



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

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

Raport cz. 2



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

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



**Opracowanie:**

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

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

**Zakład Technologii i Techniki Chłodnictwa  
Łódź, grudzień 2022**

## 1. Analiza procesów przetwórczych pod kątem określenia udziałów poszczególnych rodzajów emisji dla wybranych produktów i wskazanie kierunków optymalizacji technologii (zakres analizy – od wejścia surowców do wyjścia produktu)

### 1.1 Charakterystyka przetwórstwa zbóż z identyfikacją procesów jednostkowych

Produkcja zbóż jest jednym z głównych kierunków produkcji rolniczej w Polsce. W ostatnich latach udział zbóż w globalnej wartości produkcji rolniczej, kształtuje się na poziomie 20%. W strukturze zasiewów zboża stanowią około 74% ogólnej powierzchni. W latach 2014-2018 zbiory zbóż ogółem kształtowały się na poziomie 26,5-31,8 mln ton. W 2022 r. zbiory pszenicy wyniosły aż 13,5 mln ton. Ziarno zbóż jest jednym z ważniejszych surowców roślinnych wykorzystywanych do produkcji żywności.

Ziarna zbóż w procesach przemiału przetwarzane są na różne rodzaje mąk, kasz i płatków. Największy udział ma mąka, którą dzielimy ze względu na przeznaczenie. Wyróżniamy mąki wypiekowe czyli chlebowe, rynkowe (np. dla gospodarstw domowych), mąki makaronowe i mąki cukiernicze.

Każda mąka charakteryzuje się określoną wartością wypiekową. Wartość ta polega na równowadze pomiędzy zdolnością wytwarzania i zatrzymywania gazów przez siatkę glutenową w pieczywie pszennym i błonkami białkowo-śluzowymi w pieczywie mieszanym i żytnim. Standaryzacja i poprawa jakości mąki polega na korekcie zdolności wytwarzania i zatrzymania gazów fermentacyjnych za pomocą odpowiednich enzymów oraz za pomocą kwasu askorbinowego działającego synergicznie z dodanymi enzymami oraz poprawiającym strukturę glutenu. Działanie to polepsza zdolność fermentacyjną mąki, wzmacnia (lub osłabia) struktury białka glutenowego, zwiększa zdolność pochłaniania wody, co w efekcie prowadzi do poprawy jakości ciasta i mięksiszu, zwiększenia objętości pieczywa i przedłużenia jego świeżości. Właściwości mąki stosowanej w piekarstwie decydują w sposób zasadniczy, o jakości uzyskanego pieczywa i możliwości zastosowania systemów zmechanizowanej i ciągłej produkcji. W ramach przetwarzania, w zależności od zapotrzebowania wytwarzamy różne typy mąki. Określane są one na podstawie zawartości w mące substancji mineralnych. Tak np. typ 450 określa zawartość 0,45%, typ 750 zawartość 0,75%, a typ 2000 zawartość 2,00% (czyli 20g popiołu/1kg mąki) substancji mineralnych w mące. Z ziarna pszenicy produkuje się mąki na różne wyroby, dlatego najpierw należy określić przeznaczenie mąki i na tej podstawie dobrać ziarno o odpowiednich do jej wyprodukowania cechach jakościowych.

Dla przemysłu młynarskiego istotny jest np. kształt i wielkość ziarna (celność, wyrównanie, masa 1000 ziaren), struktura bielma i jej związanie z okrywą (szklistość, twardość), oraz zawartość popiołu (maksymalna zawartość popiołu w ziarnie do produkcji mąk jasnych nie może przekraczać 1,80-1,85%).

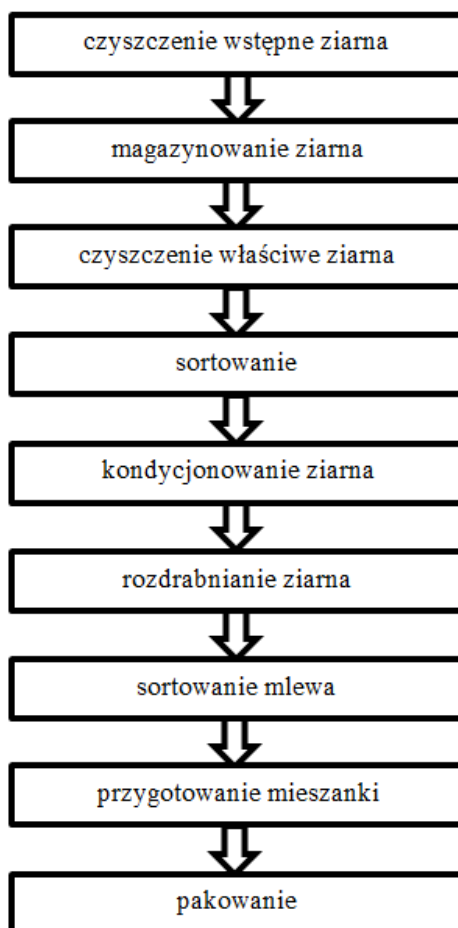
Każdy gatunek pieczywa cukierniczego wymaga mąki o innych parametrach jakościowych. Mąka do produkcji ciast drożdżowych powinna cechować się takimi parametrami jakościowymi jak mąka do produkcji chleba, dlatego powinna być produkowana z ziarna o takich samych parametrach jakościowych, natomiast mąka „na ciastka” powinna wykazywać niższą od średniej wodochłonność (50-56%), a ciasto powinno być elastyczne, „lejące”, niesprężyste i słabe.

Najlepszym surowcem do produkcji makaronów jest semolina otrzymywana w wyniku przemiału pszenicy twardej. Powinna się ona cechować barwą żółtą z odcieniem bursztynowym, wysoką zawartością białka (nie mniej niż 15%), ilością glutenu nie mniejszą niż 30%, który powinien być mocny, ale jednocześnie rozciągliwy oraz plastyczny. Do produkcji makaronów używa się również produktów przemiału pszenicy zwyczajnej (mąki lub kaszki).

