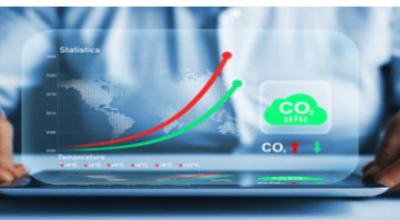




INSTYTUT BIOTECHNOLOGII  
PRZEMYSŁU ROLNO-SPOŻYWCZEGO  
im. prof. Wacława Dąbrowskiego  
PAŃSTWOWY INSTYTUT BADAWCZY

## Analiza procesów przetwórczych oraz rynku produktów rolno-spożywczych wytwarzanych przez krajowy przemysł spożywczy



Badania realizowane w ramach:

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

*Umowa nr DRE.prz.070.2.2023*



**Opracowanie:**

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

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

**Zakład Technologii i Techniki Chłodnictwa**

**Lódź, październik 2023  
ISBN 978-83-963861-8-2**

## **Wprowadzenie**

Zachodząca zielona transformacja gospodarcza, wdrażane ambitne plany i strategie klimatyczne wymagają tworzenia i wprowadzenia w przemyśle i rolnictwie nowych rozwiązań w minimalnym stopniu obciążających środowisko naturalne. Wskazanie działań i mechanizmów umożliwiających adaptację rolnictwa i przetwórstwa rolno-spożywczego do zmian klimatu i wdrażania technologii niskoemisyjnych, są istotnymi zagadnieniami znajdującymi swoje umocowanie w dokumentach strategicznych (SZRWRiR, WPR, SOR, F2F, Zielony Ład).

Potrzeba opracowania jednolitych standardów metodologii analizy śladu węglowego dla produktów spożywczych wynika również z zapotrzebowania przedsiębiorstw zrzeszonych w Krajowej Grupie Spożywczej S.A., określanej mianem największego państwowego producenta żywności w Polsce, który jest podmiotem o znaczeniu strategicznym również dla bezpieczeństwa żywnościowego w kraju.

Rolnictwo i przemysł rolno-spożywczy wymagają naukowego wsparcia w zakresie wdrażanych zielonych schematów gospodarowania. Tworzone rozwiązania przemysłowe powinny być możliwie obojętne dla środowiska, niskoemisyjne i bezodpadowe. Prowadzone w ramach tej koncepcji badania powinny być ukierunkowane na analizę istniejących procesów technologicznych, identyfikację możliwych do rozwiązania problemów oraz opracowanie nowych rozwiązań technologicznych wpływających istotnie na ślad węglowy produkcji żywności.

Gospodarka obiegu zamkniętego to stałe współdziałanie całego łańcucha podmiotów: zaczynając od rolników, producentów żywności, dostawców i sieci handlowych po konsumentów oraz świadome podejmowanie działań na rzecz środowiska. Ochrona środowiska naturalnego poprzez m.in. zmniejszenie emisji gazów cieplarnianych (GHG) to obowiązek producentów żywności. Wielkim wyzwaniem jest sprostanie celom Unii Europejskiej, która chce stać się obszarem neutralnym dla klimatu do 2050 roku. Racjonalne zarządzanie energią w produkcji żywności jest jednym z kluczowych działań w kontekście ograniczenia emisji GHG na terenach rolniczych Polski. Postępujące gwałtowne zmiany klimatu oraz globalne ocieplenie powodują, że energia staje się coraz bardziej niewralgicznym punktem produkcji żywności, w całym łańcuch wytwórczym „od pola do stołu”.

Produkcja żywności jest głównym czynnikiem przyczyniającym się do emisji gazów cieplarnianych i utraty bioróżnorodności. Identyfikacja emisji w rolnictwie oraz wskazanie kierunków ich redukcji jest zagadnieniem złożonym. Wszelkie działania muszą być tak ukierunkowane, aby nie zagrażać bezpieczeństwu żywnościowemu. Badania te powinny być

prowadzone, gdyż nie ma jednego uniwersalnego rozwiązania, dla wszystkich przypadków, całej gospodarki rolno-przetwórczej, w zależności do warunków regionalnych czy krajowych.

Plan Strategiczny dla WPR wspiera zrównoważony rozwój polskich gospodarstw sektora przetwórstwa oraz poprawę warunków życia i pracy w małych miejscowościach wiejskich. Zrównoważone metody gospodarowania muszą być przyjazne klimatowi i środowisku, realizowane poprzez ochronę wody, gleby i powietrza oraz dbanie o bioróżnorodność.

Zgodnie z rezolucją z 20 października 2021 roku Parlamentu Europejskiego w sprawie strategii „od pola do stołu” na rzecz sprawiedliwego, zdrowego i przyjaznego dla środowiska systemu żywnościowego, która wdraża założenia nowej Wspólnej Polityki Rolnej, kładzie się duży nacisk na prowadzenie działań z poszanowaniem środowiska naturalnego, ze szczególnym uwzględnieniem konieczności obniżenia poziomu emisji GHG, w celu dostarczenia żywności charakteryzującej się wysoką jakością.

Aby realizować zadania poprawiające efektywność energetyczną nie wystarczy już tylko pomiar parametrów mediów energetycznych, lecz należy w sposób ciągły aktywnie nimi zarządzać. Gospodarka energetyczna w polskim rolnictwie charakteryzuje się nadal nadmiernym zużyciem energii, surowców i materiałów. Dlatego niezwykle istotnym problemem jest racjonalne użytkowanie energii we wszystkich gałęziach gospodarki rolnej.

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

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

Do oceny takich oddziaływań w zakresie upraw, hodowli, produkcji i dystrybucji żywności można wykorzystać ślad węglowy (CF). Przy analizie CF każdego produktu wymagane jest indywidualne podejście, jednak uwzględniające cykl życia produktu. Ślad węglowy jest jednym z najlepszych i wiarygodnych narzędzi do weryfikacji procesów i ograniczenia emisji GHG

w działalności gospodarczej. W analizie CF dopuszcza się również zmniejszenie zakresu np. tylko proces produkcji (cradle to gate), co musi być wyszczególnione w analizie. Tak szeroki zakres wymaga większego nakładu pracy, jednak pozwala w transparentny sposób przedstawić procesy zachodzące w całym cyklu życia.

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

Obecnie Komisja Europejska planuje wprowadzenie nowego znakowania żywności. Znakowanie to ma być oparte na ocenie wpływu cyklu życia produktu na środowisko, poprzez wyznaczenie śladu węglowego, w celu promowania zrównoważonej gospodarki. Wspólne Centrum Badawcze Komisji Europejskiej opublikowało w październiku 2019 r. raport dotyczący śladu węglowego „The consumer footprint: Monitoring sustainable development goal 12 with process-based life cycle assessment”, który potwierdził zasadność prowadzonych prac. Jest to również zgodne z założeniami Strategii F2F, która m.in.: chce osiągnięcia celów gospodarki o obiegu zamkniętym – zmniejszenie wpływu na środowisko sektorów przetwórstwa spożywczego i handlu detalicznego poprzez podjęcie działań w zakresie transportu, magazynowania, pakowania i odpadów żywnościowych oraz wprowadzenia przejrzystego znakowania żywności (miejscem pochodzenia, wartością odżywczą, wskaźnikami środowiskowymi).

