-40 za rok 2022. Rozkład dziennych emisji pośrednich CO₂, wynikający z danych produkcyjnych za lata 2020-2022 zamieszczono na rysunkach 8-17, różnice w wartościach emisji w poszczególnych dniach wynikają z wielkości dostarczonego ładunku borówki amerykańskiej.

Tabela 29. Emisja dzienna w lipcu 2020 roku

Dzień	Produkcja [kg]	Suma dnia [kg]	Ekwiwalent emisji [kgCO ₂ /kg produktu]	Emisja dzienna CO ₂ [kg]
3	32	176	0,0959	16,88
	80			
	64			
4	64	64		6,14
5	80	80		7,67
6	48	144		13,81
	48			
	48			
7	64	160		15,34
	64			
	32			
8	80	160		15,34
	80			
9	32	112		10,74
	80			
10	32	1304		125,05
	80			
	96			
	616			
	480			
11	48	60		5,75
	4			
	8			
12	48	148		14,19
	80			
	20			
13	16	172		16,49
	80			
	48			
	4			
	4			
	20			
14	12	1064		102,04
	128			
	64			
	16			
	4			
	840			
15	16	196		18,80
	96			
	80			
	4			
16	64	1624		155,74
	32			

Monitoring gazów cieplarnianych poprzez pomiar rzeczywistego zużycia energii elektrycznej w działalności przetwórczej i przechowalniczej w gospodarstwach rolnych

	128			
	1400			
17	80	196		18,80
	64			
	32			
	12			
	8			
18	64	984		94,37
	920			
19	64	658		63,10
	80			
	14			
	500			
20	32	256		24,55
	96			
	128			
21	32	1316		126,20
	64			
	80			
	32			
	4			
	1104			
22	32	218		20,91
	64			
	112			
	10			
23	32	1310		125,63
	34			
	128			
	64			
	1046			
	6			
24	32	1724		165,33
	54			
	80			
	128			
	32			
	78			
	672			
	648			
25	48	1176		112,78
	8			
	1120			
26	840	920		88,23
	80			
27	112	214		20,52
	80			
	14			
	8			
28	32	150		14,39
	112			
	6			
29	108	200		19,18
	12			
	80			
30	112	2854		273,70
	16			
	50			
	48			
	840			
	490			
	808			
	490			
31	840	4426		424,45
	504			
	1400			
	1400			
	96			



Rys. 8. Rozkład dziennych emisji pośrednich CO₂ wynikający z produkcji w lipcu 2020 roku

Tabela 30. Emisja dzienna w sierpniu 2020 roku

Dzień	Produkcja [kg]	Suma dnia [kg]	Ekwiwalent emisji [kgCO ₂ /kg produktu]	Emisja dzienna CO ₂ [kg]
1	48	124	0,0959	11,89
	64			
	12			
2	80	160		15,34
	80			
3	48	1444		138,48
	616			
	610			
	80			
	48			
	16			
	26			
4	32	32		3,07
5	1032	2262		216,93
	420			
	160			
	120			
	24			
	14			
	20			
	16			
	48			
	48			
	200			
	128			
	32			
6	48	1498		143,66
	1050			
	240			

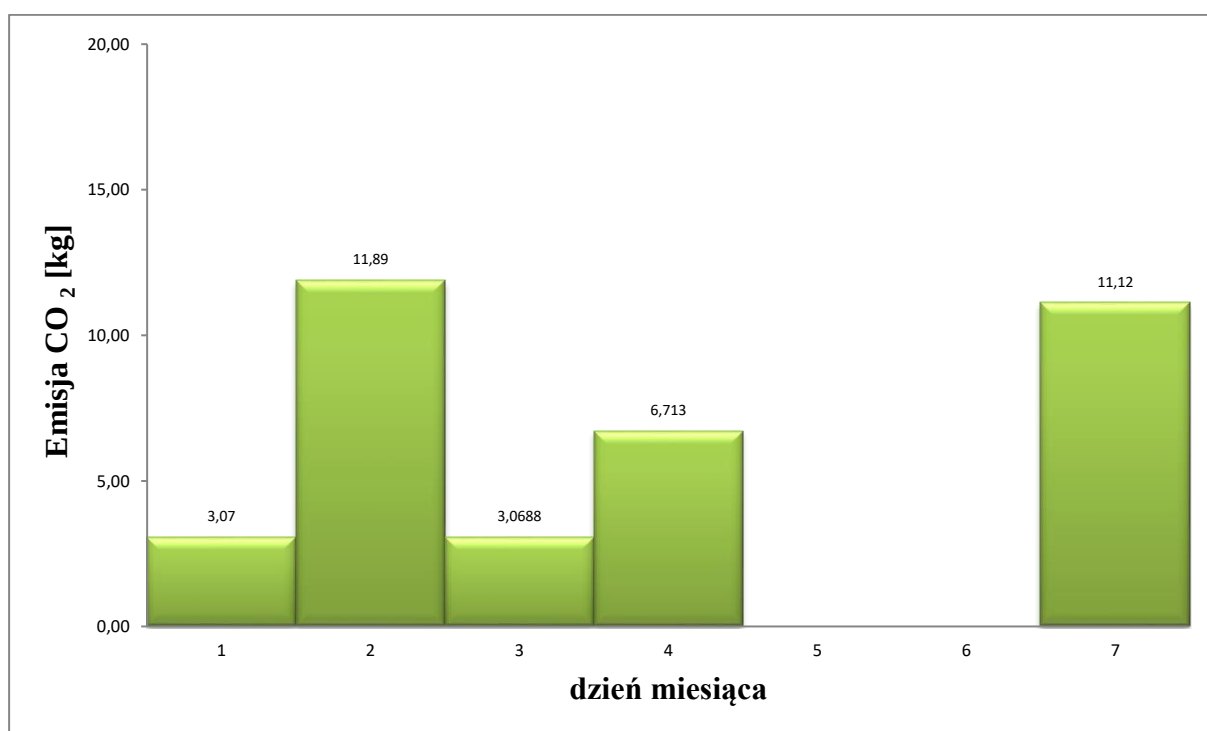
Monitoring gazów cieplarnianych poprzez pomiar rzeczywistego zużycia energii elektrycznej w działalności przetwórczej i przechowalniczej w gospodarstwach rolnych

	128			
	32			
7	48	1918		183,94
	728			
	640			
	200			
	160			
	32			
	84			
	26			
8	64	1476		141,55
	60			
	42			
	960			
	350			
9	160	320		30,69
	128			
	32			
10	48	278		26,66
	120			
	76			
	34			
11	12	416		39,89
	20			
	64			
	160			
	160			
12	64	562		53,90
	200			
	192			
	94			
	12			
13	124	2834		271,78
	1064			
	1064			
	12			
	72			
	32			
	200			
	192			
	74			
14	1200	1282		122,94
	10			
	72			
15	12	12		1,15
16	160	246		23,59
	86			
17	32	438		42,00
	192			
	200			
	14			
18	80	556		53,32
	200			
	192			
	62			
	14			
	8			
19	80	568		54,47
	200			
	192			
	96			
20	96	510		48,91
	200			
	128			
	28			
	14			
	20			
	12			

Rys. 9. Rozkład dziennych emisji pośrednich CO₂ wynikający z produkcji w sierpniu 2020 r.

Tabela 31. Emisja dzienna we wrześniu 2020 roku

Dzień	Produkcja [kg]	Suma dnia [kg]	Ekwiwalent emisji [kgCO ₂ /kg produktu]	Emisja dzienna CO ₂ [kg]
1	32	32	0,0959	3,07
2	32	124		11,89
	76			
	16			
3	32	32		3,07
4	70	70		6,71
7	64	116		11,12
	48			
	4			
	374	374	0,0959	35,87



Rys. 10. Rozkład dziennych emisji pośrednich CO₂ wynikający z produkcji we wrześniu 2020 r.

Tabela 32. Zestawienie za rok 2020

Zestawienie 2020	lipiec	sierpień	wrzesień	suma
Emisja CO ₂ [kg]	2116,129	1830,347	35,87	3982,34

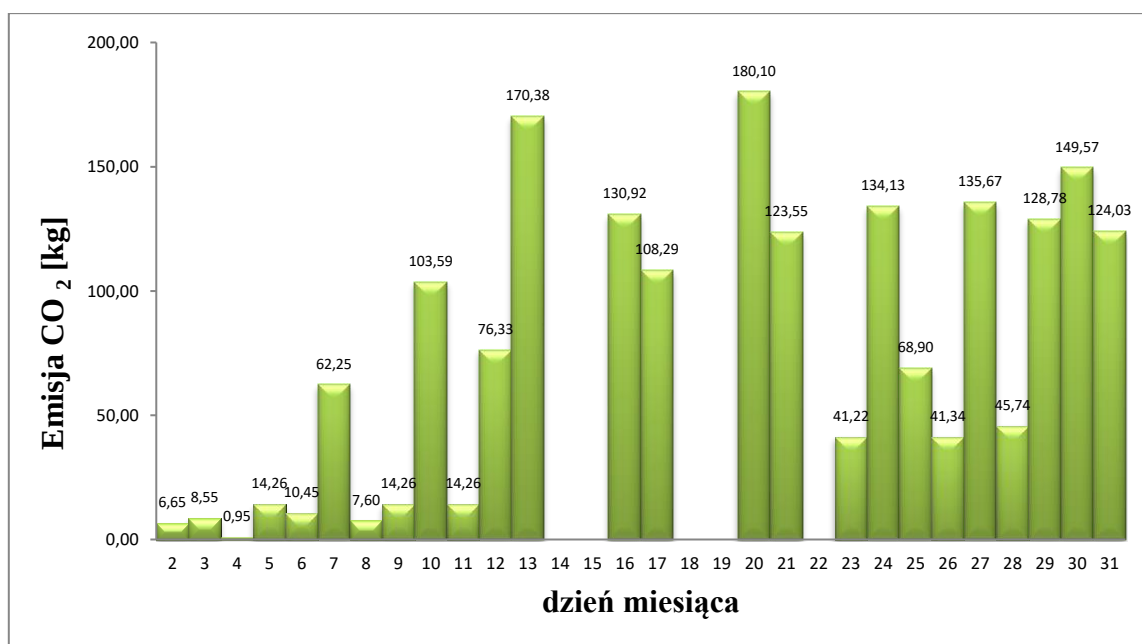
Na podstawie uzyskanych danych produkcyjnych za rok 2020 największa emisja CO₂ związana z produkcją borówki amerykańskiej wyniosła 2 116,13 kg CO₂ w lipcu, natomiast najmniejsza 35,87 kg CO₂ we wrześniu. Całkowita emisja CO₂ za rok 2020 wynosiła 3 982,34 CO₂ (tabela 32).