Kasza manna, jest jednym z produktów otrzymywanych podczas trójgatunkowego przemiału pszenicy. Może być produkowana w szerokim zakresie granulacji, w zależności od przeznaczenia. Do produkcji płatków pszennych wykorzystywane jest całe ziarno pszenicy. W przemiele kukurydzy bardzo istotne jest wyodrębnienie zarodka, który zawiera duże ilości tłuszczu, przez co pogarsza się jakość i trwałość produktów przemiału. Produkty przemiału kukurydzy w formie mąk wykorzystywane są głównie, jako dodatek do produkcji chleba, pieczywa cukierniczego oraz do produkcji makaronu. Różne rodzaje kasz stosowane są do wyrobu płatków kukurydzianych czy przemysle browarniczym.

Produkcja mąki (rys.1) zaczyna się od przygotowanie ziarna do przemiału w czyszczarni. Pierwszy etapy przygotowania ziarna do przemiału to czyszczenie. Po oczyszczeniu ziarna należy przeprowadzić jego kondycjonowanie, które polega na nawilżeniu i leżakowaniu ziarna. W następnym etapie następuje czyszczenie. Ma ono na celu usunięcie zanieczyszczeń przylegających do powierzchni ziarna oraz niektórych części ziarna na przykład części okrywy owocowo-nasiennej. Po tych wstępnych przeprowadza się przemiał zboża w młynie właściwym. Polega on na rozdrabnianiu ziarna (uprzednio oczyszczonego i poddanego procesowi kondycjonowania), a następnie również międzyproduktów przemiału.

W efekcie, poprzez odsiewanie otrzymujemy produkt końcowy. Ziarno wielokrotnie przechodzi przez maszyny rozdrabniające i za każdym razem mlewo jest odsiewane w celu oddzielenia cząstek grubych od drobnych. Otrzymane produkty są sortowane na mąki, kaszki, miały i otręby. W celu oddzielenia przylegających fragmentów okrywy owocowo-nasiennej kaszki i miały przed skierowaniem na dalsze rozdrabnianie są sortowane oraz czyszczone na wialniach kaszkowych. Produkt wychodzący z mławnika nie jest jednorodny i wymaga sortowania. Sortowanie między produktów przemiału odbywa się w oparciu o wielkość cząstek na odsiewaczach (sitach). Do odsiewania według jakości stosuje się wialnie kaszkowe lub odsiewacze płaskie. Podstawowym przemiałem wielogatunkowym jest przemiał trójgatunkowy. W efekcie tego przemiału otrzymujemy mąkę jasną typ 550 (do wyciągu 65%), mąkę chlebową typ 750 (do wyciągu 75-80%) oraz kaszkę manną (1,5%), mąkę krupczatkę (2%) oraz mąkę tortową (0,5%).



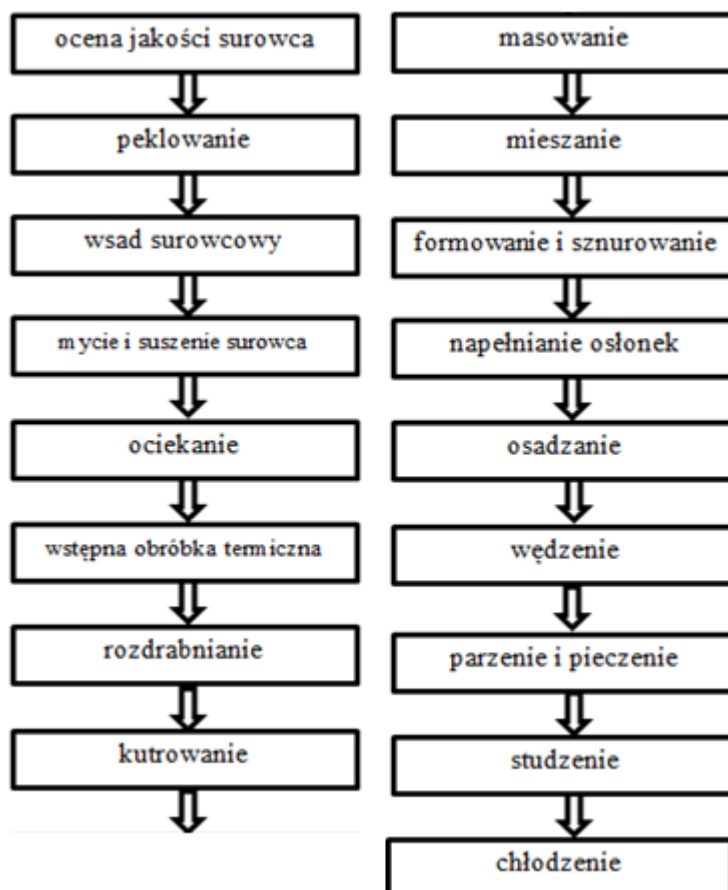
*Rys. 1. Przykładowy schemat technologiczny procesu produkcji mąki*

## 1.2 Charakterystyka przetwórstwa mięsa z identyfikacją procesów jednostkowych

Przemysł mięsny to największa branża przemysłu spożywczego w Polsce. Obejmuje firmy przetwarzające surowce mięsne, tj. ubój zwierząt rzeźnych, rozbiór tusz na elementy i wykrawanie mięsa drobnego oraz produkcję przetworów mięsnych, podrobów i konserw mięsnych, tłuszczów, wyrobów garmażeryjnych, gotowych dań mięsnych, łącznie z porcjowaniem, plasterkowaniem i paczkowaniem. Głównym surowcem rzeźnym jest mięso, następnie tłuszcz.

Rodzaj surowca, który chcemy otrzymać wpływa znacząco na technologię obróbki. Podczas dzielenia na elementy zasadnicze i ich rozbiór otrzymujemy mięsa drobne z przeznaczeniem do przetwórstwa. Mięso bez kości do produkcji przetworów z mięsa rozdrobnionego (wędliny, produkty podrobowe itp.) to mięso drobne z tłuszczem lub bez tłuszczu zewnętrznego i międzymięśniowego, z przylegającą do mięśni tkanką łączną lub bez tkanki łącznej, nie zawierające skórek, chrząstek, ścięgien niekonsumpcyjnych i powięzi. Surowce mięsne, tłuszczowe i podrobowe muszą pochodzić z tusz zwierząt poddanych badaniu poubojowemu. Mięso musi odpowiadać stawianych dla danego asortymentu wymaganiom. Do produkcji wędlin stosuje się mięso chłodzone lub mrożone.