Wyniki prowadzonych prac, w postaci zwięzłego opracowania oraz broszur informacyjnych, zostaną udostępnione krajowym producentom żywności. Analiza śladu węglowego wykorzystana na potrzeby benchmarku krajowych producentów będzie istotnym elementem rozwoju polskiego przemysłu w kierunku gospodarki niskoemisyjnej i energochłonnej. Dodatkowo, wyniki analiz mogą posłużyć do promocji polskiej żywności, znakowanej w przyszłości śladem węglowym. Badania w tym zakresie mają wymiar interdyscyplinarny i wpisują się w europejską strategię One-Health, Komisji Europejskiej. Do korzyści środowiskowych należy zaliczyć wkład w rozwiązanie problemów wynikających z konieczności racjonalnego użytkowania zasobami naturalnymi oraz sprostanie założeniom biogospodarki, jednocześnie mają znaczenie dla zdrowia publicznego. Spodziewane wyniki mają również wymiar ekonomiczny. Modyfikacja stosowanych technologii oparta o analizę śladu węglowego pozwoli jednocześnie zmaksymalizować efekty ekonomiczne, związane

z obniżeniem kosztów eksploatacyjnych, z efektami środowiskowymi i społecznymi, wynikającymi z redukcji zanieczyszczeń.

**Cel badania:**

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

**Zakres prac obejmował:**

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

## **1. Analiza rynku produktów rolno-spożywczych wytwarzanych przez krajowy przemysł spożywczy**

Sektor rolno-spożywczy obejmujący, zarówno rolnictwo, jak i przemysł spożywczy, pełni kluczową rolę w polskiej gospodarce. Produkcja żywności w Polsce opiera się głównie na surowcach pochodzących z rodzimego rolnictwa. Główne sektory rolnicze to produkcja zbóż, warzyw, owoców, mięsa wieprzowego, mleka i jaj. Polska jest także znana z produkcji ziemniaków, buraków cukrowych i rzepaku. W 2017 roku surowce rolne dostarczone z krajowych upraw stanowiły aż 63% ogółu surowców używanych do produkcji żywności w kraju. Polska ma rozwinięty sektor przetwórstwa spożywczego, obejmujący produkcję m.in. wyrobów mięsnych, nabiału, wyrobów piekarniczych i słodczy. Polskie firmy spożywcze zdobywają uznanie, zarówno na rynku krajowym, jak i międzynarodowym. Sektor żywnościowy w Polsce to jedna z dziedzin gospodarki narodowej, która odniosła największy sukces w okresie transformacji społeczno-gospodarczej oraz po przystąpieniu Polski do Unii Europejskiej. Dzięki zaawansowanym technologiom w przetwórstwie żywności, polski przemysł spożywczy uważany jest za jeden z najbardziej nowoczesnych w Unii Europejskiej, co znacząco przyczynił się do rozwoju gospodarczego kraju. W miarę jak gospodarki rozwijają się, zmieniają się również warunki konkurencji, zarówno na rynku wewnętrznym, jak i międzynarodowym. Proces globalizacji ma wpływ nie tylko na przepływ informacji i rosnącą wymianę handlową, ale także na strukturę spożycia produktów rolno-spożywczych. Konsumpcja żywności w Polsce jest stosunkowo stabilna, ale obserwuje się zmiany w preferencjach konsumentów, w tym wzrost zainteresowania żywnością ekologiczną i produktami regionalnymi. Konsumentów coraz bardziej dbają o zdrowe nawyki żywieniowe i wybierają produkty niskoprzetworzone. Polski sektor rolno-spożywczy musi mierzyć się z wieloma wyzwaniami, takimi jak rosnące oczekiwania dotyczące jakości żywności, zrównoważonej produkcji, a także zmianami klimatycznymi. Konieczne jest dostosowanie się do rygorystycznych norm UE i zwiększenie efektywności produkcji. To sprawia, że polski sektor żywnościowy musi nadążać za tymi zmianami i stawiać na jakość oraz innowacyjność, aby utrzymać swoją pozycję na rynku.

Analiza sektora rolno-spożywczego w Polsce wymaga uwzględnienia różnych aspektów, takich jak produkcja rolnicza, przetwórstwo spożywcze, handel, eksport, konsumpcja i trendy rynkowe. Wyniki Powszechnego Spisu Rolnego z 2020 r. pokazują, że ogólna liczba gospodarstw rolnych wyniosła około 1 317 tys.. W porównaniu do wyników z 2010 r., liczba ta zmniejszyła się o około 190 tys., co stanowi spadek o niemal 13%. Dane ukazują, że całkowita powierzchnia upraw w gospodarstwach rolnych w 2020 roku wyniosła ponad 10 707

tys. ha, co oznacza wzrost o około 340 tys. ha w porównaniu z rokiem 2010. W strukturze zasiewów nadal dominującą uprawą są zboża ogółem (ok. 70%), których powierzchnia uprawy wyniosła ok. 7 377 tys. ha. Porównując lata ubiegłe do danych z 2020 roku możemy zaobserwować pewne zmiany w strukturze zasiewów poszczególnych upraw (tabela 1). W porównaniu do 2010 r. zmniejszył się udział zbóż ogółem o 4,5 pkt. procentowego, natomiast zwiększył się udział buraków cukrowych o 0,3 pkt. procentowego. Zestawienie wielkości produkcji rozpatrywanych produktów spożywczych przedstawiono w tabeli 2.

Tabela 1. Powierzchnia zasiewów głównych upraw w tys. ha

rok	zboża ogółem	ziemniaki	buraki cukrowe	rzepak i rzepik	warzywa gruntowe
2020	7377	246	203	977	143
2016	7400	225	194	823	190
2013	7479	301	203	921	128
2010	7606	375	337	945	138

Tabela 2. Produkcja analizowanych wyrobów (Rocznik statystyczny przemysłu 2022)

wyroby	2000	2005	2010	2015	2020	2021
mąka pszenna w tys. t	2041	2488	2230	2297	2353	2405
mąka żytnia w tys. t	244	245	201	245	236	226
pieczywo świeże w tys. t	1620	1549	1670	1588	1387	1352
cukier (w przeliczeniu na cukier biały) w tys. t	2009	2033	1579	1670	1992	2151

Wśród produktów przemiału zbóż ważną pozycję zajmują mąki i kasze. W 2019 roku zanotowano spadek produkcji mąki pszennej o 0,8% w porównaniu do roku 2018, a w 2020 roku odnotowano większy spadek o 3,5% w stosunku do roku 2019. Niemniej jednak, w 2021 roku produkcja mąki pszennej wzrosła o 2,2% w porównaniu do 2020 roku, osiągając poziom 2 405 tys. ton. Produkcja mąki żytniej była dziesięciokrotnie niższa niż produkcja mąki pszennej. W latach 2017 - 2019 zanotowano wzrost produkcji mąki żytniej, osiągając poziom 263 tys. ton, co stanowiło wzrost o 10,5%. Jednak od 2020 roku produkcja zaczęła spadać, a w 2021 roku wyniosła 226 tys. ton, co oznacza spadek o 4,1% w porównaniu do 2020 roku (tabela 3).

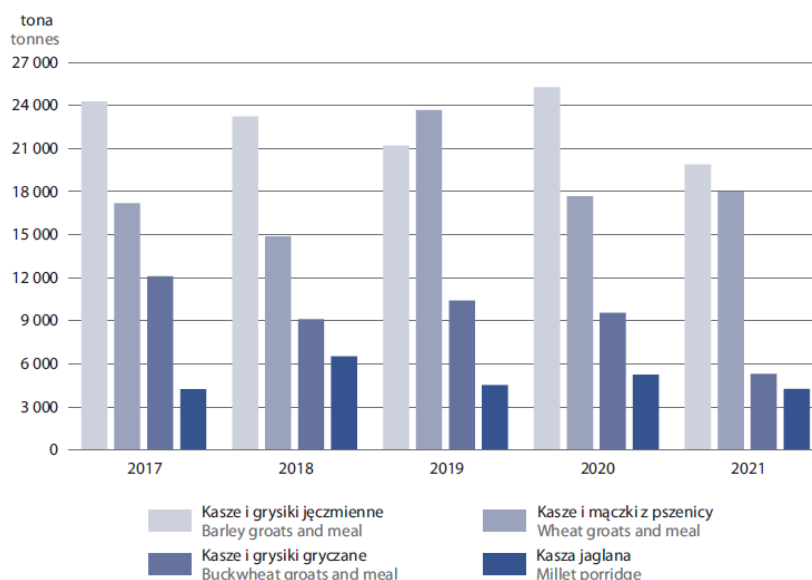
Tabela 3. Produkcja mąki

wyszczególnienie	jednostka	2017	2018	2019	2020	2021
mąka pszenna	tys. t	2 409	2 457	2 438	2 353	2 405
mąka żytnia	tys. t	238	253	263	236	226