Tabela 33. Emisja dzienna w lipcu 2021 roku

Dzień	Produkcja [kg]	Suma dnia [kg]	Ekwiwalent emisji [kgCO ₂ /kg produktu]	Emisja dzienna CO ₂ [kg]
2	64	112	0,0594	6,65
	48			
3	48	144		8,55
	96			
4	16	16		0,95
5	80	240		14,26
	112			
	48			
6	96	176		10,45
	80			
7	912	1048		62,25
	8			
	64			
	64			
8	48	128		7,60
	80			
9	96	240		14,26
	96			
	48			
10	768	1744		103,59
	960			
	16			
11	112	240		14,26
	80			
	48			
12	32	1285		76,33
	16			
	80			
	9			
	1148			
13	800	2868,4		170,38
	48			
	80			
	32			
	7			
	2			
	400			
	442,4			
	1057			
16	112	2204		130,92
	48			
	40			
	4			
	1536			
	400			
	64			
17	64	1823		108,29
	49			
	2			
	896			
	800			
	8			
	4			
20	28	3032		180,10
	80			
	860			
	16			
	1600			
	448			
21	16	2080		123,55
	64			
	48			
	1152			
	800			

Monitoring gazów cieplarnianych poprzez pomiar rzeczywistego zużycia energii elektrycznej w działalności przetwórczej i przechowalniczej w gospodarstwach rolnych

23	112	694		41,22
	114			
	4			
	32			
	32			
	288			
	112			
24	58	2258		134,13
	1600			
	600			
25	1000	1160		68,90
	160			
26	80	696		41,34
	32			
	160			
	424			
27	62	2284		135,67
	30			
	64			
	80			
	48			
	800			
	1200			
28	374	770		45,74
	160			
	80			
	48			
	22			
	86			
29	96	2168		128,78
	32			
	80			
	20			
	400			
	1540			
30	160	2518		149,57
	48			
	32			
	32			
	48			
	104			
	34			
	10			
	190			
	960			
	900			
31	86	2088		124,03
	2			
	2000			
	32016,4	32016,4		1901,77



Rys. 11. Rozkład dziennych emisji pośrednich CO₂ wynikający z produkcji w lipcu 2021 roku

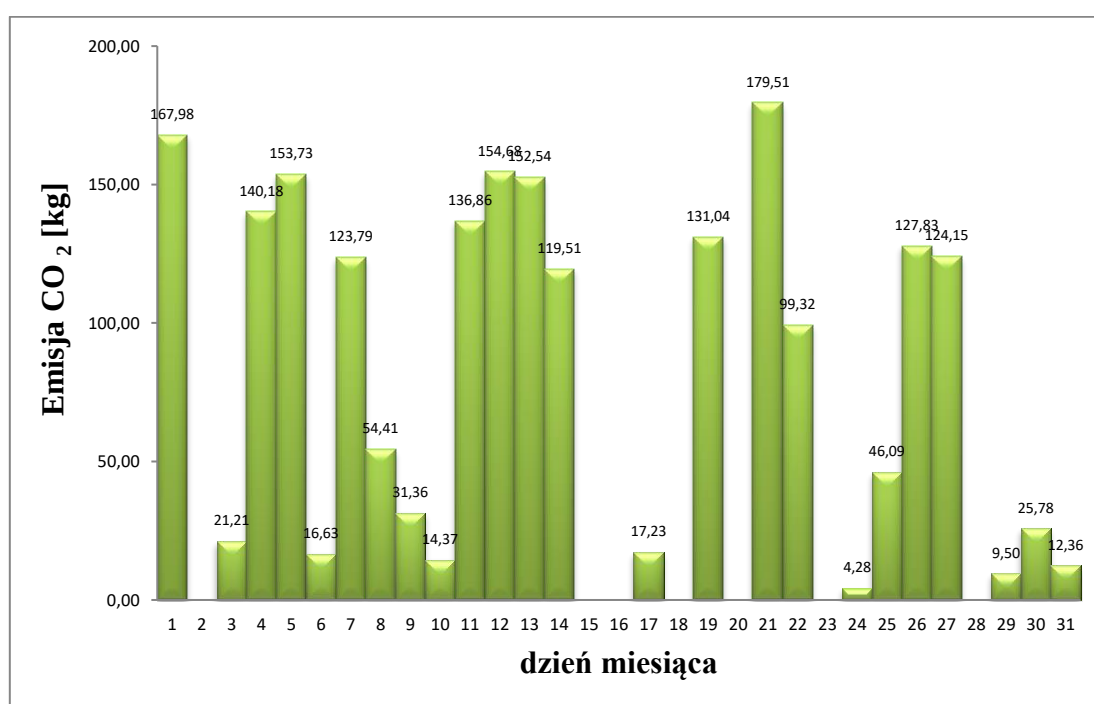
Tabela 34. Emisja dzienna w sierpniu 2021 roku

Dzień	Produkcja [kg]	Suma dnia [kg]	Ekwiwalent emisji [kgCO ₂ /kg produktu]	Emisja dzienna CO ₂ [kg]
1	128	2828	0,0594	167,98
	12			
	16			
	64			
	96			
	80			
	32			
	60			
	324			
	2000			
	16			
3	77	357		21,21
	8			
	96			
	96			
	80			
4	24	2360		140,18
	16			
	160			
	96			
	64			
	2000			
5	170	2588		153,73
	128			
	96			
	58			
	14			
	96			
	2000			
	26			
6	160	280		16,63
	80			
	40			
7	92	2084		123,79
	32			
	1960			

Monitoring gazów cieplarnianych poprzez pomiar rzeczywistego zużycia energii elektrycznej w działalności przetwórczej i przechowalniczej w gospodarstwach rolnych

8	192	916		54,41
	26			
	2			
	96			
	600			
9	30	528		31,36
	160			
	48			
	290			
10	112	242		14,37
	130			
11	48	2304		136,86
	164			
	88			
	20			
	384			
	1600			
12	86	2604		154,68
	80			
	96			
	64			
	242			
	676			
	400			
	448			
	512			
13	414	2568		152,54
	112			
	48			
	20			
	1190			
	400			
	384			
14	100	2012		119,51
	8			
	1176			
	600			
	48			
	64			
	16			
17	64	290		17,23
	48			
	16			
	8			
	72			
	2			
	80			
19	80	2206		131,04
	32			
	800			
	824			
	470			
21	160	3022		179,51
	60			
	26			
	10			
	400			
	2366			
22	64	1672		99,32
	448			
	1160			
24	48	72		4,28
	24			
25	64	776		46,09
	48			
	24			
	160			
	480			

26	96	2152		127,83
	48			
	8			
	2000			
27	8	2090		124,15
	2			
	80			
	2000			
29	96	160		9,50
	64			
30	64	434		25,78
	48			
	306			
	16			
31	48	208		12,36
	96			
	64			
	34753	34753		2064,33



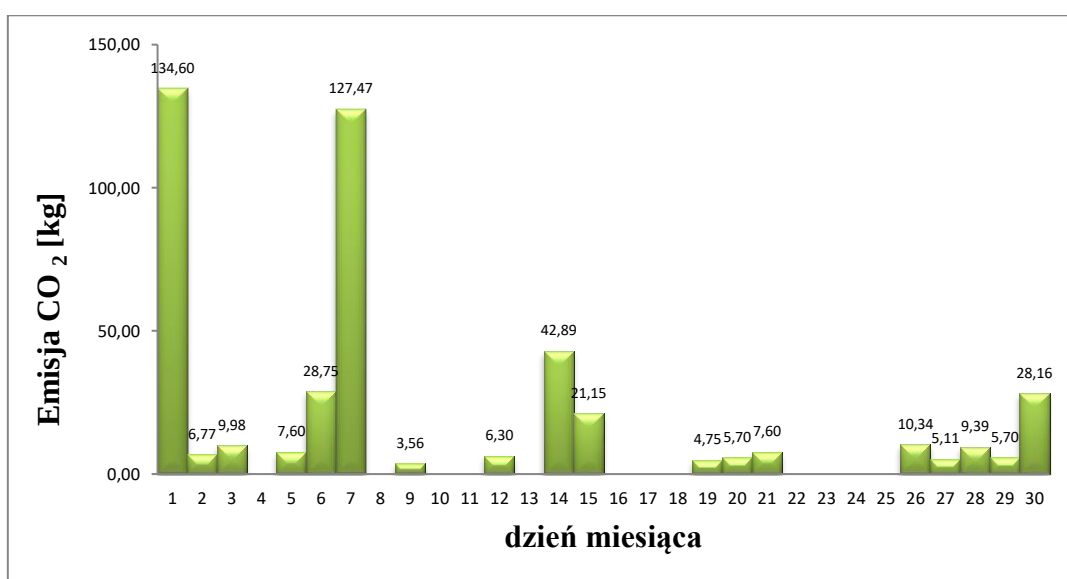
Rys. 12. Rozkład dziennych emisji pośrednich CO₂ wynikający z produkcji w sierpniu 2021 roku

Tabela 35. Emisja dzienna we wrześniu 2021 roku

Dzień	Produkcja [kg]	Suma dnia [kg]	Ekwiwalent emisji [kgCO ₂ /kg produktu]	Emisja dzienna CO ₂ [kg]
1	2000	2266	0,0594	134,60
	80			
	48			
	74			
	64			
2	64	114		6,77
	32			
	12			
	6			
3	18	168		9,98
	20			

Monitoring gazów cieplarnianych poprzez pomiar rzeczywistego zużycia energii elektrycznej w działalności przetwórczej i przechowalniczej w gospodarstwach rolnych

	64			
	48			
	10			
	8			
5	80	128		7,60
	48			
6	80	484		28,75
	16			
	16			
	372			
7	392	2146		127,47
	48			
	1626			
	64			
	16			
9	60	60		3,56
12	42	106		6,30
	48			
	16			
14	50	722		42,89
	48			
	16			
	128			
	480			
15	64	356		21,15
	196			
	32			
	16			
	48			
19	64	80		4,75
	16			
20	80	96		5,70
	16			
21	64	128		7,60
	48			
	16			
26	174	174		10,34
27	86	86		5,11
28	158	158		9,39
29	96	96		5,70
30	156	474		28,16
1	318			
	7842	7842		465,81



