

Innowacje w technologii żywności

Nowe horyzonty i praktyczne zastosowania

Innowacje w technologii żywności

Nowe horyzonty i praktyczne zastosowania

redakcja naukowa

Małgorzata Pawłos

Michał Miłek



WYDAWNICTWO
UNIwersYTETU RZESZOWSKIEGO
RZESZÓW 2026

Recenzowali
prof. dr hab. MICHAŁ ŚWIECA
dr hab. inż. KATARZYNA MARCINIAK-ŁUKASIAK, prof. SGGW

Opracowanie redakcyjne i korekta
LUCYNA SOLAK

Korekta tekstów w j. angielskim
MAGDALENA MICHNIEWICZ

Korekta techniczna
JULIA SOŃSKA-LAMPART

Łamanie
PAWEŁ OCZOŚ

Projekt okładki
ALEKSANDRA DUBIEL



Publikacja współfinansowana przez Podkarpacki Oddział
Polskiego Towarzystwa Technologów Żywności

Publikacja jest dostępna na licencji Creative Commons
(CC BY-NC-ND 4.0 International)



© Copyright by
Wydawnictwo Uniwersytetu Rzeszowskiego
Rzeszów 2026

ISBN 978-83-8277-375-0 (druk)
ISBN 978-83-8277-327-9 (online)
DOI: 10.15584/978-83-8277-327-9

2261

WYDAWNICTWO UNIwersYTETU RZESZOWSKIEGO
35-959 Rzeszów, ul. prof. Stanisława Pigionia 6
tel.: + 48 17 872 13 69 (kolportaż), + 48 17 872 14 26 (sekretariat)
e-mail: wydawnictwo@ur.edu.pl; <https://wydawnictwo.ur.edu.pl>
Wydanie I; format B5; ark. wyd. 17,00; ark. druk. 16,25; zlec. red. 45/2025

Druk i oprawa: Drukarnia Uniwersytetu Rzeszowskiego

SPIS TREŚCI

Małgorzata Pawłos, Michał Milek	
Wprowadzenie	7
Agata Znamirska-Piotrowska, Małgorzata Pawłos, Katarzyna Szajnar, Magdalena Kowalczyk, Julita Drobnik	
Powierzchnia i struktura ekologicznych użytków rolnych oraz produkcja żywności eko- logicznej	9
Katarzyna Szajnar, Agata Znamirska-Piotrowska, Małgorzata Pawłos, Magdalena Kowalczyk, Julita Drobnik	
Znakowanie żywności ekologicznej	19
Magdalena Kowalczyk, Agata Znamirska-Piotrowska, Małgorzata Pawłos, Katarzyna Szajnar, Julita Drobnik	
Substancje bioaktywne mleka	27
Małgorzata Pawłos, Agata Znamirska-Piotrowska, Julita Drobnik, Katarzyna Szajnar, Magdalena Kowalczyk	
Zastosowanie alternatywnych związków wapnia w mleczarstwie	37
Karolina Mroczek, Grzegorz Zagula	
Rola napojów izotonicznych w diecie sportowców wytrzymałościowych – zastosowanie napojów izotonicznych w kontekście regeneracji po wysiłku	45
Grzegorz Zagula, Karolina Mroczek, Łukasz Kogut	
Wybrane nowoczesne metody utrwalania żywności	55
Piotr Kuźniar	
Kogeneracja i trigeneracja w przemyśle spożywczym	65
Greta Adamczyk, Natalia Żurek, Tomasz Cebulak	
Produkcja margaryny – innowacje technologiczne	81
Natalia Szarek, Karolina Pycia, Grażyna Jaworska	
Suszenie rozpyłowe jako innowacyjna metoda produkcji proszków z soków owocowych i warzywnych	93
Renata Tobiasz-Salach, Sandra Sarzyńska	
Rola owsa i produktów owsianych w profilaktyce chorób cywilizacyjnych	103
Joanna Kaszuba, Barbara Krochmal-Marczak, Tomasz Cebulak	
Rozwój produktów opartych na białkach roślinnych oraz ich udział w kształtowaniu zrów- noważonego rozwoju produkcji żywności w Polsce i na świecie	113

Tomasz Cebulak, Joanna Kaszuba, Greta Adamczyk, Barbara Krochmal-Marczak	
Fermentowane napoje roślinne elementem zrównoważonej diety	127
Marek Zborowski, Anna Mikulec	
Wykorzystanie owadów jadalnych w produkcji żywności	141
Marian Gil, Mariusz Rudy, Paulina Duma-Kocan, Renata Stanisławczyk, Mateusz Rudy	
Bezpieczeństwo spożycia oraz wykorzystania owadów w produkcji żywności	157
Michał Milek, Karolina Kasiedczak (z d. Szymaniak), Małgorzata Dżugan	
Wpływ wybranych metod utrwalania oraz wzbogacania ekstraktem propolisu na aktywność antyoksydacyjną owoców gruszy	167
Małgorzata Dżugan, Anita Maguda, Monika Tomczyk	
Wykorzystanie ekstraktów owocowych i propolisu w produkcji słodczych funkcjonalnych ...	177
Paweł Hanus, Łukasz Kogut, Grzegorz Zaguła	
Nowe horyzonty w produkcji win: zastosowanie chmielenia w tworzeniu win z owoców tropikalnych	189
Monika Tomczyk, Karolina Ożóg, Anna Pasternakiewicz, Michał Milek	
Wykorzystanie produktów ubocznych z produkcji soków z czarnej porzeczki jako składnika funkcjonalnego ciastek kruchych	209
Aleksandra Kucharz, Dorota Grabek-Lejko	
Mikroorganizmy w mięsie zwierzyny łownej	221
Oliwia Pieczykolan, Anna Augustyńska-Prejsnar, Małgorzata Ormian	
Wpływ marynowania mięsa drobiowego z wykorzystaniem oleju z pestek dyni i soku z cytryn na jakość gotowego produktu	231
Kinga Tworek, Małgorzata Ormian, Anna Augustyńska-Prejsnar, Jadwiga Topczewska	
Wpływ dodatku suszonych liści bylicy pospolitej na cechy jakościowe drobiowego produktu mięsnego	247

WPROWADZENIE

Monografia pt. *Innowacje w technologii żywności. Nowe horyzonty i praktyczne zastosowania* została opracowana z inicjatywy członków Podkarpackiego Oddziału Polskiego Towarzystwa Technologów Żywności i stanowi zbiór artykułów naukowych poświęconych wybranym aspektom współczesnej technologii żywności i żywienia człowieka.

Zamieszczone w niej opracowania odnoszą się do aktualnych problemów i trendów badawczych, obejmują m.in. zagadnienia związane z rolnictwem i znakowaniem żywności ekologicznej, zastosowaniem ekstraktów roślinnych i produktów pszczelich w żywności funkcjonalnej, nowoczesnymi metodami utrwalania, fermentacji i suszenia, a także wykorzystaniem alternatywnych źródeł białka, w tym surowców pochodzenia roślinnego i owadów jadalnych. Uwzględniono również kwestie związane z certyfikacją, oceną jakości oraz zagospodarowaniem produktów ubocznych przemysłu spożywczego.

Monografia charakteryzuje się spójnością tematyczną i interdyscyplinarnym ujęciem problematyki. Wśród autorów znajdują się głównie członkowie Podkarpackiego Oddziału PTTŻ, a także przedstawiciele innych ośrodków naukowych, co wzbogaca perspektywę merytoryczną publikacji.

Redaktorzy naukowci pragną wyrazić podziękowanie wszystkim Autorom za przygotowanie wartościowych opracowań oraz Recenzentom za ich wnikliwe i merytoryczne uwagi.

Redaktorzy naukowci
dr inż. Małgorzata Pawłós
dr inż. Michał Miłek

Agata Znamiorska-Piotrowska^{1,*}, Małgorzata Pawłos¹,
Katarzyna Szajnar¹, Magdalena Kowalczyk¹, Julita Drobnik²

POWIERZCHNIA I STRUKTURA EKOLOGICZNYCH UŻYTKÓW ROLNYCH ORAZ PRODUKCJA ŻYWNOŚCI EKOLOGICZNEJ

Streszczenie: Unia Europejska do 2030 r. planuje objąć produkcją ekologiczną 25% gruntów rolnych położonych na jej terenie. Austria już w 2019 r. osiągnęła poziom 26% powierzchni upraw ekologicznych, a w Estonii i Szwecji wskaźnik ten przekroczył 20%. W Polsce w 2020 r. powierzchnia upraw ekologicznych wynosiła jedynie 3,4% całkowitej powierzchni użytków rolnych. W 2022 r. w UE metodami ekologicznymi utrzymywano tylko 7,2% stad bydła mięsnego, 4,9% krów mlecznych, 10,4% owiec i 12,7% kóz w odniesieniu do stad konwencjonalnych. Największymi rynkami produktów ekologicznych na świecie były Stany Zjednoczone, Niemcy oraz Chiny. W 2022 r. europejscy konsumenci wydali średnio 64 euro na żywność ekologiczną na osobę, a tylko w Unii Europejskiej 102 euro.

Wprowadzenie

W czerwcu 2018 r. Unia Europejska wdrożyła Rozporządzenie 2018/848 dotyczące produktów ekologicznych oraz poprawki i dodatkowe przepisy obowiązujące od 2023 r. Zwłaszcza handel międzynarodowy produktami ekologicznymi z krajów trzecich wymagać będzie zgodności z przepisami UE i nie może już polegać na umowach o równoważności [Smith i in. 2019]. Inicjatywy Komisji Europejskiej, takie jak Europejski Zielony Ład, strategia „od pola do stołu” oraz strategia na rzecz bioróżnorodności, mają na celu osiągnięcie zrównoważonych systemów produkcji żywności do 2030 r. W Polsce obowiązuje Ustawa z dnia 23 czerwca 2022 r. o rolnictwie ekologicznym i produkcji ekologicznej (Dz.U. 2022, poz. 1370), która zawiera postanowienia unijnych przepisów dotyczących produkcji ekologicznej i znakowania produktów ekologicznych.

¹ Zakład Technologii Mleczarstwa, Wydział Technologiczno-Przyrodniczy, Uniwersytet Rzeszowski, ul. Ćwiklińskiej 2D, 35-959 Rzeszów.

² SKN Technologów Żywności Ferment, Wydział Technologiczno-Przyrodniczy, Uniwersytet Rzeszowski, ul. Ćwiklińskiej 2D, 35-959 Rzeszów.

* aznamiowska@ur.edu.pl

Powierzchnia upraw ekologicznych

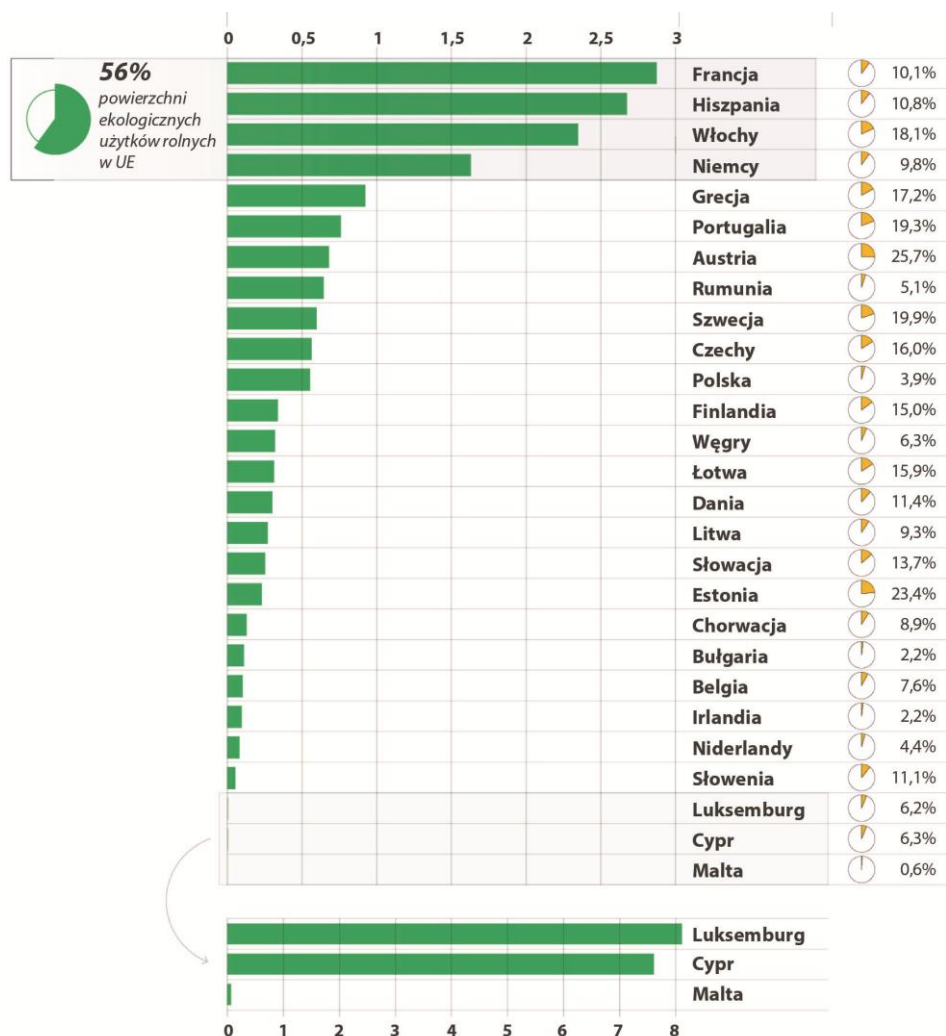
Statystyki dotyczące rolnictwa ekologicznego są prowadzone w 187 krajach na całym świecie. Obecnie certyfikacją ekologiczną objęte jest 72,3 miliona ha gruntów rolnych, wliczając w to również tereny będące w trakcie procesu konwersji na rolnictwo ekologiczne. W 16 krajach udział powierzchni upraw ekologicznych w całkowitej powierzchni gruntów rolnych przekracza 10%. Na świecie funkcjonuje około 3,1 miliona producentów zajmujących się rolnictwem ekologicznym. Wartość globalnego rynku żywności ekologicznej przekroczyła już 106 miliardów euro [Koalicja 2021].

W 2022 r. aż 96,4 miliona ha gruntów rolnych na świecie było przeznaczonych na uprawy ekologiczne, wliczając tereny, które są w trakcie przekształcania na ekologiczne. Oceania wyróżnia się jako region z największą powierzchnią ekologicznych gruntów rolnych, posiadając 53,2 miliona ha, co stanowi ponad połowę (55%) wszystkich ekologicznych gruntów rolnych na świecie. Europa zajmuje drugie miejsce z 18,5 miliona ha, co odpowiada 19% globalnej powierzchni ekologicznych upraw. Następne są Ameryka Łacińska z 9,5 miliona ha (10%), Azja z 8,8 miliona ha (9,2%), Ameryka Północna z 3,6 miliona ha (3,8%) oraz Afryka z 2,7 miliona ha (2,8%) [Willer i in. 2024].

Prawie 40% gruntów w UE jest wykorzystywanych na potrzeby rolnictwa [Eurostat 2020]. Choć podstawowym zadaniem rolnictwa jest dostarczanie żywności, przyczynia się ono również do rozwoju obszarów wiejskich i zwiększenia ich spójności społecznej.

Rolnictwo ekologiczne opiera się na ścisłym ograniczeniu stosowania syntetycznych pestycydów i nawozów, przyczynia się do zwiększenia różnorodności biologicznej oraz zmniejszenia zanieczyszczenia wody, powietrza i gleby [Smith i in. 2019].

W ostatnich latach kilka krajów europejskich, takich jak: Niemcy, Francja, Estonia, Finlandia, Szwecja czy Słowenia, postawiło sobie za cel zwiększenie udziału upraw ekologicznych do poziomu 20% całkowitej powierzchni gruntów rolnych. Austria już w 2019 r. osiągnęła 26% powierzchni upraw ekologicznych, a w Estonii i Szwecji wskaźnik ten również przekroczył 20%. Na tle tych krajów Polska wypada stosunkowo słabo, zajmując piąte miejsce od końca w Unii Europejskiej i wyprzedzając jedynie Irlandię, Maltę, Bułgarię i Rumunię [Eurostat 2024a]. Polska była jedynym krajem w UE, w którym odnotowano spadek powierzchni gruntów przeznaczonych na uprawy ekologiczne na przestrzeni kilku lat [GUS 2024]. Dane Ministerstwa Rolnictwa i Rozwoju Wsi (MRiRW) z 2020 r. wskazują, że w naszym kraju powierzchnia upraw ekologicznych obejmowała około 510 tysięcy hektarów, co stanowiło jedynie 3,4% całkowitej powierzchni użytków rolnych. Liczba gospodarstw ekologicznych wynosiła wówczas 18 772, czyli zaledwie 1,3% ogólnej liczby gospodarstw rolnych w kraju [Przybylak i Żakowska 2021].



Rysunek 1. Powierzchnia ekologicznych gruntów rolnych w UE i ich udział w całkowitej wykorzystywanej powierzchni użytków rolnych

Źródło: Europejski Trybunał Obrachunkowy 2024

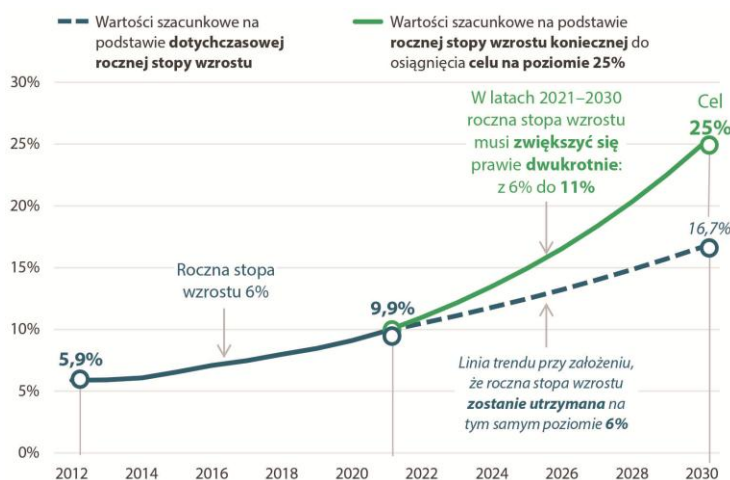
Najniższy udział obszarów ekologicznych certyfikowanych odnotowano w Portugalii (35%), Bułgarii (55%), Grecji (65%) i Rumunii (66%), co podkreśla potencjał dalszego wzrostu obszarów certyfikowanych w tych krajach w nadchodzących latach. Rzeczywiście, krajowe środki wsparcia w Portugalii doprowadziły do prawie dziesięciokrotnego wzrostu powierzchni ekologicznej „w trakcie konwersji” między 2020 a 2022 r., z 50 000 ha do 491 000 ha [Eurostat 2024a].

W 2022 r. około 17 mln ha gruntów w UE przeznaczono na uprawy ekologiczne, co stanowi 10,5% całkowitej wykorzystywanej powierzchni użytków

rolnych [Smith i in. 2019]. Odsetek ekologicznych użytków rolnych mieści się w przedziale od 0,6% na Malcie do 25,7% w Austrii, co pokazano na rysunku 1. Najwięcej powierzchni pod użytkowanie ekologiczne w UE przeznaczyły cztery państwa: Francja, Hiszpania, Włochy i Niemcy. W sumie aż 56% ekologicznych użytków rolnych w UE znajduje się w tych czterech państwach. Niestety w Polsce tylko 3,9% [Przybylak i Żakowska 2021].

Aby do 2030 r. udało się objąć produkcją ekologiczną 25% gruntów rolnych w UE, praktyki rolnictwa ekologicznego należy wprowadzać dwa razy szybciej niż obecnie (rysunek 2). W 2023 r. Europejska Agencja Środowiska poinformowała, że obecna polityka i wsparcie publiczne najprawdopodobniej przyczynią się do zwiększenia areалу upraw ekologicznych, ale nie w takim stopniu, by umożliwić osiągnięcie planowanego celu [EEA 2023].

W 2023 r. nastąpił wzrost powierzchni ekologicznych użytków w Polsce do 636 021,41 ha, a łącznie producentów ekologicznych w kraju jest już 23 995 [KSOW 2024]. Największą powierzchnię ekologicznych użytków rolnych zajmowały uprawy zbóż, na drugim miejscu znajdowały się rośliny okopowe, przemysłowe, dalej warzywa, owoce i orzechy [IJHARS 2023]. W strukturze obszarowej dominują gospodarstwa o powierzchni od 10 do 20 ha (25% ogółu) oraz od 20 do 50 ha (24% ogółu). Ponad połowa gospodarstw ekologicznych w Polsce zlokalizowana jest w czterech województwach tj.: warmińsko-mazurskim (18% ogółu), podlaskim (16%), mazowieckim i zachodniopomorskim (po ok. 12%). Na terenie tych województw znajduje się także największa powierzchnia upraw ekologicznych. Województwami, na terenie których udział użytków ekologicznych w ogólnej powierzchni użytków rolnych jest najmniejszy (tj. poniżej 1%) są województwa: opolskie i kujawsko-pomorskie.



Rysunek 2. Szacowane roczne stopy wzrostu upraw ekologicznych

Źródło: Europejski Trybunał Obrachunkowy 2024

Ekologiczna produkcja zwierzęca

W 2022 r. w Unii Europejskiej ekologicznie utrzymywano 5,4 mln sztuk bydła, co odpowiada 7,2% ogółu bydła w UE (74,8 mln sztuk) w porównaniu do 2018 r., kiedy chów ekologiczny obejmował 4,3 mln sztuk bydła, co stanowiło 5,5% (ogółem w UE było 77,8 mln sztuk). W tym samym roku ekologicznie utrzymywano w UE 1,0 mln krów mlecznych (4,9% stada krów ogółem w UE), 6,1 mln owiec (10,4% stada ogółem w UE) i 1,4 mln kóz (12,7% stada kóz ogółem w UE) [Eurostat 2024a]. Na przykład w 2022 r. od 30% do 45% owiec i kóz było chowanych metodami ekologicznymi w Estonii (44%), Czechach (41%), Austrii (36%), Grecji (35%) i na Łotwie (34%). Około 46% bydła w Grecji pochodziło z produkcji ekologicznej. Grecja miała również najwyższy odsetek utrzymywanych ekologicznych krów mlecznych (31%) przed Austrią (22%) i Szwecją (18%). Udział świń utrzymywanych ekologicznie w 2022 r. był znacznie niższy, a najwyższe pogłowie tego gatunku wykazano w Luksemburgu (5%), Francji i Danii (po 4%) [Eurostat 2024c]. W Polsce w 2023 r. względem 2022 r. w obszarze ekologicznej produkcji zwierzęcej znacząco zwiększyła się produkcja mleka krowiego oraz wzrosło pogłowie zwierząt, szczególnie drobiu [IJHARS 2023].

Rynek żywności ekologicznej

Od ponad dwudziestu lat rynek żywności ekologicznej w Europie jest jednym z najszybciej rozwijających się sektorów branży spożywczej. W niektórych europejskich krajach udział produktów ekologicznych w całkowitej sprzedaży żywności przekroczył już 10%. Co więcej, pomimo trudności ekonomicznych, jakie dotknęły konsumentów w czasie pandemii, sprzedaż żywności ekologicznej globalnie wzrosła. W Polsce również obserwuje się wyraźny trend wzrostowy w wydatkach na produkty ekologiczne [Przybylak i Żakowska 2021].

Zgodnie z raportem opracowanym przez Koalicję na rzecz Rozwoju Rynku Żywności Bio oraz NielsenIQ w 2021 r. [Koalicja 2021] wartość polskiego rynku żywności ekologicznej wynosi około 1,36 miliarda złotych. Polacy coraz częściej postrzegają żywność ekologiczną jako zdrowszą i bardziej naturalną alternatywę dla tradycyjnych produktów spożywczych. Wynika to z faktu, że została wyprodukowana z surowców, które nie zawierają pestycydów, sztucznych nawozów ani składników modyfikowanych genetycznie (GMO). Dla wielu konsumentów wybór produktów ekologicznych jest nie tylko kwestią zdrowia, ale również wyrazem troski o środowisko naturalne oraz chęci wspierania rolników stosujących zrównoważone i odpowiedzialne praktyki produkcji [Koalicja 2021]. W Polsce w 2023 r. działalność w sektorze produkcji ekologicznej prowadziło 23 995 producentów ekologicznych. Powierzchnia ekologicznych użytków rolnych wyniosła 636 021,41 ha. W 2022 r. największą powierzchnię ekologicznych użytków

rolnych zajmowały uprawy zbóż (tabela 1). Na drugim miejscu znajdowały się rośliny na paszę, strączkowe i warzywa. Najmniejszy udział w strukturze upraw miały ziemniaki (0,3%). Większość polskich przetwórców to małe i średnie gospodarstwa rodzinne. Łącznie przetwórstwem zajmuje się ponad 1,1 tys. podmiotów, z czego 35% zajmuje się przetwórstwem owoców i warzyw.

Tabela 1. Struktura ekologicznych użytków rolnych (w okresie konwersji i po zakończonym okresie konwersji), kategoria uprawy w Polsce w latach 2021–2022

Kategoria uprawy	Udział powierzchni upraw (w okresie konwersji i po zakończonym okresie konwersji) [%]	
	2021	2022
Zboża	31,0	33,9
Rośliny na paszę	23,9	22,3
Łąki i pastwiska	17,3	18,0
Uprawy sadownicze i jagodowe (owoce)	5,2	4,4
Warzywa	6,0	5,5
Rośliny strączkowe na suche nasiona	8,3	8,4
Rośliny przemysłowe	4,2	3,9
Pozostałe uprawy	3,8	3,3
Ziemniaki	0,3	0,3
Łącznie	100	100

Źródło: GIJHARS 2023

W 2022 r. globalna sprzedaż żywności i napojów ekologicznych osiągnęła imponującą wartość niemal 135 miliardów euro. Największymi rynkami produktów ekologicznych na świecie były Stany Zjednoczone, które wygenerowały sprzedaż na poziomie 58,6 miliarda euro, Niemcy z wynikiem 15,3 miliarda euro oraz Chiny, gdzie sprzedaż osiągnęła 12,4 miliarda euro. Stany Zjednoczone były jednocześnie największym pojedynczym rynkiem, odpowiadając za 43% globalnej sprzedaży. Na drugim miejscu uplasowała się Unia Europejska z wynikiem 45,1 miliarda euro, co stanowiło 34% światowego rynku, a trzecie miejsce zajęły Chiny z udziałem 9,2% (12,4 miliarda euro) [Willer i in. 2024]. W skali globalnej kraje europejskie przodują pod względem udziału sprzedaży żywności ekologicznej w swoich rynkach. Dania miała najwyższy udział w globalnym rynku żywności ekologicznej, który kształtował się na poziomie 12,0%, następnie Austria – 11,5% i Szwajcaria – 11,2%. W Polsce udział rynku produktów ekologicznych w rynku żywności ogółem nie przekracza 0,6%.

Wydatki konsumentów na żywność ekologiczną w przeliczeniu na mieszkańca podwoiły się w ciągu ostatniej dekady. Szwajcarzy i duńscy konsumenci w 2022 r. wydali najwięcej na żywność ekologiczną, odpowiednio: 437 i 365 euro. W 2022 r. łącznie siedem krajów odnotowało konsumpcję na mieszkańca przekraczającą

100 euro. Ciągłe rosnące zainteresowanie tymi produktami jest widoczne poprzez wzrost konsumpcji w przeliczeniu na mieszkańca. Wydatki na konsumpcję żywności ekologicznej w Europie wyniosły średnio 64 euro na osobę, podczas gdy w UE osiągnęły 102 euro [Eurostat 2024b]. Polski konsument na żywność ekologiczną wydał w 2021 r. tylko 8 euro.

W Europie podejmuje się różnorodne działania mające na celu promowanie żywności ekologicznej w szkołach, co jest kluczowe dla kształtowania świadomości młodego pokolenia na temat zdrowego odżywiania i zrównoważonego rozwoju. Fundusze wsparcia dla stołówek szkolnych, zarządzane przez ministerstwa rolnictwa, stanowią istotny element tego procesu. Ustanowione zasady, takie jak ograniczenie odległości dostaw surowców ekologicznych do 150 km, mają na celu nie tylko wsparcie lokalnych producentów, ale także zmniejszenie śladu węglowego związane z transportem żywności [Jasiński i in. 2019].