W przypadku produkcji kasz i mączek, największy udział w 2021 roku posiadały kasze i grysiki jęczmienne, osiągając poziom 19 882 ton. Na drugim miejscu znalazły się kasze i mączki z pszenicy, a trzecie miejsce zajęły kasze i grysiki gryczane. Kasza jaglana znalazła się na czwartym miejscu pod względem produkcji. Produkcja kasz i grysików jęczmiennych w analizowanym okresie podlegała spadkom, z wyjątkiem 2020 roku, gdzie zanotowano wzrost



produkcji o 19,1%. Produkcja kasz i mączek z pszenicy zanotowała największy wzrost o 59,0% w 2019 roku w porównaniu do 2018 roku, a od 2020 roku produkcja utrzymywała się na zbliżonym poziomie. Produkcja kasz i grysików gryczanych w latach 2017-2021 również podlegała zmianom, zanotowano spadek produkcji o 44,4% w 2021 roku. Jednak produkcja kaszy jaglanej utrzymywała się na podobnym poziomie w latach 2017 i 2021, wynosząc 4 260 ton w 2021 roku (rys. 1).



Rys. 1. Produkcja kasz i mączek ze zbóż [Główny Urząd Statystyczny. Produkcja i handel zagraniczny produktami rolnymi w 2019 r. Warszawa, 2020]

Produkcja pieczywa świeżego w latach 2017–2021 sukcesywnie spadała. W 2021 r. osiągnęła 1 352 tys. ton i była niższa o 12,7% od produkcji w 2017 r. (w stosunku do 2020 r. spadła o 2,6%). Największy udział w produkcji pieczywa świeżego ma pieczywo z mąki mieszanej, pszennej i żytniej. W 2017 r. pieczywo to stanowiło 58,5% całej produkcji pieczywa, a wielkość produkcji wyniosła 880 tys. ton. W 2021 r. odnotowano niewielki spadek udziału, który ukształtował się na poziomie 52,4%. Na drugim miejscu znalazło się pieczywo z mąki pszennej, którego udział wzrósł z 35,2% w 2017 r. do 40,7% w 2021 r. – produkcja pieczywa z mąki pszennej w 2021 r. wyniosła 530 tys. ton. Najmniejszy udział w produkcji pieczywa świeżego ma pieczywo z mąki żytniej. Produkcja pieczywa z mąki mieszanej, pszennej i żytniej, zmniejszyła się w 2021 r. w porównaniu do 2017 r. (tabela 4).

Tabela 4. Produkcja pieczywa w Polsce

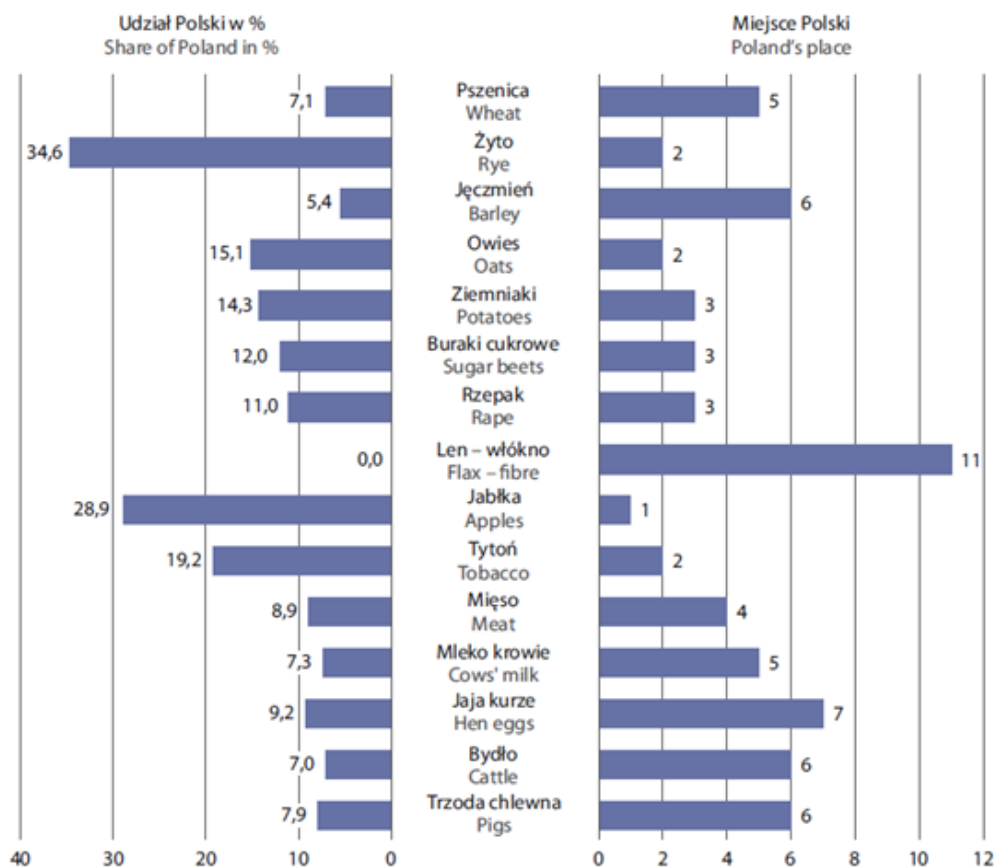
wyszczególnienie	jednostka	2017	2018	2019	2020	2021
pieczywo świeże	tys. t	1 549	1 519	1 470	1 387	1 352
pieczywo żytnie	tys. t	96	96	94	92	90
pieczywo pszenne	tys. t	530	541	531	527	530
pieczywo z mąki mieszanej pszennej i żytniej	tys. t	880	846	801	729	683

Cukier to najpopularniejsza substancja słodząca, która ma także duże zastosowanie w przemyśle spożywczym. Od 2017 r. odnotowano sukcesywny spadek produkcji cukru, w 2020 r. produkcja cukru wyniosła 1 992 tys. ton (była niższa o 10,1% w porównaniu do 2017 r.). W 2021 r. odnotowano wzrost produkcji o 8,0% w porównaniu do 2020 r. i produkcja wyniosła 2 151 tys. ton (tabela 5).

Tabela 5. Produkcja cukru w Polsce

wyszczególnienie	jednostka	2017	2018	2019	2020	2021
cukier	tys. t	2 215	2 211	2 200	1 992	2 151