Rys. 13. Rozkład dziennych emisji pośrednich CO₂ wynikający z produkcji we wrześniu 2021 roku

Tabela 36. Zestawienie danych za rok 2021

Zestawienie 2021	lipiec	sierpień	wrzesień	razem
Emisja CO ₂ [kg]	1901,77	2064,33	465,81	4431,92

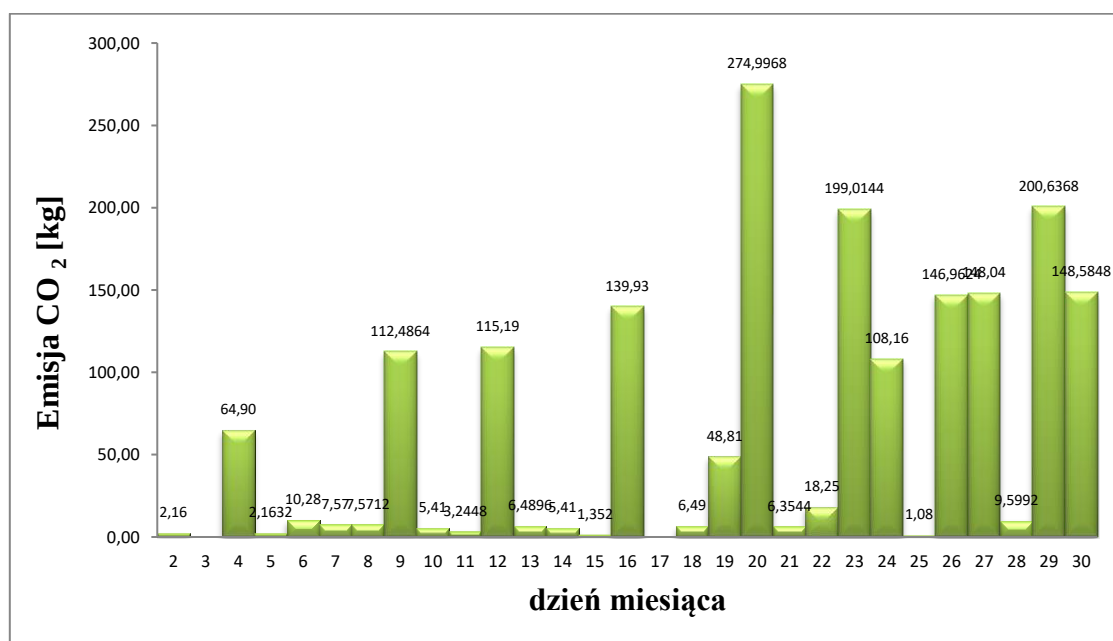
Na podstawie uzyskanych danych produkcyjnych za rok 2021, największa emisja CO₂ związana z produkcją borówki amerykańskiej, wyniosła 2 064,33 kg CO₂ w sierpniu, natomiast najmniejsza 465,81 kg CO₂ we wrześniu. Całkowita emisja CO₂ za rok 2021 wynosiła 4 431,92 CO₂ (tabela 36).

Tabela 37. Emisja dzienna w lipcu 2022 roku

Dzień	Produkcja [kg]	Suma dnia [kg]	Ekwiwalent emisji [kgCO ₂ /kg produktu]	Emisja dzienna CO ₂ [kg]
2	32	32	0,0676	2,16
4	48	960		64,90
	912			
5	32	32		2,16
6	16	152		10,28
	40			
	96			
7	64	112		7,57
	48			
8	16	112		7,57
	96			
9	64	1664		112,49
	1600			
10	80	80		5,41
11	48	48		3,24
12	16	1704		115,19
	704			
	984			
13	48	96		6,49
	48			
14	80	80		5,41
15	16	20		1,35
	4			
16	48	2070		139,93
	6			
	496			
	1520			
18	64	96		6,49
	32			
19	16	722		48,81
	4			
	2			
	700			
20	48	4068		275,00
	16			
	1540			
	528			
	400			
	1536			
21	64	94		6,35
	16			

Monitoring gazów cieplarnianych poprzez pomiar rzeczywistego zużycia energii elektrycznej w działalności przetwórczej i przechowalniczej w gospodarstwach rolnych

	12			
	2			
22	16	270		18,25
	160			
	30			
	14			
	50			
23	48	2944		199,01
	16			
	820			
	36			
	16			
	8			
	2000			
24	1600	1600		108,16
25	16	16		1,08
26	80	2174		146,96
	16			
	1540			
	400			
	54			
	34			
	12			
	38			
27	1540	2190		148,04
	650			
28	134	142		9,60
	8			
29	64	2968		200,64
	16			
	842			
	46			
	2000			
30	48	2198		148,58
	16			
	66			
	24			
	44			
	2000			
	26644	26644	0,0676	1801,13



Rys. 14. Rozkład dziennych emisji pośrednich CO₂ wynikający z produkcji w lipcu 2022 roku

Instytut Biotechnologii Przemysłu Rolno-Spożywczego im. prof. Wacława Dąbrowskiego -
Państwowy Instytut Badawczy
Zakład Technologii i Techniki Chłodnictwa

Tabela 38. Emisja dzienna w sierpniu 2022 roku

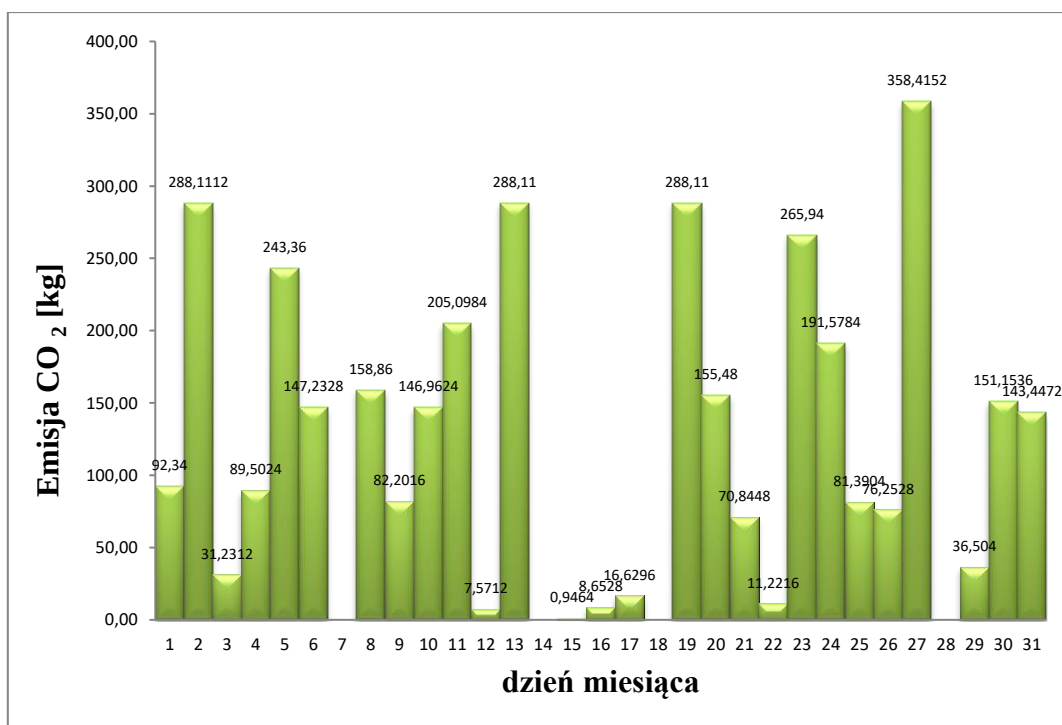
Dzień	Produkcja [kg]	Suma dnia [kg]	Ekwiwalent emisji [kgCO ₂ /kg produktu]	Emisja dzienna CO ₂ [kg]
1	32	1366	0,0676	92,34
	48			
	1110			
	176			
2	16	4262		288,11
	64			
	2000			
	60			
	18			
	1200			
	904			
3	32	462		31,23
	48			
	6			
	376			
4	48	1324		89,50
	1216			
	40			
	20			
5	96	3600		243,36
	16			
	800			
	928			
	400			
	600			
	620			
	140			
6	80	2178		147,23
	42			
	840			
	1216			
8	48	2350		158,86
	70			
	28			
	188			
	1216			
	800			
9	112	1216		82,20
	16			
	220			
	832			
	36			
10	64	2174		146,96
	104			
	14			
	24			
	768			
	1200			
11	96	3034		205,10
	44			
	124			
	588			
	164			
	1608			
	410			
12	112	112		7,57
13	144	4262		288,11
	16			
	1536			
	400			
	100			
	18			
	16			
	1200			

Monitoring gazów cieplarnianych poprzez pomiar rzeczywistego zużycia energii elektrycznej w działalności przetwórczej i przechowalniczej w gospodarstwach rolnych

	832			
15	14	14		0,95
16	96	128		8,65
	32			
17	96	246		16,63
	10			
	106			
	34			
19	1200	4262		288,11
	832			
	1200			
	864			
	130			
	36			
20	12	2300		155,48
	96			
	64			
	104			
	1224			
	800			
21	800	1048		70,84
	112			
	16			
	80			
	40			
22	80	166		11,22
	64			
	22			
23	80	3934		265,94
	1000			
	80			
	742			
	832			
	1200			
24	48	2834		191,58
	80			
	52			
	374			
	2280			
25	64	1204		81,39
	80			
	1008			
	52			
26	48	1128		76,25
	80			
	1000			
27	96	5302		358,42
	84			
	50			
	1088			
	2000			
	1600			
	384			
29	48	540		36,50
	52			
	32			
	408			
30	112	2236		151,15
	48			
	24			
	24			
	28			
	2000			
31	80	2122		143,45
	36			
	326			
	64			
	16			

Monitoring gazów cieplarnianych poprzez pomiar rzeczywistego zużycia energii elektrycznej w działalności przetwórczej i przechowalniczej w gospodarstwach rolnych