Do produkcji wędlin (rys. 2) stosuje się następujące surowce: mięso wieprzowe lub mięso wołowe, przyprawy, dodatki funkcjonalne w tym białko sojowe, błonniki i mieszanki peklujące. Podczas wyrobu wędlin, mięso rozdrobnione na wilku oraz farsz z kutra jest łączony w mieszalce. Podczas mieszania uzyskuje się jednolitą masę mięsną, pod względem spójności, koloru, smaku - która jest oznaczana jako wędlina.



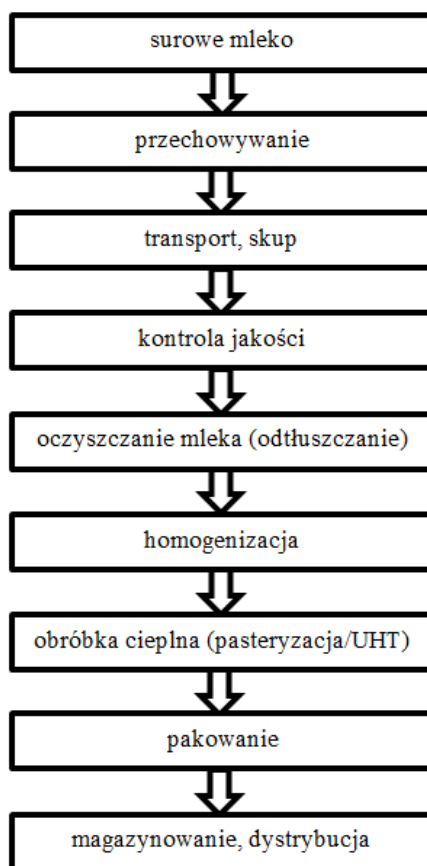
Rys. 2. Przykładowy schemat technologiczny procesu produkcji wędlin

### 1.3 Charakterystyka przetwórstwa mleka z identyfikacją procesów jednostkowych

Unia Europejska (UE) jest znaczącym producentem mleka i przetworów mlecznych, które objęte są wspólną organizacją rynków produktów rolnych. Produkcja mleka ma miejsce we wszystkich krajach UE i stanowi znaczną część wartości produkcji rolnej UE. Całkowita produkcja mleka w UE szacowana jest na około 155 mln ton rocznie. Głównymi producentami są Niemcy, Francja, Polska, Holandia, Włochy i Irlandia. Razem odpowiadają za niemal 70 % produkcji UE. W ostatnich latach liczba bydła mlecznego w UE zmniejszała się, podczas gdy jego mleczność wzrosła. W 2020 r. w UE hodowano około 20 mln krów, a na jedną krowę przypadało średnio 7,3 tys. kg wyprodukowanego mleka.

Mleko spożywcze to produkt przeznaczony do obrotu, uzyskany z mleka surowego poddanego obróbce cieplnej (co najmniej pasteryzacji) i oferowany konsumentowi w postaci: mleka pasteryzowanego, mleka sterylizowanego: metodą UHT lub metodą długotrwałą. Mleko spożywcze jest dostępne w handlu w odmianach asortymentowych różniących się zawartością

tłuszczu (od mleka o zawartości tłuszczu 3,8% do mleka odtłuszczonego zawierającego poniżej 0,05% tłuszczu). Mleko spożywcze pasteryzowane dostępne w handlu produkuje się z zastosowaniem określonych wariantów obróbki cieplnej i technologii.



Rys. 3. Przykładowy schemat technologiczny procesu produkcji mleka

Technologia produkcji rozpoczyna się od pozyskania surowego mleka (wydojenie krów). Mleko początkowo jest przechowywane u rolnika, a następnie transportowane i przyjmowane w zakładzie mleczarskim. Mleko surowe musi spełniać określone kryteria i normy, dotyczące m.in. obecności innych substancji (antybiotyki, pozostałości środków myjących).

W przypadku braku przeciwwskazań przekazuje się je do przerobu lub do zbiorników magazynowych, gdzie jest przechowywane (w temperaturze około 4 °C, nie dłużej niż przez 24 godziny). Kolejnym etapem jest oczyszczanie mleka. Mleko zawiera w sobie powietrze, zatem zostaje odgazowane. Następnie poddane jest procesowi oczyszczania (w wirówkach) i odtłuszczenie do określonej zawartości tłuszczu, aby uzyskać zawartość zgodną z założeniami produkcyjnymi.



Następny etap produkcji to homogenizacja (rozbicie kuleczek tłuszczu znajdujących się w mleku) i obróbka cieplna (proces pasteryzacji lub UHT) w celu eliminacji drobnoustrojów chorobowych. Różnica pomiędzy dwoma procesami polega na wysokości temperatury oraz czasu podgrzewania: pasteryzacja (72-90 °C, 2-25 s), metoda UHT (135-150 °C, 2-9 s).

Mleko pasteryzowane pakowane jest w sposób nieaseptyczny, natomiast mleko UHT, w aseptyczny, w celu zapewnienia najwyższej czystości. Produkty przechowywane są: pasteryzowane w temperaturze 4-8 °C (przez kilka dni), a po procesie UHT w temperaturze poniżej 20 °C (przez kilka miesięcy). Wymagania te dotyczą całego łańcucha dostaw (procesu magazynowania w zakładzie, dystrybucji do sklepów, do domu, przechowywania w domu).

## **2. Zdefiniowanie kierunków rozszerzenia analizy śladu węglowego dla całego zakresu (od pola do stołu) w oparciu o dane literaturowe**

Rozszerzenia analizy śladu węglowego dla całego zakresu (od pola do stołu) wymaga uwzględnienia również produkcji pierwotnej. Zmiany klimatyczne mają negatywny wpływ na rolnictwo, który widać m.in. na poziomie zmienności plonów, wydajności w produkcji zwierzęcej. Badania wykazały, że głównym źródłem emisji metanu (CH<sub>4</sub>) jest rolnictwo, odpowiada za ponad 50% emisji tego gazu. Podstawowe źródła rolnicze odpowiedzialne za emisję CH<sub>4</sub> to: fermentacja jelitowa (zależna głównie od liczby zwierząt, rodzaju układu pokarmowego oraz rodzaju i masy paszy) oraz odchody zwierząt.