Światowa produkcja cukru według Departamentu Rolnictwa Stanów Zjednoczonych (USDA) w okresie 2019/20 wyniosła 166,2 mln ton i była o 7,5% mniejsza niż w poprzednim sezonie. Na wolumen produkcji cukru, przy występującej tendencji ograniczania światowej konsumpcji (o ok. 1 mln ton w skali roku), wpłynął spadek jego produkcji w Indiach (o 15,7% do 28,9 mln ton) i Tajlandii (o ok. 43% do 8,3 mln ton). W tych krajach zmniejszenie produkcji było skutkiem ograniczenia zasiewów i spadku plonów trzciny. Do pozostałych głównych producentów cukru zalicza się: Brazylię (29,9 mln ton) (gdzie, coraz więcej trzciny cukrowej przeznaczana się do produkcji etanolu a nie do konsumpcji), UE (17,3 mln ton) oraz Chiny (10,2 mln ton). Podstawową rośliną wykorzystywaną do produkcji cukru jest trzcina cukrowa uprawiana w regionach tropikalnych i subtropikalnych. Z buraków cukrowych zbieranych w umiarkowanym klimacie wytwarza się tylko jedną czwartą cukru. Według USDA globalny eksport cukru wyniósł w okresie 2019/20 – 54,1 mln ton (spadek o 3,4%), głównie z powodu suszy i spadku zbiorów w Meksyku (o 1,4 mln ton). Globalny import cukru wyniósł w tym okresie 50,7 mln ton i był o 1,6% mniejszy niż w sezonie 2018/2019, przede wszystkim z powodu znacznego ograniczenia zamówień z Indonezji (o ok. 24%). Liderami w eksporcie cukru były Brazylia (udział w światowym eksporcie 35,7%) i Tajlandia (19,7%). Najwięcej cukru sprowadzały natomiast Indonezja i Chiny (odpowiednio 4 mln ton i 4,1 mln ton). Po zniesieniu unijnych regulacji na rynku cukru w 2017 r., ceny cukru charakteryzowały się silną tendencją spadkową. W krajach UE w sezonie 2019/20 produkcja cukru obniżyła się ponownie o 3,3% do 17,4 mln ton. Do głównych producentów cukru białego należą Francja (4,9 mln ton), Niemcy (4,3 mln ton) oraz Polska (2 mln ton). W Polsce, przy krajowej konsumpcji cukru wynoszącej 1,7 mln ton, nadwyżka produkcji jest eksportowana. Poszukiwanie rynków zbytu na cukier jest trudne ze względu na dużą podaż tego surowca w Unii Europejskiej.



Rys. 2. Udział i miejsce Polski w produkcji wybranych artykułów rolnych w UE w 2019 r. [Główny Urząd Statystyczny. Produkcja i handel zagraniczny produktami rolnymi w 2019 r. Warszawa, 2020]

Według danych prognozowanych przez Eurostat (Europejski Urząd Statystyczny), kraje Unii Europejskiej (UE) wyprodukowały w 2019 r. 296,8 mln ton zbóż na ziarno, tj. o 25,5 mln ton więcej niż przed rokiem. Kraje te odrabiały straty po suszy, co wpłynęło na zwiększenie powierzchni uprawy ziarna (o 1,4 mln ha). Wyższe były również średnie plony zbóż (o 7,6%). Na wolumen produkcji w danym roku wpływały również warunki pogodowe. W Polsce zbiory ziarna wyniosły 29,0 mln ton, co stanowiło blisko 9% całkowitej produkcji zbóż w UE (rys. 2). Spośród wszystkich państw Unii Europejskiej, Polska znalazła się na pierwszym miejscu w produkcji żyta – z udziałem 28,8% żyta zebranego na terenie UE oraz owsa, z udziałem w produkcji unijnej 15,0%. Produkcja żyta i owsa wyniosła w 2019 r. odpowiednio 8377 tys. ton i 8022 tys. ton. Unia Europejska jest wiodącym na świecie producentem buraków cukrowych. Rynek cukru w UE do września 2017 r. był regulowany przez kwoty produkcyjne. Po podjęciu decyzji o likwidacji tych kwot, sektor cukru wspierany przez WPR (Wspólna Polityka Rolna) przeszedł szereg głębokich reform w celu adaptacji do nowych wyzwań. W 2019 r. produkcja buraków cukrowych, po spadku w 2018 r., pozostała na prawie

niezmienionym poziomie i wyniosła 120,4 mln ton. W Polsce, która jest jednym z czołowych producentów buraków cukrowych w UE (zajmuje 3 miejsce w produkcji tego surowca), odnotowano ok. 3,3% spadek produkcji do 13,8 mln ton.

W tabeli 6 zawarto zestawienie produkcji pszenicy na świecie i w Polsce oparte na danych pochodzących z iNFOGRAIN. Jak można zauważyć produkcja tego zboża w Polsce utrzymuje tendencję wzrastającą, również zapasy końcowe mają podobny trend. Natomiast w skali światowej zapasy końcowe ulegają spadkowi.

Tabela 6. Bilans produkcji pszenicy (iNFOGRAIN 2023)

[mln ton]	Świat			Polska		
	2021/2022	2022/2023	2023/2024	2021/2022	2022/2023	2023/2024
zapasy początkowe	284,09	272,66	267,13	0,73	1,14	1,16
import	-	-	-	0,51	1,20	0,45
produkcja	781,01	790,59	787,34	11,30	12,89	13,84
popyt	792,44	796,12	795,86	8,68	8,42	8,63
eksport	-	-	-	2,70	5,70	3,85
zapasy końcowe	272,66	267,13	258,61	1,14	1,16	2,92
zapasy/zużycie [%]	34,40	33,55	32,49	-	-	-

## 2. 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)

Przeprowadzono analizę procesów przetwórczych cukru, mąki i pieczywa. Zakres analizy obejmował cały cykl produkcyjny, rozpoczynając od momentu dostarczenia surowców do zakładu aż do uzyskania gotowego produktu. Zidentyfikowano kluczowe etapy produkcji oraz zużycie surowców. Analiza procesów przetwórczych związanych z tymi produktami ma fundamentalne znaczenie dla oceny wpływu tych sektorów na środowisko.

### 2.1 Cukier i technologia jego produkcji w Polsce

Polska jest jednym z ważnych producentów cukru w Europie. Proces produkcji cukru z buraków cukrowych jest główną metodą produkcji cukru w kraju. Polska posiada korzystne warunki klimatyczne i glebowe, które sprzyjają uprawie buraków cukrowych, co wpływa na rozwój tego sektora. Przemysł cukrowniczy w Polsce skoncentrowany jest na obszarach o wysokim zagęszczeniu upraw buraków cukrowych. Główne regiony produkcji cukru to m.in. kujawsko-pomorskie, wielkopolskie, mazowieckie, lubelskie i łódzkie. Proces produkcji cukru obejmuje szereg etapów, od zbioru buraków cukrowych przez przetworzenie ich na cukier aż do pakowania gotowego produktu. Warto zauważyć, że w ostatnich latach polski przemysł cukrowniczy musiał stawić czoło wyzwaniom wynikającym z liberalizacji rynków cukru

w Unii Europejskiej. Reforma rynku cukru miała wpływ na zmiany w produkcji i handlu cukrem w Polsce oraz w innych krajach UE. Mimo to, cukrownie w Polsce wciąż odgrywają ważną rolę w krajowej i europejskiej gospodarce. Cukrownictwo w Polsce ma długą historię i jest ważnym sektorem gospodarki rolniczej.



Rys. 3. Schemat etapów jednostkowych w produkcji cukru

Proces produkcji cukru obejmuje kilka etapów, które są zazwyczaj stosowane zarówno w przypadku produkcji cukru z trzciny cukrowej, jak i z buraków cukrowych. Poniżej przedstawiono ogólny opis technologii produkcji cukru (rys. 3):

- Uprawa i zbieranie surowca: Cukier może być produkowany z dwóch głównych surowców: trzciny cukrowej i buraków cukrowych. Oba te surowce zawierają dużą ilość cukru. Uprawa i zbieranie surowca zależy od regionu geograficznego i preferencji producentów. Zbiór buraków odbywa się zazwyczaj w okresie od września do grudnia, kiedy zawartość cukru w roślinach jest najwyższa.