	1600			
	53804	53804	0,0676	3637,15

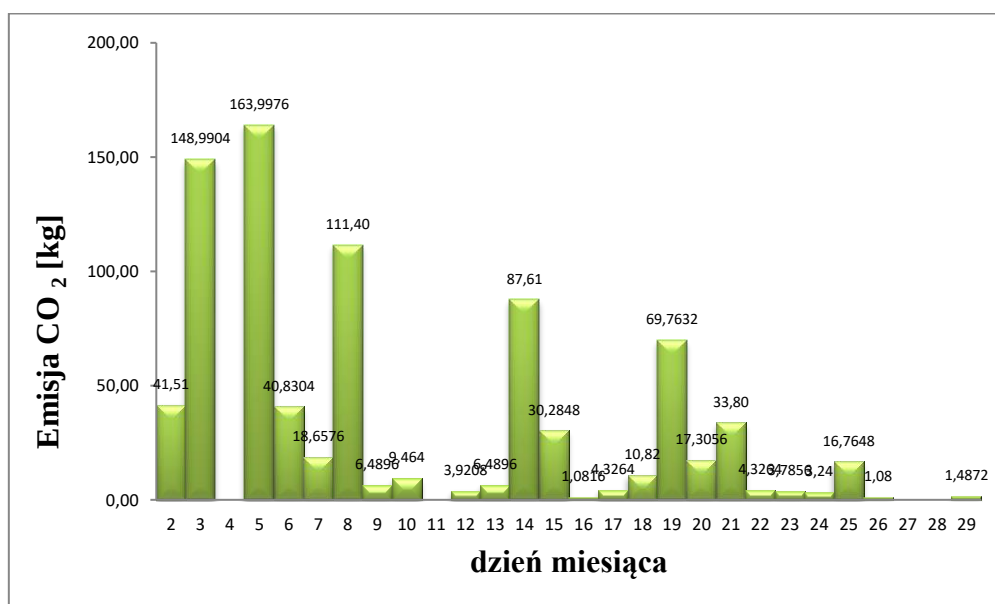


Rys. 15. Rozkład dziennych emisji pośrednich CO₂ wynikający z produkcji w sierpniu 2022 roku

Tabela 39. Emisja dzienna we wrześniu 2022 roku

Dzień	Produkcja [kg]	Suma dnia [kg]	Ekwiwalent emisji [kgCO ₂ /kg produktu]	Emisja dzienna CO ₂ [kg]
2	400	614	0,0676	41,51
	52			
	80			
	32			
	50			
3	128	2204		148,99
	32			
	2000			
	24			
	20			
5	80	2426		164,00
	1000			
	800			
	546			
6	112	604		40,83
	480			
	12			
7	48	276		18,66
	58			
	170			
8	48	1648		111,40
	1600			
9	80	96		6,49
	16			
10	140	140		9,46
12	58	58		3,92

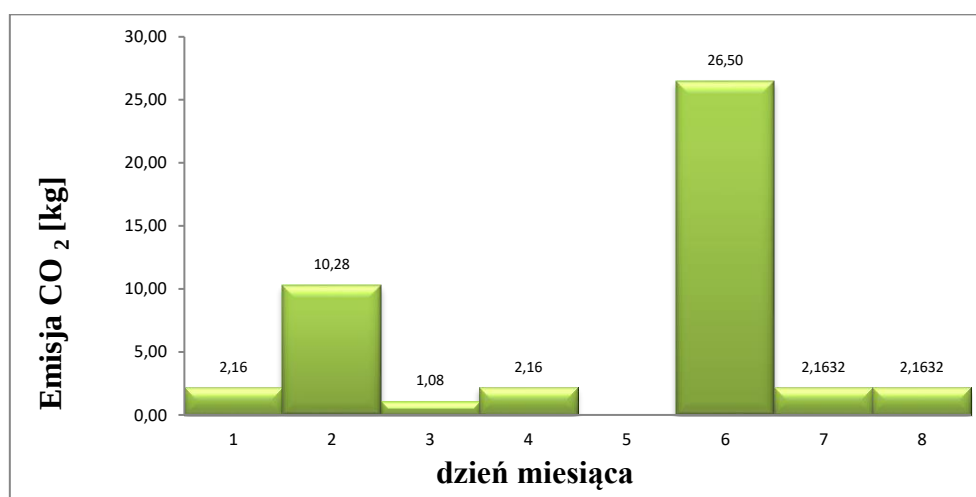
13	80	96		6,49
	16			
14	48	1296		87,61
	1248			
15	80	448		30,28
	16			
	352			
16	16	16		1,08
17	64	64		4,33
18	160	160		10,82
19	32	1032		69,76
	1000			
20	32	256		17,31
	224			
21	500	500		33,80
22	64	64		4,33
23	16	56		3,79
	40			
24	48	48		3,24
25	248	248		16,76
26	16	16		1,08
29	22	22		1,49
	12388	12388	0,0676	837,43



Rys. 16. Rozkład dziennych emisji pośrednich CO₂ wynikający z produkcji we wrześniu 2022 roku

Tabela 40. Emisja dzienna w październiku 2022 roku

Dzień	Produkcja [kg]	Suma dnia [kg]	Ekwiwalent emisji [kgCO ₂ /kg produktu]	Emisja dzienna CO ₂ [kg]
1	32	32	0,0676	2,16
2	152	152		10,28
3	16	16		1,08
4	32	32		2,16
6	16	392		26,50
	48			
	328			
7	32	32		2,16
8	32	32		2,16
	93524	93524	0,0676	46,51



Rys. 17. Rozkład dziennych emisji pośrednich CO₂ wynikający z produkcji ziemniaku 2022 roku

Tabela 41. Zestawienie za rok 2022

Zestawienie 2022	lipiec	sierpień	wrzesień	październik	Razem
Emisja CO ₂ [kg]	1801,13	3637,15	837,43	46,51	6322,22

Na podstawie uzyskanych danych produkcyjnych za rok 2022, największa emisja CO₂ związana z produkcją borówki amerykańskiej wyniosła 3 637,15 kg CO₂ w sierpniu, natomiast najmniejsza 46,51 kg CO₂ w październiku. Całkowita emisja CO₂ za rok 2022 wynosiła 6 322,22 CO₂ (tabela 41).

Tabela 42. Zestawienie sumaryczne za lata 2020-2022

Zestawienie	2020	2021	2022	Razem
Emisja CO ₂ [kg]	3982,34	4431,92	6322,22	14736,48

Uwzględniając dane produkcyjne za lata 2020-2022 uzyskane z systemu pomiarowego zużycia energii elektrycznej, zainstalowanego w gospodarstwie zajmującym się przetwórstwem borówki amerykańskiej, wyznaczono całkowitą emisję CO₂, której największa wartość wynosiła 6 322,22 kg CO₂ dla 2022 roku, natomiast najmniejsza 3 982,34 kg CO₂ dla 2020 roku. Sumaryczna emisja CO₂ w latach 2020-2022 związana z produkcją borówki amerykańskiej wyniosła 14 736,48 kg CO₂ (tabela 42).

2.3. Badanie śladu węglowego transportu borówki amerykańskiej

Analiza emisji związanych z transportem borówki amerykańskiej do odbiorców końcowych. Obliczenia dotyczą transportu w działalności przetwórczej w badanym gospodarstwie (zakładzie) wg danych pozyskanych od właściciela. Borówka amerykańska transportowana była za pomocą trzech typów samochodów: Volkswagen T4, Fiat Ducato i Iveco. Określono ilości emisji w latach 2020-2022 wraz z ilością transportowanej masy towarowej. Analiza uwzględnia wskaźniki publikowane przez Krajowy Ośrodek Bilansowania i Zarządzania Emisjami. Zakres analizy został odniesiony do określonych wcześniej emisji związanych z procesami przetwórczymi i przechowywaniem chłodniczym borówki amerykańskiej w małym zakładzie (gospodarstwie rolniczym).

Baza danych do analizy emisji zawiązanych z transportem:

- średnie spalanie - olej napędowy:
 - ✓ VW T4 8,2 l/100km
 - ✓ Ducato 10,4 l/100km
 - ✓ Iveco 13,6 l/100km
- dane produkcyjne przechowywania borówki amerykańskiej (wielkość produkcji):
 - ✓ 2020 r. - 42 000 kg
 - ✓ 2021 r. - 74 000 kg
 - ✓ 2022 r. - 94 000 kg
- dane dotyczące transportu dla borówki amerykańskiej:
 - ✓ dla 2020 r. ilość przejechanych kilometrów wyniosła 19 000
 - ✓ dla 2021 r. ilość przejechanych kilometrów wyniosła 21 000
 - ✓ dla 2022 r. ilość przejechanych kilometrów wyniosła 26 000
- przyjęte założenia:
 - ✓ ładunki spaletyzowane na paletach euro 1200 x 800.
 - ✓ średnia długość trasy do klienta to 400 km.

Tabela 43. Przykładowe metody załadunku pojazdów

	Pojazd	Ładunek palet	Opakowanie zbiorcze	Sztuk na palecie	Opakowanie jednostkowe	Waga	Sztuk w zbiorczym	Ładunek
Przykład 1	vw t4 furgon zabudowa chłodnicza	2	karton 800x600	32	wiaderko 0,5 kg	0,5	15	480
Przykład 2	vw t4 furgon zabudowa chłodnicza	2	karton 800x600	80	pet 250 g z wieczkiem	0,25	16	640
Przykład 3	vw t4 furgon zabudowa chłodnicza	2	karton 800x600	80	pet 250 g hot seal	0,25	20	800

Przykład 4	vw t4 furgon zabudowa chłodnicza	2	skrzynka 400x300	96	brak	4	1	768
Przykład 5	vw t4 furgon zabudowa chłodnicza	2	karton 800 x 600	80	pet 125 g z wieczkiem	0,125	16	320
Przykład 6	Fiat ducato 3 kontener 6 palety	5	karton 800x600	28	wiaderko 0,5 kg	0,5	15	1050
Przykład 7	Fiat ducato 3 kontener 6 palety	5	karton 800x600	48	pet 250 g z wieczkiem	0,25	16	960
Przykład 8	Fiat ducato 3 kontener 6 palety	5	karton 800x600	40	pet 250 g hot seal	0,25	20	1000
Przykład 9	Fiat ducato 3 kontener 6 palety	5	skrzynka 400x300	48	brak	4	1	960
Przykład 10	Fiat ducato 3 kontener 6 palety	5	karton 800 x 600	80	pet 125 g z wieczkiem	0,125	16	800
Przykład 11	iveco daily kontener 8 palet	6	karton 800x600	40	wiaderko 0,5 kg	0,5	15	1800
Przykład 12	iveco daily kontener 8 palet	6	karton 800x600	80	pet 250 g z wieczkiem	0,25	16	1920
Przykład 13	iveco daily kontener 8 palet	6	karton 800x600	64	pet 250 g hot seal	0,25	20	1920
Przykład 14	iveco daily kontener 8 palet	6	skrzynka 400x300	80	brak	4	1	1920
Przykład 15	iveco daily kontener 8 palet	8	karton 800 x 600	80	pet 125 g z wieczkiem	0,125	16	1280

Konieczne jest wyznaczenie wskaźnika emisji CO₂ na litr spalonego oleju napędowego, co umożliwi wyznaczenie sumarycznej emisji CO₂ związanej z transportem za dany rok (w latach 2020-2022), na podstawie podanych przebiegów rocznych oraz pozwoli przeprowadzić rozważania na podanych przykładach z tabeli 43. W celu wyznaczania wskaźnika emisji CO₂ na litr spalonego oleju napędowego, oparto się na trzech sposobach opisanych w następujących dokumentach:

- raport Primum BV „Oszacowanie bilansu emisji gazów cieplarnianych dla obszaru miasta Poznania”,
- opracowanie KOBiZE „Wskaźniki emisji zanieczyszczeń ze spalania paliw dla źródeł o nominalnej mocy cieplnej do 5 MW, zastosowane do automatycznego wyliczenia emisji w raporcie do krajowej bazy za 2020 r.” opublikowane Warszawa, luty 2021,
- publikacja firmy Cartrack „redukcja śladu węglowego we flocie cartrack”.