Rolnictwo jest podporządkowane warunkom klimatycznym, a efekt cieplarniany wpływa na produkcję żywności. Bezpośrednia emisja gazów cieplarnianych związana z produkcją rolą w połączeniu z ekspansją obszarów rolnych, pakowaniem, dystrybucją, transportem, utylizacją, emisją pochodzącą z procesów produkcji i konsumpcji żywności może przekroczyć 40% całkowitej światowej emisji.

Czynniki mające wpływ na zmiany poziomu emisji gazów cieplarnianych w rolnictwie to m.in. technologia uprawy gleby, możliwości absorpcyjne gleby, przyjęty profil gospodarstwa, a także działania państwa na rzecz ochrony środowiska. Możliwość ograniczania emisji dwutlenku węgla w glebie odbywa się poprzez takie działania jak przyorywanie nawozów organicznych lub ich substytutów odpowiednio spreparowanej słomy, pozostałych resztek poźniwnych oraz nawozów zielonych, które prowadzą do zwiększenia udziału próchnicy, co w rezultacie prowadzi do zapobiegania emisji dużych ilości dwutlenku węgla do atmosfery.

Redukcja wykorzystania nawozów sztucznych, nowoczesna uprawa gruntów rolnych, efektywniejsza technika rolnicza, a także zmniejszenie pogłowia zwierząt gospodarskich, to działania znacząco ograniczające emisję gazów cieplarnianych w sektorze rolnym. Wykonywanie prac w gospodarstwie z wykorzystaniem nowych, mniej energochłonnych maszyn i urządzeń pozwoliło rolnikom na gospodarowanie bardziej efektywne zarówno technologicznie, jak i środowiskowo.

Praktyki rolnicze, takie jak produkcja ekstensywna i płodozmian przyczyniają się do ograniczenia emisji. Najważniejszy potencjał redukcji emisji w rolnictwie związany jest z rekultywacją gleb organicznych. Gleby, które stanowiły pierwotnie tereny bagienne, a następnie zostały osuszone i są wykorzystywane do produkcji rolniczej. Po odprowadzeniu wody, uwieczona na dnie substancja organiczna wchodzi w kontakt z tlenem z powietrza i zaczyna się w szybkim tempie rozkładać, uwalniając w ten sposób do atmosfery duże ilości CO<sub>2</sub>. Najpoważniejszymi barierami są rozdrobnienie gospodarstw i głęboko zakorzenione zachowania rolników, a w przypadku rekultywacji gleb – trudna logistyka związana z zalewaniem gleb organicznych.

Obecnie rozwój przemysłu rolno-spożywczego dąży do pełnej automatyzacji procesów produkcyjnych. Coraz częściej wykorzystywane są inteligentne szklarnie, inteligentne sieci czujników i zamknięte systemy produkcyjne, w których nie jest wymagany bezpośrednio udział ludzi. Charakteryzuje się wdrażaniem różnorodnych narzędzi umożliwiających cyfryzację systemów produkcji żywności, dążenie do maksymalnego obniżenia kosztów pracy przy zachowaniu jakości i bezpieczeństwa wytwarzanych produktów, a także wprowadzeniem zasad zrównoważonego rozwoju poprzez zmniejszenie zużycia wody, paliwa i nawozy oraz promowanie wykorzystania energii odnawialnej [Demartini i in. 2018; Oztemel i Gursev 2020].

Rozpatrując problem emisji gazów cieplarnianych w rolnictwie, należy szczególną uwagę zwrócić na kwestię technologii produkcji. Inwestycje rolników w nowoczesny park maszynowy oraz stosowanie się do zasad wzajemnej zgodności oraz dobrych praktyk rolniczych odgrywały ważną rolę w niwelowaniu emisji szkodliwych związków do atmosfery. Niemniej, zagrożenie związane z zachowaniem bezpieczeństwa żywnościowego w skali globalnej będzie nadal w istotny sposób wpływać na poziom intensywności wykorzystania zasobów naturalnych przez sektor rolnictwa, co przekładać się będzie na poziom emisji gazów cieplarnianych w tym dziale gospodarki [Pajewski 2016].

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

Rozszerzenie zakresu analizy śladu węglowego od pola do stołu wymaga uwzględniania emisji gazów cieplarnianych w całym łańcuchu produkcji żywności, sumując produkcję pierwotną oraz inne etapy łańcucha dostaw (rys. 4).



Rys 4. Emisje gazów cieplarnianych na poszczególnych etapach wytwarzania żywności

Przykładowo, jeśli chodzi o analizę śladu węglowego mleka w produkcji pierwotnej, to granice systemu zaczynają się od produkcji paszy (i jej danych wejściowych) na bramie gospodarstwa rolnego i włączają, chociaż nie tylko, następujące elementy:

- produkcję mleka na farmie (metan pochodzący od zwierząt produkcyjnych i przeznaczonych do odtworzenia stada), w tym produkcję paszy w gospodarstwie (zużyta ropa, bezpośrednie i pośrednie emisje tlenku azotu z ziemi, biogeniczne emisje CO<sub>2</sub>)
- postępowanie ze ściekami z farmy (metan i bezpośrednie oraz pośrednie emisje tlenku azotu),

- obsługa gospodarska krów się z krowami (paliwo),
- udój mleka (energia elektryczna, substancje chłodnicze),
- zaopatrzenie w wodę (energia elektryczna),
- produkcję i dostarczanie paszy uzupełniającej,
- produkcję nawozów syntetycznych i ich dostawy,
- produkcję i dostarczanie jakichkolwiek innych składników wejściowych dla uzyskania plonu lub do wypasu (np. pestycydy),
- inne aktywności wpływające na działanie gospodarstwa (np. produkcja paszy dla odtworzenia stada mlecznego i krów wyłączonych z produkcji zimą),
- produkty uwalniane podczas procesów, włączając chemikalia i produkcję składników na farmie,
- inne źródła emisji na farmie,
- zużycie energii związanej z emisją gazów cieplarnianych,
- konsumpcję nośników energii, która została przez nie wytworzona przy użyciu procesu związanego z emisją gazów cieplarnianych (np. energia elektryczna, gaz, węgiel),
- straty, które wytwarzają emisje gazów cieplarnianych (np. straty paszy, która nie została spożyta lub z materiałów opakowaniowych).