Warto zauważyć, że Francja jest jednym z krajów, które skutecznie wdrażają regulacje prawne w tej dziedzinie. Ustawa Egalim 3, która wymaga, aby 20% żywności w stołówkach szkolnych pochodziło z produkcji ekologicznej, jest krokiem w stronę poprawy jakości żywienia dzieci. Dodatkowo wymóg, aby 50% żywności pochodziło od lokalnych dostawców, wspiera lokalne rolnictwo i przyczynia się do rozwoju regionalnych gospodarstw.

W Niemczech z kolei inicjatywa Die Bio-Brotbox pokazuje, jak można edukować dzieci na temat zdrowego żywienia poprzez bezpośrednie działania. Dzięki przekazywaniu ekologicznych lunchboxów pierwszoklasistom dzieci mają okazję spróbować różnorodnych zdrowych produktów, a także zapoznać się z materiałami edukacyjnymi na temat wartości odżywczych i korzyści płynących ze spożywania ekologicznej żywności.

Te działania w różnych krajach europejskich podkreślają znaczenie edukacji i świadomego wyboru żywności od najmłodszych lat. Programy tego typu nie tylko promują zdrowe nawyki żywieniowe, ale także wpływają na rozwój lokalnych rynków rolnych i ekologicznych, co jest korzystne zarówno dla konsumentów, jak i dla producentów.

W 2022 r. import ekologicznych produktów rolno-spożywczych do Unii Europejskiej zmniejszył się do 2,73 miliona ton w porównaniu do 2,87 miliona ton w 2021 r., co oznacza spadek o 4,88%. Może być on związany z obniżonym popytem wynikającym prawdopodobnie ze znaczącego wzrostu cen żywności w ciągu ostatniego roku. Główne przyczyny spadku importu to mniejsze ilości sprowadzanych owoców i warzyw, cukru, oliwy z oliwek, oleju palmowego, nasion słonecznika oraz karmy dla zwierząt domowych. Zwiększony import ekologicznej soi, makuchów, owoców cytrusowych, ryżu i miodu nie był w stanie zrównoważyć tych strat [Eurostat 2024].

Do najczęściej uprawianych na świecie roślin w systemie ekologicznym należały: zboża (ok. 5,1 mln ha), rośliny oleiste na nasiona (1,7 mln ha), strączkowe (0,8 mln ha) oraz len i konopie. Wśród upraw trwałych największy obszar zajmują: oliwki (0,9 mln ha), kawa (0,7 mln ha), orzechy (0,6 mln ha), winogrona i kakao.

W 2022 r. odnotowano na rynku światowym spadek ekologicznej produkcji cytrusów, która wynosiła 3,3% (-3 955 ha) w porównaniu do 2021 r. Tendencja spadkowa w obszarach upraw ekologicznych cytrusów jest obserwowana już od 2005 r. Jednym z istotnych czynników wpływających na ten trend są choroby tych roślin, które prowadzą do niszczenia upraw drzew cytrusowych. W 2022 r. ekologiczna produkcja cytrusów obejmowała różne gatunki owoców. Pomarańcze stanowiły ponad 27% całkowitej produkcji ekologicznych cytrusów, cytryny i limonki 21%, mandarynki ponad 5%, a grejpfruty i pomelo po 2% [Shahbandeh 2024]. Europa pozostała głównym regionem produkcji ekologicznych cytrusów z łączną powierzchnią upraw wynoszącą ponad 61 200 ha. Włochy (31 218 ha) i Hiszpania (25 821 ha) były liderami w tym regionie [Eurostat 2024b]. Kolejne miejsce zajęła Ameryka Łacińska z 28 565 ha upraw, gdzie Meksyk wyróżniał się jako największy producent tych owoców z ponad trzema czwartymi całkowitej powierzchni ich upraw (21 492 ha), a Argentyna uplasowała się na drugim miejscu z 3 342 ha.

W 2022 r. do kluczowych upraw należały zboża (143 711 ha, głównie w Boliwii), trzcina cukrowa (91 553 ha, głównie w Paragwaju i Argentynie) oraz nasiona oleiste (57 038 ha, głównie w Boliwii). Uprawy trwałe stanowiły około 10,7% całkowitej powierzchni gruntów organicznych. Wśród kluczowych upraw znalazła się kawa (421 milionów ha), głównie w Peru, Meksyku i Kolumbii; kakao (200 760 ha), głównie w Republice Dominikany i Peru oraz owoce tropikalne i subtropikalne (102 446 ha) w Meksyku, Ekwadorze, na Dominikanie i w Peru. Prawie 75% ekologicznych użytków rolnych w Ameryce Łacińskiej i na Karaibach to trwałe użytki zielone (7 120 297 ha) i występują one głównie w Argentynie, Urugwaju i Brazylii.

Pomimo sprzyjających warunków klimatycznych dla ekologicznej uprawy cytrusów Afryka pozostawała w tyle z zaledwie 6 534 ha w 2022 r. Wśród afrykańskich producentów ekologicznych cytrusów wyróżniały się Maroko (1 935 ha), Egipt (1 303 ha) oraz Republika Południowej Afryki (1 099 ha) [Shahbandeh 2024].

W 2021 r. rynek europejski odnotował o 1% wzrost importu soków z owoców cytrusowych i tropikalnych obejmujący zarówno produkty konwencjonalne, jak i ekologiczne [Eurostat 2024a]. Wzrost ten miał miejsce pomimo ogólnego trendu spadku spożycia soków owocowych i nektarów w całej Europie, co przypisuje się rosnącym obawom konsumentów związanym z kalorycznością i zawartością w nich cukru. Niemniej jednak soki z owoców cytrusowych i tropikalnych były kluczowymi składnikami w niskokalorycznych napojach, koktajlach oraz wodach smakowych, co pomogło utrzymać stabilny popyt na ich import. Szczególne potrzeby importu zauważono na rynkach w takich krajach jak: Francja, Niemcy, Wielka Brytania, Hiszpania, Włochy, Szwajcaria oraz Holandia [Willer i in. 2024].

Bibliografia

- EEA (2023). Monitoring report on progress towards the 8th EAP objectives 2023 edition”, 11, 70.
Europejski Trybunał Obrachunkowy (2024). Rolnictwo ekologiczne w UE. Braki i niespójności ograniczają skuteczność polityki. Urząd Publikacji Unii Europejskiej, Luksemburg, 19, 1–66.

- Eurostat (2020). Farms and farmland in the European Union – statistics. ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained (dostęp: 15.04.2025).
- Eurostat (2024a). Developments in organic farming. ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained (dostęp: 15.04.2025).
- Eurostat (2024b). Organic production. ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained (dostęp: 15.04.2025).
- Eurostat (2024c). Fully organic farms in the EU. ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained (dostęp: 15.04.2025).
- GIJHARS (2023). Raport o stanie rolnictwa ekologicznego w Polsce w latach 2021–2022, Warszawa, www.ijhharss.gov.pl (dostęp: 15.04.2025).
- GUS (2024). Rynek żywności ekologicznej i rolnictwo ekologiczne. Wydawnictwo GUS. Warszawa. <https://entreprendre.service-public.fr/actualites/A16537?lang=en> (dostęp: 15.04.2025). <https://www.bio-brotbox.de> (dostęp: 15.04.2025).
- IJHARS (2023). Raport – Dane o rolnictwie ekologicznym, MRiRW, Warszawa.
- Jasiński J., Hałasiewicz A., Śpiewak R., Dominiak-Woźniak D. (2019). Stymulowanie produkcji żywności ekologicznej. Instytut Rozwoju Wsi i Rolnictwa PAN, Wydawnictwo Naukowe Scholar Spółka z o.o., Warszawa, DOI: 10.7366/IRWiR_raport_rolnictwo_eko_2019.
- Koalicja (2021). Raport. Żywność ekologiczna w Polsce. Wydawnictwo Koalicja na rzecz Rozwoju Rynku Żywności Bio, Warszawa.
- KSOW (2024). Rolnictwo ekologiczne Co warto wiedzieć? Rolnictwo ekologiczne. Co warto wiedzieć? www.ksowplus.pl (dostęp: 15.04.2025).
- Przybylak K., Żakowska S. (2021). Żywność ekologiczna w Polsce. Wydawnictwo biokurier.pl, Warszawa.
- Shahbandeh M. (2024). Worldwide sales of organic foods 1999–2023. Consumer Goods & FMCG. www.statista.com/statistics/273090/worldwide-sales-of-organic-foods-since (dostęp: 15.04.2025).
- Smith O.M., Cohen A.L., Rieser C.J., Davis A.G., Taylor J.M., Adesanya A.W., Jones M.S., Meier A.R., Reganold J.P., Orpet R.J., Northfield T.D. i Crowder D.W. (2019). Organic farming provides reliable environmental benefits but increases variability in crop yields: A Global Meta-Analysis, 09.
- Ustawa z dnia 23 czerwca 2022 r. o rolnictwie ekologicznym i produkcji ekologicznej (Dz.U. 2022, poz. 1370).
- Willer H., Trevezynnek J., Schlatter B. (2024). The World of Organic Agriculture. Statistics and Emerging Trends, Druckerei Hachenburg PMS GmbH, Hachenburg, Germany.

The area and structure of organic farmland and organic food production

Abstract: The European Union intends to bring 25% of its agricultural land under organic production by 2030. Austria had already achieved 26% of its cultivated area under organic management by 2019, and both Estonia and Sweden likewise exceeded the 20% threshold. In Poland, however, only 3.4% of the total agricultural land was devoted to organic cultivation in 2020. By 2022, within the EU, organic methods were used to maintain merely 7.2% of beef cattle herds, 4.9% of dairy cow populations, 10.4% of sheep, and 12.7% of goat herds, compared to their conventional counterparts. The largest global markets for organic products were the United States, Germany, and China. In 2022, European consumers spent on average €64 per capita on organic food overall, and €102 per capita within the European Union alone.

Katarzyna Szajnar^{1,*}, Agata Znamiorska-Piotrowska¹,
Małgorzata Pawłos¹, Magdalena Kowalczyk¹, Julita Drobniać²

ZNAKOWANIE ŻYWNOSTI EKOLOGICZNEJ

Streszczenie: Rolnictwo ekologiczne to forma produkcji, która łączy ochronę środowiska, bioróżnorodności oraz dobrostan zwierząt, wykorzystując naturalne składniki i procesy produkcji żywności. Jest regulowane przez przepisy UE, w tym Rozporządzenie 2018/848, które określa metody produkcji i znakowanie produktów ekologicznych. Unia Europejska promuje ekologiczne rolnictwo jako element polityki rolnej, wspierając cele takie jak m.in. zwiększenie powierzchni gruntów rolnych wykorzystywanych na cele ekologiczne do 2030 r. Produkty ekologiczne muszą spełniać ściśle normy i być odpowiednio znakowane, a ich produkcja podlega kontrolom urzędowym zapewniającym zgodność z przepisami. Znakowanie produktów obejmuje m.in. informacje o składnikach, jednostce certyfikującej oraz miejscu pochodzenia surowców. Świadomość ekologiczna konsumentów dynamicznie rośnie, co znajduje odzwierciedlenie w ich decyzjach zakupowych. Współcześni konsumenci przywiązują coraz większą wagę nie tylko do składu produktów, ale również do aspektów związanych z ich opakowaniem, uwzględniając wpływ na środowisko naturalne.

Wprowadzenie

Rolnictwo ekologiczne to sposób prowadzenia działalności rolniczej, który łączy troskę o środowisko naturalne, ochronę różnorodności biologicznej oraz odpowiedzialne gospodarowanie zasobami naturalnymi. W odróżnieniu od konwencjonalnych metod uprawy i hodowli stawia również na wysokie standardy dobrostanu zwierząt, dbając o ich naturalne potrzeby oraz komfort życia. W praktyce oznacza to ograniczenie stresu zwierząt, zapewnienie im przestrzeni do swobodnego poruszania się, naturalnego światła, świeżego powietrza, a także dostępu do pastwisk. W produkcji żywności ekologicznej wykorzystywane są wyłącznie naturalne substancje i procesy, co oznacza rezygnację z chemicznych środków ochrony roślin, nawozów syntetycznych, hormonów wzrostu oraz organizmów modyfikowanych genetycznie (GMO).

Rolnictwo ekologiczne pełni podwójną rolę – z jednej strony dostarcza konsumentom wysokiej jakości produktów ekologicznych, na które systematycznie rośnie zapotrzebowanie zarówno na rynku krajowym, jak i międzynarodowym,

¹ Zakład Technologii Mleczarstwa, Wydział Technologiczno-Przyrodniczy, Uniwersytet Rzeszowski, ul. Ćwiklińskiej 2D, 35-959 Rzeszów.

² SKN Technologów Żywności Ferment, Wydział Technologiczno-Przyrodniczy, Uniwersytet Rzeszowski, ul. Ćwiklińskiej 2D, 35-959 Rzeszów.

* kszajnar@ur.edu.pl

a z drugiej odgrywa istotną rolę w ochronie środowiska przyrodniczego, poprawie warunków życia zwierząt oraz aktywizacji i zrównoważonym rozwoju obszarów wiejskich. Dzięki ekologicznym praktykom możliwe jest odtworzenie żyzności gleb, ochrona zasobów wodnych przed zanieczyszczeniem oraz zwiększenie odporności ekosystemów rolniczych na skutki zmian klimatycznych. Co więcej, rolnictwo ekologiczne przyczynia się do wzmacniania lokalnych społeczności poprzez wspieranie krótkich łańcuchów dostaw i sprzedaży bezpośredniej.

Funkcjonowanie sektora rolnictwa ekologicznego w krajach Unii Europejskiej regulowane jest przez przepisy wspólnotowe, w szczególności przez Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2018/848 z dnia 30 maja 2018 r. w sprawie produkcji ekologicznej i znakowania produktów ekologicznych, które zastąpiło wcześniejsze Rozporządzenie Rady (WE) nr 834/2007. Przepisy te określają zarówno metody prowadzenia upraw i hodowli w ramach rolnictwa ekologicznego, jak i sposób znakowania produktów, aby zapewnić przejrzystość dla konsumentów i umożliwić im łatwe rozpoznanie certyfikowanych produktów ekologicznych. Zgodnie z unijnymi regulacjami wyłącznie produkty spełniające określone kryteria i objęte systemem rolnictwa ekologicznego mogą być legalnie oznaczane i sprzedawane jako ekologiczne [Rutkowski 2021].

Na poziomie krajowym obowiązuje również Ustawa z dnia 23 czerwca 2022 r. o rolnictwie ekologicznym i produkcji ekologicznej, która reguluje m.in. kwestie związane z nadzorem, certyfikacją, kontrolą oraz obowiązkami producentów ekologicznych na terenie Polski. Ustawa ta stanowi implementację unijnych przepisów do prawa krajowego, zapewniając jednolite zasady funkcjonowania sektora w skali całego kraju.

Komisja Europejska w ostatnich latach zaprezentowała nową koncepcję rozwoju rolnictwa stanowiącą odpowiedź na globalne wyzwania związane ze zmianami klimatycznymi, degradacją środowiska oraz potrzebą zapewnienia bezpieczeństwa żywnościowego. W ramach tej koncepcji opracowano Ramowy Plan Działań dla Żywności i Rolnictwa Ekologicznego w Polsce, który wpisuje się w ogólną strategię Unii Europejskiej znaną jako Europejski Zielony Ład. Inicjatywa ta ma na celu kompleksową transformację polityki rolnej i żywnościowej UE w kierunku bardziej zrównoważonego, przyjaznego dla środowiska i odpowiedzialnego społecznie modelu.

Wśród głównych narzędzi wspierających realizację założeń Europejskiego Zielonego Ładu znajdują się dwie kluczowe strategie:

- strategia „od pola do stołu” zakładająca zapewnienie zdrowej, bezpiecznej i zrównoważonej żywności wszystkim obywatelom Unii Europejskiej;
- strategia na rzecz bioróżnorodności 2030, której celem jest odtworzenie i ochrona przyrody, w tym siedlisk i gatunków zagrożonych wyginięciem.

Obie strategie podkreślają znaczenie rolnictwa ekologicznego jako centralnego elementu procesu zazieleniania, wspólnej polityki rolnej i adaptacji unijnego rolnictwa do wyzwań XXI w. W szczególności akcentują potrzebę wdrażania

działań mających na celu przeciwdziałanie zmianom klimatu, ochronę zasobów naturalnych oraz zachowanie i wzbogacanie różnorodności biologicznej terenów wiejskich.

W związku z tym Komisja Europejska wyznaczyła ambitny wspólny cel dla wszystkich państw członkowskich – do 2030 r. co najmniej 25% powierzchni gruntów rolnych w UE ma być wykorzystywane na potrzeby rolnictwa ekologicznego. Dodatkowo przewidziano rozwój ekologicznej akwakultury jako alternatywy dla intensywnego rybołówstwa oraz jako źródła zdrowej żywności. W celu osiągnięcia tych założeń każde państwo członkowskie Unii Europejskiej zobowiązane jest do opracowania własnego krajowego planu działań, który uwzględni lokalne uwarunkowania gospodarcze, środowiskowe oraz społeczne. Plany te mają zawierać konkretne cele, instrumenty wsparcia oraz działania edukacyjne i promocyjne mające prowadzić do zwiększenia świadomości społecznej i popytu na produkty ekologiczne.

Znakowanie produktów ekologicznych

Terminy związane z produkcją ekologiczną

Żywność ekologiczna to żywność wyprodukowana według ściśle określonych zasad rolnictwa ekologicznego ujętych w postaci przepisów prawnych. Proces jej powstawania jest śledzony, kontrolowany i udokumentowany „od pola do stołu”. Odpowiedzialność za jej jakość ponosi producent i jednostka kontrolująca proces produkcji.

Terminy odnoszące się do ekologicznej metody produkcji: organiczny, ekologiczny, ich pochodne lub wersje skrócone, jak np. „bio” i „eko”, używane samodzielnie lub łącznie, mogą być stosowane na terenie WE w znakowaniu i reklamie produktu spełniającego wymogi Rozporządzenia 2018/848 z dnia 30 maja 2018 r. w sprawie produkcji ekologicznej i znakowania produktów ekologicznych.

W znakowaniu i reklamie nie stosuje się żadnych terminów, w tym terminów stosowanych w znakach towarowych lub nazwach przedsiębiorstw, ani praktyk, jeżeli mogą one wprowadzić konsumenta lub użytkownika w błąd poprzez sugerowanie, że produkt lub jego składniki są zgodne z rozporządzeniem. Ponadto produkty wytworzone podczas okresu konwersji nie mogą być znakowane ani reklamowane jako produkty ekologiczne ani jako produkty w okresie konwersji.

Według wymogów prawnych nie można stosować terminów „bio” i „eko” w odniesieniu do produktu, który na etykiecie lub w reklamie musi zgodnie z prawem UE mieć oznaczenie, że zawiera on GMO, składa się z GMO lub został wyprodukowany przy użyciu GMO.

Stosowanie terminów związanych z produkcją ekologiczną określa art. 30 rozporządzenia (UE) 2018/848. Producent żywności w odniesieniu do żywności

przetworzonej terminy, o których mowa w ust. 1 („bio” i „eko”, używane samodzielnie lub łącznie, terminy wymienione w załączniku IV oraz ich pochodne), może stosować:

- a) w opisie handlowym oraz w wykazie składników pod warunkiem, że:
 - co najmniej 95% masy składników pochodzenia rolnego stanowią składniki ekologiczne oraz w przypadku środków aromatyzujących – są one stosowane tylko dla naturalnych substancji aromatycznych i naturalnych preparatów aromatycznych i w przypadku, gdy wszystkie składniki smakowe i substancje pomocnicze w środku aromatyzującym są ekologiczne; głównym składnikiem są produkty łowiectwa lub rybołówstwa, wszystkie inne składniki pochodzenia rolnego są ekologiczne;
- b) jedynie w wykazie składników pod warunkiem, że:
 - mniej niż 95% masy składników pochodzenia rolnego to składniki ekologiczne i pod warunkiem, że składniki te są zgodne z przepisami dotyczącymi produkcji zawartymi w rozporządzeniu, w wykazie składników podawany jest łączny odsetek składników ekologicznych w stosunku do całkowitej ilości składników pochodzenia rolnego, dane te prezentowane są w tym samym kolorze oraz mają identyczny rozmiar i format czcionki jak inne oznaczenia znajdujące się w wykazie składników [Rozporządzenie 2018/848].

Ekologiczne produkty pakowane muszą być również znakowane zgodnie z wytycznymi Rozporządzenia Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) nr 1169/2011 z dnia 25 października 2011 r. w sprawie przekazywania konsumentom informacji na temat żywności.

Informacje, które powinna zawierać etykieta produktu ekologicznego, to:

- logo produkcji ekologicznej UE;
- numer jednostki certyfikującej;
- miejsce pochodzenia surowców rolnych;
- oznaczenie ekologicznego charakteru produktu;
- składniki produktu;
- wartość odżywcza;
- informacje dodatkowe: data minimalnej trwałości lub termin przydatności do spożycia, informacje o alergenach, warunki przechowywania, dane producenta lub dystrybutora.

Logo produkcji ekologicznej Unii Europejskiej

Logo produkcji ekologicznej powinno spełniać wymagania Rozporządzenia Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2018/848 z dnia 30 maja 2018 r. w sprawie produkcji ekologicznej i znakowania produktów ekologicznych i uchylające rozporządzenie Rady (WE) nr 834/2007 z późniejszymi zmianami [Rozporządzenie 2018/848, Rozporządzenie 2024/2867].

Logo produkcji ekologicznej można wykonać:

- kolorem referencyjnym, którym jest zielony 50/0/100/0 w procesie drukowania CMYK, nr 376 w palecie kolorów Pantone i 169/201/56 w palecie kolorów RGB;
- w kolorze czarno-białym lub w całkowicie odwróconej pozycji w kolorze czarno-białym (negatyw) jedynie w przypadku, gdy zastosowanie wersji kolorowej jest niewykonalne.

W przypadku, gdy logo stosowane jest na tle, co ogranicza jego widoczność, wokół logo stosuje się kontur dla wzmocnienia kontrastu z tłem.

Wysokość logo produkcji ekologicznej Unii Europejskiej wynosi co najmniej 9 mm, a szerokość co najmniej 13,5 mm, natomiast proporcja jego wysokości do szerokości musi być zawsze równa 1:1,5. W przypadku bardzo małych opakowań minimalna wysokość logo może zostać wyjątkowo zmniejszona do 6 mm [Rozporządzenie 2018/848].

Kod jednostki certyfikującej

Kod jednostki certyfikującej przyjmuje format: AB-CDE-999, gdzie:

- AB jest kodem ISO państwa, w którym odbywają się kontrole;
- CDE jest terminem złożonym z trzech liter nadanych przez Komisję lub każde państwo członkowskie, takim jak „bio”, „öko”, „org” lub „eko”, stanowiącym odniesienie do produkcji ekologicznej;
- 999 jest numerem referencyjnym złożonym z maksymalnie trzech cyfr nadawanym przez właściwy organ każdego państwa członkowskiego organom kontrolnym lub jednostkom certyfikującym, którym przekazał on zadania kontrolne [Rozporządzenie 2018/848].

Miejsce pochodzenia surowca

W przypadku używania logo produkcji ekologicznej Unii Europejskiej należy w tym samym polu widzenia umieścić informację o miejscu pochodzenia surowców rolnych, z których wytworzono produkt. Ta informacja przyjmuje jedną z poniższych form:

- „rolnictwo UE”, gdy surowiec rolny wyprodukowano w Unii;
- „rolnictwo spoza UE”, gdy surowiec rolny wyprodukowano w państwach trzecich;
- „rolnictwo UE/rolnictwo spoza UE”, gdy część surowców rolnych wyprodukowano w Unii, a część w państwie trzecim [Rozporządzenie 2018/848].

Słowa „UE” lub „spoza UE” mogą zostać zastąpione lub uzupełnione nazwą kraju lub nazwą kraju i regionu, jeśli wszystkie surowce rolne, z których produkt jest wytworzony, pochodzą z danego kraju, a w odpowiednich przypadkach – także z tego regionu. W przypadku wskazania miejsca pochodzenia surowców rolnych, o którym mowa w pierwszym i trzecim akapicie, można pominąć składniki

o minimalnym udziale wagowym pod warunkiem, że ich łączny udział nie przekracza 5% całkowitej masy surowców rolnych. Terminy „UE” lub „spoza UE” nie mogą być wyróżnione kolorem, rozmiarem ani formatem czcionki bardziej niż nazwa produktu [Rozporządzenie 2018/848].

Ekologiczne opakowania

Świadomość ekologiczna konsumentów dynamicznie wzrasta, co znajduje odzwierciedlenie w ich decyzjach zakupowych. Współcześni nabywcy przywiązują coraz większą wagę nie tylko do składu produktów, ale również do aspektów związanych z ich opakowaniem, uwzględniając wpływ na środowisko naturalne. Produkcja opakowań jest w dużej mierze obarczana odpowiedzialnością za kwestie związane z odpadami. Obecnie firmy wdrażają rozwiązania mające na celu maksymalne zmniejszenie negatywnego wpływu opakowań na środowisko. Do żywności ekologicznej zaleca się opakowania, które nie zaśmiecają środowiska odpadami, opakowania wielokrotnego użytku oraz te, które ulegają szybkiej biodegradacji [Rooney 2005, Dainellia i in. 2008, Wojciechowska 2015].

Jednostki certyfikujące i kontrole urzędowe

Produkcja ekologiczna jest wiarygodna jedynie wtedy, gdy towarzyszy jej skuteczna weryfikacja i kontrole na wszystkich etapach produkcji, przetwarzania i dystrybucji.

Produkcja ekologiczna podlega kontrolom urzędowym i innym czynnościom urzędowym prowadzonym zgodnie z Rozporządzeniem (UE) 2017/625 w celu weryfikowania zgodności z przepisami dotyczącymi produkcji ekologicznej i znakowania produktów ekologicznych. Z zastrzeżeniem przypadków, w których rozporządzenie stanowi inaczej, do produkcji ekologicznej należy jednak stosować dodatkowe przepisy, oprócz ustanowionych w tym rozporządzeniu, w odniesieniu do kontroli urzędowych i czynności przeprowadzanych przez właściwe organy oraz – w stosownych przypadkach – organy kontrolne i jednostki certyfikujące, w odniesieniu do działań, które mają podejmować podmioty i grupy podmiotów, przekazywania niektórych zadań związanych z kontrolami urzędowymi lub niektórymi zadaniami związanymi z innymi czynnościami urzędowymi i ich nadzorem, jak również w odniesieniu do działań w przypadku podejrzenia niezgodności lub stwierdzonej niezgodności, w tym zakazu wprowadzania do obrotu produktów jako produkty ekologiczne lub produkty w okresie konwersji, kiedy stwierdzona niezgodność wpływa na integralność produktów ekologicznych lub produktów w okresie konwersji.

Zgodnie z art. 41 ust. 4 Rozrządzenia 2018/848 właściwe organy wprowadzają wspólny katalog środków do stosowania na ich terytorium przez organy kontrolne i jednostki certyfikujące w przypadku podejrzenia wystąpienia niezgodności i stwierdzenia niezgodności. Na podstawie art. 4 ust. 2 pkt 7 ustawy o rolnictwie ekologicznym i produkcji ekologicznej Główny Inspektor JHARS opracował i przekazał jednostkom certyfikującym do stosowania Wspólny katalog środków w przypadku stwierdzonych niezgodności w rolnictwie ekologicznym [<https://www.gov.pl/web/ijhars/jednostki-certyfikujace>]. W tabeli 1 zamieszczono wykaz jednostek certyfikujących w rolnictwie ekologicznym w Polsce.