Takie działanie ma na celu wykazanie różnic w sposobie kalkulacji wskaźnika emisji.

Wykorzystano metodykę obliczeń wskaźnika emisji CO₂ na litr spalonego oleju napędowego zastosowaną w raporcie firmy Primum BV „Oszacowanie bilansu emisji gazów cieplarnianych dla obszaru miasta Poznania”. W wszystkich metodach konieczne jest wyznaczenie współczynnika emisji [kg/GJ], który jest potrzebny do obliczenia całkowitej emisji gazów cieplarnianych pochodzących z transportu. Zestawienie wszystkich współczynników emisji dla poszczególnych rodzajów paliw przedstawia tabela 44.

Tabela 44. Współczynniki emisji dla poszczególnych paliw [KCIE – Krajowy Raport Inwentaryzacji Emisji 2007 i 2011]

	benzyna	olej napędowy	LPG
1990			
W _e CO ₂ [kg/GJ]	72,82	91,86	59,95
W _e CH ₄ [kg/GJ]	0,0286	0,0065	0,0209
W _e N ₂ O [kg/GJ]	0,0017	0,0040	0,0002
1995			
W _e CO ₂ [kg/GJ]	72,82	87,61	59,95
W _e CH ₄ [kg/GJ]	0,0278	0,0058	0,0209
W _e N ₂ O [kg/GJ]	0,0031	0,0039	0,0002
2000			
W _e CO ₂ [kg/GJ]	70,46	73,16	63,11
W _e CH ₄ [kg/GJ]	0,0162	0,0043	0,0193
W _e N ₂ O [kg/GJ]	0,0121	0,0032	0,0002
2005			
W _e CO ₂ [kg/GJ]	70,75	73,16	63,11
W _e CH ₄ [kg/GJ]	0,0128	0,0044	0,0188
W _e N ₂ O [kg/GJ]	0,0147	0,0032	0,0002
2010			
W _e CO ₂ [kg/GJ]	70,36	73,16	63,11
W _e CH ₄ [kg/GJ]	0,0115	0,0041	0,0188
W _e N ₂ O [kg/GJ]	0,0026	0,0033	0,0002

Źródło KCIE - Krajowy raport inwentaryzacji emisji (2007 i 2011)

Uwzględniając stosowany rodzaj transportu borówek, przyjęto następujące założenia:

- wartość współczynnika emisji - 73,16 kg CO₂/GJ
- gęstość paliwa kg/l dla oleju napędowego - 0,83 kg/l
- wartość opałowa paliwa MJ/kg dla oleju napędowego - 43,38 MJ/kg

W oparciu o statystyczne przebiegi pojazdów w poszczególnych kategoriach i jednostkowe zużycie paliw, określone na podstawie danych Instytutu Transportu Samochodowego, obliczono ogólną ilość (masę) zużycia. Na tej podstawie obliczono energię zużywanych paliw według następującego wzoru:

$$Z \text{ [MJ]} = m \text{ [t]} \times W_{op} \text{ [MJ/kg]} / 10^3$$

gdzie:

m - masa paliwa

W_{op} - wartość opałowa paliwa

Pozwoliło to na obliczenie emisji gazów cieplarnianych ze spalania tych paliw. Emisję gazów cieplarnianych obliczono według następującego wzoru:

$$EGC(t) = Z \text{ [MJ]} \times W_e \text{ [MJ/kg]} / 10^3$$

gdzie:

EGC[t] - emisja danego gazu

Z – energia zużytego paliwa

W_e – współczynnik emisji danego gazu

Z powyższych analiz wynika, że

$$43,38 \text{ MJ/kg} / 1000 = 0,04338 \text{ kJ/kg}$$

- Emisja na kg oleju napędowego wynosi - $73,16 / \text{kJ} \times 0,04338 \text{ kJ/kg} = \mathbf{3,173 \text{ kg CO}_2 / \text{kg}}$

- Emisja na litr oleju napędowego wynosi - $3,173681 / \text{kg} \times 0,83 \text{ kg/l} = \mathbf{2,634 \text{ kg CO}_2 / \text{litr}}$

W oparciu o przyjętą metodologię, wyznaczono następujące emisje: 3,173 kg CO₂ na kg oleju napędowego i 2,634 kg CO₂/ litr.

Na podstawie wytycznych metodologii według Krajowego Ośrodka Bilansowania i Zarządzania Emisji (KOBiZE) sposób obliczania wielkości emisji jest następujący. Wielkość emisji jest uzależniona od rodzaju paliwa, wielkości jego zużycia i jego wartości opałowej, a także stosowanych urządzeń redukcji emisji. Wszystkie wskaźniki emisji podano w jednostce g/GJ, dlatego do wyliczenia emisji konieczne jest podanie ilości spalonego paliwa i jego wartości opałowej. Wartości opałowe paliw (standardowe wartości opałowe) są podane w dokumencie KOBiZE. Wzór służący do obliczania wielkości emisji na podstawie wskaźnika emisji w paliwie to:

$$E = B \times W_o \times EF / 1\,000\,000$$

gdzie:

E - emisja substancji, wyrażona w kilogramach [kg]

B - zużycie paliwa wyrażone w megagramach [Mg] lub tysiącach metrów sześciennych [tys. m³]

W_o - wartość opałowa wyrażona w kilodżulach na kilogram paliwa [kJ/kg] lub kilodżulach na metr sześcienny paliwa [kJ/m³]

EF - wskaźnik emisji wyrażony w gramach na gigadżul energii chemicznej zawartej w paliwie [g/GJ]

W przypadku, gdy za źródłem spalania jest zainstalowane urządzenie redukcji emisji – jej wielkość określa się z zależności:

$$E' = EF \times (100 - n) / 100$$

gdzie:

E' - emisja substancji po korekcie ze względu na redukcję, wyrażona w kilogramach [kg]

E - emisja przed urządzeniem redukcyjnym (1)

n - sprawność urządzenia redukcyjnego, wyrażona w procentach [%]

Przyjęte wytyczne do obliczeń:

- ✓ wskaźnik emisji dla paliw ciekłych [g/GJ]
- ✓ wartość wskaźnika emisyjności dwutlenek węgla (CO₂) - 72480 (tabela 45)
- ✓ oleje napędowe do silników (Diesla) 43 000 kJ/kg
- ✓ gęstość paliwa - olej napędowy 0,83 kg/l

Tabela 45. Wskaźniki emisji dla paliw ciekłych wg KOBiZE

Lp.	Zanieczyszczenie	Wskaźnik emisji [g/GJ]
1	Pył całkowity	2
2	Pył PM10	2
3	Pył PM2,5	2
4	Dwutlenek węgla (Dytlenek węgla CO ₂)	72480
5	Tlenek węgla (CO)	30
6	Tlenki azotu (NO _x /NO ₂)	70
7	Tlenki siarki (SO _x /SO ₂)	80
8	Benzo(a)piren	0,0001

Emisja na kg paliwa

$$E = 72,480 \text{ kg} / \text{GJ} \times 0,043 \text{ GJ/kg} \times 1\text{kg} = \mathbf{3,1166 \text{ kg CO}_2/\text{kg}}$$

Emisja na litr

$$E_v = 3,11664 \text{ kg CO}_2/\text{kg} \times 0,83 \text{ kg/l} = \mathbf{2,5868 \text{ kg CO}_2/\text{litr}}$$

Do wyliczeń wskaźnika zastosowano również metodę scharakteryzowaną w dokumencie „Redukcja śladu węglowego we flocie Cartrack” firmy Cartrack. Obliczenia w przypadku pojazdów z silnikiem spalinowym opierają się na liczbie litrów paliwa zużytego. Korzystając z danych z karty paliwowej dla wszystkich rodzajów pojazdów i uwzględniając ilość litrów zakupionych, można obliczyć wskaźniki emisji. Przyjęte założenia:

- ✓ 1 litr oleju napędowego generuje 2,68 kg CO₂
- ✓ 1 litr benzyny generuje 2,31 kg CO₂
- ✓ 1 litr LPG generuje 1,51 kg CO₂

Dla przykładu pojazd, który w roku przejeżdża 30 000 km ze średnim spalaniem 5,5 l/100km oleju napędowego spali 1 650 litrów diesla. Ten wynik z kolei przekłada się na 4 422 kg CO₂ wyemitowanych do atmosfery przez tylko jeden samochód w roku.

Po analizie uzyskanych wyników, do dalszych rozważań przyjęto wskaźniki obliczone wg metodologii opisanej w publikacji „Wskaźniki emisji zanieczyszczeń ze spalania paliw dla źródeł o nominalnej mocy cieplnej do 5 MW, zastosowane do automatycznego wyliczenia

emisji w raporcie do krajowej bazy, za 2020 r.”, Krajowy Ośrodek Bilansowania i Zarządzania Emisji (KOBiZE). 1 litr oleju napędowego generuje 2,5868 kg CO₂. Po analizie uzyskanych wyników stwierdzono, że jest to najbardziej wiarygodne źródło informacji z uwagi na zakres prowadzonej działalności. KOBiZE prowadzi Krajową bazę, w której zbierane są dane o emisjach gazów cieplarnianych i innych substancji. Baza ta jest stale udoskonalanym narzędziem, oferującym unikalne informacje o źródłach emisji wraz z lokalizacją źródeł i parametrami działania poszczególnych instalacji. Umożliwia ona tym samym uzyskanie dokładnych informacji opartych na rzeczywistych danych przekazywanych przez podmioty w ramach corocznej sprawozdawczości.