- Zbiór, składowanie i mycie buraków: Buraki są skupowane od września do końca listopada. Część ogólnej masy buraków dostarczana jest przez plantatorów lub zwożona bezpośrednio z pól. Dostarczane do cukrowni buraki zawierają dużo zanieczyszczeń w postaci: kamieni, ziemi, cienkich korzeni, liści, chwastów itp. Następnie buraki są składowane na placach buraczanych i kierowane do spławów buraczanych, gdzie odbywa się tzw. „mokry transport” buraków. W trakcie tego transportu, dzięki specjalnym urządzeniom jak łapacze kamieni i łapacze zanieczyszczeń lekkich, usuwane są kamienie i liście.
- Krojenie buraków: Krojenie buraków, jest czynnością nieodzowną, bez której niemożliwe byłoby wydobycie soku z buraków na następnej stacji cukrowni (ekstraktorze). Im cieńsza jest krajanka, tym krótsza droga dyfundowania cukru z głębi tkanki, do soku opływającego krajankę.
- Ekstrakcja soku: W przypadku buraków cukrowych, soki są ekstrahowane przez rozdrabnianie buraków i wydzielanie soku. Natomiast w przypadku trzciny cukrowej, trzcina jest miażdżona, a następnie prasowana, aby uzyskać sok. Ten sok zawiera dużą ilość cukru i jest głównym surowcem do dalszego przetwarzania. Czas ekstrakcji to około 70-80 minut, temperatura ok. 70°C. Po ekstrakcji uzyskuje się sok surowy, który zawiera 14-16% cukru.
- Oczyszczanie i klarowanie: Sok jest następnie oczyszczany, aby usunąć wszelkie zanieczyszczenia i niepożądane substancje. W tym etapie można stosować różne metody, takie jak flotacja, koagulacja, osadzanie czy filtracja, aby uzyskać klarowny sok.
- Koncentracja: Oczyszczony sok jest poddawany procesowi koncentracji, w wyniku którego ilość wody zostaje zmniejszona, a zawartość cukru zwiększona. Proces ten może być realizowany przez ogrzewanie soku w specjalnych urządzeniach, co prowadzi do odparowania wody.
- Krystalizacja i odwirowanie: Skoncentrowany syrop jest chłodzony, a cukier zaczyna krystalizować się. Następnie syrop przechodzi przez wirówkę, która oddziela kryształy cukru od syropu, który zostaje ponownie poddany koncentracji.
- Suszenie i pakowanie: Cukier jest suszony, aby usunąć wilgoć (wilgotność ok. 0,03-0,05%), a następnie pakowany w odpowiednie opakowania do sprzedaży i dystrybucji.

Technologia produkcji cukru może różnić się w zależności od specyfikacji danej cukrowni, stosowanych technik, a także rodzaju cukru produkowanego (np. cukier biały, brązowy, itp.). Powyższy schemat (rys. 3) przedstawia ogólny proces produkcji cukru z buraków cukrowych,

ale szczegóły mogą się różnić w zależności od konkretnych warunków i wymagań technologicznych. Dodatkowo, w ostatnich latach technologie zostały udoskonalone, aby zwiększyć wydajność i efektywność produkcji cukru oraz ograniczyć wpływ na środowisko naturalne.

## **2.2 Mąka i technologia jej produkcji w Polsce**

W Polsce, produkcja zbóż jest jednym z głównych sektorów rolniczych. Globalnie, zboża odpowiadają za około 20% wartości produkcji rolniczej. Na obszarach rolniczych Polski, uprawy zbóż stanowią około 74% całkowitej powierzchni. W ciągu ostatnich kilku lat, zbiory zbóż w Polsce utrzymywały się na poziomie od 26,5 do 31,8 milionów ton. Ziarno zbóż jest niezwykle istotnym surowcem roślinnym, używanym w produkcji różnych rodzajów żywności.

W procesach przemiału ziaren zbóż powstają różne rodzaje mąk, kasz i płatków. Największy udział w tej produkcji ma mąka, która jest podzielona ze względu na swoje przeznaczenie. Wyróżniamy m.in. mąki wypiekowe, takie jak mąka chlebowa, mąki rynkowe dla gospodarstw domowych, mąki makaronowe i mąki cukiernicze. Każda z tych mąk charakteryzuje się określoną wartością wypiekową, która odnosi się do zdolności wytwarzania i zatrzymywania gazów przez siatkę glutenową w pieczywie pszennym oraz błonkami białkowo-słuzowymi w pieczywie mieszanym i żytnim. W celu standaryzacji i poprawy jakości mąki, stosuje się korektę zdolności wytwarzania i zatrzymywania gazów fermentacyjnych. Wykorzystuje się odpowiednie enzymy oraz kwas askorbinowy, który działa synergicznie z enzymami, poprawia strukturę glutenu, zwiększa zdolność pochłaniania wody i w rezultacie podnosi jakość ciasta i miękiszu. To prowadzi do zwiększenia objętości pieczywa i przedłuża jego świeżość. Ważne jest, aby właściwości mąki stosowanej w piekarstwie były odpowiednio dopasowane, ponieważ mają one zasadniczy wpływ na jakość pieczywa i umożliwiają zastosowanie systemów zmechanizowanej i ciągłej produkcji. Do określenia typów mąki wykorzystuje się zawartość substancji mineralnych w mące. Na przykład typ 450 oznacza zawartość 0,45%, typ 750 zawartość 0,75%, a typ 2000 zawartość 2,00% substancji mineralnych w mące.

Produkcja mąki pszenicznej wymaga odpowiedniego doboru ziarna o odpowiednich cechach jakościowych, takich jak kształt, wielkość ziarna, twardość i zawartość popiołu. Dla różnych rodzajów pieczywa, takich jak chleb, ciasta drożdżowe czy ciastka, konieczne są mąki o różnych parametrach jakościowych. Do produkcji makaronów najlepszym surowcem jest semolina otrzymywana z pszenicy twardej, która spełnia określone kryteria jakościowe, takie jak barwa, zawartość białka i elastyczność glutenu.

W przemiale ziaren kukurydzy, istotne jest wyodrębnienie zarodka, który zawiera dużo tłuszczu i może negatywnie wpłynąć na jakość i trwałość produktów przemiału. Produkty przemiału kukurydzy, takie jak mąki, są używane głównie jako dodatki do produkcji chleba, pieczywa cukierniczego i makaronu. Różne rodzaje kasz są wykorzystywane do wytwarzania płatków kukurydzianych i w przemyśle browarniczym.

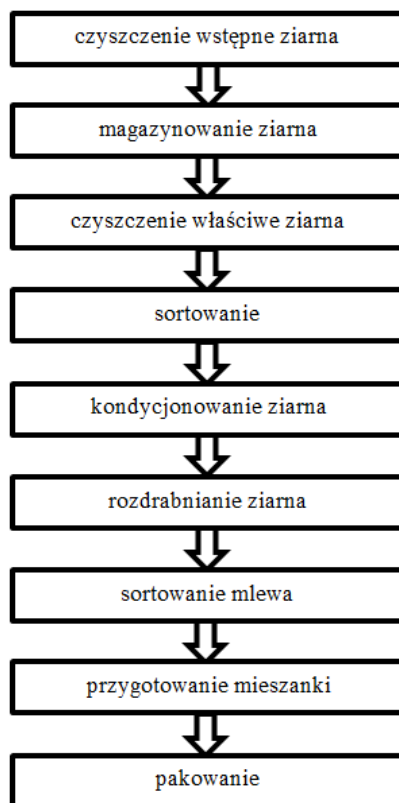
Cały proces produkcji mąki rozpoczyna się od przygotowania ziarna do przemiału w czyszczarni, a następnie przechodzi przez etapy czyszczenia, kondycjonowania i przemiału w młynie właściwym. Ostatecznym efektem są różne rodzaje mąk, kaszek, miałów i otrębów. Podczas przerobu zboża na mąkę można wyróżnić dwa główne etapy:

- czynności wstępne - oczyszczanie ziarna z chwastów, słomy, plew, zanieczyszczeń mechanicznych (drotu, gwoździ) i kurzu, obłuskanie ziarna, usunięcie zarodka, nawilżenie ziarna i suszenie,
- przemiał właściwy - polegający na mechanicznym rozdrobnieniu oczyszczonego ziarna za pomocą maszyn zwanych mlewnikami walcowymi: wyróżnia się trzy rodzaje przemiału: płaski, półwysoki i wysoki. Ilość mąki otrzymanej z przemiału określonej ilości ziarna nazywanym wyciągiem (wydajnością), np. jeżeli 100 kg ziarna otrzyma się 60 kg mąki, to stopień wyciągu mąki wynosi 0-60%.