Są to główne procesy i źródła emisji od produkcji paszy do bram gospodarstwa, spełniające tym samym kluczowe wymagania normy PAS 20150. W celu zapewnienia, że bardzo niewielkie źródła emisji cyklu życiowego nie wymagają takiego samego traktowania jak bardziej istotne źródła, ustanowiono próg 1%. Dlatego uważa się, że dla celów praktycznych, jeśli jakikolwiek materiał lub energia uczestniczy w mniejszym niż 1 % stopniu w całkowitych emisjach, mogą one być wykluczone, pod warunkiem, że nadal zakresem liczenia objętych jest 95% emisji.

W ostatnich latach Komisja Europejska przeprowadziła szereg działań mających na celu opracowanie jednolitych metod pomiaru wpływu na środowisko produktów i przedsiębiorstw z różnych branż. W sektorze spożywczym uwzględniono m.in. makarony, wodę butelkowaną, produkty mleczne, wino, piwo, oliwę z oliwek, kawę, ryby morskie i mięso oraz karmę dla zwierząt domowych i hodowlanych. Głównym narzędziem wykorzystanym w badaniu była ocena cyklu życia. Metody obliczania śladu środowiskowego zostały przyjęte dla kilku z wymienionych produktów dla wszystkich rodzajów pasz, makaronów, wody, produktów mlecznych, wina i piwa. W niedalekiej przyszłości producenci będą zobowiązani do umieszczania na etykietach informacji dotyczących śladu środowiskowego, aby dać

konsumentom możliwość dokonania świadomego wyboru wśród produktów, które w różnym stopniu wpływają na środowisko. [Gworek i Krygier 2019].

W ostatnich latach przeprowadza się coraz więcej badań w celu ustalenia śladu węglowego różnego rodzaju produktów i usług. Przykłady konkretnych praktyk omówiono w tabeli.

*Tabela 1. Analiza śladu węglowego produktów spożywczych*

<b>Produkt</b>	<b>Charakterystyka analizy CF</b>	<b>Literatura</b>
ser	<p>Określono wpływ cech surowca na ślad węglowy produktu. Porównano wskaźniki sera krowiego produkowanego w tradycyjnej hiszpańskiej fabryce.</p> <p>Ser został wyprodukowany z mleka od krów pochodzących z systemów pastwiskowych i półtuszy.</p> <p>W obu przypadkach największe ilości gazów cieplarnianych wytwarzały również krowy.</p> <p>Mleko z pastwisk miało o 18% mniejszy ślad węglowy (0,99 kg CO<sub>2</sub>/kg mleka) niż mleko z drugiego typu hodowli (1,22 kg CO<sub>2</sub>/kg mleka).</p> <p>Różnica między śladami węglowymi sera wynosiła 11%, a CF sera z mleka pastwiskowego wynosił 15 kg CO<sub>2</sub>/kg oraz pozostałych serów 16,9 kg CO<sub>2</sub>/kg.</p> <p>Stwierdzono, że sposób pozyskania surowca, w tym przypadku metoda hodowli była mlecznego, istotnie wpływa na wskaźnik środowiskowy.</p>	<p>Laca, A.; Gómez, N.; Laca, A.; Díaz, M. Overview on GHG emissions of raw milk production and a comparison of milk and cheese carbon footprints of two different systems from northern Spain. <i>Environ. Sci. Pollut. Res.</i> 2020, 27, 1650–1666.</p>
produkty roślinne, produkty mleczne	<p>Przeanalizowano i porównano ślad węglowy produktów roślinnych, w tym 212 produktów roślinnych i 40 produktów mlecznych, dostępnych na rynkach 21 krajów Europy i Ameryki Północnej.</p> <p>Średni ślad węglowy produktów roślinnych był znacznie niższy i wyniósł 3,3 kg CO<sub>2</sub> /kg produktu, podczas gdy dla masła wskaźnik ten oscylował wokół 12,1 kg CO<sub>2</sub> /kg, chociaż jego rozmiary były różne w zależności od kraju pochodzenia produktu. Najwyższe emisje związane z produkcją masła odnotowano w Portugalii, Hiszpanii i Grecji, natomiast najniższe w Danii, Szwecji i Finlandii.</p> <p>Zaobserwowano również, że niektóre produkty zwierzęce o znacznie obniżonej zawartości tłuszczu były porównywalne z wysokotłuszczowymi produktami roślinnymi.</p>	<p>Liao, X.; Gerichhausen, M.J.; Bengoa, X.; Rigarlsford, G.; Beverloo, R.H.; Bruggeman, Y.; Rossi, V. Large-scale regionalised LCA shows that plant-based fat spreads have a lower climate, land occupation and water scarcity impact than dairy butter. <i>Int. J. Life Cycle Assess.</i> 2020, 25, 1043–1058.</p>

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

	<p>O wynikach decydował skład receptury, w szczególności rodzaj użytego tłuszczu roślinnego oraz czynniki geograficzne, które w dużym stopniu wpłynęły na ślad środowiskowy wyznaczony dla badanych produktów zwierzęcych.</p>	
mięso	<p>Ślad węglowy (CF) dla produkcji wieprzowiny wyznaczono za pomocą analizy cyklu życia (LCA).</p> <p>Analizowano etapy: hodowla trzody chlewnej, ubój, sprzedaż detaliczna i spożycie świeżego mięsa.</p> <p>Hodowla trzody chlewnej okazała się najbardziej emisyjnym etapem, ponieważ jest czasochłonna i energochłonna (trwa najdłużej ze wszystkich etapów produkcji mięsa), wymaga dużej ilości paszy, a także wytwarza znaczne ilości obornika i metanu.</p> <p>Ślad węglowy hodowli świń wyniósł 4,383 kg CO<sub>2</sub>/kg mięsa, co stanowi ponad 90% całkowitych emisji.</p> <p>Stwierdzono, że w celu zmniejszenia degradującego wpływu produkcji trzody chlewnej na środowisko, należy skupić się na doskonaleniu systemów chowu zwierząt.</p>	<p>Winkler, T.; Schopf, K.; Aschemann, R.; Winiwarter, W. From farm to fork—A life cycle assessment of fresh Austrian pork. <i>J. Clean. Prod.</i> 2016, 116, 80–89.</p>
owoce - pomarańcze	<p>Porównano CF hiszpańskich pomarańczy eksportowanych na rynek europejski w sezonie 2012–2013.</p> <p>Przedmiotem analizy były pomarańcze z 21 sadów ekologicznych i 21 sadów tradycyjnych, w tym ich uprawa, zbiór, przygotowanie do sprzedaży, eksport oraz utylizacja odpadów opakowaniowych.</p> <p>Całkowity CF pomarańczy ekologicznych jest o 18% niższy niż pomarańczy tradycyjnie uprawianych, wynikał głównie z zastosowania innych systemów upraw.</p> <p>Emisje z sadów ekologicznych były o 52,5% niższe, co wiązało się ze stosowaniem wyłącznie nawozów naturalnych i znacznym ograniczeniem stosowania pestycydów.</p> <p>Niezależnie od pochodzenia owocu, pozostałe etapy cyklu życia pomarańczy, takie jak pakowanie, transport i dystrybucja, są takie same.</p>	<p>Ribal, J.; Estruch, V.; Clemente, G.; Fenollosa, M.L.; Sanjuán, N. Assessing variability in carbon footprint throughout the food supply chain: A case study of Valencian oranges. <i>Int. J. Life Cycle Assess.</i> 2019, 24, 1515–1532.</p>
owoce – uprawa mango	<p>Oszacowano średnio roczny ślad węglowy produkcji mango (brazylijski sektor rolno-spożywczy).</p>	<p>Carneiro, J.M.; Dias, A.F.; da Silva Barros, V.; Giongo, V.; Matsuura, M.I.D.S.F.; de Figueirêdo, M.C.B. Carbon</p>