Do wyznaczania emisji CO₂ dla transportu borówki przyjęto średnie spalanie oleju napędowego w gospodarstwie dla konkretnych środków transportu:

- VW T4 8,2 l/100km
- Ducato 10,4 l/100km
- Iveco 13,6 l/100km

Zakładając, że pojazdy przebywają podobną drogę w ciągu roku średnie spalanie wynosi około 10,73 l/100km. Na podstawie pozyskanych danych produkcyjnych oraz po określeniu zużycia paliwa przeprowadzono analizy emisji CO₂ na dany rok związane z transportem borówki amerykańskiej. Wyniki przedstawiono w tabeli 46. Na podstawie uzyskanych wielkości parametrów, stwierdzono, że emisja CO₂ kształtuje się na poziomie 5 274 – 7 217 kg CO₂.

Tabela 46. Dane do wyznaczania emisji CO₂ w transporcie w latach 2020-2022

Rok	Produkcja	Przebiegi	Wskaźnik emisji [KOBIZE]	Średnie zużycie paliw	Roczne zużycie paliw	Emisja roczna
	[kg]	[km]	[kg CO ₂ /l oleju]	[l/100 km]	[l]	[kg CO ₂]
2020	42 000	19 000	2,587	10,73	2038,7	5274
2021	74 000	21 000	2,587	10,73	2253,3	5829
2022	94 000	26 000	2,587	10,73	2789,8	7217
Razem	210 000	66 000	2,587	10,73	7081,8	18320

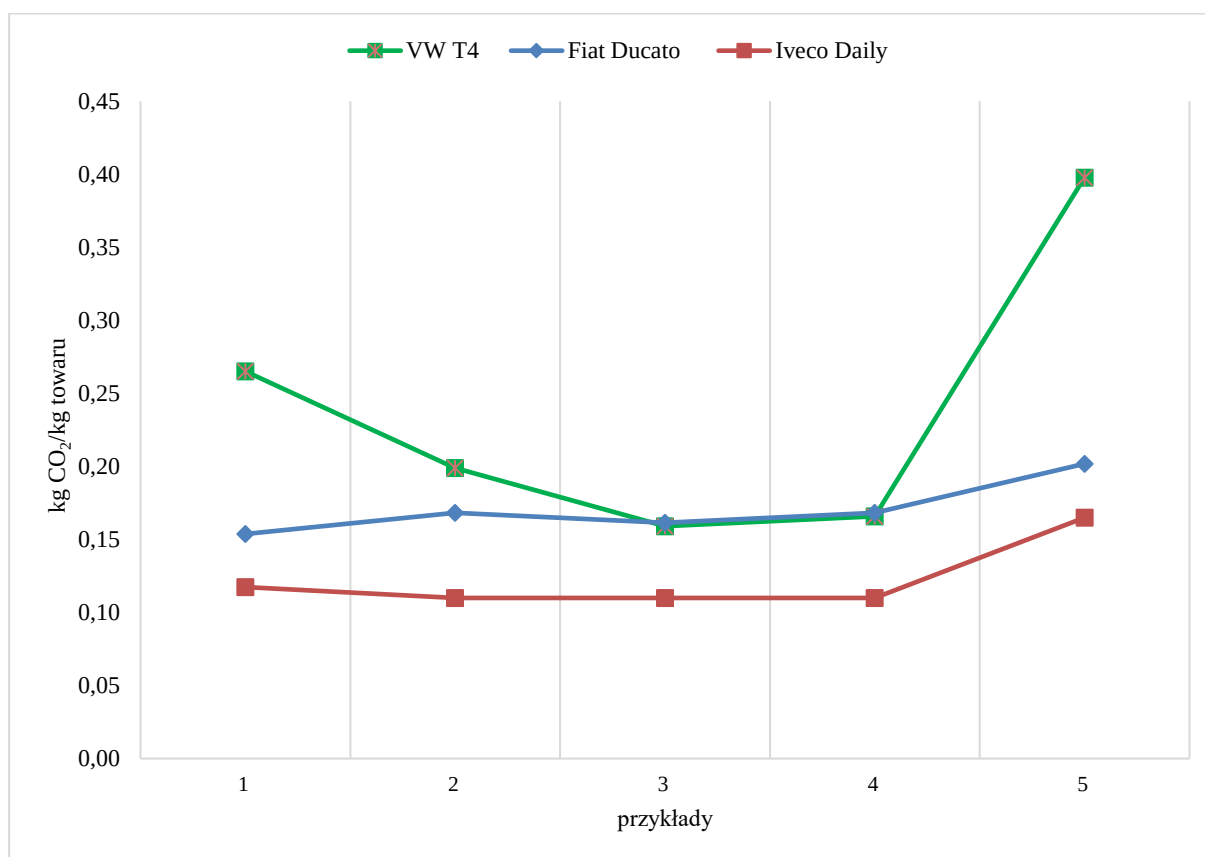
W tabeli 47 wyznaczone zostały roczne emisje CO₂ związane z transportem produktu.

Tabela 47. Analiza emisji CO₂ w transporcie w latach 2020-2022

Rok	Produkcja	Przebiegi	Emisja roczna dla produkcji	Ekwiwalent dla produkcji	Emisja roczna w transporcie	Ekwiwalent w transporcie
	[kg]	[km]	[kg CO ₂]	[kg CO ₂ /kg]	[kg CO ₂]	[kg CO ₂ /kg]
2020	42 000	19 000	3982	0,0959	5274	0,1256
2021	74 000	21 000	4432	0,0594	5829	0,0788

2022	94 000	26 000	6322	0,0676	7217	0,0768
Razem	210 000	66 000	14736	0,0702	18320	0,0872

Emisja całkowita w okresie 2020 - 2022 wyniosła ponad 18 ton CO₂. Wyznaczono też ekwiwalentne wskaźniki emisji CO₂, związane z transportem borówki do klientów, a ich średnia wartość wynosiła około 0,09 kg CO₂ /kg. Dokonano również porównania emisji związanych z produkcją i transportem. Stwierdzono, że emisja CO₂ związana z transportem borówki, jest wyższa niż z samym procesem produkcyjnym przechowywania chłodniczego i stanowi około 60 %.



Rys. 18. Emisja CO₂ w transporcie borówki amerykańskiej odniesiona do kg towaru [kg CO₂/kg towaru] dla trzech typów samochodów z różnym załadunkiem

Na podstawie danych z tabeli 43 przedstawiającej przykładowe sposoby załadunku pojazdów przeprowadzono obliczenia i analizę emisji CO₂ związanych z transportem. Wyniki przedstawiono na rysunku 18. Najniższa emisja jest związana z transportem wykonywanym samochodem Iveco Daily, a najwyższa VW T4. Wynika to z wielkości załadunku danego pojazdu i ilości palet możliwych do rozmieszczenia na samochodzie. Dla wszystkich rodzajów

pojazdów emisje są najwyższe dla przykładów oznaczonych nr 5 na rys. 18, co jest bezpośrednio związane ze sposobem pakowania transportowanej borówki. W tym przypadku borówka jest w opakowaniu jednostkowym o najniższej gramaturze (pet 125 g z wieczkiem), co wpływa znacząco na całkowity załadunek pojazdu (najniższy tonaż). Znaczący wpływ na minimalizację śladu węglowego transportu ma maksymalizowanie wykorzystania powierzchni załadunkowej.

2.4. Jabłka - produkcja i przechowywanie

Wzrost zainteresowania społeczeństwa produktami prozdrowotnymi oraz rezygnacja z wysokoprzetworzonych produktów spożywczych na rzecz surowych owoców i warzyw, przyczyniła się do potrzeby przechowywania większych ilości płodów rolnych. Jabłka stanowią doskonały przykład skarbnicy składników o działaniu prozdrowotnym (dzięki zawartości kwasu ursolowego, błonnika, pektyn, kwercetyny). Zawierają węglowodany, kwasy organiczne i składniki mineralne, a przede wszystkim są źródłem niezbędnych dla organizmu ludzkiego witamin A, B, PP, C i K. Niestety, w stanie świeżym nie nadają się do dłuższego przechowywania. Dlatego też, istotne jest zastosowanie odpowiedniej metody ich przechowania i utrwalania. Produkcja owoców i warzyw w naszym klimacie jest sezonowa. Konsumenci oczekują dostępu przez cały rok do świeżych, ładnie wyglądających i soczystych jabłek. Jabłka uprawiane są na całym świecie, hodowcy przechowują owoce po ich zebraniu, aby zapewnić maksymalną słodycz i kruchość. Owoce te powinny być przechowywane w warunkach kontrolowanych, przy niskim stężeniu tlenu, aby w każdym terminie przeznaczenia ich do sprzedaży miały wysoką, oczekiwaną przez odbiorców jakość. Według sadowników w zwykłej chłodni, przy obecnych wymaganiach, jabłka można przechowywać do stycznia, natomiast w atmosferze kontrolowanej – do kolejnego sezonu. Obecnie, dzięki unijnym dotacjom, buduje się wiele takich obiektów przechowalniczych. Z wyliczeń wynika, że koszt przechowywania w chłodni z kontrolowaną atmosferą to 20 – 30 gr/kg. Przechowywać można jedynie owoce najwyższej jakości, tzw. klasy ekstra i I. Przechowywanie owoców klas niższych jest nieopłacalne. W przechowywanych owocach nadal zachodzą procesy fizjologiczne, które mogą zostać spowolnione poprzez wprowadzenie modyfikacji atmosfery w magazynach. Okres przechowywania jabłek przy zachowaniu ich wysokiej jakości znacząco wydłuża zmniejszenie zawartości tlenu w atmosferze panującej w komorze. Krytyczne (najniższe dopuszczalne) stężenie tlenu w zależności od odmiany wynosi 0,2–0,5%. Bezpiecznie można przechowywać jabłka w stężeniu tlenu 0,4–0,7%. Należy jednak pamiętać, że owoce są wrażliwe na

niekorzystne działanie dwutlenku węgla. Bezpieczne stężenie CO₂ wynosi zatem około 1,2%, jednak jeżeli stężenie tlenu wynosi poniżej 1%, to dwutlenek węgla należy utrzymywać na poziomie 0,7–0,8%. W zwykłych chłodniach owoce przechowuje się najczęściej w tzw. normalnej atmosferze (21% tlenu i 0% dwutlenku węgla). Natomiast w przechowalniach z kontrolowaną atmosferą zawartość tlenu wynosi poniżej 3%, a dwutlenku węgla poniżej 5%. W takiej komorze wyróżniamy tak zwaną atmosferę standardową KA (5% dwutlenku węgla, 3% tlenu oraz 92% azotu). Innym rodzajem przechowalni jest ULO (ultra low oxygen – niskie stężenie tlenu, 1,5% tlenu oraz 1,5% dwutlenku węgla). Większość odmian jabłek można przechowywać w atmosferze składającej się z 2% tlenu oraz 2% dwutlenku węgla. Zbyt wysokie zawartości tego gazu powodują szybkie uszkodzenia owoców. Przechowywanie w komorach ULO wymaga też utrzymania odpowiedniej temperatury. Najlepsza temperatura w komorach ULO to 0 ÷ 3°C.