Tabela 1. Rejestr jednostek certyfikujących w rolnictwie ekologicznym w Polsce

Kod jednostki certyfikującej	Nazwa jednostki certyfikującej
PL-EKO-01	EKOGWARANCJA PTRE Sp. z o.o.
PL-EKO-02	PNG Sp. z o.o.
PL-EKO-03	Kiwa COBICO Sp. z o.o.
PL-EKO-04	BIOEKSPERT Sp. z o.o.
PL-EKO-05	Biocert Małopolska Sp. z o.o.
PL-EKO-06	Polskie Centrum Badań i Certyfikacji S.A.
PL-EKO-07	AGRO BIO TEST Sp. z o.o.
PL-EKO-08	TÜV Rheinland Polska Sp. z o.o.
PL-EKO-09	Centrum Jakości AgroEko Sp. z o.o.
PL-EKO-11	DQS Polska Sp. z o.o.
PL-EKO-12	Bureau Veritas Polska Sp. z o.o.
PL-EKO-13	Krajowe Centrum Badań i Certyfikacji „Gwarantowana Jakość” Sp. z o.o.
PL-EKO-14	eCO ₂ Sp. z o.o.

Źródło: www.gov.pl/web/ijhars/jednostki-certyfikujace

Bibliografia

- Dainellia D., Gontardb N., Spyropoulosc D., Zondervan-van den Beukend E., Tobback P. (2008). Active and intelligent food packaging: legal aspects and safety concerns. *Trends in Food Science & Technology*, 19/2008.
- Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) nr 1169/2011 z dnia 25 października 2011 r. w sprawie przekazywania konsumentom informacji na temat żywności, zmiany rozporządzeń Parlamentu Europejskiego i Rady (WE) nr 1924/2006 i (WE) nr 1925/2006 oraz uchylenia dyrektywy Komisji 87/250/EWG, dyrektywy Rady 90/496/EWG, dyrektywy Komisji 1999/10/WE, dyrektywy 2000/13/WE Parlamentu Europejskiego i Rady, dyrektyw Komisji 2002/67/WE i 2008/5/WE oraz rozporządzenia Komisji (WE) nr 608/2004.

- Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2017/625 z dnia 15 marca 2017 r. w sprawie kontroli urzędowych i innych czynności urzędowych przeprowadzanych w celu zapewnienia stosowania prawa żywnościowego i paszowego oraz zasad dotyczących zdrowia i dobrostanu zwierząt, zdrowia roślin i środków ochrony roślin, zmieniające rozporządzenia Parlamentu Europejskiego i Rady (WE) nr 999/2001, (WE) nr 396/2005, (WE) nr 1069/2009, (WE) nr 1107/2009, (UE) nr 1151/2012, (UE) nr 652/2014, (UE) 2016/429 i (UE) 2016/2031, rozporządzenia Rady (WE) nr 1/2005 i (WE) nr 1099/2009 oraz dyrektywy Rady 98/58/WE, 1999/74/WE, 2007/43/WE, 2008/119/WE i 2008/120/WE oraz uchylające rozporządzenia Parlamentu Europejskiego i Rady (WE) nr 854/2004 i (WE) nr 882/2004, dyrektywy Rady 89/608/EWG, 89/662/EWG, 90/425/EWG, 91/496/EWG, 96/23/WE, 96/93/WE i 97/78/WE oraz decyzję Rady 92/438/EWG (rozporządzenie w sprawie kontroli urzędowych) (Tekst mający znaczenie dla EOG).
- Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2018/848 z dnia 30 maja 2018 r. w sprawie produkcji ekologicznej i znakowania produktów ekologicznych i uchylające rozporządzenie Rady (WE) nr 834/2007 (dostęp: 5.05.2025).
- Rozporządzenie delegowane Komisji (UE) 2024/2867 z dnia 2 września 2024 r. zmieniające rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2018/848 w odniesieniu do prezentacji logo produkcji ekologicznej Unii Europejskiej.
- Rooney M.L. (2005). Introduction to active food packaging technologies. [In:] J.H. Han (Ed.): Innovations in food packaging. Elsevier Academic Press, Oxford.
- Rutkowski J. (2021). Podstawy i wsparcie działalności ekologicznej w gospodarstwie rolnym. Warmińsko-Mazurski Ośrodek Doradztwa Rolniczego z siedzibą w Olsztynie, Olsztyn. <https://www.gov.pl/web/rolnictwo/ramowy-plan-dzialan-dla-ywnosci-i-rolnictwa-ekologicznego-w-polsce> (dostęp: 5.05.2025).
- Ustawa z dnia 23 czerwca 2022 r. o rolnictwie ekologicznym i produkcji ekologicznej (Dz.U. 2022, poz. 1370).
- Wojciechowska P. (2015). Ekoinnowacje w opakowaniach. Przegląd Komunalny Poleca. Biuletyn 4, 1–5. www.gov.pl/web/ijhars/jednostki-certyfikujace (dostęp: 5.05.2025).

Organic food labeling

Abstract: Organic farming is a production system that integrates environmental protection, biodiversity conservation, and animal welfare, relying on natural substances and processes. It is governed by EU legislation, notably Regulation (EU) 2018/848, which defines the permitted production methods and labelling requirements for organic products. The European Union promotes organic farming within its Common Agricultural Policy, targeting, among other objectives, an increase in the share of agricultural land under organic management to 25% by 2030. Organic products must comply with stringent standards and bear the appropriate organic label; their production is subject to official inspections by competent authorities to verify conformity. Labelling must include, inter alia, information on the ingredients, the certifying authority, and the geographical origin of raw materials. Consumer environmental awareness is growing rapidly, a trend reflected in purchasing decisions. Today's consumers place increasing importance not only on product ingredients but also on packaging-related aspects, taking into account the environmental impact.

Magdalena Kowalczyk^{1*}, Agata Znamiorska-Piotrowska¹,
Małgorzata Pawłos¹, Katarzyna Szajnar¹, Julita Drobniać²

SUBSTANCJE BIOAKTYWNE MLEKA

Streszczenie: Mleko jest źródłem licznych substancji bioaktywnych o udokumentowanym wpływie fizjologicznym. Do najważniejszych należą peptydy, oligosacharydy, długłańcuchowe kwasy tłuszczowe, immunoglobuliny, laktoferyna, czynniki wzrostu i hormony. Wykazują one działanie przeciwzapalne, antyoksydacyjne, immunomodulujące, przeciwdrobnoustrojowe oraz wspierają rozwój układów pokarmowego, nerwowego i odpornościowego. Część z nich reguluje metabolizm lipidów, wpływa na biodostępność składników mineralnych oraz chroni przed stresem oksydacyjnym i infekcjami. Obecność tych składników może nadawać mleku cechy żywności o potencjale funkcjonalnym wspierającej utrzymanie równowagi fizjologicznej organizmu i mogącej odgrywać ważną rolę w profilaktyce niektórych chorób cywilizacyjnych, takich jak otyłość, insulinooporność czy zaburzenia mikrobioty jelitowej. Aktywność biologiczna tych związków zależy od wielu czynników, w tym składu mleka, sposobu jego przetworzenia i indywidualnych cech fizjologicznych organizmu konsumenta.

Wprowadzenie

Mleko to produkt o wysokiej wartości biologicznej, który oprócz składników odżywczych, takich jak białko, tłuszcz, laktoza, witaminy i składniki mineralne, zawiera również substancje wykazujące aktywność biologiczną. Związki bioaktywne, choć nie są niezbędne do podstawowego funkcjonowania organizmu, mogą wpływać na metabolizm, regulację procesów fizjologicznych oraz profilaktykę chorób [Guaadaoui i in. 2014]. Wykazują one m.in. działanie immunomodulujące, przeciwutleniające, przeciwdrobnoustrojowe i przeciwzapalne, a ich udział w diecie może wspierać rozwój oraz równowagę mikrobioty jelitowej.

Do najważniejszych bioaktywnych składników mleka zaliczane są peptydy pochodzące z hydrolizy białek, laktoferyna, oligosacharydy, immunoglobuliny, hormony, czynniki wzrostu oraz frakcje lipidowe, w tym długłańcuchowe kwasy tłuszczowe i sprzężony kwas linolowy (CLA). Skład mleka zależy od wielu czynników, takich jak gatunek zwierzęcia, jego stan fizjologiczny, sposób żywienia oraz uwarunkowania genetyczne, co przekłada się na różnice w zawartości i aktywności biologicznej poszczególnych komponentów (tabela 1).

¹ Zakład Technologii Mleczarstwa, Wydział Technologiczno-Przyrodniczy, Uniwersytet Rzeszowski, ul. Ćwiklińskiej 2D, 35-959 Rzeszów.

² SKN Technologów Żywności Ferment, Wydział Technologiczno-Przyrodniczy, Uniwersytet Rzeszowski, ul. Ćwiklińskiej 2D, 35-959 Rzeszów.

* mkowalczyk@ur.edu.pl

Tabela 1. Skład chemiczny mleka kobiecego, krowiego, koziego i owczego

Rodzaj mleka	Białko (%)	Tłuszcz (%)	Laktoza (%)	Sucha masa (%)
Kobiece	1,0	3,8	7,0	12,2
Krowie	3,4	3,7	4,8	12,7
Kozie	2,9	4,5	4,1	12,3
Owcze	6,2	7,4	4,8	19,3

Źródło: Fox 2003, Jandal 1996

Według danych Głównego Urzędu Statystycznego w 2023 r. krajowa produkcja mleka wynosiła 15 miliardów litrów, co plasuje Polskę na trzecim miejscu w Unii Europejskiej, po Niemczech i Francji [GUS 2024]. Rozwój sektora mleczarskiego oraz wzrastające zainteresowanie konsumentów żywnością funkcjonalną, w tym mlekiem pozyskiwanym od gatunków innych niż bydło, takich jak kozy i owce, wskazują na konieczność szczegółowej analizy składu bioaktywnego różnych rodzajów mleka.

Białka i bioaktywne peptydy

Białka mleka oprócz pełnienia funkcji odżywczej stanowią źródło bioaktywnych peptydów o działaniu immunomodulującym, przeciwdrobnoustrojowym, antyoksydacyjnym i neuroaktywnym. Ich zawartość w mleku wynosi 32–36 g/l i obejmuje głównie kazeiny (ok. 80%) oraz białka serwatkowe (ok. 20%) [Fox i McSweeney 2015].

Kazeina to fosfoproteina charakterystyczna dla mleka dominująca w mleku większości ssaków, choć w mleku ludzkim jej udział to jedynie 20–30%, co sprzyja lepszej strawności i biodostępności składników odżywczych [Fox i McSweeney 2015]. Zawartość aminokwasów egzogennych w kazeinie wynosi 45,8 g/100 g białka, przy czym szczególnie obfituje ona w leucynę, lizynę, walinę i prolinę, natomiast cysteina i cystyna występują w niższych stężeniach [Cichosz i Czeczot 2013]. Kazeina jest obecna w postaci α s1-, α s2-, β - oraz κ -kazeiny, które pełnią kluczową rolę w metabolizmie wapnia i fosforu, wspierając mineralizację kości, wchłanianie cynku i miedzi, a także stymulują wzrost i rozwój *Bifidobacterium*. W mleku ludzkim dominuje β -kazeina (ok. 85%), podczas gdy α s1-kazeina występuje w śladowych ilościach, co wiąże się z niższym ryzykiem alergii i lepszą przyswajalnością. Dla porównania zawartość α s1-kazeiny w mleku krowim wynosi 12–15 g/l, w owczym 15,4–22,1 g/l, a w kozim 0–13 g/l [Danków i Pikul 2011, Giambra i in. 2013]. Peptydy powstające w wyniku hydrolizy kazeiny wykazują właściwości antyoksydacyjne, neutralizują wolne rodniki oraz hamują peroksydację lipidów [Heck i in. 2009, Hayes i in. 2007].

Białka serwatkowe obejmują: β -laktoglobulinę, α -laktoalbuminę, laktoferynę, immunoglobuliny, albuminę surowicy, czynniki wzrostu. Dominującą frakcją stanowią β -laktoglobulina obecna w mleku krowim (3,2–3,3 g/l), owczym (6,5–8,5 g/l) i kozim (1,5–5,0 g/l), natomiast nieobecna w mleku ludzkim [Lönnerdal 2013]. Wykazuje ona właściwości antyoksydacyjne, przeciwnowotworowe oraz uczestniczy w transporcie witaminy A i kwasów tłuszczowych. Z kolei α -laktoalbumina, występująca w mleku ludzkim w stężeniu 2,5–3,5 g/l, odgrywa rolę immunostymulującą, wiąże jony cynku, magnezu i manganu oraz współuczestniczy w syntezie laktozy [Zimecki i Artym 2005]. Dzięki wysokiej zawartości tryptofanu wpływa na syntezę serotoniny i chroni błonę śluzową żołądka.

Laktoferyna posiada właściwości przeciwdrobnoustrojowe i immunomodulujące, zwiększając biodostępność żelaza, cynku i manganu [Ghosh i in. 2022]. W mleku ludzkim laktoferyna występuje w ilości ok. 1 g/l, podczas gdy w mleku krowim 50–300 mg/l [Kuczyńska i in. 2013]. Dzięki wysokiemu powinowactwu do żelaza wykazuje silne działanie bakteriostatyczne. Oba białka, wraz z immunoglobulinami (IgA, IgG, IgM), tworzą synergiczny układ ochronny.

W mleku obecne są także białka otoczki kuleczek tłuszczowych, takie jak mucyna-1 oraz dehydrogenaza/oksydaza ksantynowa, pełniące funkcje ochronne i metaboliczne, mimo że stanowią mniej niż 4% całkowitej frakcji białkowej [Mather 2000]. W wyniku enzymatycznej proteolizy zarówno w przewodzie pokarmowym, jak i podczas fermentacji dochodzi do uwalniania bioaktywnych peptydów mlecznych, np.: β -kazokininy, β -kazomorfiny, laktoferycyny B, kazeocydyny i innych. Wykazują one działanie przeciwzapalne, immunomodulujące, przeciwdrobnoustrojowe oraz przeciwnadciśnieniowe [Korhonen i Pihlanto 2006]. Niektóre z nich, jak β -kazomorfina, oddziałują na receptory opioidowe, regulując nastrój, stres, ból i funkcje układu nerwowego. W badaniach laboratoryjnych i przedklinicznych dowiedziono, że niektóre peptydy bioaktywne mogą działać cytotoksycznie wobec komórek nowotworowych, takich jak komórki czerniaka, białaczki oraz raka piersi [Bahar i in. 2023, Zare-Zardini i in. 2024]. Laktoferycyna wykazuje silne działanie przeciwdrobnoustrojowe (szczególnie wobec *Escherichia coli* i *Staphylococcus aureus*), a także wspiera rozwój *Bifidobacterium* [Tomita i in. 2002]. Podobne właściwości posiadają kazeocydyna i isracydyna (o aktywności przeciwwirusowej i przeciwgrzybiczej). Glikomakropeptyd i kazeinomakropeptyd ograniczają rozwój patogenów, takich jak *Streptococcus* i *Escherichia coli* [Korhonen i Pihlanto 2006].

Wśród białek mleka istotną grupę stanowią enzymy o właściwościach bioaktywnych, takie jak laktoperoksydaza i lizozym, szczególnie aktywny w mleku ludzkim. Wykazują one działanie przeciwdrobnoustrojowe wspomagane przez oksydazę ksantynową, która wytwarza nadtlenek wodoru niezbędny do aktywacji enzymów obronnych [Korhonen i Pihlanto 2006]. Plazmina będąca głównym enzymem proteolitycznym mleka rozkłada β -kazeinę, prowadząc do powstawania peptydów o właściwościach antyoksydacyjnych i immunomodulujących [Fox i McSweeney 2015].

Lipidowe frakcje mleka

Głównym składnikiem frakcji lipidowej mleka są triacyloglicerole stanowiące około 97–98% całkowitej zawartości lipidów, a pozostałe frakcje obejmują fosfolipidy (0,5–1,0%), cholesterol (0,25–0,4%), wolne kwasy tłuszczowe (0,1–0,3%) [Jensen 2002]. W zależności od gatunku zwierzęcia zawartość tłuszczu ogółem i proporcje poszczególnych składników mleka mogą się znacząco różnić, co przekłada się na jego wartość biologiczną i biodostępność.

Zawartość tłuszczu całkowitego w mleku krowim wynosi średnio 3,5–4,0%, w kozim 4,0–4,5%, w ludzkim 3,5–4,5%, natomiast mleko owcze zawiera najwięcej tłuszczu – od 6,5 do 8,0% [Park i Haenlein 2006]. Mleko owcze poza wyższą zawartością tłuszczu ogółem charakteryzuje się także większą koncentracją fosfolipidów i cholesterolu. Mleko ludzkie natomiast zawiera proporcjonalnie więcej długołańcuchowych wielonienasyconych kwasów tłuszczowych, co stanowi jego istotny atut w kontekście potrzeb żywieniowych niemowląt i rozwoju układu nerwowego [Innis 2007]. Skład kwasów tłuszczowych w mleku wykazuje wyraźne różnice międzygatunkowe. Mleko krowie i kozie charakteryzuje się przewagą nasyconych kwasów tłuszczowych, takich jak palmitynowy, mirystynowy i stearynowy, które stanowią łącznie około 65–70% całkowitej zawartości lipidów [Haug i in. 2007]. W mleku owczym udział nasyconych kwasów tłuszczowych jest niższy, mieści się w zakresie 20–45%, natomiast zawartość kwasu oleinowego (C18:1) wynosi około 15,5%. Dla porównania w mleku krowim stężenie tego kwasu sięga 20,4%. Mleko ludzkie natomiast wyróżnia się niższą zawartością nasyconych kwasów tłuszczowych (ok. 45%) oraz wyraźnie większym udziałem kwasów jedno- i wielonienasyconych. Do szczególnie istotnych związków obecnych w mleku kobiecym należą długołańcuchowe wielonienasycone kwasy tłuszczowe z rodziny omega-3 i omega-6. Średnia zawartość DHA (kwasu dokozaheksaenowego) wynosi 0,2–0,5% całkowitych kwasów tłuszczowych, natomiast kwas arachidonowy stanowi około 0,4–0,6% [Innis 2007, Jensen 2002]. Oba te związki są niezbędne dla prawidłowego rozwoju układu nerwowego, siatkówki oka i funkcji immunologicznych noworodka.

Mleko kozie i owcze charakteryzuje się wysoką zawartością średniołańcuchowych kwasów tłuszczowych, takich jak kwas kapronowy (C6:0), kaprylowy (C8:0) i kaprynowy (C10:0). W mleku kozim stanowią one około 15% całkowitego tłuszczu, natomiast w mleku krowim ich udział wynosi około 6% [Haenlein 2004]. Kwasy te są dobrze przyswajalne, szybko metabolizowane i wykazują właściwości przeciwdrobnoustrojowe, co sprzyja utrzymaniu równowagi mikrobioty jelitowej. Mleko owcze zawiera również więcej wolnych kwasów tłuszczowych, w tym kwasu masłowego (C4:0), kapronowego (C6:0), kaprylowego (C8:0) i kaprynowego (C10:0) niż mleko krowie. Ich łączna zawartość w mleku owczym sięga około 140 µg/g tłuszczu, podczas gdy w mleku krowim wynosi około 92 µg/g [German i Dillard 2006]. Szczególnie istotny jest kwas masłowy, który wspiera integralność nabłonka jelitowego i może działać przeciwzapalnie.

Szczególne znaczenie biologiczne przypisuje się obecności w mleku sprzężonego kwasu linolowego, zwłaszcza izomerowi cis-9, trans-11. Związek ten, naturalnie występujący w mleku przeżuwaczy w wyniku działania bakterii fermentacyjnych w żwaczu, wykazuje silne właściwości przeciwnowotworowe, przeciwzapalne, hipolipemiczne i immunomodulujące [Parodi 2003]. Najwyższą zawartość sprzężonego kwasu linolowego obserwuje się w mleku owczym (0,6–0,9% ogólnej puli kwasów tłuszczowych), a nieco niższą w mleku krowim i kozim (0,4–0,6%). W mleku ludzkim zawartość sprzężonego kwasu linolowego jest znikoma. Warto podkreślić, że jego stężenie może być modulowane przez sposób żywienia zwierząt – szczególnie wzrasta w okresach wypasu na zielonkach [Parodi 2003].

W mleku obecny jest także kwas stearynowy, znany jako kwas oktadekanowy, należący do grupy długocząłkowych kwasów tłuszczowych nasyconych. Stanowi on od 8 do 15% całkowitej puli kwasów tłuszczowych w mleku krowim i owczym, a jego udział w mleku kozim jest nieco niższy. Choć kwas stearynowy formalnie zaliczany jest do nasyconych kwasów tłuszczowych, nie wpływa negatywnie na profil lipidowy krwi, gdyż w organizmie człowieka łatwo ulega przemianie do kwasu oleinowego. W przeciwieństwie do kwasu palmitynowego czy mirystynowego nie podnosi on poziomu cholesterolu frakcji LDL, co czyni go neutralnym lub nawet korzystnym składnikiem żywieniowym [Hunter i in. 2010].

Szczególne uwagę w ostatnich latach zwraca się również na obecność kwasu wakcenenowego (trans-11 C18:1) będącego głównym izomerem trans jednonienasyconych kwasów tłuszczowych naturalnie występujących w mleku przeżuwaczy. Związek ten występuje w mleku krowim, kozim i owczym w stężeniu od 1,0 do 2,5% całkowitej zawartości kwasów tłuszczowych, natomiast w mleku ludzkim występuje jedynie w ilościach śladowych. W warunkach wypasu na zielonkach jego zawartość w mleku krowim może wzrosnąć do ponad 3% [Lock i Bauman 2004]. Kwas wakcenenowy wykazuje działanie biologiczne podobne do sprzężonego kwasu linolowego, ponieważ w organizmie człowieka może ulegać biokonwersji do izomeru cis-9, trans-11, co nadaje mu potencjalne właściwości przeciwnowotworowe i przeciwzapalne [Corl i in. 2001].

Lipidy mleka są również nośnikiem witamin rozpuszczalnych w tłuszczach – A, D, E i K – oraz składnikiem błony kuleczek tłuszczowych, czyli struktur otaczających rdzeń triacyloglicerolowy. Błona ta, określana jako błona kuleczki tłuszczowej mleka (milk fat globule membrane), zawiera szereg bioaktywnych składników, w tym fosfolipidy, sfingomielinę, cholesterol, mucynę, butylofilię oraz enzymy, takie jak dehydrogenaza ksantynowa [Hernell i in. 2016]. Składniki te pełnią funkcje przeciwdrobnoustrojowe, wspomagają rozwój układu nerwowego i odpornościowego oraz mogą regulować skład mikrobioty jelitowej. Najmniejsze kuleczki tłuszczowe występują w mleku ludzkim (1–5 mikrometrów), co zwiększa ich powierzchnię biologicznie aktywną. Mleko kozie i owcze zawiera drobniejsze kuleczki tłuszczu niż mleko krowie, co sprzyja lepszej jego strawności i biodostępności lipidów [Gallier i Singh 2015]. Tłuszcz mleczny, dzięki

obecności związków o działaniu przeciwutleniającym, przeciwzapalnym i regulującym lipidy, może wykazywać działanie protekcyjne, wspierając homeostazę oksydacyjną i zapobiegając chorobom dietozależnym, takim jak cukrzyca typu 2 czy miażdżyca [Haug i in. 2007].

Witaminy i składniki mineralne

Witaminy rozpuszczalne w tłuszczach, takie jak witamina A (retinol i karotenoidy), witamina D (cholekalcyferol), witamina E (tokoferole) i witamina K (filochinon), występują w największych ilościach w mleku owczym i kozim, co wiąże się z wyższą zawartością tłuszczu [Park i Haenlein 2006]. Mleko ludzkie, mimo niższych stężeń niektórych witamin, zawiera formy bardziej biodostępne oraz większą ilość związków o działaniu antyoksydacyjnym i regulującym, takich jak β -karoten, witamina C i kwas foliowy [Koletzko i in. 2005].

Stężenie witaminy A w mleku krowim wynosi średnio 40–50 $\mu\text{g}/100\text{ ml}$, w kozim 50–60 $\mu\text{g}/100\text{ ml}$, w ludzkim 28–38 $\mu\text{g}/100\text{ ml}$, natomiast w owczym nawet do 75 $\mu\text{g}/100\text{ ml}$ [Park i Haenlein 2006]. Witamina D występuje w mleku w niskich stężeniach: najwięcej zawiera jej mleko owcze i kozie (0,05–0,07 $\mu\text{g}/100\text{ ml}$), a najmniej mleko krowie i ludzkie (<0,02 $\mu\text{g}/100\text{ ml}$) [Cashman 2006]. Witamina E osiąga najwyższe stężenie w mleku ludzkim (0,25–0,45 $\text{mg}/100\text{ ml}$), a niższe w krowim (0,10–0,15 $\text{mg}/100\text{ ml}$), kozim i owczym (0,20–0,30 $\text{mg}/100\text{ ml}$) [Jensen 2002]. Mleko ludzkie zawiera także najwięcej witaminy C – 3–5 $\text{mg}/100\text{ ml}$ – w porównaniu do mleka krowiego i koziego (1–2 $\text{mg}/100\text{ ml}$) oraz owczego (ok. 2 $\text{mg}/100\text{ ml}$) [Koletzko i in. 2005]. Witaminy z grupy B, szczególnie ryboflawina (0,15–0,21 $\text{mg}/100\text{ ml}$) i kobalamina (0,3–0,5 $\mu\text{g}/100\text{ ml}$), występują w większych ilościach w mleku krowim, kozim i owczym niż w mleku kobiecym (0,04–0,06 mg i <0,05 $\mu\text{g}/100\text{ ml}$) [Park i Haenlein 2006]. Z kolei kwas foliowy i witamina C osiągają najwyższe stężenia w mleku ludzkim, co ma kluczowe znaczenie dla hematopoezy i ochrony przed stresem oksydacyjnym [Koletzko i in. 2005].

Mleko owcze i kozie cechuje się najwyższą zawartością wapnia, fosforu, magnezu i cynku, co wyróżnia je pod względem wartości mineralnej. Stężenie wapnia wynosi odpowiednio: 170–200 $\text{mg}/100\text{ ml}$ w mleku owczym, 130–150 $\text{mg}/100\text{ ml}$ w kozim, 120–130 $\text{mg}/100\text{ ml}$ w krowim, natomiast w mleku ludzkim tylko 25–35 $\text{mg}/100\text{ ml}$ [Jensen 2002, Park i Haenlein 2006]. Pomimo najniższej zawartości wapń z mleka kobiecego jest najlepiej przyswajalny – jego biodostępność przekracza 60% dzięki obecności laktozy, β -kazeiny oraz korzystnemu stosunkowi wapnia do fosforu. Mikroelementy takie jak żelazo, cynk, miedź, selen i jod występują w mleku w niewielkich ilościach, lecz pełnią istotne funkcje biologiczne, m.in. w regulacji odporności, procesach oksydacyjnych oraz w pracy tarczycy. Mleko owcze i kozie zawiera wyższe stężenia tych pierwiastków

w porównaniu z mlekiem krowim, jednak to mleko kobiece dostarcza je w formach lepiej przyswajalnych – m.in. dzięki obecności laktoferyny i białek nośnikowych [Combs 2001].