Cykl produkcyjny został przedstawiony na schemacie (rys. 4). Zatem, proces produkcji rozpoczyna się od przygotowania ziarna do przemiału w czyszczarni. Pierwszym etapem jest czyszczenie ziarna, które ma na celu usunięcie zanieczyszczeń i niepożądanych części, takich jak okrywy owocowo-nasienne. Następnie przeprowadza się kondycjonowanie ziarna, które polega na jego nawilżeniu i leżakowaniu. To proces, który ma wpływ na łatwość przemiału i jakość otrzymanej mąki. Po kondycjonowaniu przystępuje się do kolejnego etapu czyszczenia, aby dokładnie usunąć pozostałe zanieczyszczenia przylegające do powierzchni ziarna. Gdy ziarno zostało odpowiednio oczyszczone i przygotowane, przechodzi się do właściwego etapu przemiału w młynie. Proces ten polega na rozdrabnianiu ziarna. W trakcie przemiału wielokrotnie odsiewa się mąkę, aby oddzielić cząstki gruboziarniste od drobnoziarnistych, co prowadzi do otrzymania końcowego produktu - mąki. Po przemiałach różnych typów ziaren, otrzymuje się różne rodzaje mąk, kaszek, miałów i otrębów, które są następnie sortowane. W celu dokładniejszego oddzielenia przylegających fragmentów okrywy owocowo-nasiennej, kaszki i miały poddawane są dodatkowemu sortowaniu i czyszczeniu na specjalnych wialniach kaszkowych. Produkt wychodzący z mlewnika nie jest jednorodny, dlatego wymaga sortowania. Sortowanie między różnymi produktami przemiału odbywa się w oparciu



o wielkość cząstek za pomocą odsiewaczy, takich jak wialnie kaszkowe lub odsiewacze płaskie.



Rys. 4. Schemat procesów jednostkowych produkcji mąki

Podstawowym przemiałem wielogatunkowym jest przemiał trójgatunkowy, który prowadzi do otrzymania różnych rodzajów mąk, takich jak mąka jasna typu 550 (do wyciągu 65%), mąka chlebowa typu 750 (75-80%), kaszka mannę (1,5%), mąka krupczatka (2%) oraz mąka tortowa (0,5%). Proces ten jest złożony i precyzyjny, a jego skuteczność i jakość mąki wpływają bezpośrednio na ostateczną jakość pieczywa i innych produktów spożywczych wytwarzanych z wykorzystaniem tej mąki.

Mąki mogą być podzielone ze względu na rodzaj stosowanego surowca (ziarna) oraz na ich przeznaczenie. Wyróżniamy mąki konsumpcyjne, przeznaczone do spożycia przez ludzi, mąki paszowe do karmienia zwierząt, oraz mąki przemysłowe do innych celów niż spożycie. Mąki chlebowe stanowią jeden z głównych rodzajów mąk konsumpcyjnych i obejmują mąki pszenne i żytnie. Są one używane przede wszystkim do wypieku chleba, ale także innych wypieków piekarniczych i cukierniczych. Wśród mąk nie chlebowych znajdują się różne rodzaje mąk, zarówno zbożowych, jak i pozyskiwanych z innych roślin. W kuchni są one często używane jako dodatek do mąk chlebowych, ale czasami także samodzielnie. Przykłady mąk nie chlebowych to m.in. mąka pszenżytnia, jęczmienna, kukurydziana, ryżowa, jaglana, gryczana,

amarantusowa, quinoa, mąka z ciecierzycy, soi, tapioki, mąka kokosowa, migdałowa i wiele innych. Ważnym wariantem mąk nie chlebowych są mąki stosowane w diecie osób cierpiących na celiakię, uczulonych na białka glutenowe zawarte w mące pszennej lub żytniej. W takim przypadku stosuje się mąki z ryżu, gryki, kukurydzy i innych roślin, które nie zawierają glutenu (dieta bezglutenowa).

Dokładne określenie rodzaju mąki odbywa się przez jej podział na typy, które są ustalane na podstawie zawartości substancji mineralnych, zwanych popularnie "popiołem". Proces ten polega na spopieleniu próbki badanej mąki w specjalnym piecu przy temperaturze 950 °C przez godzinę. Substancje organiczne zostają spalone, a pozostaje popiół, który stanowi substancje mineralne w mące. Typ mąki jest wyrażony jako procent zawartości popiołu pomnożony przez 1000. Im niższy typ mąki, tym jaśniejsza jest jej barwa, a im wyższy typ, tym mąka będzie ciemniejsza. Przykładowo, mąka typu 450 posiada zawartość popiołu na poziomie 0,45%, a mąka typu 2000 na poziomie 2,00%.

Barwa mąki jest bezpośrednio związana z zawartością rozdrobnionej okrywy owocowo-nasiennej ziarna. "Biała" mąka jest produkowana z centralnej części ziarna, z bielma mącznego, które stanowi około 82% zawartości ziarna pszenicy. Natomiast okrywa owocowo-nasienne, która zawiera 6-10% popiołu, tworzy zewnętrzną warstwę ziarna. Im większy stopień rozdrobnienia okrywy i przejście jej do mąki, tym większa zawartość popiołu, większy typ mąki i ciemniejsza jej barwa.

Podstawowy podział mąki na typy podają Polskie Normy: PN-A-74022:2003 Przetwory zbożowe. Mąka pszenna oraz PN-A-74032: 2002 Przetwory zbożowe. Mąka żytnia. Oprócz Polskich Norm mogą istnieć normy lub specyfikacje zakładowe, w których producenci mąki mogą ustalać swoje typy mąki, np. mąka pszenna typ 500 lub typ 850, które zostały wykluczone z obecnej Polskiej Normy (tabela 7).

Tabela 7. Typy mąki pszennej i żytniej

typy mąki pszennej z pszenicy zwyczajnej według PN-A-74022:2003	zawartość popiołu [%]	typy mąki żytniej według PN-A-74032:2002	zawartość popiołu [%]	typy mąki makaronowej uzyskiwanej z przemiału pszenicy twardej według PN-92/A-74021	zawartość popiołu [%]
450: tortowa	0,50	500	0,58	semolina	0,90
550: luksusowa	0,51 - 0,58	720	0,59 - 0,78	950	0,95
650	0,59 - 0,69	1150	0,79 - 1,31	1750	1,75
750: chlebowa	0,70 - 0,78	1400	1,31 - 1,60	-	-
1050	0,79 - 1,20	2000	2,00	-	-
1400: sitkowa	1,21 - 1,60	-	-	-	-
1850: graham	1,61 - 2,00	-	-	-	-
2000: razowa	2,00	-	-	-	-

Mąkę do produkcji makaronu „popularnego” można otrzymywać również z pszenicy zwyczajnej, która służy do produkcji zwykłej mąki pszennej detalicznej, piekarskiej i cukierniczej, np. według PN-93/A-74020. Makaron, który produkowany jest we Włoszech i innych krajach, powstaje zazwyczaj z semoliny (mąka z pszenicy twardej).

Polska jest znana z wysokiej jakości mąki, a jej produkty są eksportowane do wielu krajów na całym świecie. Branża mączna odgrywa ważną rolę w gospodarce Polski i ma duże znaczenie dla przemysłu piekarskiego oraz produkcji wyrobów cukierniczych. Proces produkcji mąki podlega regulacjom sanitarnym i jakościowym, aby zapewnić bezpieczeństwo żywnościowe i jakość produktów dla konsumentów.