	<p>Analizę wykonano w trzech etapach: okresu wzrostu roślin od sadzenia do początku owocowania (ok. 5 lat), właściwej produkcji (6–30 lat) oraz konfekcjonowania owoców.</p> <p>Średni ślad węglowy wyniósł 0,13 kg CO<sub>2</sub>/kg owoców (wartości tego wskaźnik wahał się od 0,06 do 0,18 kg CO<sub>2</sub>).</p> <p>Najwięcej gazów cieplarnianych (73%) powstało na etapie uprawy drzew i prawidłowej produkcji, dzięki stosowaniu nawozów i dużej energochłonności systemów nawadniania roślin, a następnie opakowań, które odpowiadały za 23% całkowitej emisji.</p> <p>Najskuteczniejsze zmniejszenie śladu węglowego owoców uzyskano poprzez całkowite zastąpienie tradycyjnych źródeł energii elektrycznej źródłami odnawialnymi (wiatraki, panele słoneczne), nawet do 36%.</p>	<p>and water footprints of Brazilian mango produced in the semiarid region. <i>Int. J. Life Cycle Assess.</i> 2019, 24, 735–752.</p>
suszone śliwki	<p>Określono wpływ na środowisko dwóch metod suszenia śliwek: suszenia wspomaganego podczerwienią za pomocą przegrzanej pary oraz energii słonecznej wspomaganą ogrzewaniem powietrza.</p> <p>W obu przypadkach śliwki zostały wcześniej umyte i odwodnione osmotycznie, a następnie po odpowiednim wysuszeniu zapakowane w worki polietylenowe i dostarczone do sklepów.</p> <p>Czynnikami różnicującymi oba procesy produkcji śliwek jest wybór metody suszenia, zużycie cukru i energii oraz odległość sadów do fabryki, a następnie do miejsc dystrybucji.</p> <p>Dane wykorzystane w badaniu dotyczyły okresu 2015–2017.</p> <p>Ślad węglowy śliwek gotowanych na parze wyniósł 5,50 kg CO<sub>2</sub>/kg suszonych owoców, podczas gdy suszenie tradycyjne wynosiło 5,96 kg CO<sub>2</sub>/kg suszonych owoców. Na uzyskane wyniki wpłynęło większe zapotrzebowanie na energię i wodę, niezbędną do słonecznego suszenia śliwek oraz kilkukrotnie większą odległość, jaką surowiec musiał pokonać od sadu do suszarni i od suszarni do odbiorcy.</p> <p>Najlepszym rozwiązaniem na ograniczenie negatywnego wpływu na zmiany klimatu byłoby zastąpienie energii, głównie z węgla i ropy, energią wiatru.</p>	<p>Romeiko, X.X.; Lin, S.; Huang, G. Life cycle assessment of preserved plum production in Southern China. <i>Clean Technol. Envir.</i> 2020, 22, 197–209.</p>
kawa	<p>Analizowano CF procesu produkcji kawy Robusta w Tajlandii.</p>	<p>Ratchawat, T.; Panyatona, S.; Nopchinwong, P.; Chidthaisong, A.;</p>

	<p>Zakres analizy dotyczył trzech etapów: uprawa roślin do zbioru (uzyskano zielone ziarno kawy), przetwarzanie od przyjęcia surowca do uzyskania prażonego ziarna, mielenie kawy palonej, do uzyskania produktu końcowego. Szacowany ślad węglowy dla poszczególnych etapów wyniósł około 0,4 kg CO<sub>2</sub>/kg surowego produktu; 0,55 kg CO<sub>2</sub>/kg palonej kawy i 0,56 kg CO<sub>2</sub>/kg kawy mielonej.</p> <p>Etap uprawy (71%) ma największy udział w emisji gazów cieplarnianych w procesie. Wynika głównie z konieczności stosowania różnego rodzaju nawozów.</p> <p>Etapy prażenia i mielenia są znacznie mniej uciążliwe dla środowiska i odpowiadają odpowiednio za 27% i 2% całkowitej emisji. Procesy przetwórcze są odpowiedzialne za emisję pośrednią związaną z wytworzeniem energii elektrycznej.</p>	<p>Chiarakorn, S. Carbon and water footprint of Robusta coffee through its production chains in Thailand. <i>Environ. Dev. Sustain.</i> 2020, 22, 2415–2429.</p>
kawa	<p>Określono wpływ sposobu parzenia kawy na ślad węglowy.</p> <p>Zakres analizy obejmował cały cykl życia - uprawę kawy, przetwarzanie, transport (ok. 720 km), przygotowanie i utylizację odpadów. Ślad węglowy czarnej kawy (50 ml) w zależności od sposobu przygotowania wyniósł 11,4 kg CO<sub>2</sub> (w kawiarni francuskiej); 19,7 kg CO<sub>2</sub> (parzonej w domu (z podgrzewaną wodą na kuchence gazowej)) i 35,6 kg CO<sub>2</sub> (z ekspresu kapsułkowego).</p> <p>Stwierdzono, że 46% emisji pochodzi z uprawy ziaren, a 36% podczas pakowania</p>	<p>de Figueiredo Tavares, M.P.; Mourad, A.L. Coffee beverage preparation by different methods from an environmental perspective. <i>Int. J. Life Cycle Assess.</i> 2020, 25, 1356–1367.</p>
herbata	<p>Ślad węglowy pięciu odmian herbaty oceniano od pola po dystrybucję gotowych produktów. Określono emisje z procesu przygotowywania i spożywania herbaty według tradycyjnych proporcji.</p> <p>Ślad węglowy badanych herbat (od kołyski do bramy supermarketu) wyniósł 19,2 kg CO<sub>2</sub>/kg zielonej Wuyangchunyu, 19,9 kg CO<sub>2</sub>/kg zielonej Longjing, 11,9 kg CO<sub>2</sub>/kg czarnej Wuyangkungfu, 6,6 kg CO<sub>2</sub>/kg oolong Jinkengoolong i 4,5 kg CO<sub>2</sub>/kg eksportu zielonej herbaty w torebce.</p> <p>Emisja CO<sub>2</sub>eq na filiżankę herbaty (od kołyski do grobu) była znacznie wyższa i wynosiła 59,4, 63,5, 47,4, 36,9 i 34,5 g CO<sub>2</sub>/250 ml.</p> <p>CF samego procesu warzenia i konsumpcji wyniósł 25,7 g CO<sub>2</sub>/250 ml dla wszystkich</p>	<p>Xu, Q.; Hu, K.; Wang, X.; Wang, D.; Knudsen, M.T. Carbon footprint and primary energy demand of organic tea in China using a life cycle assessment approach. <i>J. Clean. Prod.</i> 2019, 233, 782–792.</p>