Oligosacharydy, immunoglobuliny, czynniki wzrostu i hormony

Wśród bioaktywnych składników mleka szczególne znaczenie przypisuje się oligosacharydom, immunoglobulinom oraz czynnikom wzrostu i hormonom, które pełnią istotne funkcje regulacyjne, odpornościowe i ochronne, zwłaszcza u niemowląt i noworodków. Oligosacharydy mleka występują w najwyższym stężeniu w mleku kobiecym, gdzie ich zawartość sięga od 5 do 15 g/l, podczas gdy w mleku krowim, kozim i owczym obecne są jedynie w ilościach śladowych, nieprzekraczających 0,05–0,1 g/l [Urashima i in. 2018]. Oligosacharydy mleka ludzkiego to złożone wielocukry oparte na laktozie z przyłączonymi resztami fukozy i kwasu sjałowego. Nie ulegają trawieniu, są fermentowane przez *Bifidobacterium*, wspierają mikroflorę, odporność i barierę jelitową. Immunoglobulina A (IgA) chroni błony śluzowe, neutralizuje patogeny i łagodzi stany zapalne [Brandtzaeg 2010]. Średnia zawartość wydzielniczej IgA w mleku dojrzalym wynosi 1–2 g/l, natomiast w sianie może dochodzić nawet do 10 g/l. Mleko krowie, kozie i owcze zawiera głównie immunoglobulinę G, której ilość waha się od 0,6 do 1,0 g/l, przy czym jej forma i odporność na trawienie są mniej dostosowane do ludzkiego układu pokarmowego, co ogranicza jej funkcjonalność w kontekście odżywiania niemowląt. Czynniki wzrostu i hormony obecne w mleku, mimo że występują w stosunkowo niewielkich ilościach, wywierają korzystny wpływ na rozwój tkanek i funkcje układu odpornościowego. Do najlepiej poznanych należy insulino-podobny czynnik wzrostu I (IGF-I), naskórkowy czynnik wzrostu (EGF) oraz transformujący czynnik wzrostu beta (TGF- β). IGF-I występuje w mleku kobiecym w stężeniu 5–25 ng/ml i bierze udział w regulacji wzrostu i dojrzewania komórek nabłonka jelitowego, natomiast EGF, obecny w sianie w ilości 30–50 ng/ml, wspomaga regenerację tkanek i szczelność bariery jelitowej [Donovan 2006]. TGF- β wykazuje działanie immunomodulujące, promując tolerancję pokarmową i ograniczając nadreaktywność układu odpornościowego. Stężenia tych czynników są znacząco wyższe w mleku kobiecym niż w mleku krowim, kozim czy owczym, w których są obecne w śladowych lub trudnych do oznaczenia ilościach. Wśród hormonów obecnych w mleku istotną rolę pełnią leptyna (0,2–1,0 ng/ml), grelina, insulina i adiponektyna. Leptyna reguluje łaknienie i gospodarkę energetyczną oraz wspiera rozwój odporności u niemowląt. Insulina i grelina uczestniczą w regulacji glikemii oraz funkcjonowaniu osi jelitowo-mózgowej. Mleko zwierząt gospodarskich zawiera te hormony w niższych stężeniach i często w formie mniej aktywnej biologicznie, co ogranicza ich wpływ na organizm ludzki po spożyciu.

Bibliografia

- Bahar A.A., Ren D., McGrath P.T. (2023). Bioactive peptides for anticancer therapies. *Cancer Cell International*, 23, 115.
- Bevilacqua C., Martin P., Candalh C., Fauquant J., Piot M., Roux F., Léonil J. (2000). Secreted phosphoproteins are differently expressed in human and ruminant milk. *Journal of Dairy Research*, 67, 129–138.
- Brandtzaeg P. (2010). The mucosal immune system and its integration with the mammary glands. *Journal of Pediatric Gastroenterology and Nutrition*, 51(3), 11–19.
- Cashman K.D. (2006). Milk minerals (including vitamin D) and bone health. *International Dairy Journal*, 16(11), 1389–1398.
- Cichosz G., Czeżot H. (2013). Bioaktywne peptydy mleka – potencjalne znaczenie w terapii i profilaktyce chorób cywilizacyjnych. *Postępy Higieny i Medycyny Doświadczalnej*, 67, 130–145.
- Combs G.F. Jr. (2001). Selenium in global food systems. *British Journal of Nutrition*, 85(5), 517–547.
- Corl B.A., Baumgard L.H., Dwyer D.A., Griinari J.M., Phillips B.S., Bauman D.E. (2001). The role of $\Delta 9$ -desaturase in the production of cis-9, trans-11 CLA. *Journal of Dairy Science*, 84(4), 1025–1031.
- Danków R., Pikul J. (2011). Przydatność technologiczna mleka koziego do przetwórstwa. *Nauka Przyroda Technologie*, 5(2), 2–10.
- Donovan S.M. (2006). Role of human milk components in gastrointestinal development: current knowledge and future needs. *Journal of Pediatrics*, 149(5), 49–61.
- Fox P.F. (2003). The major constituents of milk. [W:] G. Smit (red.): *Dairy processing. Improving quality*. Woodhead Publishing Limited and CRC Press LLC, Boca Raton, 5–38.
- Fox P.F., McSweeney P.L.H. (2015). *Dairy Chemistry and Biochemistry*. Springer, New York.
- Gallier S., Singh H. (2015). Structure–function relationship of the milk fat globule membrane for nutrient delivery and health. *Current Opinion in Clinical Nutrition & Metabolic Care*, 18(2), 147–152.
- German J.B., Dillard C.J. (2006). Composition, structure and absorption of milk lipids: a source of energy, fat-soluble nutrients and bioactive molecules. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 46(1), 57–92.
- Ghosh S.K., Chakraborty P., Chatterjee S. (2022). A comprehensive review on lactoferrin: A natural multifunctional protein. *Food & Function*, 13(1), 19–38.
- Giambra M., Erhardt G., Di Gregorio G., Bordonaro A. (2013). Investigating the genetic polymorphism of sheep milk proteins: A comparison of analytical methods. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 93(9), 2127–2133.
- Główny Urząd Statystyczny. (2024). *Rocznik Statystyczny Rolnictwa 2024*. Warszawa: GUS. <https://stat.gov.pl/obszary-tematyczne/roczniki-statystyczne/roczniki-statystyczne/rocznik-statystyczny-rolnictwa-2024,6,18> (dostęp: 13.04.2025).
- Guaadaoui A., Benaicha S., Elmajdoub N., Bellaoui M., Hamal A. (2014). What is a bioactive compound? A combined definition for a preliminary consensus. *International Journal of Nutrition and Food Sciences*, 3(3), 174–179.
- Haenlein G.F.W. (2004). Goat milk in human nutrition. *Small Ruminant Research*, 51(2), 155–163.
- Haug A., Hostmark A.T., Harstad O.M. (2007). Bovine milk in human nutrition – a review. *Lipids in Health and Disease*, 6, 25.
- Hayes M., Stanton C., Fitzgerald G.F., Ross R.P. (2007). Bioactive peptides from milk: Animal determinants and their implications in human health. *Journal of Dairy Research*, 74(1), 20–29.

- Heck J.M.L., Schennink A., Valenberg H.J.F. van, Bovenhuis H., Visker M.H.P.W., Arendonk J.A.M. van, Hooijdonk A.C.M. van (2009). Effects of milk protein variants on the protein composition of bovine milk. *Journal of Dairy Science*, 92(3), 1192–1202.
- Hernell O., Timby N., Domellöf M., Lönnerdal B. (2016). Clinical benefits of milk fat globule membranes for infants and children. *The Journal of Pediatrics*, 173, 60–65.
- Hunter J.E., Zhang J., Kris-Etherton P.M. (2010). Cardiovascular disease risk of dietary stearic acid compared with trans, other saturated, and unsaturated fatty acids: a systematic review. *American Journal of Clinical Nutrition*, 91(1), 46–63.
- Innis S.M. (2007). Human milk: Maternal dietary lipids and infant development. *Proceedings of the Nutrition Society*, 66(3), 397–404.
- Jandal J.M. (1996). Comparative aspects of goat and sheep milk. *Small Ruminant Research*, 22(2), 177–185.
- Jensen R.G. (2002). The composition of bovine milk lipids: January 1995 to December 2000. *Journal of Dairy Science*, 85(2), 295–350.
- Koletzko B., Kries R. von, Closa R., Escribano J., Scaglioni S., Giovannini M., Grote V. (2005). Can infant feeding choices modulate later obesity risk? *The American Journal of Clinical Nutrition*, 81(3), 584–589.
- Korhonen H., Pihlanto A. (2006). Bioactive peptides: Production and functionality. *International Dairy Journal*, 16(9), 945–960.
- Kuczyńska B., Nałęcz-Tarwacka T., Gołębiewski M., Puppel K., Ślósarz J. (2013). Bioaktywne składniki jako wyznacznik jakości prozdrowotnej mleka. *Medycyna Rodzinna*, 1, 11–18.
- Lock A.L., Bauman D.E. (2004). Modifying milk fat composition of dairy cows to enhance fatty acids beneficial to human health. *Lipids*, 39(12), 1197–1206.
- Lönnerdal B. (2013). Bioactive proteins in breast milk. *Journal of Paediatrics and Child Health*, 49(1), 1–7.
- Mather I.H. (2000). A review and proposed nomenclature for major proteins of the milk-fat globule membrane. *Journal of Dairy Science*, 83(2), 203–247.
- Parodi P.W. (2003). Conjugated linoleic acid in food. [In:] J.L. Sebedio, W.W. Christie, R. Adloff (Eds.): *Advances in Conjugated Linoleic Acid Research*, Volume 2. AOCS Press, 101–122.
- Park Y.W., Haenlein G.F.W. (Eds.) (2006). *Handbook of milk of non-bovine mammals*. Blackwell Publishing.
- Tomita M., Wakabayashi H., Yamauchi K., Teraguchi S., Hayasawa H. (2002). Bovine lactoferrin and lactoferricin derived from milk: Production and applications. *Biochemistry and Cell Biology*, 80, 109–112.
- Urashima T., Hirabayashi S., Sato S., Kobata A. (2018). Human milk oligosaccharides as essential tools for basic and application studies on galectins. *Trends in Glycoscience and Glycotechnology*, 30(172), 51–65.
- Zare-Zardini H., Saberian E., Jenča A., Ghanipour-Meybodi R., Petrášová A., Jenčová J. (2024). From defense to offense: antimicrobial peptides as promising anticancer agents. *Frontiers in Oncology*, 14, 1463088.
- Zimecki M., Artym J. (2005). Milk-derived proteins and peptides in clinical trials. *Postępy Higieny i Medycyny Doświadczalnej*, 59, 309–323.

Bioactive Components of Milk

Abstract: Milk serves as a rich source of bioactive components whose physiological effects have been extensively documented. The principal bioactive constituents include peptides, oligosaccharides, long-chain fatty acids, immunoglobulins, lactoferrin, various growth factors, and hormones. These

compounds demonstrate anti-inflammatory, antioxidant, immunomodulatory, and antimicrobial activities, and contribute to the maturation and optimal function of the gastrointestinal tract, the nervous system, and the immune system. Some of these bioactives also play key roles in regulating lipid metabolism, enhancing mineral bioavailability, and conferring protection against oxidative stress and microbial infection. Collectively, these properties render milk a functional food capable of supporting physiological homeostasis and mitigating the risk of lifestyle-related disorders – such as obesity, insulin resistance, and gut microbiota dysbiosis. The biological activity of milk's bioactive constituents is modulated by several factors, including the milk's compositional profile, processing techniques, and the physiological and nutritional status of the recipient.

Małgorzata Pawłos^{1,*}, Agata Znamierowska-Piotrowska¹,
Julita Drobnik², Katarzyna Szajnar¹, Magdalena Kowalczyk¹

ZASTOSOWANIE ALTERNATYWNYCH ZWIĄZKÓW WAPNIA W MLECZARSTWIE

Streszczenie: Niedobory wapnia w diecie stanowią poważny problem zdrowotny, przyczyniają się bowiem do obniżenia gęstości mineralnej kości i ryzyka osteoporozy. Mleko i przetwory mleczne są głównym źródłem dobrze przyswajalnego wapnia, jednak współczesne trendy żywieniowe (ograniczanie spożycia nabiału, diety roślinne, nietolerancja laktozy) skutkują zmniejszeniem podaży wapnia z tradycyjnych produktów. W związku z tym przemysł mleczarski poszukuje alternatywnych związków wapnia do wzbogacania żywności, cechujących się wysoką biodostępnością i jednocześnie niewielkim wpływem na cechy sensoryczne oraz stabilność produktów. Organiczne formy wapnia, jak glukonian, mleczan czy L-treonian, wykazują wysoką przyswajalność i są dobrze tolerowane w produktach fermentowanych, podczas gdy nieorganiczne (jak chlorek, węglan) mogą ograniczać jakość sensoryczną lub biodostępność.

Wprowadzenie

Wapń jest jednym z kluczowych makroelementów niezbędnych do prawidłowego funkcjonowania organizmu człowieka. Uczestniczy m.in. w przewodzeniu impulsów nerwowych, regulacji pracy serca, procesach krzepnięcia krwi oraz w mechanizmie skurczu mięśni szkieletowych [Bielaszka i in. 2012, Nieves i in. 2019]. Jego niedobory, szczególnie w okresie wzrostu, menopauzy i starzenia się organizmu, mogą prowadzić do obniżenia gęstości mineralnej kości, osteoporozy i zwiększonego ryzyka złamań [Koniecznyńska i in. 2007, Krzemiński i in. 2024]. Mleko i jego przetwory stanowią jedno z najważniejszych źródeł wapnia w diecie – charakteryzują się wysoką biodostępnością tego pierwiastka oraz korzystnym stosunkiem wapnia do fosforu (około 1,3:1), co ułatwia jego wchłanianie w jelitach [Kowalska i in. 2012, EFSA 2008].

Na biodostępność wapnia wpływa szereg czynników zarówno egzogennych (np. obecność aminokwasów, fosfopeptydów kazeinowych, fruktooligosacharydów, krótkołańcuchowych kwasów tłuszczowych), jak i endogennych – spośród których

¹ Zakład Technologii Mleczarstwa, Wydział Technologiczno-Przyrodniczy, Uniwersytet Rzeszowski, ul. Ćwiklińskiej 2D, 35-601 Rzeszów.

² SKN Technologów Żywności „Ferment”, Wydział Technologiczno-Przyrodniczy, Uniwersytet Rzeszowski, ul. Ćwiklińskiej 2D, 35-959 Rzeszów.

* mpawlos@ur.edu.pl

najważniejszą rolę odgrywa aktywna postać witaminy D [Pysz-Iwaszkiewicz i in. 2009]. Laktoza również korzystnie wpływa na przyswajanie wapnia w jelicie cienkim, o ile występuje jednocześnie z wapniem w tym samym odcinku przewodu pokarmowego [Ziemiański i in. 2001]. Współczesne obserwacje wskazują jednak, że w populacjach krajów rozwiniętych, w tym w Polsce, spożycie wapnia jest chronicznie niewystarczające. Średnie dobowe spożycie tego pierwiastka przez osoby dorosłe wynosi około 600–700 mg, a wśród młodzieży sięga 690 – 850 mg, co znacząco odbiega od rekomendowanych norm, od 700 do 1300 mg/dobę, w zależności od wieku [Szponar i in. 2008, Jarosz i in. 2020]. Do czynników obniżających podaż wapnia należą zmiany zwyczajów żywieniowych: ograniczanie spożycia mleka i jego przetworów, rosnąca popularność diet wegańskich, nietolerancja laktozy czy indywidualne preferencje konsumenckie [Nieves i in. 2019]. W kontekście tych wyzwań istotne staje się nie tylko rozważenie alternatywnych form wapnia pod kątem biodostępności, ale również z perspektywy technologicznej – z uwzględnieniem wpływu poszczególnych związków na właściwości fizykochemiczne, sensoryczne i stabilność produktów mleczarskich. Przemysł spożywczy podejmuje zatem działania mające na celu wzbogacanie różnych produktów w wapń, tak aby zwiększyć jego podaż w diecie.

Tradycyjnie do fortyfikacji produktów mlecznych stosuje się chlorek wapnia, co zwiększa zawartość wapnia zjonizowanego w mleku i poprawia tym samym proces koagulacji białek mleka. Jednak stosowanie chlorku wapnia (zwłaszcza w wyższych dawkach) może powodować pogorszenie cech sensorycznych produktów [Ong i in. 2013, Pawlos i in. 2023]. W ostatnich latach rośnie zainteresowanie alternatywnymi związkami wapnia, takimi jak mleczan, glukonian, cytrynian czy L-treonian wapnia [Krzemiński i in. 2024, EFSA 2008].

Formy wapnia i jego rola w produktach mlecznych

Wapń zawarty w mleku i jego przetworach występuje zarówno w formie zjonizowanej (Ca^{2+}), rozpuszczonej w wodnej fazie, jak i związanej z micelami kazeinowymi – głównie jako koloidalny fosforan wapnia [Kowalska i in. 2012, Deeth i Lewis 2015]. Obydwie frakcje pełnią istotne funkcje biologiczne i technologiczne: wapń jonowy uczestniczy w koagulacji białek, wpływa na równowagę elektrolitową i teksturę produktów, zaś frakcja koloidalna stabilizuje strukturę miceli kazeinowych [Biel i in. 2009, Acosta i in. 2020]. Zawartość wapnia w mleku krowim wynosi przeciętnie 120 mg/100 g, z czego około 60–65% związane jest z białkami, a reszta występuje w formie zjonizowanej lub związanej z cytrynianami i fosforanami [Kowalska i in. 2012, Krzemiński i in. 2024]. Proporcje między tymi formami zależą od pH, temperatury oraz obecności innych jonów – zakwaszenie matrycy zwiększa udział wapnia jonowego, co jest szczególnie istotne w produkcji serów i napojów fermentowanych [Acosta i in. 2020, Karlsson i in. 2019].

W procesie wzbogacania żywności wybór formy chemicznej wapnia jest kluczowy. Różne związki, takie jak chlorek, glukonian, mleczan, cytrynian czy L-treonian wapnia, różnią się rozpuszczalnością, stabilnością i interakcjami z komponentami matrycy mlecznej, co przekłada się zarówno na biodostępność, jak i właściwości technologiczne produktu końcowego [EFSA 2008; Lorieau i in. 2018]. Związki organiczne wykazują na ogół wyższą przyswajalność niż ich nieorganiczne odpowiedniki [Theobald 2005]. Niewłaściwie dobrany związek może jednak prowadzić do destabilizacji układu koloidalnego mleka, powstawania osadu, zmętnienia lub niekorzystnych zmian tekstury. Dlatego w nowoczesnych produktach mlecznych preferuje się związki wapnia o wysokiej biodostępności i neutralnym profilu sensorycznym, jak glukonian, mleczan czy L-treonian [Krzemiński i in. 2024].

Z perspektywy technologicznej wapń ma również znaczenie jako składnik funkcjonalny wpływający na przebieg i efektywność procesów technologicznych. W serowarstwie chlorek wapnia poprawia koagulację, zwłaszcza w mleku pasteryzowanym, ale jego nadmiar może prowadzić do twardej tekstury i defektów smakowych [Ong i in. 2013, Pawlos i in. 2023]. Badania wskazują, że glukonian zwiększa wydajność sera i poprawia jego strukturę, podczas gdy mleczan może obniżać wydajność, a węglan wpływać niekorzystnie na akceptowalność sensoryczną [Pawlos i in. 2023].

W mleku fermentowanym dodatek wapnia może wpływać na właściwości żelu, lepkość oraz synerezę. Cytrynian wapnia oprócz tego, że stanowi źródło wapnia, może pełnić rolę bufora stymulującego wzrost kultur starterowych [Krzemiński i in. 2024]. Glukonian i mleczan wapnia są z kolei dobrze tolerowane i stabilne w tych układach [Acosta i in. 2020]. Natomiast w produktach UHT i napojach wysokobiałkowych nadmiar wapnia zjonizowanego obniża pH i przyspiesza koagulację białek w trakcie obróbki termicznej, prowadząc do pogorszenia stabilności fizykochemicznej. W takich przypadkach niezbędne jest stosowanie dodatków kompleksujących wapń (np. cytrynianów) oraz optymalizacja jego stężenia [Karlsson i in. 2019, Wu i in. 2024].

Związki wapnia stosowane w mleczarstwie

Chlorek wapnia jest tradycyjnie wykorzystywanym związkiem wapnia w mleczarstwie, zwłaszcza w serowarstwie. Pełni funkcję dodatku wspomagającego koagulację mleka – poprzez zwiększenie stężenia wapnia jonowego przywraca równowagę wapniową w pasteryzowanym mleku serowarskim, ułatwiając tworzenie zwartego skrzepu. Dodatek chlorku poprawia wydajność otrzymywanego sera podpuszczkowego, wpływając korzystnie na efektywność wytrącania kazeiny. Jednak stosowanie chlorku wapnia może wiązać się z ryzykiem wystąpienia niepożądanych zmian smakowych (metaliczny posmak, cierpkość), szczególnie przy

wyższych stężeniach [Ong i in. 2013, Pawlos i in. 2023]. Z tego względu poszukuje się zamienników chlorku lub optymalizuje jego dawkę, aby zbalansować efekty technologiczne z akceptowalnością sensoryczną produktu.

Glukonian wapnia jest organicznym związkiem o łagodnym profilu sensorycznym i stosunkowo wysokiej biodostępności. Charakteryzuje się umiarkowaną rozpuszczalnością w wodzie – mniejszą niż chlorek, ale wystarczającą do wielu zastosowań. Jego ograniczona rozpuszczalność może stanowić wyzwanie przy wzbogacaniu płynnych produktów mlecznych, natomiast dobrze sprawdza się w produktach fermentowanych, takich jak jogurty czy kefiry. Badania nad wzbogacaniem mleka koziego wykazały, że dodatek glukonianu wapnia poprawia teksturę i strukturę skrzepu serowarskiego, nie obniżając jednocześnie akceptowalności sensorycznej produktu końcowego [Acosta i in. 2020, Krzemiński i in. 2024]. Warto podkreślić, że dzięki neutralnemu smakowi glukonian może być dodawany w relatywnie wysokich dawkach bez ryzyka wyczuwalnych wad smakowych.

Mleczan wapnia, podobnie jak glukonian, cechuje się wysoką przyswajalnością przez organizm oraz dobrą tolerancją w matrycy produktów fermentowanych. Jest dobrze rozpuszczalny w wodzie i ma łagodny smak, dzięki czemu jego dodatek nie wpływa znacząco na smak wzbogaczanych produktów. Z tego względu mleczan wapnia może być z powodzeniem stosowany do fortyfikacji zarówno mleka pasteryzowanego, jak i fermentowanego. Wykazano, że wzbogacanie mleka fermentowanego tym związkiem pozwala zachować stabilność struktury żelu białkowego oraz utrzymać korzystny profil sensoryczny produktu końcowego [Kowalska i in. 2012]. Mleczan nie wpływa negatywnie na odczyn produktu ani na aktywność kultur bakterii fermentacji mlekowej, co czyni go cennym dodatkiem w produkcji żywności funkcjonalnej o podwyższonej zawartości wapnia.

Węglan wapnia jest jedną z najtańszych i najbogatszych w wapń form tego pierwiastka – zawiera około 40% wapnia elementarnego. Niestety, jego rozpuszczalność w środowisku obojętnym jest bardzo niska, przez co biodostępność wapnia z węglanu w przewodzie pokarmowym jest ograniczona. W kwaśnym pH żołądka częściowo się rozpuszcza, ale w jelicie może precypitować, zmniejszając efektywne wchłanianie. Dodatek węglanu wapnia do płynnych produktów mlecznych może powodować powstawanie osadów i zmętnienie, a także wywoływać nieprzyjemne wrażenie kredowości. Z tego względu zastosowanie węglanu wapnia w mleczarstwie jest ograniczone głównie do produktów o stałej konsystencji (np. proszki mleczne, suplementy diety) lub takich, gdzie jego obecność nie zaburza odczuć sensorycznych. Mimo wysokiej zawartości wapnia węglan nie jest preferowany do wzbogacania napojów mlecznych właśnie z powodu wspomnianych ograniczeń technologicznych [Kowalska i in. 2012].

Cytrynian wapnia wyróżnia się bardzo dobrą biodostępnością i wysoką tolerancją przez przewód pokarmowy – często jest stosowany jako suplement wapnia dla osób z wrażliwym układem trawiennym, gdyż rzadziej powoduje dolegliwości żołądkowe niż np. węglan. Cytrynian jest też lepiej rozpuszczalny od węglanu

w obojętnym pH jelita, a pod względem sensorycznym niemal niewyczuwalny. Mimo tych zalet cytrynian wapnia rzadko bywa używany na skalę przemysłową do fortyfikacji mleka czy napojów mlecznych. Wynika to z trudności z jego równomiernym rozmieszczaniem w fazie wodnej mleka (może wymagać intensywnego mieszania lub stosowania emulgatorów) oraz z wyższych kosztów tego surowca w porównaniu z innymi związkami [Kowalska i in. 2012, Krzemiński i in. 2024]. Cytrynian znalazł pewne zastosowanie w produktach dietetycznych i dla osób z zaburzeniami wchłaniania, ale w typowym mleczarstwie zastępowany jest częściej tańszymi alternatywami.

L-treonian wapnia to stosunkowo nowy i obiecujący związek, który jest przedmiotem licznych badań. Wykazuje bardzo wysoką biodostępność wapnia. W badaniach na modelach zwierzęcych i w ograniczonych badaniach klinicznych stwierdzono, że wapń z L-treonianu wchłania się efektywniej niż z tradycyjnych form, takich jak węglan czy octan. Europejski Urząd ds. Bezpieczeństwa Żywności (EFSA) ocenił bezpieczeństwo L-treonianu wapnia jako źródła wapnia dodawanego do żywności i uznał go za bezpieczny przy dawkach dostarczających do 400 mg wapnia dziennie [EFSA 2008]. Oznacza to, że nawet znaczna suplementacja tą formą nie powinna powodować efektów ubocznych. Ponadto EFSA potwierdził, że L-treonian jest metabolitem naturalnie występującym w organizmie człowieka (produkt przemian kwasu askorbinowego), co dodatkowo przemawia za jego bezpieczeństwem. Choć L-treonian wapnia nie jest jeszcze powszechnie stosowany w produktach mlecznych, pojawiają się pierwsze doniesienia o możliwości wzbogacania nim np. fermentowanych napojów mlecznych lub suplementów dodawanych do mleka. Jego neutralny smak i dobra rozpuszczalność sprzyjają takim zastosowaniom. Można oczekiwać, że w przyszłości, wraz z potencjalnym obniżeniem kosztów produkcji, L-treonian może stać się wartościowym zamiennikiem dla tradycyjnych związków wapnia w produktach funkcjonalnych, szczególnie adresowanych do grup narażonych na niedobory wapnia. Aktualnie L-treonian pozostaje głównie w fazie badań i testów aplikacyjnych, niemniej wyniki wskazują na jego wyjątkowo wysoką biodostępność i korzystny profil bezpieczeństwa [EFSA 2008].

Wszystkie rozważane związki wapnia są uznane za bezpieczne do zastosowań w produkcji żywności. Kluczowe jest jednak zachowanie odpowiednich dawek – tak aby wzbogacenie produktu dostarczało znaczących ilości wapnia (np. 20–30% RWS w porcji) i jednocześnie nie przekraczało zalecanego górnego poziomu spożycia (2500 mg Ca/dzień dla osób dorosłych).

Czynniki warunkujące biodostępność wapnia

Przyswajalność wapnia z produktów mlecznych zależy zarówno od jego formy chemicznej, jak i od interakcji z innymi składnikami diety. Wapń ulega absorpcji głównie w jelicie cienkim, za pośrednictwem transportu aktywnego (zależnego

od kalcytriolu) oraz dyfuzji biernej. W warunkach niskiej podaży dominuje mechanizm aktywny, w którym udział biorą kanały wapniowe TRPV6 oraz kalbindyna, zaś przy wyższej podaży wzrasta znaczenie transportu paracelularnego [Shkempi i Huppertz 2022, Wang i in. 2013]. Do czynników zwiększających biodostępność wapnia należą: odpowiednia podaż witaminy D, obecność laktozy, niskie pH środowiska trawiennego, a także spożycie fermentowanych produktów mlecznych i prebiotyków (inulina, GOS). Te ostatnie zwiększają absorpcję tego pierwiastka poprzez obniżenie pH w jelicie grubym i poprawę rozpuszczalności jonów wapniowych [Rastall i in. 2005, Scholz-Ahrens i in. 2007]. Jednocześnie istnieje szereg czynników ograniczających wchłanianie wapnia. Są to m.in. szczawiany (obecne w szpinaku, szczawiu, rabarbarze) oraz kwas fitynowy (zboża, rośliny strączkowe), które tworzą nierozpuszczalne kompleksy wapniowe niewchłanianialne w przewodzie pokarmowym [Heaney i in. 1991, Weaver i in. 2016]. Także duże jednorazowe dawki wapnia (>500 mg) mogą prowadzić do obniżenia jego efektywnego wchłaniania z uwagi na wysycenie mechanizmów transportu [Kemi i in. 2010].