### **2.3 Pieczywo i jego produkcja w Polsce**

Produkcja pieczywa w Polsce ma długą i bogatą historię, a pieczywo jest ważnym elementem polskiej kultury kulinarnej. Polska jest znana z różnorodności pieczywa, w tym popularnych rodzajów takich jak chleb pszenny, chleb żytni i wiele innych. Piekarnie w Polsce oferują szeroki wybór pieczywa, w tym tradycyjne i regionalne warianty, co jest ważnym elementem polskiej kultury spożywania. Produkcja pieczywa stanowi ważną część przemysłu spożywczego w Polsce, a piekarnie dostarczają pieczywo zarówno na rynek krajowy, jak i na eksport.

Produkcja pieczywa jest procesem, który obejmuje wiele różnych technologii i etapów. Podziału na rodzaje pieczywa można dokonać np. ze względu na rodzaj mąki użytej do wypieku. W produkcji pieczywa mogą być stosowane różne technologie, w zależności od rodzaju pieczywa i skali produkcji. Wyróżniamy pieczywo pszenne, żytnie i mieszane.

Pieczywo pszenne to pieczywo produkowane z mąki pszennej na drożdżach, z dodatkiem soli, cukru, tłuszczu a także innych dodatków zgodnie z PN-92-A-74105. Wytwarzane jest tylko z mąki pszennej. Charakteryzuje się jasną barwą, lekkością i delikatnym smakiem. Istnieją również różne rodzaje pieczywa, takie jak chleb drożdżowy, bułki, bagietki, czy inne rodzaje pieczywa, które wymagają specyficznych procesów produkcji.

Ogólnie pieczywo pszenne możemy podzielić na trzy podstawowe kategorie:

- zwykłe (m. in. chleb pszenny, razowy, graham, bułki, bagietki),
- wyborowe (m. in. rogałe, kajzerki, chleb tostowy, bułka wrocławska),
- cukiernicze (m. in. chałka, bułki maślane, rogałe maślane).

Chleb żytni to pieczywo wyprodukowane z mąki żytniej na zakwasie z dodatkiem soli i innych surowców określonych w recepturze z maksymalnie 10% dodatkiem mąki pszennej zgodnie z PN-92-A-74101. Wypiekane jest z mąki żytniej o różnym stopniu przetworzenia.

Najpopularniejszym rodzajem mąki żytniej jest mąka typu 720, charakteryzująca się dość drobną teksturą i konsystencją zbliżoną do jasnej mąki pszennej. Pieczywo żytnie dostępne w sklepach najczęściej przygotowane jest na bazie drożdży lub mieszanki drożdży i zakwasu. Chleb żytni przygotowuje się z trzech podstawowych produktów: mąki żytniej, wody i soli. Co ważne, chleb żytni może zawierać maksymalnie 15% mąki pszennej. Najpopularniejsze rodzaje tego chleba to: lekki, jasny mleczny, razowy, pełnoziarnisty, staropolski, razowy na miodzie, razowy z dodatkami (np. soją i słonecznikiem).

Pieczywo mieszane, najpopularniejszy rodzaj pieczywa produkowanego w Polsce, to pieczywo pszenno-żytnie lub żytnio-pszenne jak również z dodatkami innej mąki np.: kukurydzianej, gryczanej, orkiszowej itp. Może również zawierać bogate w minerały, witaminy, błonnik oraz przeróżne ziarna. Jest traktowane jako zdrowsza odmiana pieczywa jasnego pozbawionego większości wartości odżywczych. Tego typu pieczywo przygotowywane jest zwykle z mieszanki mąki pszennej i żytniej w różnych proporcjach. Dla pieczywa mieszanego, w zależności od stosunku ilościowego użytych mąk pszennej i żytniej, wyróżniano pieczywo żytnio-pszenne zawierające w przewadze mąkę żytnią oraz pieczywo pszenno-żytnie – zawierające w przewadze mąkę pszenną przy czym mąki żytniej nie powinno być mniej niż 15% zgodnie z normą PN-93-A-74103. Najpopularniejsze chleby tego rodzaju to: zwykły, poznański, praski, mazowiecki, zakopiański, łęczycki, kaszubski, chleb wiejski, krakowski, mleczny, praski, baltonowski. Tego typu pieczywo mieszane jest dużo łatwiejsze w przygotowaniu niż to typowo żytnie, ponieważ można stosować różne typy mąki w dowolnych proporcjach i dostosowywać je do preferencji klientów.

Schemat technologiczny produkcji pieczywa może różnić się w zależności od rodzaju pieczywa i lokalnych praktyk. W tabeli 8 przedstawiono ogólny schemat technologiczny produkcji tradycyjnego chleba pszennego. Schemat technologiczny jest ogólnym modelem produkcji pieczywa. Produkcja pieczywa rozpoczyna się od prowadzenia ciasta. Jest to proces, który ma na celu przygotowanie ciasta do wypieku chleba, bułek, ciastek lub innych wyrobów piekarniczych. W zależności od typu produkowanego pieczywa, wyróżniamy różne metody prowadzenia ciasta dla pszennego i żytniego pieczywa.

Prowadzenie ciasta pszennego różni się w zależności od przepisu i rodzaju wypieku, a proporcje i techniki produkcji mogą być różne w zależności od danej receptury. Wyróżniamy metodę bezpośrednią (jednofazową) i pośrednią (dwufazową). Schemat prowadzenia ciasta pszennego metodą jednofazową przedstawiono na rysunku 5. Jednofazowe prowadzenie ciasta pszennego polega na wytworzeniu go ze wszystkich surowców przewidzianych w przepisie technologicznym. Najpierw dozuje się wodę i drożdże w celu wytworzenia mlecza

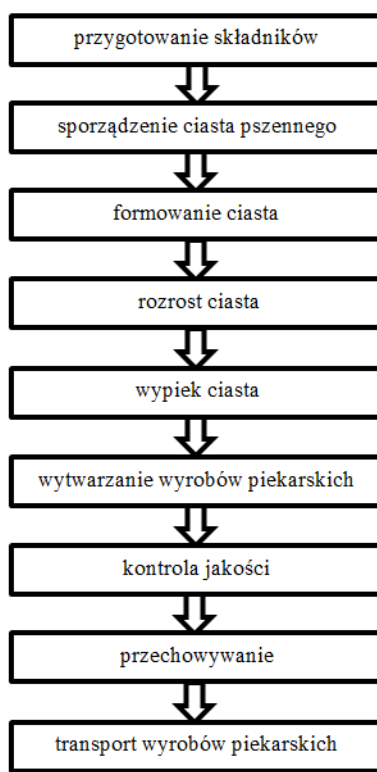
drożdżowego, kolejno dozuje się przesianą mąkę, a następnie wodne roztwory soli i cukru i innych dodatków. Po dodaniu wszystkich składników ciasto poddaje się wymieszaniu. O ile przepis technologiczny przewiduje dodatek tłuszczu, należy dokonać wstępnego zamieszenia, po czym dodać tłuszcz i połączyć go z ciastem. Po połączeniu się wszystkich składników należy powierzchnię ciasta posypać cienką warstwą mąki i odstawić do fermentacji na 2 do 3 godzin. Fermentujące ciasto powiększa ok. dwukrotnie swoją objętość.