Zaletą systemu KA jest zmniejszenie tempa procesów biochemicznych i fizjologicznych prowadzących do dojrzewania owoców, obniżenie poziomu podatności na działanie etylenu oraz spadek wrażliwości na niektóre choroby. Wydłużeniu ulega w ten sposób okres przechowywania owoców lub warzyw przy zachowaniu wysokiej jakości handlowej. Mankamentem technologii KA, zwłaszcza ULO, bywa utrata typowego aromatu, po długim okresie przechowywania, może również nastąpić poważne uszkodzenie owoców i warzyw w przechowalni. KA i ULO wymagają gazoszczelnych komór chłodniczych, aby nie dochodziło do niekontrolowanej wymiany gazów pomiędzy wnętrzem komory a atmosferą zewnętrzną. Dobrze wyposażona przechowalnia powinna posiadać płuczki dwutlenku węgla do obniżania jego poziomu przy wytwarzaniu przez owoce w procesie oddychania. Istotnym wyposażeniem przechowalni jest analizator warunków przechowywania. Każde pomieszczenie może być monitorowane w zależności od zastosowanego rodzaju kontroli przechowywania i różnorodności przechowywanych tam owoców. Chłodnie służą do przechowywania owoców przez krótki czas po ich zebraniu. Zebrane owoce są umieszczane w chłodnym pomieszczeniu, aby utrzymać temperaturę na poziomie około 1°C. Przechowywanie w kontrolowanej atmosferze wykorzystuje te same systemy temperatury i wilgotności, co przechowywanie w chłodni. Owoce można przechowywać w pomieszczeniach o kontrolowanej atmosferze przez krótki, średni lub długi okres do 12 miesięcy. Oprócz optymalnej temperatury i składu gazowego atmosfery, ważnym czynnikiem w utrzymaniu wysokiej jakości owoców jest wilgotność względna powietrza w komorze przechowalniczej. Dla jabłek wilgotność powinna wynosić od 85% do 98%. Jeśli chodzi o gazowe składniki atmosfery, w której przechowywane

są owoce to etylen powoduje przyspieszenie dojrzewania owoców i powinien być ciągle usuwany z komory. Jak podają różne źródła, zawartość 0,02% etylenu w przechowalni może od 4 do 10 razy przyspieszyć proces dojrzewania. Produkcja etylenu zależy od stężenia tlenu w atmosferze. Im jest ono niższe, tym produkcja etylenu jest bardziej ograniczona, co opóźnia proces dojrzewania. Natomiast azot, główny ilościowo składnik powietrza, nie wykazuje reakcji z produktami spożywczymi. Jego działanie w przechowalni polega na ograniczaniu kontaktu owoców czy warzyw z tlenem, co zapobiega rozwojowi flory bakteryjnej.

Na użyteczność jabłek do przerobu wpływają ich cechy morfologiczne, związane w dużym stopniu z gatunkiem i odmianą, składem chemicznym i odpowiednią dojrzałością. Wynikają one z różnej budowy anatomicznej i morfologicznej, właściwości biologicznych i zawartości składników. Odpowiednie normy przedmiotowe szczegółowo określają je dla poszczególnych odmian jabłek. Z punktu widzenia oceny handlowej, głównie pod uwagę brane są: cechy odmianowe, dojrzałość, wielkość i jednolitość wielkości, kształt, cechy organoleptyczne, stopień uszkodzeń oraz stopień zanieczyszczenia, świeżość, zawilgocenie, obecność środków ochrony roślin. Aby zminimalizować straty jabłek podczas przechowywania, należy je odpowiedniego przygotować. Do najczęściej wykonywanych czynności należą: nawożenie oraz zabiegi zabezpieczające przed wystąpieniem chorób w komorach chłodniczych. Jednym z elementów poprawy jakości jest dolistne nawożenie roślin. Przechowywanie jabłek uzależnione jest także od zawartości w owocach: wapnia, azotu, potasu i magnezu, a przede wszystkim zależność między nimi. Przy niskiej zawartości wapnia owoce intensywniej oddychają. Wapń wpływa na jędrność owoców, gdyż jest składnikiem budulcowym komórek. Najbardziej wrażliwe na niedobory wapnia odmiany to: Szampion, Ligol, Jonagold, Golden Delicious, Elise czy Gala. Na dobre przechowywanie jabłek wpływ ma również optymalna proporcja K : Ca w czasie zbiorów powinna wynosić 25÷30 : 1. Jeśli stosunek ten jest wyższy, dochodzi do szybkiego obniżenia jędrności owoców i w związku z tym gorszego ich przechowywania. Dobrze przechowują się tylko owoce właściwie wyprodukowane, zebrane prawidłowo i w optymalnym terminie. W zależności od posiadanej bazy przechowalniczej i zakładanego okresu przechowywania, wyznacza się termin zbioru poszczególnych odmian jabłek. Przeznaczone do przerobu i dłuższego przechowywania, zbiera się przed osiągnięciem dojrzałości konsumpcyjnej. Najczęściej stosowaną metodą określania stopnia dojrzałości zbiorczej owoców jest test skrobiowy oraz badanie jędrności owoców, zawartości ekstraktu, zawartości etylenu w komorach nasiennych, intensywności oddychania. Do przechowywania przeznacza się jedynie owoce spełniające wymagania dla klas handlowych I i w najgorszym

przypadku, II klasy. Jednym z warunków dobrego przechowywania i zapewnienia wysokiej jakości owoców jest prawidłowa technika zbioru.

Stosowane są dwa rodzaje przechowywania owoców: krótko- i długoterminowe. Podczas krótkoterminowego przechowywania, jabłka przetrzymywane są w stosunkowo wysokiej temperaturze. Natomiast przy długoterminowym przechowywaniu muszą być spełnione szczególne wymagania odnośnie klimatyzacji i systemu chłodniczego. Dlatego też w tym celu wykorzystywane są specjalistyczne magazyny oraz chłodnie o regulowanej temperaturze, wilgotności, ilości tlenu i dwutlenku węgla w pomieszczeniu magazynowym. Rodzaje magazynów do składowania jabłek (rysunek 19):

- **magazyny zwykłe** – przechowalnie owoców, obiekty bez urządzeń chłodniczych, w których regulacja warunków przechowywania odbywa się tylko dzięki systemowi nawiewu zewnętrznego powietrza. Wadą jest tu z reguły zbyt wysoka temperatura powietrza we wrześniu i październiku, co uniemożliwia szybkie schłodzenie owoców po zbiorze. Magazyny wyposażone są w wentylatory pracujące w nocy (nadmuch zimnego powietrza), niepracujące w dzień. Jabłka składowane są w skrzyniopaletach.
- **chłodnie zwykłe (NA)** – obiekty wyposażone w urządzenia chłodnicze (sprężarki i chłodnice) umożliwiające pełną kontrolę temperatury przechowywania, bez kontroli zawartości tlenu, dwutlenku węgla i wilgotności.
- **chłodnie specjalistyczne** (z kontrolowaną atmosferą) – obiekty mają konstrukcję gąsiorową (ściany, posadzka, dach i drzwi) i kontrolowaną oraz w różny sposób regulowaną atmosferę.

W zależności od metody regulowania atmosfery chłodnie te można podzielić na:

- **chłodnie modyfikowane (MA)** – w obiektach wykorzystywane jest samoistne obniżenie zawartości tlenu w procesach fizjologicznych składowanych jabłek, CO₂ jest absorbowany przy użyciu wapna hydratyzowanego, w workach przepuszczających powietrze, umieszczanego w sąsiedztwie składowanych owoców. Wyposażone są w aparaty do pomiaru stężenia gazów w atmosferze. Zawartość tlenu może obniżyć się do 15÷16%, CO₂ do 5÷6%.
- **chłodnie kontrolowane (KA)** – w obiektach zawartość tlenu regulowana jest przez wtłaczanie azotu do pomieszczenia, dwutlenek węgla jest absorbowany przez płuczki węglowe lub wapienne. Regulacja składu atmosfery sterowana jest komputerowo. Zawartość tlenu utrzymywana jest na poziomie 3%, a dwutlenku węgla na poziomie 5%. Wyposażone są w elektroniczny sprzęt pomiarowy.

- **chłodnie typu ULO** – w obiektach można uzyskać maksymalnie niską zawartość tlenu na poziomie 1,0%. Zasada działania jest podobna jak w przypadku chłodni kontrolowanych, jednak przy wykorzystaniu doskonalszych technologicznie urządzeń, pomiarowych i regulacyjnych. Ponadto, wymagania odnośnie gąsoszczelności przegród budowlanych i szczelności drzwi są ostrzejsze. Zawartość O_2 utrzymywana jest na poziomie 1÷2%, zaś CO_2 na poziomie 2%. Wyposażone są w elektroniczny sprzęt pomiarowy.



Rys. 19. Przykładowe zdjęcia chłodni

Owoce przechowuje się w skrzyniopaletach. Wewnątrz pomieszczenia skrzyniopalety ustawia się w słupki po osiem skrzyń wwyż, każda o wysokości około 80 cm, czyli na wysokość 6,4 m. Jeśli komora chłodnicza jest wysoka, wtedy ustawia się do 12 skrzyń, co odpowiada wysokości 9,6 m. Obowiązkowo zachowuje się wolną przestrzeń powietrzną nad ustawionym towarem w granicach 60÷100 cm. Ustawienie powinno uwzględniać odstęp od ścian 10÷20 cm oraz między rzędami około 5÷10 cm. Słupki skrzyniopalet tworzą równomierne ustawione rzędy skrzyń z owocami wewnątrz komory.