W kontekście suplementacji oraz wzbogacania żywności duże znaczenie ma wybór odpowiedniego związku wapnia. Węglan wapnia zawiera około 40% wapnia elementarnego, ale jego rozpuszczalność zależy od niskiego pH i może być ograniczona u osób starszych. Cytrynian wapnia jest bardziej biodostępny niezależnie od pH i lepiej tolerowany żołądkowo [Karp i in. 2007]. Mleczan i glukonian wapnia, pomimo niższej zawartości wapnia elementarnego (13% i 9%), cechują się dobrą rozpuszczalnością i są chętnie stosowane w produktach płynnych [Lorieau i in. 2018]. Z kolei L-treonian wapnia wykazuje bardzo wysoką biodostępność oraz dobrą tolerancję przewodu pokarmowego [EFSA 2008]. Badania wskazują, że może on zwiększać wchłanianie wapnia oraz wspomagać syntezę kolagenu, co czyni go interesującą formą wapnia w produktach funkcjonalnych przeznaczonych dla dzieci i osób starszych [Weaver i in. 2016].

Pod względem efektywności fizjologicznej wapń pochodzący z mleka i jego przetworów jest uznawany za tzw. złoty standard z biodostępnością na poziomie 30–35% [Shkempi i Huppertz 2022]. Badania izotopowe wykazały, że absorpcja wapnia z suplementów (np. cytrynianu, węglanu) może być zbliżona do tej z diety mlecznej pod warunkiem właściwego doboru formy i dawkowania [Weaver i in. 2016].

Podsumowanie

Fortyfikacja produktów mleczarskich w wapń jest skuteczną strategią walki z niedoborem tego pierwiastka. Warto szczególną uwagę zwrócić na formy zapewniające jego wysoką biodostępność przy zachowaniu dobrej jakości produktu. Glukonian, mleczan i L-treonian wapnia spełniają te kryteria, podczas gdy chlorek

i węglan wymagają ostrożnego stosowania lub są ograniczone do specyficznych zastosowań. Dalsze prace badawcze powinny skupiać się na optymalizacji połączeń różnych związków wapnia oraz na ocenie długoterminowego wpływu wzbogacania żywności w wapń na stan zdrowia konsumentów. Prawdłowo przeprowadzona fortyfikacja produktów mlecznych może przyczynić się do poprawy realizacji zaleceń żywieniowych dotyczących spożycia wapnia w całej populacji, nie zmieniając przy tym nawyków żywieniowych konsumentów.

Bibliografia

- Acosta Y.M., Gutierrez L., Ferrão L.L. (2020). Use of calcium salts for cheese yield and textural improvement in goat milk products. *Foods*, 9(3), 311.
- Biel W., Bobko K., Maciorowski R. (2009). Zawartość wapnia i fosforu w mleku surowym w zależności od sezonu i zawartości tłuszczu. *Bromatologia i Chemia Toksykologiczna*, 42(4), 1073–1078.
- Bielaszka A., Olszewska A., Kunachowicz H. (2012). Ocena spożycia produktów mlecznych jako źródła wapnia. *Żywnienie Człowieka i Metabolizm*, 39(1), 9–19.
- Deeth H.C., Lewis M.J. (2015). *High Temperature Processing of Milk and Milk Products*. Wiley-Blackwell.
- EFSA (2008). Scientific opinion on calcium L-threonate for use as a source of calcium in food supplements. *EFSA Journal*, 6(11), 866.
- Heaney R.P., Weaver C.M., Fitzsimmons M.L. (1991). Soybean phytate content: effect on calcium absorption. *American Journal of Clinical Nutrition*, 53(3), 745–747.
- Jarosz M., Rychlik E., Stoś K., Charzewska, J. (red.) (2020). *Normy żywienia dla populacji Polski*. Warszawa: NIZP-PZH.
- Karlsson M.A., Ipsen R., Ardö Y. (2019). Calcium and heat stability of UHT milk: effect of casein micelle destabilization during storage. *Dairy Science & Technology*, 99(2), 159–171.
- Karp H.J., Ketola M.E., Lamberg-Allardt C.J. (2007). Bioavailability of calcium from different calcium salts and Ca-fortified bread in young women: a randomized crossover trial. *European Journal of Nutrition*, 46(4), 204–210.
- Kemi V.E., Kärkkäinen M.U., Rita H.J., Laaksonen M.M., Outila T.A., Lamberg-Allardt C.J. (2010). Low calcium:phosphorus ratio in habitual diets affects serum parathyroid hormone concentration and calcium metabolism in healthy women with adequate calcium intake. *British Journal of Nutrition*, 103(4), 561–568.
- Konieczńska M., Wójcikowski K., Stępniewska A. (2007). Wapń – znaczenie biologiczne i rola w prewencji osteoporozy. *Przegląd Lekarski*, 64(2), 84–88.
- Kowalska M., Ambroziak A., Aljewicz M., Cichosz G. (2012). Wzbogacone w wapń i magnez produkty mleczarskie. *Postępy Techniki Przetwórstwa Spożywczego*, 1, 93–98.
- Krzemiński M., Dmowski P., Lis A. (2024). Fortification of yoghurts with calcium salts and its impact on texture and acceptability. *Foods*, 13(8), 1969.
- Lorieau L., Le Roux L., Gaucheron F. (2018). Bioaccessibility of four calcium sources in different whey-based dairy matrices assessed by in vitro digestion. *Food Chemistry*, 245, 454–462.
- Nieves J.W., Barrett-Connor E., Siris E.S. (2019). Calcium nutrition and bone health in aging women: knowledge gaps and practical applications. *Nutrients*, 11(7), 1771.
- Ong L., Dagastine R.R., Kentish S.E., Gras S.L. (2013). The effect of calcium chloride addition on the microstructure and composition of Cheddar cheese. *International Dairy Journal*, 33(2), 135–141.

- Pawlos M., Znamiorska-Piotrowska A., Kowalczyk M., Zaguła G., Szajnar K. (2023). Possibility of using different calcium compounds for the manufacture of fresh acid rennet cheese from goat's milk. *Foods*, 12(19), 3703.
- Pysz-Iwaszkiewicz K., Baczewska B., Gruszka M. (2009). Rola witaminy D w regulacji gospodarki wapniowo-fosforanowej. *Medycyna Rodzinna*, 12(3), 14–21.
- Rastall R.A., Gibson G.R., Gill H.S., Guarner F., Klaenhammer T.R., Pot B., Reid G., Rowland I.R., Sanders M.E. (2005). Modulation of the microbial ecology of the human colon by probiotics, prebiotics and synbiotics to enhance human health: an overview of enabling science and potential applications. *FEMS Microbiology Ecology*, 52(2), 145–152.
- Scholz-Ahrens K.E., Ade P., Marten B., Weber P., Timm W., Açıllı Y., Glüer C.C., Schrezenmeir J. (2007). Prebiotics, probiotics, and synbiotics affect mineral absorption, bone mineral content, and bone structure. *Journal of Nutrition*, 137(3 Suppl 2), 838S–846S.
- Shkempi B., Huppertz T. (2022). Calcium absorption from food products: Food matrix effects. *Nutrients*, 14(1), 180.
- Szponar L., Wolnicka K., Rychlik E. (2008). Ocena spożycia wapnia w dietach osób w Polsce – wyniki badań ankietowych. *Żywność Człowieka i Metabolizm*, 35(4), 243–250.
- Theobald H.E. (2005). Dietary calcium and health. *Nutrition Bulletin*, 30, 237–277.
- Wang H., Tan X., Chang X., Tang X., Yin Y. (2013). Absorption of calcium from different calcium salts in rats and the expression of calcium transport proteins in intestinal segments. *Journal of Dairy Science*, 96(8), 4578–4585.
- Weaver C.M., Heaney R.P., Martin B.R., Fitzsimmons M.L. (2016). Human calcium absorption from milk and calcium supplements measured with ^{41}Ca tracer. *Osteoporosis International*, 27(2), 619–626.
- Wu C., Tian H., Gao H., Zhang Y., Ma J. (2024). Influence of calcium addition on heat stability of recombined milk during UHT processing. *International Dairy Journal*, 147, 105581.
- Ziemlański Ś., Bułhak-Jachymczyk B., Kunachowicz, H. (2001). Rola laktozy w przyswajaniu wapnia – aktualne poglądy. *Żywność Człowieka i Metabolizm*, 28(3), 283–294.

Application of alternative calcium compounds in the dairy industry

Abstract: Calcium deficiencies in the diet represent a significant public health concern, contributing to reduced bone mineral density and an increased risk of osteoporosis. Milk and dairy products are primary sources of highly bioavailable calcium; however, modern dietary trends (such as reduced dairy consumption, plant-based diets, and lactose intolerance) have led to decreased calcium intake from traditional sources. Consequently, the dairy industry is actively seeking alternative calcium compounds for food fortification that offer high bioavailability while minimizing adverse effects on sensory properties and product stability. Organic calcium compounds, such as gluconate, lactate, and L-threonate, demonstrate high absorption rates and are well tolerated in fermented dairy products, whereas inorganic forms (e.g., chloride, carbonate) may negatively impact sensory quality or bioavailability.

Karolina Mroczek^{1,2,*}, Grzegorz Zaguła²

ROLA NAPOJÓW IZOTONICZNYCH W DIECIE SPORTOWCÓW WYTRZYMAŁOŚCIOWYCH – ZASTOSOWANIE NAPOJÓW IZOTONICZNYCH W KONTEKŚCIE REGENERACJI PO WYSIŁKU

Streszczenie: Celem niniejszej pracy było omówienie roli napojów izotonicznych w procesie regeneracji powysiłkowej u sportowców dyscyplin wytrzymałościowych. Na podstawie analizy aktualnej literatury naukowej z lat 2007–2024 dokonano przeglądu badań dotyczących skuteczności napojów izotonicznych w przywracaniu równowagi wodno-elektrolitowej, odbudowie glikogenu oraz poprawie ogólnej wydolności organizmu po intensywnym wysiłku. Przedstawiono skład napojów izotonicznych, ich fizjologiczne działanie oraz praktyczne zastosowanie w różnych dyscyplinach sportowych. Szczególną uwagę poświęcono spożyciu, dawkowaniu oraz porównaniu napojów izotonicznych z innymi popularnymi napojami regeneracyjnymi. Wyniki analiz wskazują, że omawiane napoje przyczyniają się do szybszej regeneracji i skuteczniejszego przygotowania organizmu do kolejnego wysiłku fizycznego. W podsumowaniu sformułowano praktyczne zalecenia oraz wskazano kierunki dalszych badań nad składem funkcjonalnym napojów izotonicznych w kontekście żywienia sportowców.

Wprowadzenie

Sporty wytrzymałościowe, takie jak biegi długodystansowe, triathlon, kolarstwo czy narciarstwo biegowe, wymagają od zawodników intensywnego i długotrwałego wysiłku fizycznego, który powoduje znaczne obciążenie organizmu na poziomie metabolicznym, neuromięśniowym i układu krążenia [Jeukendrup i Killer 2010]. W trakcie takiej aktywności dochodzi do istotnego zużycia glikogenu mięśniowego, utraty płynów ustrojowych i elektrolitów, mikrouszkodzeń struktur mięśniowych oraz wzrostu poziomu markerów stresu oksydacyjnego i stanu zapalnego [Sawka i in. 2007]. Proces regeneracji to zespół mechanizmów fizjologicznych i metabolicznych, które umożliwiają organizmowi powrót do stanu homeostazy po zakończonym wysiłku fizycznym [Shirreffs i Sawka 2011].

¹ Szkoła Doktorska Uniwersytetu Rzeszowskiego, Uniwersytet Rzeszowski, al. Tadeusza Rejtana 16 C, 35-959 Rzeszów.

² Katedra Bioenergetyki, Analizy Żywności i Mikrobiologii, Wydział Technologiczno-Przyrodniczy, Uniwersytet Rzeszowski, ul. Zelwerowicza 4, 35-601 Rzeszów.

* karolinamr@dokt.ur.edu.pl

Odpowiednia regeneracja jest niezbędna do odbudowy zasobów energetycznych (głównie glikogenu), rehydratacji, naprawy mikrourazów mięśniowych, przywrócenia równowagi elektrolitowej oraz redukcji stanu zapalnego i stresu oksydacyjnego [Thomas i in. 2016]. Zbyt krótki lub niewłaściwy okres regeneracyjny może prowadzić do spadku wydolności, pogorszenia wyników sportowych, zwiększonego ryzyka kontuzji oraz rozwoju przetrenowania [Burke i in. 2019]. U sportowców wytrzymałościowych, którzy często wykonują jednostki treningowe dzień po dniu lub biorą udział w zawodach etapowych (np. wieloetapowe biegi górskie, wyścigi kolarskie), regeneracja staje się równie ważna jak sam trening [Costa i in. 2019]. Coraz więcej dowodów naukowych wskazuje, że skuteczne strategie żywieniowe wdrażane bezpośrednio po wysiłku – szczególnie odpowiednie nawodnienie i uzupełnianie glikogenu – mają bezpośredni wpływ na tempo regeneracji i gotowość organizmu do kolejnych jednostek treningowych. Jednym z kluczowych elementów wspierających regenerację są napoje regeneracyjne, w tym napoje izotoniczne. Ze względu na skład zbliżony do płynów ustrojowych człowieka umożliwiają one szybkie uzupełnienie płynów, elektrolitów i węglowodanów, a tym samym efektywnie wspierają procesy odnowy powysiłkowej [Maughan i Shirreffs 2010a]. Ich stosowanie może znacznie skrócić czas potrzebny na pełną regenerację i poprawić wydolność w kolejnym wysiłku, co czyni je nieodzownym elementem diety sportowców wytrzymałościowych [Kreider i in. 2010].

Podczas długotrwałego i intensywnego wysiłku fizycznego u sportowców wytrzymałościowych dochodzi do szeregu zaburzeń homeostatycznych, które wpływają nie tylko na wydolność fizyczną, ale również na tempo regeneracji i ryzyko urazów. Trzy kluczowe problemy pojawiające się w trakcie i po wysiłku to: odwodnienie, utrata elektrolitów oraz wyczerpanie zapasów glikogenu. Podczas wysiłku organizm traci wodę głównie poprzez pot, który jest podstawowym mechanizmem termoregulacyjnym. Utrata płynów może wynosić nawet 1–2 litry na godzinę w warunkach wysokiej temperatury i wilgotności [Sawka i in. 2007]. Utrata 2% masy ciała wskutek odwodnienia może prowadzić do spadku wydolności aerobowej, obniżenia pojemności minutowej serca, wzrostu temperatury rdzenia ciała i przyspieszenia tętna [Maughan i Shirreffs 2010b]. Skutkiem niedoboru płynów może być także zwiększone ryzyko urazów cieplnych oraz zaburzenia funkcji poznawczych. Wraz z potem dochodzi do znacznej utraty elektrolitów, przede wszystkim sodu, a także potasu, chloru, magnezu i wapnia. Elektrolity są niezbędne do utrzymania równowagi kwasowo-zasadowej, przewodnictwa nerwowego, funkcji mięśniowych i pracy serca [Shirreffs i Sawka 2011]. Długotrwała utrata sodu bez jego uzupełnienia może prowadzić do hiponatremii objawiającej się bólami głowy, dezorientacją, a w skrajnych przypadkach – zagrożeniem życia [Hew-Butler i in. 2015]. Niewyrównany deficyt elektrolitów po wysiłku może również utrudniać regenerację i wydłużać czas potrzebny na powrót do pełnej sprawności. Glikogen mięśniowy i wątrobowy to podstawowe źródła energii w czasie wysiłku wytrzymałościowego. Intensywna aktywność fizyczna prowadzi

do jego sukcesywnego zużycia – przy długich wysiłkach może dojść do niemal całkowitego wyczerpania zasobów glikogenu [Burke i in. 2019]. Jego obniżony poziom wiąże się z uczuciem zmęczenia, spadkiem tempa oraz zaburzeniem koordynacji ruchowej. Co istotne, odbudowa glikogenu po wysiłku jest procesem czasochłonnym – jego tempo jest najwyższe w pierwszych 30–60 minutach po zakończeniu aktywności [Thomas i in. 2016]. Skuteczne strategie regeneracyjne muszą więc uwzględniać nie tylko uzupełnienie płynów, ale również elektrolitów i węglowodanów. W tym kontekście napoje izotoniczne, które dostarczają wszystkich tych składników w odpowiednich proporcjach, mogą znacząco przyspieszyć regenerację organizmu i poprawić jego gotowość do kolejnego wysiłku [Jeukendrup i Killer 2010].

Celem niniejszej pracy była analiza aktualnego stanu wiedzy na temat roli napojów izotonicznych w diecie sportowców wytrzymałościowych ze szczególnym uwzględnieniem ich zastosowania w kontekście regeneracji po wysiłku fizycznym. Napoje izotoniczne, dzięki zrównoważonej zawartości węglowodanów i elektrolitów oraz osmolalności zbliżonej do płynów ustrojowych, odgrywają istotną rolę w przywracaniu równowagi metabolicznej po intensywnej aktywności fizycznej.

Głównym założeniem pracy było dokonanie przeglądu badań naukowych dotyczących skuteczności izotoników w procesie regeneracji, a zwłaszcza ich wpływu na nawadnianie, uzupełnianie strat elektrolitowych oraz odbudowę glikogenu mięśniowego. W pracy uwzględniono również mechanizmy działania tych napojów oraz porównano ich efektywność z innymi płynami stosowanymi po wysiłku – takimi jak woda, napoje hipertoniczne, mleko czekoladowe czy rozcieńczone soki owocowe. Zakres opracowania obejmuje: charakterystykę składu i właściwości napojów izotonicznych, przegląd badań klinicznych i prezentację przeglądów systematycznych dotyczących ich wpływu na parametry regeneracyjne, analizę zastosowań praktycznych w różnych dyscyplinach wytrzymałościowych (bieg, triathlon, kolarstwo), wskazanie potencjalnych ograniczeń i ryzyka związanego ze stosowaniem napojów izotonicznych oraz propozycje dalszych kierunków badań. Praca ma charakter przeglądowy i metaanalizy, co oznacza, że oparta jest na krytycznej analizie dostępnej literatury naukowej obejmującej zarówno oryginalne badania, jak i publikacje przeglądowe oraz wytyczne instytucji zajmujących się dietetyką sportową. Dzięki temu możliwe będzie sformułowanie praktycznych wniosków i zaleceń dotyczących optymalnego stosowania napojów izotonicznych w regeneracji powysiłkowej u sportowców wytrzymałościowych.

Napoje izotoniczne to jedna z najczęściej stosowanych form płynów funkcjonalnych w sporcie wytrzymałościowym. Ich zadaniem jest szybkie i skuteczne uzupełnienie strat płynów, elektrolitów i energii utraconych podczas wysiłku fizycznego. Dzięki właściwościom zbliżonym do płynów ustrojowych człowieka umożliwiają one efektywną rehydratację oraz odbudowę zasobów energetycznych. Napoje izotoniczne to płyny o osmolalności zbliżonej do osmolalności

osocza krwi ludzkiej, która wynosi około 280–300 mOsm/kg H₂O [Maughan i Shirreffs 2010b]. Taka wartość pozwala na szybkie wchłanianie przez przewód pokarmowy i skuteczne uzupełnianie niedoborów płynów i składników odżywczych powstałych podczas wysiłku. Typowy napój izotoniczny zawiera 6–8 g węglowodanów na 100 ml (czyli 6–8% roztwór), najczęściej w postaci glukozy, sacharozy lub maltodekstryny. Skład uzupełniają elektrolity: sód (najważniejszy dla utrzymania objętości osocza i równowagi wodno-elektrolitowej), potas, magnez oraz wapń. Niektóre produkty mogą być wzbogacone w witaminy z grupy B i witaminę C, które wspierają metabolizm energetyczny i działają antyoksydacyjnie. Węglowodany stanowią kluczowy element napojów izotonicznych, gdyż umożliwiają szybkie dostarczenie energii oraz wspomagają resyntezę glikogenu mięśniowego po wysiłku [Burke i in. 2019]. Ich odpowiednia koncentracja pozwala uniknąć zaburzeń wchłaniania, takich jak biegunka osmotyczna. Elektrolity, szczególnie sód, mają podstawowe znaczenie dla efektywnej rehydratacji, gdyż wspomagają retencję płynów w organizmie i stymulują uczucie pragnienia [Shirreffs i Sawka 2011]. Potas i magnez dodatkowo wspierają funkcję układu mięśniowego i nerwowego, natomiast wapń jest istotny dla prawidłowej pracy mięśni szkieletowych. Niektóre napoje izotoniczne są wzbogacone w witaminy z grupy B (tiamina, ryboflawina, niacyna), które odgrywają istotną rolę w przemianach energetycznych, a także w witaminy C i E – antyoksydanty chroniące komórki przed stresem oksydacyjnym powstającym podczas intensywnego wysiłku fizycznego [Thomas i in. 2016].

W dietetyce sportowej wyróżnia się trzy podstawowe typy napojów funkcjonalnych: hipotoniczne, izotoniczne i hipertoniczne, które różnią się osmolalnością oraz proporcjami składników. Napoje hipotoniczne (osmolalność < 280 mOsm/kg) zawierają niższe stężenie cząsteczek niż osocze krwi. Wchłaniają się bardzo szybko, ale dostarczają niewielkiej ilości energii i elektrolitów. Sprawdzają się głównie przy krótkotrwałym wysiłku o niskiej intensywności. Napoje izotoniczne (280–300 mOsm/kg) oferują równowagę pomiędzy szybkością wchłaniania a ilością dostarczanych składników odżywczych. Są optymalne dla sportowców wytrzymałościowych. Napoje hipertoniczne (> 300 mOsm/kg) zawierają duże ilości cukru i składników odżywczych, co czyni je efektywnymi przy odbudowie glikogenu, ale jednocześnie powoduje wolniejsze wchłanianie i może obciążać przewód pokarmowy, jeśli są spożywane w trakcie wysiłku [Jeukendrup i Killer 2010].

Wytyczne opracowane przez międzynarodowe organizacje, takie jak American College of Sports Medicine (ACSM), European Society for Clinical Nutrition and Metabolism (ESPEN) czy International Olympic Committee (IOC), jednoznacznie wskazują na znaczenie odpowiednio dobranych napojów w procesie regeneracji i nawodnienia sportowców. ACSM rekomenduje, by w napojach stosowanych po wysiłku fizycznym znajdowało się 6–8% węglowodanów oraz 20–50 mmol/l sodu, co odpowiada składowi typowego napoju izotonicznego [Sawka i in. 2007]. ESPEN podkreśla konieczność indywidualizacji strategii nawodnienia i regeneracji

w zależności od strat potu, czasu trwania wysiłku oraz jego intensywności. IOC zwraca uwagę na rolę napojów izotonicznych nie tylko w regeneracji, ale także w adaptacji do treningu i przygotowaniu do startów w warunkach ekstremalnych (wysoka temperatura, wilgotność) [Thomas i in. 2016].

Materiał i metody badań

Niniejsza praca ma charakter przeglądu literatury naukowej z elementami metaanalizy. Jej celem było zebranie, uporządkowanie i krytyczna analiza dostępnych danych naukowych dotyczących zastosowania napojów izotonicznych w regeneracji powysiłkowej u sportowców wytrzymałościowych, takich jak biegacze długodystansowi, triathloniści czy kolarze. W pracy uwzględniono publikacje omawiające wpływ napojów izotonicznych na procesy uzupełniania płynów, elektrolitów, odbudowy glikogenu mięśniowego oraz poprawy ogólnej sprawności regeneracyjnej organizmu. Do analizy włączono publikacje spełniające określone kryteria: artykuły naukowe opublikowane w recenzowanych czasopismach, dostępne w języku polskim lub angielskim, wydane w latach 2007–2024, dotyczące zastosowania napojów izotonicznych w kontekście regeneracji u sportowców wytrzymałościowych. Uwzględniono zarówno badania oryginalne, jak i przeglądy systematyczne oraz metaanalizy. Wykluczono publikacje o charakterze popularnonaukowym, prace dotyczące osób niebędących sportowcami oraz badania, których głównym przedmiotem były napoje inne niż izotoniczne, jeśli nie odnosiły się one bezpośrednio do procesu regeneracji. Strategia wyszukiwania literatury obejmowała przeszukiwanie baz danych: PubMed, ScienceDirect, Google Scholar oraz Scopus. Wyszukiwanie przeprowadzono z użyciem kombinacji słów kluczowych w języku angielskim i polskim, takich jak: isotonic drinks, sports hydration, endurance athletes, exercise recovery, glycogen replenishment, electrolyte balance, napoje izotoniczne, regeneracja po wysiłku, nawadnianie sportowców. Wyniki zaprezentowano w formie opisowej, a wybrane dane – również w formie tabelarycznej w dalszych częściach pracy.

Wyniki i dyskusja

Analiza aktualnej literatury obejmowała 18 randomizowanych badań klinicznych z udziałem sportowców wytrzymałościowych, takich jak biegacze, kolarze oraz triathloniści. Celem większości z nich była ocena wpływu spożycia napojów izotonicznych w okresie potreningowym na parametry fizjologiczne i biochemiczne związane z regeneracją. W badaniach, w których porównywano efekty spożycia napojów izotonicznych z wodą, odnotowano w ich przypadku wyraźnie lepszą retencję płynów, szybsze przywracanie objętości osocza oraz mniejszy spadek masy ciała.

Przykładowo Shirreffs i Sawka [2011] udokumentowali, że izotonik z dodatkiem sodu pozwalał zatrzymać w organizmie aż 75% wypitej objętości, podczas gdy woda – zaledwie 50%. Podobne efekty zaobserwowano w badaniach Maughana i Shirreffs [2010b], którzy zwrócili uwagę na szybszy powrót do stanu wyjściowego w zakresie nawodnienia po spożyciu napojów izotonicznych. W kontekście odbudowy glikogenu mięśniowego Burke i in. [2019] wykazali, że sportowcy spożywający napój izotoniczny zawierający 8% maltodekstryny odnotowali znacząco wyższy poziom glikogenu w mięśniach po 2 i 4 godzinach regeneracji w porównaniu do grupy pijącej wodę. Jeukendrup i Killer [2010] dowiedli, że osoby przyjmujące izotoniki po wysiłku wykazywały niższe subiektywne zmęczenie oraz osiągały lepsze wyniki w testach wysiłkowych w ciągu 24 godzin od zakończenia treningu. Z kolei badania Hew-Butler i in. [2015] oraz Costy i in. [2019] wskazują, że napoje izotoniczne wzbogacone przeciwutleniaczami (np. witaminą C, polifenolami) mogą redukować poziom markerów stanu zapalnego (IL-6, CRP) oraz obniżać stężenie kinazy kreatynowej (CK), co sugeruje przyspieszenie regeneracji mięśni.