Tabela 8. Etapy procesu produkcji pieczywa

etapy procesu produkcji pieczywa	opis procesu
mieszanie składników	mąka pszenna jest podstawowym składnikiem w produkcji większości chlebów
	woda jest dodawana do mąki, aby utworzyć ciasto. ilość wody może być dostosowywana w zależności od rodzaju chleba
	drożdże (najczęściej suche lub świeże) są dodawane do ciasta jako źródło fermentacji
	sól jest używana zarówno do poprawienia smaku, jak i regulacji procesu fermentacji
	cukier może być używany jako źródło pożywienia dla drożdży i do poprawienia smaku
	tłuszcze (np. olej lub masło) mogą być dodawane, aby poprawić teksturę chleba
mieszanie i wyrabianie ciasta	składniki są mieszane razem, a następnie ciasto jest wyrabiane. wyrabianie jest istotne, aby wytworzyć odpowiednią strukturę glutenu i zapewnić elastyczność ciasta
fermentacja	ciasto jest pozostawiane do wyrośnięcia w ciepłym i wilgotnym miejscu. drożdże przekształcają cukry w ciągu fermentacji, wytwarzając dwutlenek węgla i alkohol, co sprawia, że ciasto unosi się i rośnie
formowanie i kształtowanie	po fermentacji ciasto jest formowane i kształtowane w odpowiednie kształty, na przykład w formie bochenków lub bagietek
drugie wyrośnięcie	uformowane chleby są pozostawiane na drugie wyrośnięcie, aby jeszcze raz się uniosły
wypiekanie	chleby są wypiekane w piecu. temperatura i czas pieczenia zależą od rodzaju chleba. w czasie pieczenia zachodzi proces brązowienia skórki chleba (efekt maillarda)
chłodzenie	po wypieku chleby są chłodzone, aby zatrzymać proces pieczenia i zapobiec utracie wilgoci
pakowanie i dystrybucja	chleby są pakowane w opakowania lub dostarczane na półki sklepowe w swojej naturalnej formie
kontrola jakości	przemysł piekarski kontroluje jakość chleba, upewniając się, że jest ono odpowiednio wypieczone i spełnia normy dotyczące smaku, konsystencji i wyglądu

Ciasta prowadzone metodą dwufazową nazywają się ciastami rozczynowymi. Rozczyn – jest to stosunkowo rzadka zawiesina mąki i drożdży w wodzie. Wielkość rozczywu oraz jego konsystencję reguluje się w zależności od właściwości wypiekowych mąki. Otrzymany rozczywny posypuje się warstwą mąki grubości około 1 cm i odstawia do fermentacji na około 1 do 1,5

godziny. Przefermentowany rozczyń uzupełnia się pozostałymi surowcami i w końcu wytwarza się ciasto właściwe. Otrzymane ciasto posypuje się mąką i odstawia do fermentacji na ok. 1 do 1,5 godziny.



Rys. 5. Schemat ogólny prowadzenia ciasta pszennego

W przypadku pieczywa żytniego schemat ogólny produkcji przedstawiono na rysunku 6 i wyróżnia się następujące etapy: przygotowanie ciasta do fermentacji, fermentacja, formowanie i rozrost oraz pieczenie i pakowanie. fermentację ciasta prowadzi się fazami, w których w zależności od temperatury, konsystencji ciasta i stopnia ukwaszenia przewagę ma fermentacja alkoholowa lub mlekowa. Wyróżnia się wielofazowe i krótkie prowadzenie ciasta żytniego Alternatywy prowadzenia ciasta żytniego metodami wielofazowymi przedstawiono w tabeli 9.

Tabela 9. Metody prowadzenia ciasta żytniego

metody prowadzenia ciasta żytniego			
dwufazowa	trójfazowa	czterofazowa	pięciofazowa
kwas	półkwas	przedkwas	zaczątek
ciasto	kwas	półkwas	przedkwas
-	ciasto	kwas	półkwas
-	-	ciasto	kwas
-	-	-	ciasto



Rys. 6. Schemat ogólny prowadzenia ciasta żytniego

Ciasta mieszane produkuje się z mąki pszennej i żytniej. Półprodukty (zakwasy lub rozczyny) prowadzi się osobno z mąki pszennej i żytniej. Stosuje się następujące metody prowadzenia ciast na pieczywo mieszane:

- prowadzenie zakwasów pszennych i dozowanie mąki żytniej do ciasta,
- prowadzenie zakwasów żytnich i dozowanie maki pszennej do ciasta,
- osobne prowadzenie zakwasu i rozczynu, a następnie łączenie tych półproduktów przy końcowym wytwarzaniu ciasta.

Do prowadzenia ciasta na zakwasach wykorzystuje się ciasta, które wytwarzane są z mąki żytniej i pszennej, przy czym, im więcej mąki żytniej tym bardziej ciasto jest poddawane ukwaszeniu. Prowadząc ciasto mieszane na zakwasie należy mąkę pszenną dozować w końcowym procesie fermentacji. Uzyskane z tego kwasu pieczywo jest zbite, lepkie i ma mało porowaty mięksisz.

Ciasto na rozczynach drożdżowych jest ciastem mieszanym, które wytwarza się z przeważającą ilością mąki pszennej. Można prowadzić ciasto na rozczynie z odpowiednią ilością mąki pszennej, a następnie przerobić po dodaniu maki żytniej i pozostałej ilości mąki pszennej. Ciasto o lepszej strukturze uzyskuje się, gdy do rozczynu z mąki pszennej dozuje się połowę mąki żytniej w postaci rozwodnionego zakwasu. Jakość uzyskanego pieczywa z ciasta mieszanego zależy od odpowiedniego połączenia mąki żytniej i pszennej.

Kolejną metodą jest wytwarzanie ciasta na wolnych półkwasach, tzw. żurkach. Przygotowanie ciasta według tej metody charakteryzuje się tym, że zamiast normalnie zastosowanych półkwasów o małej wydajności używa się półkwasów „wolnych” o wydajności 300-400, prowadzonych przez około 20 h w temperaturze 25°C. Odnowienie takiego półkwas odbywa się przez odbieranie 1/5 dojrzałego półkwasu do przygotowania następnego. Do nowego przygotowania półkwasu dodaje się tzw. normalny kwas, w którym ilość mąki powinna być równa 1/4 ilości mąki zużywanej do nowo przygotowanego półkwasu. Kwas o wydajności 220 prowadzi się w czasie 3h przy temperaturze 28-30°C.

Schematy jednostkowe produkcji pieczywa znacznie różnią się w zależności od wytwarzanego produktu i zastosowanej technologii.

### **3. Metodyka szacowania śladu węglowego**

Śladem węglowym (*CF – Carbon Footprint*) nazywamy oszacowaną emisję gazów cieplarnianych do atmosfery w całym cyklu życia danego produktu, procesu czy technologii. Gazy cieplarniane (dwutlenek węgla, metan, podtlenek azotu, fluorowęglowodory, perfluorokarbyony, sześćiofluorek siarki) w różnym stopniu wpływają na efekt cieplarniany, który mierzony jest w odniesieniu do jednej cząstki CO<sub>2</sub>. Globalny Potencjał Ocieplenia GWP (Global Warming Potential) - oznacza wskaźnik porównujący siłę oddziaływania danego gazu cieplarnianego na ocieplenie klimatu, do siły oddziaływania dwutlenku węgla. GWP obliczany jest na podstawie skutków oddziaływania jednego kilograma danego gazu na ocieplenie klimatu w ciągu 100 lat w porównaniu do oddziaływania jednego kilograma CO<sub>2</sub>.

Ślad węglowy obliczony z wykorzystaniem Globalnego Potencjału Ocieplenia może być wyrażany w odniesieniu do jednostek organizacyjnych, procesu produkcyjnego, wykonywanych usług, produktu oraz konsumenta.

W analizie śladu węglowego uwzględniane są dwa rodzaje emisji:

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

Wartość śladu węglowego (CF) podaje się w ekwiwalentnej ilości (CO<sub>2-e</sub>), którą oblicza się ze



wzoru z wykorzystaniem danych z tabeli 10:

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

gdzie:

$CO_{2-e}$  – ekwiwalentna wielkość emisji wyrażona w kg (lub innych jednostkach masy)  $CO_2$ ,

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

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

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

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

gdzie:

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

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

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

Tabela 10. Wartości GWP100 (Global Warming Potential – potencjału globalnego ocieplenia) wybranych gazów cieplarnianych w horyzoncie 100 lat [PN-69/R-75021]

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

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

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



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



**ZAKŁAD TECHNOLOGII  
I TECHNIKI CHŁODNICTWA**

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

**tel. (+48) 42 674 64 14**

**magdalena.jedrzejewska@ibprs.pl**