2.5. Badanie śladu węglowego przechowywania jabłka

Dzięki współpracy z Ośrodkami Doradztwa Rolniczego wybrano gospodarstwa rolne, w których przeprowadza się procesy przetwórstwa. W badaniach wykorzystano wartości pomiarów, pochodzących z systemów monitorowania zużycia energii zainstalowanych u rolników, w celu opracowania bazy danych. Przeprowadzono analizę przechowalnictwa jabłek w kontekście opracowania metodologii wyliczenia śladu węglowego. Po scharakteryzowaniu procesu technologicznego w warunkach rzeczywistej pracy, określono zakres pomiarowy CF. Opracowano metodę liczenia śladu węglowego. Na podstawie uzyskanych danych przeprowadzono badania śladu węglowego przechowalnictwa jabłek w komorach chłodniczych, w celu określenia właściwej metody szacowania śladu węglowego

przechowalnictwa, możliwej do zastosowania w gospodarstwach rolnych. Poniżej zaprezentowano uzyskane dane dotyczące procesów przechowalniczych jabłek.

Dane produkcyjne przechowywania:

- dla 2021 r. produkcja wyniosła 280 ton
- dla 2022 r. produkcja wyniosła 380 ton

Dane dotyczące zużycia energii elektrycznej:

- dla 2021 r. zużycie energii wyniosło 30 000 kWh
- dla 2022 r. zużycie energii wyniosło 30 000 kWh

Wskaźniki emisji przy produkcji energii elektrycznej w [kgCO₂/kWh] dla odbiorców końcowych energii wg KOBIZE ogłoszony w danym roku (wskaźnik przeliczenia energii na ekwiwalent CO₂ za lata 2021 i 2022 jest jednakowy ponieważ nie opublikowano jego nowej wartości za rok 2022):

- dla 2021 r. ogłoszony wskaźnik emisji wyniósł 0,698 kg CO₂/ kWh
- dla 2022 r. ogłoszony wskaźnik emisji wyniósł 0,698 kg CO₂/ kWh

Obliczenia prowadzono wg wzoru:

$$\text{Eqw CO}_2 = (\text{zużycie energii}) \times (\text{wskaźnik emisji KOBIZE}) / \text{wielkość produkcji}$$

Wyznaczono ekwiwalent emisji CO₂ dla przechowywania jabłek odniesiony do 1 kg produktu za dany rok oraz łącznie za lata 2021-2022 (tabela 48):

- 2021 r. - 0,0743 kg CO₂/kg produktu
- 2022 r. - 0,0593 kg CO₂/kg produktu
- 2021-2022r. - 0,0668 kg CO₂/kg produktu

Tabela 48. Dane do wyznaczania emisji CO₂ w latach 2021-2022

Rok	Produkcja	Energia	Wskaźnik emisji [KOBIZE]	Ekwiwalent emisji
	[kg]	[kWh]	[kg CO ₂ /kWh]	[kg CO ₂ /kg prod]
2021	280 000	29 800	0,698	0,0743
2022	380 000	32 300	0,698	0,0593
Razem	660 000	62 100	0,698	0,0668

Uwzględniając dane produkcyjne za lata 2021-2022 uzyskane z systemu pomiarowego zużycia energii elektrycznej zainstalowanego w gospodarstwie zajmującym się przetwórstwem jabłek, wyznaczono całkowitą emisję CO₂, której największa wartość wynosiła 22 545,4 kg CO₂ dla 2022 roku, natomiast najmniejsza 20 800,4 kg CO₂ dla 2021 roku. Sumaryczna emisja CO₂ w latach 2021-2022, związana z przetwórstwem jabłek wyniosła 43 345,8 kg CO₂ (tabela 48).

Podsumowanie

Celem niniejszego Raportu było oszacowanie emisji gazów cieplarnianych spowodowanej zużyciem energii elektrycznej w wybranych procesach przetwórstwa produktów rolno-spożywczych.

Przeprowadzono analizę technologii produkcji past owocowych w kontekście opracowania metodologii wyliczenia śladu węglowego oraz przygotowania schematów procesów jednostkowych w cyklu produkcyjnym. Po scharakteryzowaniu procesu technologicznego w warunkach rzeczywistej pracy określono zakres pomiarowy CF. Przeanalizowano bilans masowy składników wykorzystanych do produkcji w oparciu o wybraną technologię. Opracowano metodę liczenia śladu węglowego. Zaprojektowano i wykonano przenośne opomiarowanie linii technologicznej. Następnie przeprowadzono pomiar zużycia energii w czasie, w warunkach rzeczywistej produkcji, wraz z rejestracją jej wielkości oraz ilości cykli produkcyjnych na poszczególnych etapach. Na podstawie zarejestrowanych wielkości, z wykorzystaniem opomiarowania linii technologicznych, wyznaczony średni ślad węglowy produkcji past: jagodowej z cząstkami owoców i wiśniowej wyniósł odpowiednio 0,102 i 0,075 kg CO₂ na kg produktu. Wykazano, że są to technologie niskoemisyjne. Analizując dane zużycia energii dla poszczególnych etapów produkcyjnych pasty jagodowej stwierdzono, że proces pasteryzacji jest najbardziej energochłonnym procesem w całym cyklu, natomiast najmniejszy procent zużycia energii przypada na rozdrabianie.

Dokonano badań procesu przechowywania chłodniczego borówki amerykańskiej. Analiza została przeprowadzona w okresie kolejnych trzech lat. Dodatkowo, ze względu na kryzys energetyczny oraz wzrost cen paliw, wykonano również, na jednym przykładzie analizowanego procesu, szczegółową analizę CF transportu borówek od zakładu do klienta. Przeprowadzono monitoring zużycia energii w przechowalnictwie oraz sposobu zbierania danych zgodnie z wybraną metodą analizy oraz opracowano struktury bazy danych. Obliczenia dotyczą tylko przechowywania i działalności przetwórczej w badanym gospodarstwie. W celu wyznaczenia śladu węglowego posłużono się wielkościami produkcji i zużytej energii elektrycznej oraz zastosowano wskaźniki emisji [KOBiZE]. CF produkcji borówki amerykańskiej kształtował się w granicach 0,06-0,10 kg CO₂/kg produktu. Określono ilości emisji CO₂ w latach 2020-2022.

Na podstawie pozyskanych danych produkcyjnych oraz po określeniu zużycia paliwa przeprowadzono analizy emisji CO₂ w danym roku, związane z transportem borówki amerykańskiej. Stwierdzono, że emisja CO₂ kształtuje się na poziomie 5274 – 7 217 kg CO₂.

Przeprowadzono analizę przechowalnictwa jabłek w kontekście opracowania metodologii wyliczenia śladu węglowego. Po scharakteryzowaniu procesu technologicznego w warunkach rzeczywistej pracy, określono zakres pomiarowy CF. Opracowano metodę liczenia śladu węglowego. Na podstawie uzyskanych danych przeprowadzono badania śladu węglowego przechowalnictwa jabłek w komorach chłodniczych, w celu określenia właściwej metody szacowania śladu węglowego przechowalnictwa, możliwej do zastosowania w gospodarstwach rolnych. Uwzględniając dane produkcyjne za lata 2021-2022, uzyskane z systemu pomiarowego zużycia energii elektrycznej, zainstalowanego w gospodarstwie zajmującym się przetwórstwem i przechowalnictwem jabłek, wyznaczono całkowitą emisję CO₂, której największa wartość wynosiła 22,54 ton CO₂ w 2022 roku, natomiast najmniejsza 20,80 ton CO₂ w 2021 roku. Wyznaczony CF dla przechowywania 1 kg jabłek wynosił od 0,06 do 0,07 kg CO₂/kg produktu.

Niniejsza broszura przedstawia wyniki badań zrealizowane w 2022 r. w ramach:

Zadania 5. Monitoring gazów cieplarnianych i zanieczyszczeń powietrza

Zadania IBPRS-PIB: Monitoring gazów cieplarnianych poprzez pomiar rzeczywistego zużycia energii elektrycznej w działalności przetwórczej i przechowalniczej w gospodarstwach rolnych

finansowanych na podstawie umowy nr DRR.prz.070.1.2022.
przez Ministerstwo Rolnictwa i Rozwoju Wsi.

Analizy wyznaczania śladu węglowego produkcji past owocowych, przechowywania chłodniczego borówek, przechowywania chłodniczego jabłek oraz transportu borówek pokazały emisje gazów cieplarnianych z danego procesu w odniesieniu do produktu, które powinny zostać uwzględnione jako emisje jednostkowe do analizy w całym zakresie łańcucha produkcji żywności.

Dla każdej produkcji trzeba przeprowadzić szczegółową analizę i dostosować metodę wyliczenia CF do konkretnych potrzeb. Konieczne jest opracowanie bazy danych wynikających z pomiarów emisji bezpośrednich i pośrednich, wykorzystanej do wyliczenia śladu węglowego.

Upowszechnienie metodyki wyliczania śladu węglowego może stanowić skuteczny bodziec do wdrożenia efektywnych rozwiązań ukierunkowanych na optymalizację zużycia energii elektrycznej i paliw.

Ślad węglowy stanowi wymierne i racjonalne podstawy do rozpoczęcia dyskusji nad strategią zwiększającą efektywność procesów produkcyjnych przy ograniczaniu zużycia energii i paliw.

W związku z planowanym wprowadzeniem obowiązkowego znakowania żywności, gospodarstwa będą zobowiązane do przeprowadzenia audytu wewnętrznego, także wśród swoich dostawców, w celu określenia czy produkty są przyjazne dla środowiska, jednak w tym momencie brak jednolitych standardów w tym zakresie.

Wzrasta zainteresowanie przemysłu znakowaniem produktów rolno-spożywczych w kontekście śladu węglowego, by pozytywnie wyróżnić swój asortyment.

Troska o środowisko naturalne staje się coraz bardziej widoczna w świadomości konsumentów. Klienci przy podejmowaniu decyzji zakupowych biorą pod uwagę zrównoważony rozwój oraz neutralność względem środowiska.

Zapoczątkowane badania, w zakresie analizy śladu węglowego w przetwórstwie rolno-spożywczym **powinny być kontynuowane**, szczególnie ze względu na potrzebę wypracowania polskich standardów, co stanie się bardzo ważne przy opracowaniu standardów unijnych znakowania żywności parametrami opisującymi oddziaływanie produktu na środowisko.

Rezultaty dalszych prac, w kolejnych latach, stanowić będą podstawę do uzupełnień niniejszego opracowania.



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



**ZAKŁAD TECHNOLOGII
I TECHNIKI CHŁODNICTWA**

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

**Kierownik Zakładu
dr inż. Elżbieta Polak**

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

e-mail: elzbieta.polak@ibprs.pl