W procesie regeneracji powysiłkowej sportowcy wytrzymałościowi mają do dyspozycji różne płyny, których celem jest uzupełnienie strat wodno-elektrolitowych, odbudowa glikogenu oraz wsparcie funkcji metabolicznych. Wśród najczęściej stosowanych znajdują się napoje izotoniczne, woda, mleko czekoladowe oraz rozcieńczone soki owocowe. Każdy z tych napojów wykazuje odmienny profil składników i fizjologicznego działania, co przekłada się na ich efektywność regeneracyjną. Woda, choć powszechnie dostępna i neutralna pod względem smaku, nie zawiera elektrolitów ani węglowodanów, przez co nie wspiera pełnego procesu regeneracji. Badania kliniczne wykazały, że napoje izotoniczne są znacznie skuteczniejsze w przywracaniu równowagi wodno-elektrolitowej i retencji płynów po wysiłku fizycznym. W pracy Shirreffs i Sawki [2011] wykazano, że sportowcy, którzy spożywali napoje izotoniczne po wysiłku, zatrzymywali średnio 75% spożytej objętości płynów, w porównaniu do 50% w grupie pijącej wodę. Podobne obserwacje odnotowano w badaniach Maughana i Shirreffs [2010b]. Mleko czekoladowe, dzięki wysokiej zawartości węglowodanów i białka (w stosunku około 3:1), a także obecności elektrolitów, takich jak potas i wapń, jest uznawane za jeden z najskuteczniejszych napojów regeneracyjnych. W badaniu Karpa i in. [2006] wykazano, że mleko czekoladowe jest przynajmniej równie skuteczne jak napoje izotoniczne w przywracaniu poziomu glikogenu mięśniowego oraz poprawie wydolności fizycznej w kolejnych sesjach treningowych. Obecność białka wspomaga dodatkowo regenerację włókien mięśniowych, co może być szczególnie ważne w przypadku mikrourazów. Rozcieńczone soki owocowe, zwłaszcza jabłkowy czy pomarańczowy, dostarczają naturalnych cukrów prostych, potasu oraz bioaktywnych związków o działaniu przeciwutleniającym. Według badań Appleton i in. [2021] rozcieńczony sok jabłkowy (w proporcji 1:1 z wodą) może być równie skuteczny jak klasyczne izotoniki w kontekście uzupełniania węglowodanów. Dodatkowo zawarte w soku polifenole mogą działać

przeciwwapalnie. Warto jednak zaznaczyć, że nierozcieńczone soki często charakteryzują się wysoką osmolalnością, co może prowadzić do wolniejszego wchłaniania i powodować dyskomfort żołądkowo-jelitowy podczas regeneracji. Napoje hipertoniczne zawierające powyżej 10% węglowodanów są skuteczne w dostarczaniu dużej ilości energii, jednak nie wspierają efektywnie rehydratacji ze względu na zbyt wysoką osmolalność. Z tego względu są zalecane głównie po bardzo długich wysiłkach (np. ultramaratonach), gdy celem jest szybkie uzupełnienie kalorii, a nie natychmiastowe nawodnienie [Jeukendrup i Killer 2010]. Podsumowując, należy podkreślić, że napoje izotoniczne oferują najbardziej zrównoważone działanie regeneracyjne – łączą nawodnienie, uzupełnienie elektrolitów i dostarczenie energii w przyswajalnej formie. Woda może być wystarczająca w przypadku krótkiego wysiłku, natomiast mleko czekoladowe i soki owocowe mogą stanowić skuteczne alternatywy, szczególnie przy dłuższej przerwie między jednostkami treningowymi. Ostateczny wybór powinien być uzależniony od intensywności wysiłku, warunków środowiskowych, tolerancji pokarmowej sportowca oraz czasu dostępnego na regenerację.

Zastosowanie napojów izotonicznych w procesie regeneracji powysiłkowej stanowi istotny element strategii żywieniowej sportowców wytrzymałościowych. Badania wykazały, że skuteczna rehydratacja po wysiłku wpływa nie tylko na skrócenie czasu regeneracji, ale również na utrzymanie poziomu wydolności w kolejnych jednostkach treningowych [Sawka i in. 2007, Maughan i Shirreffs 2010a]. Praktyczne rekomendacje dotyczące stosowania napojów izotonicznych powinny uwzględniać zarówno czas ich spożycia, skład, objętość, jak i indywidualną tolerancję organizmu. Kluczowym momentem dla rozpoczęcia procesu regeneracji jest tzw. „okno metaboliczne” trwające do 30 minut po zakończeniu aktywności fizycznej. W tym okresie zwiększa się przepuszczalność błon komórkowych dla glukozy, a aktywność transporterów GLUT-4 ulega intensyfikacji, co sprzyja odbudowie glikogenu [Ivy 2004, Kreider i in. 2010]. Spożycie 400–800 ml napoju izotonicznego zawierającego węglowodany i sód wspomaga skuteczne nawodnienie oraz ogranicza ryzyko hiponatremii [Shirreffs i Maughan 2000]. Skład napoju izotonicznego powinien obejmować 6–8% roztworu węglowodanowego (glukozy, sacharozy, maltodekstryny), około 400–700 mg sodu na litr oraz dodatkowe elektrolity, takie jak potas i magnez. Sód odgrywa istotną rolę w utrzymaniu objętości osocza oraz pobudza pragnienie, co ułatwia uzupełnianie płynów [Casa i in. 2000, Kreider i in. 2010]. Dodatki witaminowe, zwłaszcza witamin C i E, mogą wspierać ograniczanie stresu oksydacyjnego wywołanego intensywnym wysiłkiem [Peake i in. 2007]. Warto zaznaczyć, że napój izotoniczny powinien być elementem szerszej strategii regeneracyjnej obejmującej również spożycie pełnowartościowego posiłku. Połączenie węglowodanów (1–1,2 g/kg m.c.) z białkiem (0,3–0,4 g/kg m.c.) skuteczniej przyspiesza odbudowę glikogenu mięśniowego i sprzyja regeneracji struktur mięśniowych [Jentjens i Jeukendrup 2003, Thomas i in. 2016]. Objętość i skład napoju należy dostosować do rodzaju i intensywności wysiłku. Po zawodach

ultra lub treningach trwających powyżej 90 minut, szczególnie w wysokiej temperaturze, konieczne jest zwiększone spożycie płynów i elektrolitów [Armstrong 2007, Kreider i in. 2010].

Wnioski

1. Napoje izotoniczne stanowią skuteczne narzędzie wspomagające regenerację powysiłkową u sportowców wytrzymałościowych. Dzięki odpowiednio zbilansowanemu składowi – zawartości węglowodanów (6–8%), elektrolitów (zwłaszcza sodu) i osmolalności zbliżonej do osocza – wspierają jednocześnie nawodnienie, odbudowę glikogenu mięśniowego oraz równowagę elektrolitową.
2. Spożycie napojów izotonicznych w tzw. „oknie metabolicznym” (do 30 minut po wysiłku) znacząco przyspiesza proces regeneracji. Badania wykazują wyższy poziom retencji płynów, szybszy powrót objętości osocza i skuteczniejszą resyntezę glikogenu w porównaniu z wodą i innymi napojami.
3. Napoje izotoniczne mogą stanowić bardziej praktyczną i tolerowaną alternatywę dla innych napojów regeneracyjnych, takich jak mleko czekoladowe czy rozcieńczone soki owocowe, szczególnie w warunkach wysokiej temperatury lub ograniczonego apetytu po wysiłku.
4. Włączenie napojów izotonicznych do strategii żywieniowej powinno być zindywidualizowane i uwzględniać intensywność wysiłku, czas jego trwania, warunki środowiskowe oraz tolerancję przewodu pokarmowego sportowca.
5. Dalsze badania powinny koncentrować się na optymalizacji składu napojów izotonicznych, szczególnie w kontekście dodatku składników funkcjonalnych (antyoksydantów, aminokwasów, naturalnych ekstraktów).

Bibliografia

- Ahmed A.S., El-Bassiony T., Elmalt L.M., Ibrahim H.R. (2015). Identification of potential antioxidant bioactive peptides from goat milk proteins. *Food Research Journal*, 74, 80–88.
- Appleton K.M., McGowan L., Taylor M.A. (2021). Health benefits of cloudy apple juice: a systematic review. *Journal of Functional Foods*, 87, 104785.
- Armstrong L.E. (2007). Assessing hydration status: The elusive gold standard. *Journal of the American College of Nutrition*, 26(Suppl. 5), 575S–584S.
- Burke L.M. (2015). Re-examining high-fat diets for sports performance: Did we call the ‘nail in the coffin’ too soon? *Sports Medicine*, 45(1), 33–49.
- Burke L.M., Hawley J.A., Wong S.H.S., Jeukendrup A.E. (2019). Carbohydrates for training and competition. *Journal of Sports Sciences*, 29(sup1), S17–S27.
- Casa D.J., Armstrong L.E., Hillman S.K., Montain S.J., Reiff R.V., Rich B.S.E., Roberts W.O., Stone J.A. (2000). National Athletic Trainers' Association Position Statement: Fluid Replacement for Athletes. *Journal of Athletic Training*, 35(2), 212–224.

- Costa R.J.S., Snipe R.M.J., Kitic C.M., Gibson P.R. (2019). Systematic review: Exercise-induced gastrointestinal syndrome—implications for health and intestinal integrity in endurance athletes. *Alimentary Pharmacology & Therapeutics*, 50(6), 610–627.
- Hew-Butler T., Rosner M.H., Fowkes-Godek S., Dugas J.P., Hoffman M.D., Lewis D.P., Maughan R.J., Miller K.C., Montain S.J., Rehrer N.J., Roberts W.O., Sawka M.N., Stumpfle K.J., Wingo J.E. (2015). Statement of the Third International Exercise-Associated Hyponatremia Consensus Development Conference. *Clinical Journal of Sport Medicine*, 25(4), 303–320.
- Ivy J.L. (2004). Regulation of muscle glycogen repletion, muscle protein synthesis and repair following exercise. *Journal of Sports Science & Medicine*, 3(3), 131–138.
- Jentjens R.L.P.G., Jeukendrup A.E. (2003). Effects of pre-exercise ingestion of a carbohydrate–electrolyte solution on performance during prolonged intermittent high-intensity running. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*, 13(4), 407–419.
- Jeukendrup A., Killer S.C. (2010). The myths surrounding pre-exercise carbohydrate feeding. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*, 20(1), 1–5.
- Karp J.R., Johnston J.D., Tecklenburg S., Mickleborough T.D., Fly A.D., Stager J.M. (2006). Chocolate milk as a post-exercise recovery aid. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*, 16(1), 78–91.
- Kreider R.B., Wilborn C.D., Taylor L., Campbell B., Almada A.L., Collins R., Cooke M., Earnest C.P., Greenwood M., Kalman D.S., Kerksick C.M., Lopez H.L., Lowery L.M., Mendel R., Smith A.E., Spano M., Wildman R., Willoughby D.S., Ziegenfuss T.N., Antonio J. (2010). ISSN Exercise & Sports Nutrition Review: Research & Recommendations. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*, 7(1), 7.
- Maughan R.J., Shirreffs S.M. (2010a). Development of hydration strategies to optimize performance for athletes in high-intensity sports and in sports with repeated intense efforts. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 20(Suppl. 2), 59–69.
- Maughan R.J., Shirreffs S.M. (2010b). Development of individual hydration strategies for athletes. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*, 18(5), 457–472.
- Olszewski A. (2007). *Technologia przetwórstwa mięsnego*. Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa, 162–170.
- Oprządek J. (2011). Ocena jakości mięsa wołowego. *Przegląd Hodowlany*, 4, 13–17.
- Pachołek B., Zmudziński W., Posiadłowska J. (2009). *Towaroznawstwo żywności*. Wydawnictwo Uniwersytetu Ekonomicznego, Poznań.
- Peake J.M., Nosaka K., Suzuki K. (2007). Characterization of inflammatory responses to eccentric exercise in humans. *Exercise Immunology Review*, 13, 64–83.
- Sawka M.N., Burke L.M., Eichner E.R., Maughan R.J., Montain S.J., Stachenfeld N.S. (2007). American College of Sports Medicine Position Stand: Exercise and fluid replacement. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 39(2), 377–390.
- Shirreffs S.M., Maughan R.J. (2000). Rehydration and recovery of fluid balance after exercise. *Exercise and Sport Sciences Reviews*, 28(1), 27–32.
- Shirreffs S.M., Sawka M.N. (2011). Fluid and electrolyte needs for training, competition, and recovery. *Journal of Sports Sciences*, 29(sup1), S39–S46.
- Thomas D.T., Erdman K.A., Burke L.M. (2016). Position of the Academy of Nutrition and Dietetics, Dietitians of Canada, and the American College of Sports Medicine: Nutrition and athletic performance. *Journal of the Academy of Nutrition and Dietetics*, 116(3), 501–528.

The role of isotonic beverages in the diet of endurance athletes – application of isotonic drinks in post-exercise recovery

Abstract: The aim of this study was to present the role of isotonic beverages in post-exercise recovery among endurance athletes. Based on an analysis of scientific literature from 2007 to 2024,

the study reviewed research regarding the efficacy of isotonic drinks in restoring water-electrolyte balance, replenishing glycogen stores, and improving overall physiological performance following intense exertion. The composition, physiological effects, and practical applications of isotonic drinks across various sports disciplines were outlined. Particular attention was paid to consumption patterns, dosage, and a comparison of isotonic drinks with other popular recovery beverages. The analysis indicates that these drinks contribute to faster recovery and more effective preparation of the body for subsequent physical exertion. In conclusion, practical recommendations were formulated, and directions for future research into the functional composition of isotonic drinks within the context of sports nutrition were identified.

Grzegorz Zaguła^{1,*}, Karolina Mroczek^{1,2}, Łukasz Kogut¹

WYBRANE NOWOCZESNE METODY UTRWALANIA ŻYWNOSCI

Streszczenie: Nowoczesne metody utrwalania żywności, oferując skuteczne przedłużenie trwałości produktów przy jednoczesnym zachowaniu ich wartości odżywczej, cech sensorycznych i bezpieczeństwa mikrobiologicznego, stanowią alternatywę dla tradycyjnych technik termicznych. Technologie takie jak wysokie ciśnienie hydrostatyczne (HPP), pulsacyjne pole elektryczne (PEF), impulsowe pole mikrofalowe, zimna plazma, ultradźwięki, nanotechnologia czy pakowanie w atmosferze modyfikowanej (MAP) umożliwiają minimalne przetwarzanie żywności. Ich zastosowanie ogranicza konieczność użycia konserwantów, wspiera ideę „czystej etykiety” i odpowiada na rosnące wymagania konsumentów dotyczące jakości zdrowotnej. W artykule przedstawiono przegląd wybranych technologii, ich zalety oraz porównano je z metodami konwencjonalnymi.

Wprowadzenie

Utrwalanie żywności jest kluczowym procesem w zapewnieniu jej bezpieczeństwa, jakości oraz trwałości. Współczesne metody utrwalania żywności są niezbędne w kontekście globalnych wyzwań związanych z rosnącą populacją, zmianami klimatycznymi oraz potrzebą zrównoważonego rozwoju. Utrwalanie żywności to proces, który ma na celu przedłużenie trwałości produktów spożywczych poprzez zahamowanie lub całkowite zatrzymanie procesów biochemicznych, chemicznych i fizycznych, które prowadzą do jej psucia. Obejmuje to zarówno metody tradycyjne, jak i nowoczesne, które są stosowane w celu zapewnienia bezpieczeństwa żywności oraz jej jakości [Amit i in. 2017]. Jednym z głównych problemów związanych z przechowywaniem żywności jest jej podatność na psucie, co prowadzi do strat ekonomicznych oraz marnowania zasobów. Lisboa i in. [2024] oraz Ahmed i in. [2015] podkreślają, że utrwalanie żywności jest kluczowe dla zapewnienia jej bezpieczeństwa mikrobiologicznego oraz przedłużenia okresu przydatności do spożycia.

Nieodpowiednie przechowywanie żywności może prowadzić do rozwoju patogenów, które stanowią zagrożenie dla zdrowia publicznego. Badania opublikowane przez Sojcką i in. [2024] wskazują, że nowoczesne metody utrwalania

¹ Katedra Bioenergetyki, Analizy Żywności i Mikrobiologii, Wydział Technologiczno-Przyrodniczy, Uniwersytet Rzeszowski, ul. Żelwerowicza 4, 35-601 Rzeszów.

² Szkoła Doktorska Uniwersytetu Rzeszowskiego, Uniwersytet Rzeszowski, al. Tadeusza Rejtana 16 C, 35-959 Rzeszów.

* gzagula@ur.edu.pl

żywności, takie jak *High Pressure Processing* (HPP), mogą skutecznie inaktywować drobnoustroje, zachowując jednocześnie wartość odżywczą produktów. W kontekście zrównoważonego rozwoju utrwalanie żywności odgrywa kluczową rolę w redukcji marnowania żywności oraz optymalizacji zasobów. Martindale [2016] podkreśla, że zastosowanie nowoczesnych technologii utrwalania żywności może przyczynić się do zmniejszenia emisji gazów cieplarnianych oraz poprawy efektywności energetycznej procesów produkcyjnych. Podsumowując, należy podkreślić, że konieczność utrwalania żywności wynika z potrzeby zapewnienia jej bezpieczeństwa, wysokiej jakości oraz trwałości. Nowoczesne metody utrwalania żywności, takie jak HPP, impulsowe pole mikrofalowe czy technologia plazmowa, oferują skuteczne rozwiązania w kontekście globalnych wyzwań związanych z przechowywaniem i transportem żywności.

Problemy związane z przechowywaniem i transportem żywności

Przechowywanie i transport żywności to kluczowe aspekty w łańcuchu dostaw, które wiążą się z wieloma wyzwaniami. Różnorodność produktów spożywczych wymaga indywidualnego podejścia do ich transportu i przechowywania [Hammond i in. 2015], np.:

- mięso, ryby i nabiał wymagają przewozu w niższych temperaturach, aby zapobiec rozwojowi drobnoustrojów;
- owoce i warzywa potrzebują kontroli wilgotności i przepływu powietrza, aby zachować świeżość;
- produkty suche, jak zboża, muszą być chronione przed wilgocią i szkodnikami [Waldhans i in. 2024].

Zachowanie odpowiedniej temperatury podczas transportu i przechowywania żywności jest kluczowe dla utrzymania jej jakości. Przerwanie ciągłości łańcucha chłodniczego może prowadzić do psucia się produktów spożywczych. Badania wykazały, że takie przerwy są jedną z głównych przyczyn strat w transporcie łatwo psującej się żywności [Waldhans i in. 2024]. Nieodpowiednie pakowanie, składowanie i przygotowanie ładunku do transportu, takie jak brak odpowiedniego wstępnego schłodzenia, mogą prowadzić do uszkodzeń i strat żywności. Analiza przypadków wykazała, że te czynniki są istotnymi przyczynami strat w transporcie żywności [Skawińska i Zalewski 2022]. Opóźnienia w dostawie mogą prowadzić do przekroczenia dopuszczalnych temperatur przechowywania, co wpływa na jakość i bezpieczeństwo żywności. Są one jednym z głównych czynników ryzyka w łańcuchu chłodniczym. Niedokładności lub błędy w dokumentach transportowych mogą prowadzić do niewłaściwego traktowania ładunku, co zwiększa prawdopodobieństwo uszkodzeń i strat. Takie błędy są istotnym czynnikiem ryzyka w transporcie żywności. Transport produktów mrożonych wiąże się z zagrożeniem zarówno dla środowiska, jak i dla konsumentów. Niewłaściwe praktyki transportowe

mogą prowadzić do zanieczyszczenia środowiska, a także do zagrożeń zdrowotnych związanych z konsumpcją produktów o obniżonej jakości [Ackerley i in. 2010]. Aby zminimalizować te problemy, istotne jest przestrzeganie międzynarodowych standardów, takich jak Umowa ATP dotycząca międzynarodowego transportu szybko psujących się artykułów żywnościowych, oraz wdrażanie systemów zarządzania jakością, takich jak HACCP. Ponadto monitorowanie temperatury i jakości produktów podczas transportu oraz odpowiednie szkolenia personelu są kluczowe dla zapewnienia bezpieczeństwa i jakości żywności [Eruaga 2024].

Tradycyjne metody utrwalania żywności

Tradycyjne metody utrwalania żywności odgrywają kluczową rolę w zapewnianiu jej trwałości i bezpieczeństwa. Chłodzenie to proces polegający na obniżeniu temperatury żywności do zakresu od 0°C do 10°C. Spowalnia on rozwój drobnoustrojów oraz reakcje enzymatyczne, co przedłuża trwałość produktów spożywczych. Ważne jest jednak, aby dostosować temperaturę chłodzenia do specyfiki danego produktu, ponieważ niewłaściwa temperatura może prowadzić do uszkodzeń fizjologicznych, takich jak brązowienie czy zatrzymanie procesu dojrzewania owoców [Kang i in. 2020]. Zamrażanie z kolei polega na szybkim obniżeniu temperatury żywności poniżej 0°C, co prowadzi do krystalizacji wody zawartej w produkcie. Proces ten hamuje aktywność mikroorganizmów oraz spowalnia reakcje chemiczne i enzymatyczne, znacznie przedłużając trwałość żywności. Ważne jest szczególnie szybkie zamrażanie, tzw. szokowe, aby zminimalizować uszkodzenia komórek i zachować jakość produktu [Primacella 2023].

Do kolejnych tradycyjnych metod temperaturowych utrwalania żywności należą pasteryzacja i sterylizacja. Pasteryzacja to proces polegający na podgrzewaniu żywności do temperatury poniżej 100°C przez określony czas, co ma na celu zniszczenie większości drobnoustrojów patogennych oraz inaktywację enzymów odpowiedzialnych za psucie się żywności. Pasteryzacja pomaga w zachowaniu wartości odżywczej i organoleptycznej produktów. Przykładem jest pasteryzacja mleka czy soków owocowych. Sterylizacja natomiast jest to bardziej intensywny niż pasteryzacja proces polegający na ogrzewaniu żywności w temperaturze powyżej 100°C, zwykle w zakresie od 112°C do 121°C, rzadziej 135°C, przez określony czas. Jej celem jest całkowite zniszczenie wszystkich form mikroorganizmów, w tym przetrwalników bakterii. Sterylizacja jest powszechnie stosowana w produkcji konserw i innych produktów o długim terminie przydatności [Amit i in. 2017].

Do metod termicznych zaliczyć możemy również suszenie i wędzenie. Suszenie to metoda polegająca na usunięciu wody z produktów spożywczych, co hamuje rozwój mikroorganizmów i spowalnia reakcje enzymatyczne prowadzące do psucia się żywności. Suszenie może być przeprowadzane różnymi metodami,

takimi jak suszenie na słońcu, w piecach czy za pomocą suszarek przemysłowych. Przykładem są suszone owoce, takie jak rodzynki czy morele [Olurankinse 2014]. Wędzenie natomiast to proces polegający na poddawaniu żywności działaniu dymu wędzarniczego, co nadaje jej charakterystyczny smak, aromat oraz pomaga w konserwacji. Może być przeprowadzane na zimno (w temperaturze około 30°C) lub na gorąco (w temperaturze powyżej 100°C). Wędzenie jest stosowane głównie do konserwacji mięsa, ryb oraz serów. Należy jednak zwrócić uwagę na potencjalną obecność w dymie substancji rakotwórczych, takich jak wielopierścieniowe węglowodory aromatyczne, i stosować metody minimalizujące ich obecność [Drakula 2023].

Nowoczesne metody utrwalania żywności

Nowoczesne metody utrwalania żywności stanowią odpowiedź na rosnące oczekiwania konsumentów dotyczące jakości, bezpieczeństwa oraz wartości odżywczej produktów spożywczych przez zastosowanie najnowszych osiągnięć nauki. Współczesne metody utrwalania żywności ewoluowały, aby sprostać rosnącym wymaganiom dotyczącym jakości, bezpieczeństwa oraz wydłużenia okresu przydatności produktów spożywczych. Poniżej przedstawiono szczegółowe omówienie wybranych nowoczesnych technik konserwacji żywności, uwzględniając ich mechanizmy działania, zastosowania oraz potencjalne korzyści i ograniczenia [Morales-de la Peña i in. 2011]. **Impulsowe pole mikrofalowe** to innowacyjna technika, która wykorzystuje krótkie, intensywne impulsy promieniowania mikrofalowego do eliminacji mikroorganizmów w produktach spożywczych. W przeciwieństwie do tradycyjnego ogrzewania mikrofalowego, które polega na ciągłym dostarczaniu energii, metoda impulsowa dostarcza ją w postaci krótkich impulsów o wysokiej mocy. Takie podejście pozwala na szybkie podgrzewanie produktu bez znaczącego wzrostu temperatury całkowitej, co minimalizuje degradację składników odżywczych i zmianę właściwości sensorycznych żywności. Mechanizm działania tej metody opiera się na dielektrycznym ogrzewaniu, podczas którego energia mikrofalowa powoduje drgania dipoli cząsteczek wody i innych polarnych składników, prowadząc do wewnętrznego generowania ciepła. Zastosowanie impulsowego pola mikrofalowego jest szczególnie obiecujące w przypadku płynnych produktów, takich jak soki, mleko czy zupy, których równomierne ogrzewanie jest kluczowe dla skutecznej inaktywacji patogenów. Niemniej jednak technologia ta wymaga dalszych badań w zakresie optymalizacji parametrów procesu oraz oceny jej wpływu na różne rodzaje żywności [Sojecka i in. 2024].

High Pressure Processing (HPP), znane również jako przetwarzanie wysokociśnieniowe, to zaawansowana metoda konserwacji żywności polegająca na zastosowaniu wysokiego ciśnienia hydrostatycznego, sięgającego nawet 600 MPa, w celu inaktywacji mikroorganizmów i enzymów odpowiedzialnych za psucie się

produktów. Proces ten odbywa się w niskich temperaturach, co pozwala na zachowanie naturalnych cech sensorycznych, takich jak smak, kolor czy tekstura, oraz wartości odżywczej żywności. Mechanizm działania HPP opiera się na zastosowaniu wysokiego ciśnienia, które powoduje denaturację białek i zaburzenie funkcji błon komórkowych mikroorganizmów, prowadząc do ich śmierci. Technologia ta jest szeroko stosowana w przemyśle spożywczym, zwłaszcza w produkcji soków owocowych, gotowych dań, mięs oraz owoców morza. Produkty poddane HPP charakteryzują się wydłużonym okresem przydatności do spożycia bez konieczności stosowania konserwantów. Jednakże mimo licznych zalet HPP może nie być skuteczne wobec wszystkich form mikroorganizmów, takich jak przetrwalniki niektórych bakterii, co może wymagać łączenia tej metody z innymi technikami konserwacji [Sojecka i in. 2024].

Sterylizacja radiacyjna to metoda konserwacji żywności wykorzystująca promieniowanie jonizujące, takie jak promieniowanie gamma, wiązki elektronów czy promieniowanie rentgenowskie, do eliminacji patogenów i przedłużania trwałości produktów spożywczych. Proces ten polega na ekspozycji żywności na kontrolowaną dawkę promieniowania, które uszkadza DNA mikroorganizmów, prowadząc do ich inaktywacji lub śmierci. Sterylizacja radiacyjna jest skuteczna w zwalczaniu szerokiego spektrum patogenów, w tym bakterii, wirusów i pasożytów, a także w opóźnianiu procesów dojrzewania owoców i warzyw poprzez hamowanie aktywności enzymatycznej. Metoda ta jest stosowana w przypadku różnych produktów, takich jak przyprawy, owoce, warzywa, mięso oraz produkty gotowe do spożycia. Jednakże jej zastosowanie budzi kontrowersje związane z percepcją konsumentów oraz regulacjami prawnymi w różnych krajach. Istnieją obawy dotyczące potencjalnych zmian chemicznych w żywności oraz ich wpływu na zdrowie konsumentów, co wymaga dalszych badań i transparentnej komunikacji na temat bezpieczeństwa tej technologii [Mshelia i in. 2023].

Impulsowe pole elektryczne, czyli **Pulsed Electric Field (PEF)**, to nowoczesna nietermiczna metoda konserwacji żywności polegająca na aplikacji krótkich impulsów elektrycznych o wysokim napięciu do produktów spożywczych umieszczonych między elektrodami. Proces ten prowadzi do elektroporacji, czyli tworzenia porów w błonach komórkowych mikroorganizmów, co skutkuje ich inaktywacją. PEF jest szczególnie efektywne w przypadku płynnych produktów, takich jak soki owocowe, mleko czy zupy, gdyż pozwala na zachowanie ich świeżości, smaku oraz wartości odżywczej. Zaletą tej metody jest minimalny wpływ na cechy sensoryczne i odżywcze żywności, co odróżnia ją od tradycyjnych metod termicznych. Ponadto PEF może być wykorzystywane do zwiększenia wydajności ekstrakcji składników bioaktywnych z surowców roślinnych oraz do modyfikacji tekstury produktów. Niemniej jednak skuteczność PEF zależy od parametrów procesu, takich jak natężenie pola elektrycznego, czas trwania impulsów oraz przewodnictwo elektryczne produktu, co wymaga precyzyjnej kontroli technologicznej. Pomimo dużego potencjału tej technologii jej zastosowanie

przemysłowe ograniczone jest głównie do produktów płynnych, ponieważ w przypadku artykułów o strukturze stałej trudniej jest osiągnąć równomierne pole elektryczne i skuteczność mikrobiologiczną [Morales-de la Peña 2011].