	<p>wariantów, co stanowiło 40–70% całkowitej emisji.</p>	
uprawa kawy	<p>Porównano wpływ na środowisko różnych metod uprawy kawy (tradycyjna, konwencjonalna, ekologiczna) w Wietnamie. Uprawa tradycyjna (wysokie plony i wysokie zyski; przy użyciu wyłącznie nawozów sztucznych i pestycydów; daje produkt o wysokiej zawartości pozostałości chemicznych i niskiej jakości); konwencjonalna (nawozy syntetyczne i środki ochrony roślin zastąpiono naturalnymi; ekologiczna (bezpieczna dla środowiska i dostarczająca produkty o wysokiej jakości i wartości odżywczej). Okres zbierania danych wynosił 30 lat i rozpoczął się w momencie sadzenia, w tym uprawa ziaren kawy, zbiór ich, suszenie, usuwanie skórek i pakowanie w worki. metoda konwencjonalna miała najbardziej negatywny wpływ na środowisko, a najmniej rolnictwo ekologiczne. Ślady węglowe wynosiły odpowiednio: 0,920-0,949; 0,721-0,736 i 0,640-0,647 kg CO<sub>2</sub>/kg suszonych ziaren kawy. Zmniejszenie CF uzyskano poprzez zastosowanie i rodzaj nawozów i środków ochrony roślin.</p>	<p>Trinh, L.T.K.; Hu, A.H.; Lan, Y.C.; Chen, Z.H. Comparative life cycle assessment for conventional and organic coffee cultivation in Vietnam. <i>Int. J. Environ. Sci. Technol.</i> 2020, 17, 1307–1324.</p>
uprawa pomidorów	<p>Określono średni ślad węglowy uprawy pomidorów w Iranie (0,26 kg CO<sub>2</sub>/kg). Różnice w CF wynikały z odległości, na jaką warzywa musiały zostać przetransportowane z plantacji do miejsca dystrybucji. Gospodarstwo zrezygnowało z tradycyjnego nawadniania i korzystało z nowoczesnego elektrycznego systemu kropelkowego. Ze względu na duże zapotrzebowanie na wodę dla pomidorów, energochłonność tego systemu miała największy udział w całkowitej emisji gazów cieplarnianych. Poprzez zastosowanie nowoczesnych systemów nawadniania, a także rezygnację z nawozów sztucznych i środków ochrony roślin na rzecz naturalnych, zmniejszono ślad węglowy nawet o 43%. 80% udziału w CF produkcji pomidorów koktajlowych w Tunezji (nawożenie, pestycydy, zużycie energii) wynikało ze zużycia dużych ilości energii.</p>	<p>Pishgar-Komleh, S.H.; Akram, A.; Keyhani, A.; Sefeedpari, P.; Shine, P.; Brandao, M. Integration of life cycle assessment, artificial neural networks, and metaheuristic optimization algorithms for optimization of tomato-based cropping systems in Iran. <i>Int. J. Life Cycle Assess.</i> 2020, 25, 620–632. Maaoui, M.; Boukchina, R.; Hajjaji, N. Environmental life cycle assessment of Mediterranean tomato: Case study of a Tunisian soilless geothermal multi-tunnel greenhouse. <i>Environ. Dev. Sustain.</i> 2020, 1–22.</p>

przetwory z pomidorów	<p>Ślad środowiskowy przetworów pomidorowych (pomidory skoncentrowane i pokrojone w kostkę) oszacowano na poziomie 0,827 i 0,157 kg CO<sub>2</sub> na kg produktu (w Stanach Zjednoczonych, 2015 r.).</p> <p>Różnice wynikały z zastosowania w procesach produkcyjnych, operacji jednostkowych (procesy termiczne - odparowanie), które są bardziej energochłonne niż procesy mechaniczne (kostkowanie). Ponadto, wynika to również z wydajności surowcowa.</p> <p>Do wyprodukowania 1 kg koncentratu potrzeba było 6 kg pomidorów, natomiast 1,3 kg pomidorów do wyprodukowania 1 kg pokrojonej w kostkę konfitury.</p> <p>Wartości emisje gazów cieplarnianych zmniejszyły się odpowiednio dla dwóch produkcji o 12% i 26% w ciągu ostatnich 10 lat.</p>	<p>Winans, K.; Brodt, S.; Kendall, A. Life cycle assessment of California processing tomato: An evaluation of the effects of evolving practices and technologies over a 10-year (2005–2015) timeframe. <i>Int. J. Life Cycle Assess.</i> 2020, 25, 538–547.</p>
-----------------------	--	---