Technologia ultradźwięków w utrwalaniu żywności wykorzystuje fale dźwiękowe o wysokiej częstotliwości (powyżej 20 kHz), które generują zjawisko kawitacji – tworzenia i implozji mikropęcherzyków w cieczy. Implozja tych pęcherzyków wywołuje lokalnie wysoką temperaturę i ciśnienie, co prowadzi do uszkodzeń błon komórkowych drobnoustrojów, skutkując ich inaktywacją. Technika ta może być stosowana jako samodzielna metoda utrwalania lub w połączeniu z innymi metodami, takimi jak HPP czy PEF, w celu zwiększenia skuteczności procesu konserwacji. Ultradźwięki są również wykorzystywane do homogenizacji, emulgowania, ekstrakcji składników bioaktywnych oraz poprawy tekstury produktów spożywczych. Ich zaletą jest też możliwość stosowania w niskiej temperaturze, co zapobiega degradacji składników odżywczych i pozwala zachować cechy sensoryczne żywności. Jednakże efektywność tej metody zależy od wielu czynników, takich jak intensywność fal, czas ekspozycji, rodzaj produktu i jego lepkość. Ponadto długotrwałe działanie ultradźwięków może prowadzić do niepożądanych reakcji chemicznych, w tym utleniania lipidów [Nazir i Ahmad 2019].

Pakowanie w atmosferze modyfikowanej (**MAP – Modified Atmosphere Packaging**) polega na zastąpieniu naturalnego powietrza w opakowaniu kontrolowaną mieszaniną gazów, najczęściej dwutlenku węgla, azotu i tlenu. Modyfikacja atmosfery pozwala na opóźnienie rozwoju mikroorganizmów tlenowych oraz spowolnienie procesów enzymatycznych i utleniających, co wydłuża trwałość produktów i utrzymuje ich jakość. MAP znajduje szerokie zastosowanie w pakowaniu mięsa, ryb, serów, pieczywa, warzyw i owoców [Kandeean i Tahseen 2022]. Efektywność tej metody zależy od odpowiedniego doboru gazów oraz rodzaju materiału opakowaniowego, który powinien zapewniać odpowiednią barierowość. W ostatnich latach rozwijane są również aktywne i inteligentne opakowania, które nie tylko utrzymują odpowiednią atmosferę, ale także monitorują stan świeżości żywności. Do wyzwań MAP należy m.in. potrzeba precyzyjnego dopasowania atmosfery do rodzaju produktu oraz koszty technologiczne związane z materiałami opakowaniowymi i urządzeniami pakującymi [Liu i in. 2025].

Technologia zimnej plazmy (cold plasma) to obiecująca nietermiczna metoda utrwalania żywności polegająca na zastosowaniu zjonizowanego gazu zawierającego wysokoenergetyczne cząstki – jony, elektrony, wolne rodniki i cząsteczki reaktywne, które wykazują działanie przeciwdrobnoustrojowe. Plazma generowana jest zwykle w warunkach atmosferycznych przy zastosowaniu gazów takich jak powietrze, argon, hel czy tlen. Kontakt plazmy z powierzchnią żywności lub opakowania prowadzi do niszczenia komórek mikroorganizmów bez konieczności stosowania wysokich temperatur. Zimna plazma może być stosowana do utrwalania świeżych produktów, takich jak owoce, warzywa, mięso czy ryby, a także do dezynfekcji materiałów opakowaniowych. Zaletą tej technologii jest jej krótki

czas działania, niskie zużycie energii oraz brak pozostałości chemicznych. Jednocześnie konieczne są dalsze badania nad wpływem plazmy na strukturę białek, lipidów i związków bioaktywnych w żywności, a także nad jej skutecznością wobec biofilmów i przetrwalników bakteryjnych [Farooq i in. 2023].

Nanotechnologia stanowi jedno z najnowocześniejszych podejść w dziedzinie utrwalania żywności, oferując innowacyjne rozwiązania w zakresie opakowań, wykrywania patogenów oraz dostarczania substancji przeciwdrobnoustrojowych. Jednym z kluczowych jej zastosowań jest tworzenie tzw. inteligentnych opakowań, które zawierają nanocząstki zdolne do monitorowania stanu świeżości żywności poprzez zmiany barwy lub emisję sygnału w odpowiedzi na rozwój mikroorganizmów [Panigrahy i Rout 2025]. Nanocząstki, takie jak tlenek cynku, srebra czy krzemionka, wykazują silne działanie przeciwdrobnoustrojowe i mogą być bezpośrednio dodawane do opakowań lub stosowane jako składniki jadalnych powłok ochronnych. Ponadto nanotechnologia umożliwia kontrolowane uwalnianie konserwantów lub przeciwutleniaczy, co zwiększa skuteczność utrwalania przy minimalnym wpływie na smak i zapach produktu. Pomimo potencjalnych korzyści rozwój nanotechnologii w przemyśle spożywczym wymaga dokładnej oceny bezpieczeństwa stosowanych materiałów oraz uregulowania przepisów prawnych dotyczących ich dopuszczania do obrotu [Sridhar i in. 2020].

Zalety nowoczesnych metod utrwalania żywności

Wprowadzanie innowacyjnych technologii w procesie utrwalania żywności stanowi odpowiedź na rosnące wymagania konsumentów, którzy oczekują produktów nie tylko trwałych, ale również bezpiecznych, naturalnych i bogatych w składniki odżywcze. Nowoczesne metody, takie jak High Pressure Processing, Pulsed Electric Field, ultradźwięki, zimna plazma czy pakowanie w atmosferze modyfikowanej, umożliwiają skuteczne wydłużenie trwałości żywności przy jednoczesnym zachowaniu jej jakości i bezpieczeństwa mikrobiologicznego. Jedną z kluczowych zalet nowoczesnych metod utrwalania żywności jest ich zdolność do zachowania cennych składników odżywczych, takich jak witaminy (szczególnie C i B), polifenole, flawonoidy, aminokwasy czy nienasycone kwasy tłuszczowe. W przypadku procesów termicznych, jak pasteryzacja czy sterylizacja, wiele tych substancji ulega degradacji pod wpływem wysokich temperatur. Natomiast metody nietermiczne, takie jak HPP, PEF czy zimna plazma, nie powodują istotnego wzrostu temperatury, co pozwala na zachowanie naturalnego profilu odżywczego produktu. Dzięki temu konsumenci mogą korzystać z żywności, która nie tylko długo zachowuje świeżość, ale także dostarcza organizmowi pełnowartościowych składników wspomagających prawidłowe funkcjonowanie organizmu. Co istotne, technologie te znajdują zastosowanie przede wszystkim w przypadku żywności świeżej, takiej jak soki, warzywa, owoce, produkty mleczne i mięsne, w których zachowanie wartości biologicznej jest szczególnie istotne [Kandeean i Tahseen 2022].

Nowoczesne technologie wpisują się w koncepcję tzw. „minimalnego przetwarzania” (ang. *minimal processing*), która zyskała na znaczeniu w odpowiedzi na zmiany stylu życia i preferencje konsumentów. Oznacza ona przetwarzanie żywności w sposób jak najmniej ingerujący w jej strukturę, smak, barwę i teksturę, a zarazem zapewniający odpowiednią trwałość i bezpieczeństwo mikrobiologiczne. Techniki takie jak ultradźwięki, PEF, zimna plazma czy MAP umożliwiają zachowanie świeżości i naturalnego charakteru produktów bez potrzeby stosowania intensywnego gotowania, smażenia czy używania chemicznych konserwantów [El Hassani i in. 2025]. Minimalne przetwarzanie sprzyja również skróceniu łańcucha dostaw i zmniejszeniu strat żywności, ponieważ pozwala na wydłużenie trwałości produktów świeżych bez pogorszenia ich jakości sensorycznej. Co więcej, produkty poddane takim procesom często postrzegane są jako produkty z „czystą etykietą” (ang. *clean label*), co stanowi dodatkową wartość marketingową.

Nowoczesne metody utrwalania żywności pozwalają na osiągnięcie wysokiej jakości zdrowotnej produktów rozumianej jako niska zawartość substancji szkodliwych (np. pozostałości chemicznych konserwantów), brak patogenów chorobotwórczych oraz zachowanie właściwości funkcjonalnych, takich jak aktywność antyoksydacyjna czy probiotyczna. Przykładowo technologia HPP skutecznie eliminuje mikroorganizmy, w tym *Listeria monocytogenes*, *Salmonella* czy *E. coli* bez potrzeby użycia wysokiej temperatury. Zimna plazma z kolei pozwala na inaktywację patogenów powierzchniowych bez zmiany struktury czy barwy produktu. Wysoka trwałość artykułów spożywczych to kolejna kluczowa zaleta – dzięki nowoczesnym technologiom możliwe jest znaczące wydłużenie okresu ich przydatności do spożycia bez negatywnego wpływu na jakość. Techniki te ograniczają rozwój drobnoustrojów, zmniejszają aktywność enzymatyczną i utlenianie, co w rezultacie przekłada się na mniejsze straty żywności, większą elastyczność logistyczną i zwiększenie efektywności łańcucha dostaw [Jolvis Pou i Raghavan 2020].

Podsumowanie

Zalety nowoczesnych metod utrwalania żywności są wielowymiarowe – obejmują zarówno korzyści technologiczne, zdrowotne, jak i środowiskowe. Dzięki nim możliwe jest tworzenie produktów spełniających oczekiwania współczesnych konsumentów poszukujących zdrowej, naturalnej i trwałej żywności o wysokiej wartości biologicznej.

Bibliografia

- Ackerley N., Sertkaya A., Lange R. (2010). Food Transportation Safety: Characterizing Risks and Controls by Use of Expert Opinion. *Food Protection Trends*, 30(4), 212–222.

- Ahmed A.S., El-Bassiony T., Elmalt L.M., Ibrahim H.R. (2015). Identification of potential antioxidant bioactive peptides from goat milk proteins. *Food Research Journal*, 74, 80–88.
- Amit S.K., Uddin M.M., Rahman R., Islam S.M.R., Khan M.S. (2017). A review on mechanisms and commercial aspects of food preservation and processing. *Agriculture & Food Security*, 6, 51.
- Drakula S. (2023). Role of food preservation in maintaining safety and quality. *African Journal of Food Science and Technology*, 14(5), 01–02.
- El Hassani N.E.A., Baraket A., Alem C. (2025). Recent advances in natural food preservatives: a sustainable solution for food safety and shelf life extension. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 19, 293–315.
- Eruaga M.A. (2024). Enhancing global food safety standards through international collaboration and policy harmonization. *International Journal of Scholarly Research in Multidisciplinary Studies*, 4(1), 20–32.
- Farooq S., Dar A.H., Dash K.K., Srivastava S., Pandey V.K., Ayoub W.S., Pandiselvam R., Manzoor S., Kaur M. (2023). Cold plasma treatment advancements in food processing and impact on the physiochemical characteristics of food products. *Food Science and Biotechnology*, 32, 621–638.
- Hammond S.T., Brown J.H., Burger J.R., Flanagan T.P., Fristoe T.S., Mercado-Silva N., Nekola J.C., Okie J.G. (2015). Food Spoilage, Storage, and Transport: Implications for a Sustainable Future. *BioScience*, 65(8), 758–768.
- Jolvis Pou K.R., Raghavan V. (2020). Recent Advances in the Application of High Pressure Processing-Based Hurdle Approach for Enhancement of Food Safety and Quality. *Journal of Biosystems Engineering*, 45, 175–187.
- Kandeeppan G., Tahseen A. (2022). Modified Atmosphere Packaging (MAP) of Meat and Meat Products: A Review. *Journal of Packaging Technology and Research*, 6, 137–148.
- Kang T., You Y., Jun S. (2020). Supercooling preservation technology in food and biological samples: a review focused on electric and magnetic field applications. *Food Science and Biotechnology*, 29, 303–321.
- Lisboa H.M., Pasquali M.B., dos Anjos A.I., Sarinho A.M., de Melo E.D., Andrade R., Batista L., Lima J., Diniz Y., Barros A. (2024). Innovative and Sustainable Food Preservation Techniques: Enhancing Food Quality, Safety, and Environmental Sustainability. *Sustainability*, 16(18), 8223.
- Liu L., Lin H., Zhou X., Zhang Z., Zhang Y., Deng S., Peng S., Gong S., Guo S., Fan W. (2025). Application of Modified Atmosphere Preservation Technology in Cherry Storage: A Review. *Agriculture*, 15(5), 462.
- Martindale W. (2016). The potential of food preservation to reduce food waste. *Proceedings of the Nutrition Society*, 76(1), 28–33.
- Morales-de la Peña M., Elez-Martínez P., Martín-Belloso O. (2011). Food Preservation by Pulsed Electric Fields: An Engineering Perspective. *Food Engineering Reviews*, 3, 94–107.
- Mshelia R.D., Dibal N.I., Chiroma S.M. (2023). Food irradiation: an effective but under-utilized technique for food preservations. *Journal of Food Science and Technology*, 60, 2517–2525.
- Nazir S., Ahmad Z.R.A. (2019). Ultrasound: A Food Processing and Preservation Aid. In *Health and Safety Aspects of Food Processing Technologies*, 613–632.
- Olurankinse C.A. (2014). Strategies for Sustainable Food Processing and Preservation. *IOSR Journal of Environmental Science, Toxicology and Food Technology*, 8(6), 31–36.
- Panigrahy M., Rout G.R. (2025). Nanomaterials in food processing, packaging preservation and their effects on health & environment. *European Food Research and Technology*, 251, 104.
- Primacella M. (2023). Food freezing: The science, techniques, and benefits of preserving freshness. *Journal of Food Technology and Preservation*, 7(4), 183.
- Skawińska E., Zalewski R.I. (2022). Economic Impact of Temperature Control during Food Transportation—A COVID-19 Perspective. *Foods*, 11(3), 467.

- Sojecka A.A., Drozd-Rzoska A., Rzoska S.J. (2024). Food Preservation in the Industrial Revolution Epoch: Innovative High Pressure Processing (HPP, HPT) for the 21st-Century Sustainable Society. *Foods*, 13(19), 3028.
- Sridhar A., Ponnuchamy M., Kumar P.S., Kapoor A. (2020). Food preservation techniques and nanotechnology for increased shelf life of fruits, vegetables, beverages and spices: a review. *Environmental Chemistry Letters*, 19, 1715–1735.
- Waldhans C., Albrecht A., Ibal R., Wollenweber D., Sy S.J., Kreyenschmidt J. (2024). Temperature Control and Data Exchange in Food Supply Chains: Current Situation and the Applicability of a Digitalized System of Time–Temperature-Indicators to Optimize Temperature Monitoring in Different Cold Chains. *Journal of Packaging Technology and Research*, 8, 79–93.

Selected modern food preservation methods

Abstract: Modern food preservation methods provide an alternative to traditional thermal techniques, offering effective extension of product shelf life while maintaining their nutritional value, sensory characteristics, and microbiological safety. Technologies such as high hydrostatic pressure (HPP), pulsed electric field (PEF), microwave pulsed field, cold plasma, ultrasound, nanotechnology, and modified atmosphere packaging (MAP) enable minimal food processing. Their application reduces the need for chemical preservatives, supports the “clean label” concept, and meets the growing consumer demands for health quality. The article presents an overview of selected technologies, their advantages, and compares them with conventional methods.

Piotr Kuźniar^{1,*}

KOGENERACJA I TRIGENERACJA W PRZEMYŚLE SPOŻYWCZYM

Streszczenie: W pracy przedstawiono charakterystykę kogeneracji i trigeneracji jako rozwiązań służących do zmniejszenia zużycia energii i zwiększenia efektywności energetycznej w przemyśle spożywczym. Sektor ten obok papierniczego, chemicznego i mineralnego należy do czterech najbardziej energochłonnych gałęzi przemysłu przetwórczego. Wynika to głównie z faktu, że procesy termicznej obróbki żywności, zamrażania i przechowywania chłodniczego są jednymi z najbardziej energochłonnych. Zmniejszenie zużycia energii i zwiększenie efektywności energetycznej można uzyskać m.in. poprzez ograniczenie strat sieciowych związanych z przesyłaniem i dystrybucją energii elektrycznej, ciepła, gazu ziemnego itp., usprawnienie procesów jej transformacji (konwersji), odzysk energii z procesów przemysłowych i wykorzystanie do ogrzewania lub chłodzenia energii wytwarzanej we własnych lub przyłączonych do sieci odnawialnych źródeł energii. Można to uzyskać przez zastosowanie kogeneracji (CHP), a zwłaszcza trigeneracji (CCHP), czyli skojarzonego wytwarzania energii elektrycznej, ciepła i chłodu użytkowego w jednym procesie technologicznym. Głównym napędem systemu CCHP mogą być turbiny parowe i mikroturbiny gazowe, silniki o spalaniu wewnętrznym i zewnętrznym (Stirlinga) oraz ogniwa paliwowe.

Wprowadzenie

Dwa podstawowe rodzaje energii wykorzystywanej w obiektach produkcyjnych to energia elektryczna i ciepło. Ich wytwarzanie opiera się głównie na przetwarzaniu energii chemicznej paliw w procesach cieplnych. Wykorzystywanie energii w gospodarce ma kluczowe znaczenie dla zrównoważonego rozwoju we wszystkich jego sferach – ekonomicznej, społecznej i ekologicznej. Energia jest jednocześnie czynnikiem produkcji, jak i elementem zużycia finalnego i nie ma substytutów, a przez to decyduje o tempie wzrostu gospodarczego. Wykorzystanie energii w gospodarce zwykle wpływa negatywnie na środowisko przyrodnicze, zubożając jego zasoby i emitując zanieczyszczenia. Długoterminowe prognozy wskazują na 2,5-, a nawet 3-krotny wzrost światowego zużycia energii w 2050 r. w stosunku do roku 2010. Oznacza to, że rola energii jako czynnika ograniczającego zrównoważony rozwój będzie stale rosła [Plich i Skrzypek 2016]. W kontekście ochrony środowiska i zrównoważonego rozwoju bardzo ważne jest

¹ Katedra Inżynierii Produkcji Rolno-Spożywczej, Wydział Technologiczno-Przyrodniczy, Uniwersytet Rzeszowski, ul. Zelwerowicza 4, 35-601 Rzeszów.

* pkuzniar@ur.edu.pl

więc zwiększanie efektywności energetycznej, którą określa się jako stosunek uzyskanego efektu użytkowego danego urządzenia, instalacji lub zakładu produkcyjnego w typowych warunkach ich użytkowania do ilości energii zużytej przez to urządzenie, instalację lub zakład produkcyjny niezbędnej do uzyskania wymienionego efektu.

Można ją także określić jako zdolność do minimalizowania zużycia energii przy jednoczesnym zachowaniu tej samej jakości produktów i usług lub osiągnięciu określonych wyników. Oznacza to racjonalne i optymalne wykorzystywanie energii, a nie jej oszczędzanie kosztem pogorszenia jakości. Wzrost efektywności energetycznej może nastąpić na skutek zmniejszenia zużycia energii, które ma miejsce na etapie przetwarzania, dystrybucji lub końcowego zużycia wynikającego ze zmian w technologii produkcji [Grochowicz i Zawisłak 2012].

Przemysł spożywczy w Polsce obok papirniczego, chemicznego i mineralnego należy do czterech najbardziej energochłonnych gałęzi przemysłu przetwórczego [US 2024]. W naszym kraju zużycie bezpośrednie energii w przemyśle w roku 2023 wyniosło 1 108 127 TJ, w tym w przemyśle przetwórczym 906 045 TJ, z czego na produkcję żywności, napojów i wyrobów tytoniowych przypadło 11,12% [GUS 2024]. Natomiast zużycie energii elektrycznej brutto wyniosło w Polsce 170,2 TWh. Z tego 85,7% (145,9 TWh) to zużycie odbiorców końcowych, a pozostałe 14,3% (24,3 TWh) to m.in. zużycie na potrzeby własne elektrowni i elektrociepłowni oraz straty w sieciach przesyłowych i dystrybucyjnych [Dusiło 2024].

Zużycie energii w przemyśle spożywczym zależy od wielu czynników takich jak m.in. właściwości termofizyczne surowców, wymagania stawiane produktowi, technologia produkcji, wielkość i struktura produkcji, wyposażenie techniczne, stopień zmechanizowania operacji produkcyjnych, stopień wykorzystania zdolności przerobowej oraz organizacja produkcji [Wojdalski i Dróżdź 2012]. Wytwarzanie żywności i napojów to proces obejmujący przekształcanie produktów rolnych w żywność i wymaga energii do ogrzewania, chłodzenia i obróbki mechanicznej w ilości 50–100 MJ/kg. Przy produkcji żywności najbardziej energochłonne są procesy termiczne, czyli gotowanie, pieczenie, smażenie, pasteryzacja i sterylizacja, a zwłaszcza liofilizacja, suszenie i zagęszczanie przez odparowanie wody, podczas których następuje przejście fazowe wody ze stanu stałego i ciekłego w gazowy. Energochłonność tych procesów wynika z bardzo wysokiej wartości ciepła sublimacji i parowania wody. Na odparowanie 1 kg wody zużywa się 2,5–2,7 MJ energii. Produkty liofilizowane, np. kawa rozpuszczalna, wymagają średnio 50,20 MJ/kg, suszenie rozpyłowe mleka w proszku zużywa średnio 16,22 MJ/kg, a na pieczenie i suszenie chipsów potrzeba średnio 17,30 MJ/kg. Szacuje się, że obróbka termiczna odpowiada za 20–30% zużycia energii, w tym pasteryzacja i sterylizacja 10–15%, a gotowanie i smażenie kolejne 10–15%. W branży spożywczej do najbardziej energochłonnych procesów należą także mrożenie oraz przechowywanie i transport chłodniczy, które odpowiadają za 45–55% całkowitego zużycia energii elektrycznej, szczególnie w sektorze mrożonek

i produktów wymagających niskich temperatur. W trakcie ich produkcji oraz przechowywania zużywa się 1–3 MJ/kg produktu [Clairand i in. 2020, Czabaj 2024, Ladha-Sabur i in. 2019].

Zmniejszeniu zużycia energii, czyli zwiększeniu efektywności energetycznej, służą następujące przedsięwzięcia [Tauron]:

1. termomodernizacja i przebudowa lub remont budynków wraz z instalacjami i urządzeniami technicznymi;
2. izolacja cieplna instalacji przemysłowych, modernizacja lub wymiana:
 - a) oświetlenia,
 - b) urządzeń i instalacji wykorzystywanych w procesach przemysłowych, energetycznych, telekomunikacyjnych, informatycznych,
 - c) lokalnych sieci ciepłowniczych i lokalnych źródeł ciepła;
3. odzyskiwanie energii, w tym w procesach przemysłowych;
4. ograniczenie strat:
 - a) związanych z poborem energii biernej,
 - b) sieciowych związanych z przesyłaniem i dystrybucją energii elektrycznej, ciepła, gazu ziemnego itp.,
 - c) na transformacji (konwersji),
 - d) związanych z systemami zasilania urządzeń telekomunikacyjnych i informatycznych;
5. stosowanie do ogrzewania lub chłodzenia obiektów energii wytwarzanej we własnych lub przyłączonych do sieci odnawialnych źródłach energii.

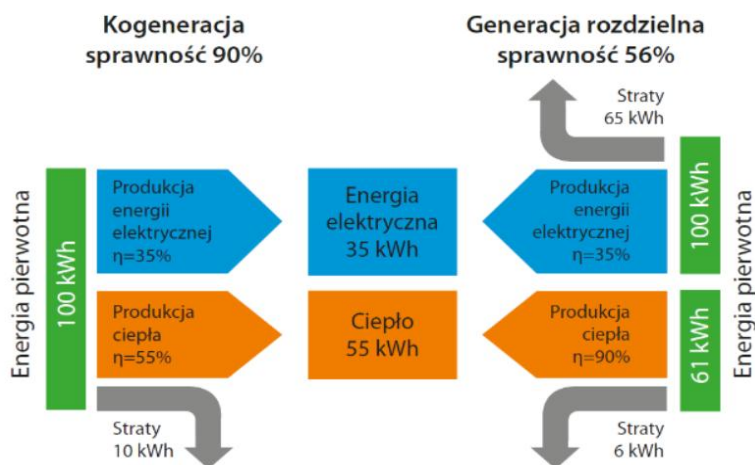
Zmniejszenie strat energii wymienionych powyżej w punktach 4, 5 a–c i 6 można uzyskać przez zastosowanie kogeneracji i trigeneracji.

Celem niniejszego opracowania jest charakterystyka kogeneracji i trigeneracji jako rozwiązań służących do zmniejszenia zużycia energii i zwiększenia efektywności energetycznej w przemyśle spożywczym.

Wysokosprawna kogeneracja i trigeneracja

W układzie rozdzielnej produkcji ciepła i energii elektrycznej ciepło wytwarzane jest lokalnie np. w kotłowni gazowej, natomiast energia elektryczna produkowana jest w elektrowni i dostarczana do odbiorcy poprzez sieci elektroenergetyczne, przesyłowe i rozdzielcze. W Polsce elektrownie w większości bazują na procesie spalania węgla i gazu ziemnego. Wytworzona para wodna napędza turbiny i generatory prądu, natomiast powstałe w tym procesie ciepło jest tracone i usuwane do otoczenia np. poprzez chłodnie kominowe. W energetyce zawodowej sprawności osiągane w produkcji energii elektrycznej to 35–40% (rysunek 1). Wytworzona w elektrociepłowniach energia elektryczna jak i powstające w procesie spalania ciepło sprzedawane są odbiorcom. W tym przypadku sprawność może przekraczać 85%. Ponieważ duże źródła wytwórcze energii elektrycznej

lokalizowane są przeważnie w znacznym oddaleniu od skupisk ludzkich, przesył ciepłej wody do odbiorców staje się niemożliwy [Kaleta i Wałek 2014]. Kogeneracja, znana również pod nazwą CHP (*Combined Heat and Power*), lub kogeneracja wysokosprawna (*High-Efficiency Cogeneration*) to proces skojarzonej (jednoczesnej) produkcji energii elektrycznej (i/lub mechanicznej) oraz ciepła z jednego źródła energii pierwotnej, tj. tego samego paliwa, którym może być gaz ziemny, gaz skroplony LNG, gazy specjalne (odzyskiwane podczas wydobywania ropy naftowej – APG i przetwarzania węgla – gaz olejowy), biogaz, biometan, wodór lub biomasa. Dodatkowo powstające spaliny bogate w dwutlenek węgla mogą być wykorzystane do zwiększenia koncentracji CO₂ w szklarniach lub bezpośrednio w suszarniach. Układ kogeneracyjny, zwany także blokiem lub modulem kogeneracyjnym, umożliwia lepsze i wydajniejsze wykorzystywanie pierwotnej energii niż podczas produkcji rozdzielonej, zwłaszcza energii elektrycznej [AB Holding, Agonafer i in. 2022, Enervigo]. Efektem jest nie jeden, a dwa rodzaje energii, które można spożytkować od razu (rysunek 1). Wykorzystanie zalet kogeneracji w dużej skali (elektrociepłownie) jest ograniczone ze względu na odległości źródeł od odbiorców. Rozwiązaniem jest wykorzystanie ich lokalnie. System kogeneracji sprawdza się najlepiej w przedsiębiorstwach produkcyjnych pracujących w systemie trzymianowym, hotelach, basenach i centrach SPA, kampusach uniwersyteckich, zakładach branży spożywczej oraz hodowlanej i szpitalach [Kierunekenergetyka.pl].