## Literatura

1. Carneiro J.M., Dias A.F., Silva Barros V., Giongo V., Matsuura M.I.D.S.F., Figueirêdo M.C.B. Carbon and water footprints of Brazilian mango produced in the semi-arid region. *Int. J. Life Cycle Assess.*, 2019, 24, 735–752.
2. Demartini M., Pinna C., Tonelli F., Terzi S., Sansone C., Testa C. Food industry digitalization: From challenges and trends to opportunities and solutions. *IFAC-Papers Online*, 2018, 51, 1371–1378.
3. Figueiredo Tavares M.P., Mourad A.L. Coffee beverage preparation by different methods from an environmental perspective. *Int. J. Life Cycle Assess.*, 2020, 25, 1356–1367.
4. Gworek B., Krygier K. Zastosowanie analizy cyklu życia (LCA) do obliczania śladu środowiskowego – działania UE a przemysł spożywczy. *Przem. Spoż.*, 2019, 73, 18–20.
5. Laca A., Gómez N., Laca A., Díaz M. Overview on GHG emissions of raw milk production and a comparison of milk and cheese carbon footprints of two different systems from northern Spain. *Environ. Sci. Pollut. Res.*, 2020, 27, 1650–1666.
6. Liao X., Gerichhausen M.J., Bengoa X., Rigarlfsford G., Beverloo R.H., Bruggeman Y., Rossi V. Large-scale regionalised LCA shows that plant-based fat spreads have a lower climate, land occupation and water scarcity impact than dairy butter. *Int. J. Life Cycle Assess.*, 2020, 25, 1043–1058.
7. Maaoui M., Boukchina R., Hajjaji N. Environmental life cycle assessment of Mediterranean tomato: Case study of a Tunisian soilless geothermal multi-tunnel greenhouse. *Environ. Dev. Sustain.*, 2020, 1–22.
8. Oztemel E., Gursev S. Literature review of Industry 4.0 and related technologies. *J. Intell. Manuf.*, 2020, 31, 127–182.

9. Pajewski T. Zmiany poziomu emisji gazów cieplarnianych w produkcji rolnej. *Roczniki Naukowe Stowarzyszenia Ekonomistów Rolnictwa i Agrobiznesu*, 2016, 18, 1, 214–218.
10. Pishgar-Komleh S.H., Akram A., Keyhani A., Sefeedpari P., Shine P., Brandao M. Integration of life cycle assessment, artificial neural networks, and metaheuristic optimization algorithms for optimization of tomato-based cropping systems in Iran. *Int. J. Life Cycle Assess.*, 2020, 25, 620–632.
11. Ribal J., Estruch V., Clemente G., Fenollosa M.L., Sanjuán N. Assessing variability in carbon footprint throughout the food supply chain: A case study of Valencian oranges. *Int. J. Life Cycle Assess.*, 2019, 24, 1515–1532.
12. Romeiko X.X., Lin S., Huang G. Life cycle assessment of preserved plum production in Southern China. *Clean Technol. Envir.*, 2020, 22, 197–209.
13. Ratchawat T., Panyatona S., Nopchinwong P., Chidthaisong A., Chiarakorn S. Carbon and water footprint of Robusta coffee through its production chains in Thailand. *Environ. Dev. Sustain.*, 2020, 22, 2415–2429.
14. Trinh L.T.K., Hu A.H., Lan Y.C., Chen Z.H. Comparative life cycle assessment for conventional and organic coffee cultivation in Vietnam. *Int. J. Environ. Sci. Technol.*, 2020, 17, 1307–1324.
15. Winans K., Brodt S., Kendall A. Life cycle assessment of California processing tomato: An evaluation of the effects of evolving practices and technologies over a 10-year (2005–2015) timeframe. *Int. J. Life Cycle Assess.*, 2020, 25, 538–547.
16. Winkler T., Schopf K., Aschemann R., Winiwarter W. From farm to fork—A life cycle assessment of fresh Austrian pork. *J. Clean. Prod.*, 2016, 116, 80–89.
17. Xu Q., Hu K., Wang X., Wang D., Knudsen M.T. Carbon footprint and primary energy demand of organic tea in China using a life cycle assessment approach. *J. Clean. Prod.*, 2019, 233, 782–792.

**Niniejsza broszura stanowi część 2 Zadania 4. Identyfikacja i opracowanie nowych krajowych wskaźników jednostkowych oraz zrównoważonych metod produkcji dla celów ochrony środowiska i przeciwdziałania zmianom klimatu w rolnictwie**

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

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

i przedstawia analizę badań śladu węglowego różnych produktów rolno-spożywczych na świecie.

**Zagadnienia, które przedstawiono w części 1 i 2 raportu „Optymalizacja przetwarzania płodów rolnych w celu racjonalnego gospodarowania energią oraz obniżenia emisji gazów cieplarniach dla tworzenia standardów dla produktów rolno-spożywczych”, wskazały na zróżnicowanie ujęcie wyznaczania śladu węglowego, zarówno w odniesieniu do produktu, technologii, jak i też sposobu uwzględniania całego zakresu łańcucha produkcji żywności w zależności od regionu, w którym została przeprowadzona analiza.**

**Ślad węglowy stanowi wymierne i racjonalne podstawy do rozpoczęcia dyskusji nad strategią zwiększającą efektywność procesów produkcyjnych przy ograniczaniu zużycia energii i opracowania jej optymalnej dystrybucji.**

**Dla każdej produkcji trzeba przeprowadzić szczegółową analizę i dostosować metodę wyliczenia CF do konkretnych potrzeb. Upowszechnienie metodyki wyliczania śladu węglowego może stanowić skuteczny bodziec do wdrożenia efektywnych rozwiązań ukierunkowanych na optymalizację zużycia energii.**

W związku z planowanym wprowadzeniem obowiązkowego znakowania żywności, gospodarstwa będą zobowiązane do przeprowadzenia audytu wewnętrznego, a 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 swoje produkty wśród konkurentów.

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 **powinno być kontynuowane**, szczególnie ze względu na potrzebę wypracowania polskich standardów, co stanie się bardzo ważne przy opracowaniu standardów unijnych znakowania żywności parametrami opisującymi oddziaływanie ich powstania na środowisko.

Rezultaty dalszych prac, w kolejnych latach, stanowiąc 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](mailto:elzbieta.polak@ibprs.pl)**