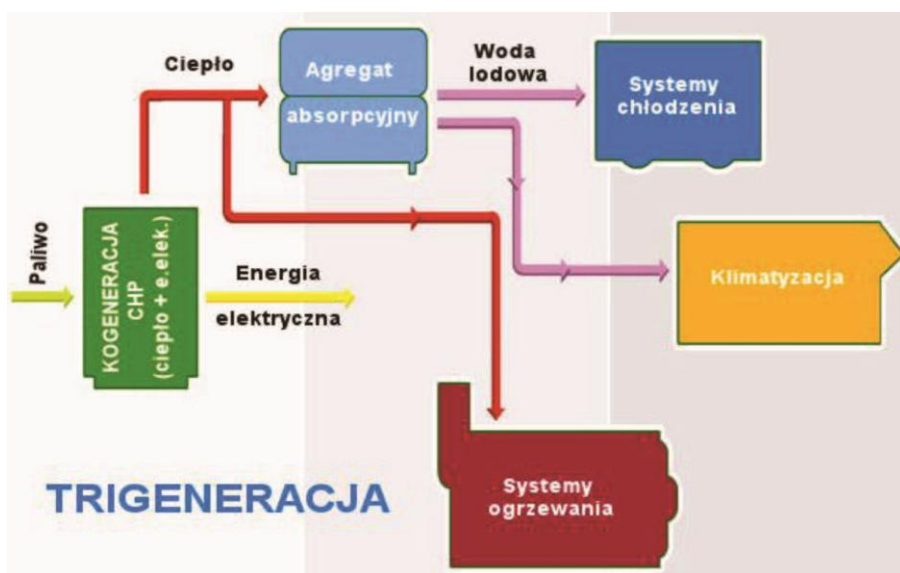
Rysunek 1. Porównanie sprawności skojarzonej produkcji energii elektrycznej i ciepła (kogeneracji) z produkcją rozdzieloną

Źródło: FBOŚ

Trigeneracja lub trójgeneracja CHPC (*Combined Heat, Power and Cooling*) to skojarzone wytwarzanie energii elektrycznej, ciepła i chłodu użytkowego

w jednym procesie technologicznym, co pozwala na obniżenie ilości i kosztów energii pierwotnej potrzebnej do wytworzenia każdego z powyższych rodzajów energii osobno. Trigeneracja jest więc rozwinięciem kogeneracji i rozszerza jej możliwości o dodatkowy rodzaj energii – chłód użytkowy, który można wykorzystać np. w klimatyzacji, chłodnictwie i zamrażaniu czy procesach produkcyjnych – przez co powinna mieć szerokie stosowanie w przemyśle spożywczym [Cagen, Enervigo]. Dzięki temu, że trigeneracja poprawia zrównoważenie zapotrzebowania na energię elektryczną, ciepło i chłód, w okresie upałów może zapobiegać potencjalnym przerwom w dostawach energii elektrycznej (tzw. blackoutom).

System trigeneracyjny (rysunek 2) zbudowany jest z modułu kogeneracyjnego produkującego energię elektryczną i ciepło odpadowe, które z kolei wykorzystywane jest przez absorpcyjny (zwykle litowo-bromkowy LiBr-H₂O) lub adsorpcyjny agregat (zeolit, żel krzemionkowy) chłodniczy do produkcji chłodu [Murugan i Horák 2016, Chorowski 2020, Radchenko i in. 2022].



Rysunek 2. Trigeneracja – zasada działania

Źródło: Odnawialne-Firmy

Główne zalety kogeneracji i trigeneracji to [Cagen, Enervigo, Gas-Trading S.A.]:

- wysoka sprawność całkowita przekraczająca nawet 90%;
- niezależność od zewnętrznych dostawców energii elektrycznej i ciepła;
- zwarta kompaktowa budowa, możliwość zabudowy kontenerowej;
- możliwość zlokalizowania blisko odbiorów, co odciąża system elektroenergetyczny i ogranicza straty przesyłu;
- niezawodność – dyspozycyjność układu powyżej 90%;

- pozytywny efekt środowiskowy ze względu na niską emisję NO_x i CO₂;
- możliwość uzyskania dofinansowania w ramach projektów służących poprawie efektywności energetycznej oraz ograniczeniu emisji CO₂;
- możliwość produkcji różnych mediów: energia elektryczna, ciepła woda, para, chłód, CO₂ do nawożenia upraw szklarniowych;
- wykorzystanie ciepła technologicznego do produkcji chłodu pozwala na zastąpienie sprężarkowych agregatów chłodniczych absorpcyjnymi, co przyczynia się do dodatkowej oszczędności dzięki mniejszemu zużyciu energii elektrycznej.

Urząd Regulacji Energetyki w systemie premii kogeneracyjnej dzieli jednostki kogeneracyjne na [DB Energy]:

1. małe (do 1 MW) – są to mikro- i małe instalacje kogeneracyjne często wykorzystywane w obiektach takich jak hotele, szpitale, centra handlowe, zakłady przemysłowe czy osiedla mieszkaniowe;
2. średniej mocy (od 1 MW do 50 MW) – stosowane w większych zakładach przemysłowych, ciepłowniach miejskich oraz kompleksach handlowych i biznesowych;
3. duże (powyżej 50 MW) – stosowane w dużych elektrociepłowniach, dostarczają zarówno energię elektryczną, jak i ciepło na skalę przemysłową oraz dla całych miast. Często są to kluczowe źródła energii w systemach energetycznych zapewniające stabilność i niezawodność dostaw.

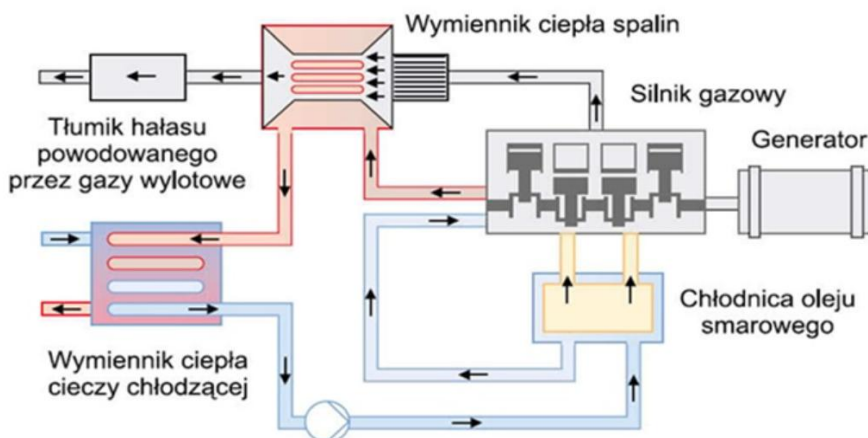
Rozwiązania konstrukcyjne modułów kogeneracyjnych

Moduł (agregat) kogeneracyjny to zespół komponentów systemu kogeneracji, który składa się z [Eubia, Kierunekenergetyka.pl]:

- (1) głównego napędu (silnika), który przekształca ciepło ze źródła energii pierwotnej na energię mechaniczną,
- (2) generatora energii elektrycznej,
- (3) układu odzyskiwania ciepła,
- (4) układu sterowania.

Moduły kogeneracyjne z tłokowymi silnikami spalinowymi o spalaniu wewnętrznym

Najpopularniejszą technologią wykorzystywaną do wytwarzania energii elektrycznej w małych jednostkach kogeneracyjnych są rozwiązania oparte na silnikach tłokowych nisko- i wysokoprężnych zasilanych gazem (ziemnym, biogazem, biometanem itd.) z generatorem (synchronicznym lub asynchronicznym). Pojedyncze jednostki osiągają moc elektryczną w przedziale 50 kWe – 5 MWe. Istnieje możliwość łączenia kilku jednostek w większe układy, tak aby zwiększyć ich moc oraz elastyczność pracy.



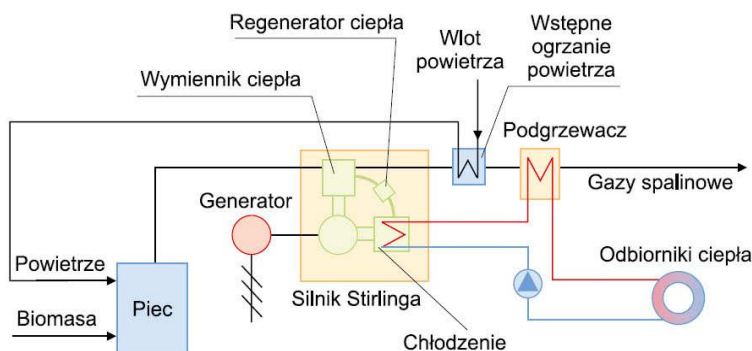
Rysunek 3. Schemat modułu kogeneracyjnego opartego na silniku tłokowym

Źródło: Kierunekenergetyka.pl

Ciepło użyteczne jest odzyskiwane za pośrednictwem wymienników ciepła z płaszcza wodnego silnika (układ chłodzenia silnika), oleju smarowego silnika, chłodzenia mieszanki paliwowo-powietrznej (te trzy źródła stanowią obieg pierwotny) oraz ze spalin wylotowych. W większości rozwiązań parametry odzyskanego ciepła wynoszą 90/70°C. Ciepło spalin może być wykorzystane bezpośrednio np. w procesie suszenia lub do produkcji pary wodnej [AutomatykaB2B, Kierunekenergetyka.pl].

Moduły kogeneracyjne z silnikami Stirlinga

Urządzeniami cieszącymi się dużą popularnością w systemach kogeneracji są silniki Stirlinga (rysunek 4). Są one zasilane ciepłem dostarczanym do silnika z zewnętrznego źródła za pośrednictwem elementu grzejjego lub wymiennika ciepła. Ciepło sprawia, że gaz roboczy, np. hel, rozpręża się i porusza tłoki wewnątrz cylindra. Dzięki temu, że proces spalania przebiega w sposób ciągły poza silnikiem, można wykorzystać różne paliwa, zarówno olej napędowy i gaz, jak też energię ze źródeł odnawialnych, np. słoneczną czy biomasę oraz ciepło odpadowe. Zaletami silników Stirlinga w porównaniu z silnikami konwencjonalnymi jest ich wysoka sprawność, brak zaworów, wtryskiwaczy paliwa, układu zapłonu iskrowego oraz komory wewnętrznego spalania, dzięki czemu ich konserwacja jest łatwiejsza. Ponadto pracują one ciszej, co pozwala zrezygnować ze specjalnych rozwiązań konstrukcyjnych ograniczających generowany hałas, np. dźwiękoizolacyjnych obudów. Dzięki zewnętrznemu spalaniu istnieje możliwość kontroli wyjścia silnika elektrycznego poprzez redukcję temperatury. Można w ten sposób regulować produkcję energii elektrycznej niezależnie od zapotrzebowania na ciepło [AutomatykaB2B, Wołowicz 2020, Żmuda 2020, Wołowicz i in. 2021].

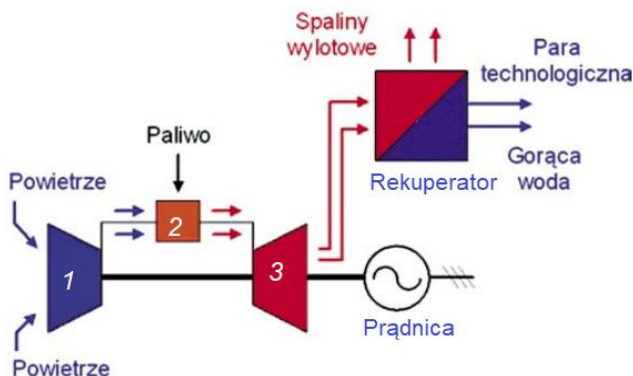


Rysunek 4. Układ kogeneracji z silnikiem Stirlinga

Źródło: AutomatykaB2B

Moduły kogeneracyjne z mikroturbiną gazową

Mikroturbiny to niewielkie turbiny gazowe skonstruowane podczas prac nad małymi stacjonarnymi oraz samochodowymi turbinami gazowymi, pomocniczymi układami zasilania i turbosprężarkami, które są stosowane w kogeneracji małej skali. Ich główne zespoły to (rysunek 5): sprężarka, komora spalania, turbina, prądnica oraz wymiennik ciepła (rekuperator). Wykorzystując ciepło odzyskane na wyjściu turbiny, rekuperator wstępnie ogrzewa sprężone powietrze kierowane wraz z paliwem do komory spalania. Powstające w niej gorące gazy spalinowe przepływają do turbiny, gdzie rozprężają się, napędzając sprężarkę oraz prądnicę. Główne cechy mikroturbin to ich kompaktowa konstrukcja oraz niewielkie wymagania pod względem konserwacji. W porównaniu do silników tłokowych mają one jednak mniejszą sprawność elektryczną.

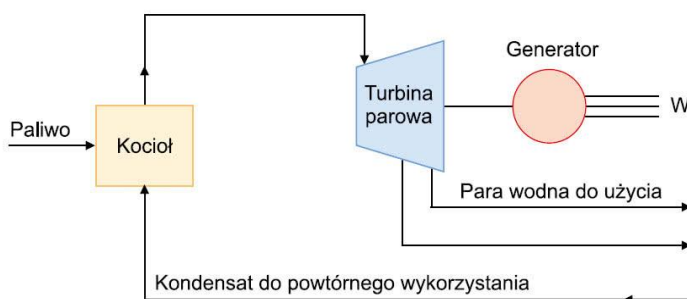


Rysunek 5. Podstawowy układ kogeneracyjny z mikroturbiną gazową: 1 – sprężarka, 2 – komora spalania, 3 – turbina

Źródło: Opracowanie własne na podstawie Wędzik 2006

Moduły kogeneracyjne z turbinami parowymi

Turbiny parowe są używane głównie w systemach kogeneracji średniej i dużej skali. W przeciwieństwie do instalacji CHP z turbinami gazowymi oraz silnikami tłokowymi, w których ciepło jest produktem ubocznym, w systemach z turbinami parowymi to energia elektryczna jest produktem uzyskiwanym niejako dodatkowo. Para wodna o dużym ciśnieniu wytworzona w kotle w wyniku spalania paliwa przepływa przez turbinę, która napędza generator elektryczny. Takie rozwiązanie pozwala oddzielić proces spalania od pozostałych komponentów urządzenia, dzięki czemu w turbinach parowych wykorzystuje się rozmaite rodzaje paliwa, m.in. węgiel, gaz ziemny, ale również śmieci spalane w specjalnych kotłach wyposażonych w systemy przechwytywania lub neutralizacji zanieczyszczeń i substancji toksycznych.



Rysunek 6. Schemat ideowy turbiny przeciwpięrznej

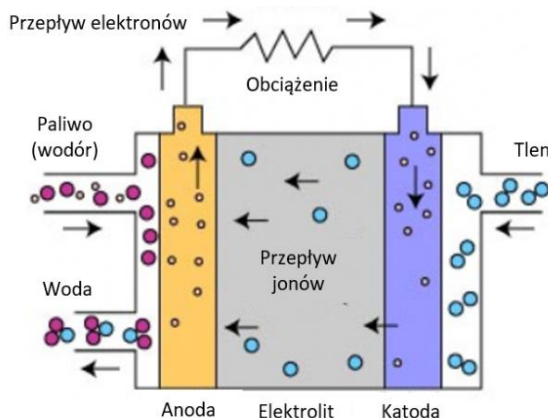
Źródło: AutomatykaB2B

W systemach kogeneracji używa się najczęściej dwóch typów turbin, które ze względu na sposób wykorzystania pary wylotowej określane są jako turbiny przeciwpięrzne (rysunek 6) oraz upustowo-kondensacyjne. W pierwszym przypadku cała para wodna trafia do obciążenia, gdzie oddaje ciepło, ulegając kondensacji (kondensat wraca z powrotem do systemu). W turbinach tego typu para wodna opuszczająca turbinę ma ciśnienie równe lub wyższe od ciśnienia atmosferycznego, w zależności od wymagań instalacji. W turbinach upustowo-kondensacyjnych część strumienia pary jest pobierana z tzw. upustów, dzięki czemu do odbiorników ciepła dopływa para o konkretnej temperaturze i ciśnieniu. Prostsze w konstrukcji są turbiny przeciwpięrzne, a ich zaletą jest też duża sprawność energetyczna w porównaniu do turbin upustowo-kondensacyjnych dzięki temu, że ciepło jest całkowicie przekazywane do obciążenia. Ich wadą jest natomiast uzależnienie natężenia przepływu pary, a tym samym wytwarzanej mocy elektrycznej, od termicznego obciążenia turbiny. Dlatego w systemach kogeneracji z turbinami przeciwpięrznymi wręcz wymagane jest podłączenie do publicznej sieci energetycznej, z której można uzupełniać niedobory energii lub odsprzedać do niej nadwyżki, gdy produkcja systemu kogeneracji przekroczy

zapotrzebowanie. Turbina przeciwprężna jest najczęściej stosowana, ponieważ charakteryzuje się niższym kosztem, prostą konstrukcją i wymaga mniej systemów wsparcia. Z kolei turbina kondensacyjna wymaga mniej pary [AutomatykaB2B, Wędzik 2006, Nandalirasyad i in. 2020].

Moduły kogeneracyjne z ogniwami paliwowymi

W systemach kogeneracji, zwłaszcza małej i średniej skali, coraz częściej wykorzystuje się ogniwa paliwowe (rysunek 7). Są to urządzenia elektrochemiczne, w których zachodzi przemiana energii chemicznej paliwa w energię elektryczną oraz wodę i ciepło. Technologia ogniw paliwowych pod względem wykorzystania w kogeneracji jest uważana za bardzo obiecującą, zarówno w przemyśle, jak i np. w zasilaniu w energię elektryczną i ciepło budynków. Najważniejsze zalety tych ogniw to cicha praca, wysoka sprawność energetyczna, stała nawet w szerokim zakresie zmian obciążenia, modułowa budowa zwiększająca niezawodność oraz ułatwiająca konstrukcję agregatów kogeneracyjnych, a także zmniejszona emisja zanieczyszczeń. Natomiast największe ich wady to wysokie koszty inwestycyjne, jak i konserwacji oraz stosunkowo krótki czas użytkowania.



Rysunek 7. Zasada działania ogniwa paliwowego

Źródło: Wirtualne Muzeum Gazownictwa

Mechanizmy wsparcia rozwoju wysokosprawnej kogeneracji w Polsce

Przepisy ustawy z dnia 14 grudnia 2018 r. o promowaniu energii elektrycznej z wysokosprawnej kogeneracji, które weszły w życie 25 stycznia 2019 r., wprowadziły dla wytwórców energii z wysokosprawnej kogeneracji system wsparcia, którym jest premia gwarantowana [Heat not Lost 1] i premia kogeneracyjna [Heat not Lost 2]. Są one gwarantowaną formą wsparcia dla małych jednostek wytwórczych

i obejmują dopłatę do każdej wytworzonej MWh energii w małej jednostce kogeneracji o mocy zainstalowanej elektrycznej mniejszej niż 1 MW oraz dla zmodernizowanych jednostek kogeneracji o mocy nie mniejszej niż 1 MW i nie większej niż 50 MW. Premia gwarantowana ustalona dla roku przystąpienia do systemu jest wypłacana w stałej wysokości przez okres 15 lat i podlega jedynie waloryzacji o wskaźnik inflacji. Zgodnie z art. 2 pkt 26 ustawy o CHP (ciepłownictwo i energetyka) [Dz.U. 2024, poz. 639] premia gwarantowana jest dopłatą do:

- a) wytworzonej, wprowadzonej do sieci i sprzedanej energii elektrycznej z wysokosprawnej kogeneracji przez wytwórcę w:
 - zmodernizowanej jednostce kogeneracji o mocy zainstalowanej elektrycznej nie mniejszej niż 1 MW i mniejszej niż 50 MW,
 - istniejącej jednostce kogeneracji o mocy zainstalowanej elektrycznej nie mniejszej niż 1 MW i mniejszej niż 50 MW;
- b) wytworzonej energii elektrycznej z wysokosprawnej kogeneracji przez wytwórcę w:
 - istniejącej jednostce kogeneracji, o mocy zainstalowanej elektrycznej nie mniejszej niż 1 MW i mniejszej niż 50 MW, opalanej metanem uwalnianym i ujmowanym przy dołowych robotach górniczych w czynnych, likwidowanych lub zlikwidowanych kopalniach węgla kamiennego,
 - zmodernizowanej jednostce kogeneracji, o mocy zainstalowanej elektrycznej nie mniejszej niż 1 MW i mniejszej niż 50 MW, opalanej metanem uwalnianym i ujmowanym przy dołowych robotach górniczych w czynnych, likwidowanych lub zlikwidowanych kopalniach węgla kamiennego,
 - nowej małej jednostce kogeneracji, znacznie zmodernizowanej małej jednostce kogeneracji, istniejącej małej jednostce kogeneracji lub zmodernizowanej małej jednostce kogeneracji wchodzącej w skład źródła o łącznej mocy zainstalowanej elektrycznej mniejszej niż 1 MW.

W 2025 r. maksymalna wartość premii gwarantowanej indywidualnej może wynieść 3 012 997 500 zł, a np. jednostkowa wysokość premii gwarantowanej dla nowej małej jednostki kogeneracji oraz zmodernizowanej małej jednostki kogeneracji wynosi [Dz.U. 2024, poz. 1609]:

- 1) 133,80 zł/MWh dla jednostki opalanej paliwami gazowymi,
- 2) 0 zł/MWh dla jednostki opalanej paliwami stałymi,
- 3) 0 zł/MWh dla jednostki opalanej biomasą,
- 4) 34,97 zł/MWh dla jednostki innej niż wymienione w pkt 1–3.

Mechanizm premii kogeneracyjnej jest zbliżony do premii gwarantowanej – prawo do wypłat uzyskiwane jest w jej ramach po przystąpieniu do aukcji i wygraniu jej. Premia kogeneracyjna jest przyznawana wytwórcom energii zarówno w przypadku nowych jednostek kogeneracji, jak i tych zmodernizowanych, na okres maksymalnie 15 lat. Jej wysokość może się różnić w zależności od rodzaju paliwa i typu jednostki kogeneracyjnej, a jej maksymalna wysokość jest ustalana na podstawie wartości referencyjnych, które są określane przez ministra ds. energii. Wartości te

są publikowane co roku do końca października i obowiązują przez cały kolejny rok. Dla producentów energii, którzy korzystają z różnych rodzajów paliw w swoich instalacjach, wielkość wsparcia jest ustalana na podstawie dominującego rodzaju paliwa pod względem ilości zużywanej energii chemicznej [Heat not Lost 2].

Wysokość wsparcia w formie premii kogeneracyjnej uzależniona jest także od ilości energii wprowadzanej do sieci. W przypadku, gdy jest to:

- powyżej 70% wytworzonej energii, cała wartość wytworzona jest objęta wsparciem;
- poniżej 70% wytworzonej energii, wsparciem objęta jest ilość energii w proporcjonalnej wartości do tego udziału.

W 2025 r. maksymalna wartość premii kogeneracyjnej indywidualnej wynosiła 6 046 083 000 zł, a jej wysokość w zależności od typu kogeneracji wynosiła [Dz.U. 2024 r. poz. 1609]:

- 1) 248,81 zł/MWh dla jednostki opalanej paliwami gazowymi,
- 2) 0,00 zł/MWh dla jednostki opalanej paliwami stałymi,
- 3) 282,78 zł/MWh dla jednostki opalanej biomasą,
- 4) 209,63 zł/MWh dla jednostki innej niż wymienione w pkt 1–3.

Rozwój wysokosprawnej kogeneracji wspiera także Narodowy Fundusz Ochrony Środowiska i Gospodarki Wodnej w ramach programu priorytetowego „Kogeneracja dla Energetyki i Przemysłu”, na który zaplanowano dofinansowanie w formie pożyczki do 2 000 000 000 zł lub w formie dotacji do 1 468 000 000 zł [Gov.pl].

Przykłady zastosowania poligeneracji w przemyśle spożywczym

Charakterystykę zastosowanych systemów poligeneracji w wybranych krajowych zakładach przetwórstwa spożywczego przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Zastosowanie poligeneracji w wybranych zakładach przetwórstwa spożywczego

Wyszczególnienie	SM Spomlek Radzyń Podlaski	Tymbark – MWS Sp. z o.o.	Browar VAN PUR – Rakszawa	Polmlek Sp. z o.o. Lidzbark Warmiński	Ekoland w Tychach
Paliwo	gaz ziemny	gaz ziemny i biogaz	gaz ziemny	gaz ziemny	gaz ziemny
Moc elektryczna (kW)	999	999	1000	1998	1200
Moc cieplna (kW)	1127	570	1000	2200	613
Chłód (kW)	880	420	360	2200	450
Para technologiczna (kg/h, bar)	900, 11	7600, 12	800, 10	1300	700, 12

Źródło: CES

Poszczególne rodzaje energii mogą być stosowane m.in. do:

- moc elektryczna – zasilanie urządzeń produkcyjnych, oświetlenie, dodatkowa klimatyzacja latem;
- moc cieplna – procesy obróbki termicznej surowców i żywności, woda technologiczna i użytkowa, dogrzewanie hal produkcyjnych i magazynów zimą;
- chłód – schładzanie surowców i produktów, klimatyzacja hal produkcyjnych, magazynów oraz pomieszczeń socjalnych i biurowych;
- para – procesy obróbki termicznej surowców i żywności, dezynfekcja maszyn i urządzeń oraz hal produkcyjnych między cyklami produkcyjnymi.

Zastosowanie skojarzonej produkcji ciepła i energii elektrycznej w przedsiębiorstwie przemysłowym, które konsumuje 5 GWh energii elektrycznej oraz 11 GWh energii cieplnej, może przynieść oszczędności nawet do 3 milionów złotych rocznie na kosztach energii [CIRE]. Dla przykładowych przedsiębiorstw zamieszczonych w tabeli 1 zastosowanie poligeneracji umożliwiło zmniejszenie zużycia energii od 6 do 26% [CES].

Podsumowanie

Wiele branż przemysłu spożywczego oprócz energii mechanicznej i elektrycznej wymaga także dużych ilości ciepła i chłodu. Znaczne zmniejszenie zużycia energii i jej kosztów, a zwiększenie efektywności energetycznej można uzyskać przez zastosowanie kogeneracji (CHP), a zwłaszcza trigeneracji (CCHP), czyli skojarzonego wytwarzania energii elektrycznej, ciepła i chłodu użytkowego w jednym procesie technologicznym. Głównym napędem systemu CCHP mogą być turbiny parowe i gazowe, mikroturbiny, silniki o spalaniu wewnętrznym i zewnętrznym (Stirlinga) oraz ogniwa paliwowe. Ważną zaletą systemów skojarzonego wytwarzania energii elektrycznej, ciepła i chłodu jest bardziej zrównoważony rozwój poprzez redukcję zanieczyszczeń do środowiska i emisji gazów cieplarnianych dzięki zmniejszeniu zużycia paliw kopalnianych, a wykorzystanie źródeł odnawialnych (biogaz, biometan, biomasa, energia słoneczna i geotermalna) oraz ciepła odpadowego. Inne zalety to poprawa bezpieczeństwa energetycznego przez zwiększenie decentralizacji dostaw energii przy niższych kosztach oraz zmniejszenie strat energetycznych w sieciach przesyłowych i dystrybucyjnych energii elektrycznej i ciepła.

Bibliografia

- AB Holding. Kogeneracja: co to jest i jakie korzyści przynosi przedsiębiorstwom. <https://www.grupoab.com/pl/blog/kogeneracja-co-to-jest-i-jakie-korzysci-przynosi-przedsiębiorstwom> (dostęp: 10.04.2025).
- Agonafer T.D., Eremed W.B., Adem K.D. (2022). Biogas-based trigeneration system: a review. *Results in Engineering*, 15, 100509.

- AutomatykaB2B. Kogeneracja technologią dla przemysłu – skojarzona produkcja energii elektrycznej, ciepła i chłodu, część 1. <https://automatykab2b.pl/temat-miesiaca/40518-kogeneracja-technologie-dla-przemyslu-skojarzona-produkcja-energii-elektrycznej-ciepła-i-chłodu-czesc-1/> (dostęp: 9.04.2025).
- FBOŚ. Fundacja Banku Ochrony Środowiska. Mikrokogeneracja. <https://aktywniepozdrawie.pl/mikro-kogeneracja/> (dostęp: 12.04.2025).
- Cagen. Kogeneracja vs Trigeneracja. <https://cagen.pl/kogeneracja-vs-trigeneracja/> (dostęp: 10.04.2025).
- CES. Centrum Elektroniki Stosowanej CES Sp. z o.o. <https://ces.com.pl/realizacje/> (dostęp: 5.08.2025).
- Chorowski M. (2020). Kogeneracja i trigeneracja w transformacji polskiej energetyki. *Nowa Energia*, 2/3, 4–6.
- CIRE. Centrum Informacji o Rynku Energii. <https://www.cire.pl/artykuly/brak-kategorii/jakie-korzystaj-daje-instalacja-kogeneracji-w-przemysle> (dostęp: 9.08.2025).
- Clairand J.M., Briceno-Leon M., Escriva-Escriva G., Pantaleo A.M. (2020). Review of energy efficiency technologies in the food industry: Trends, barriers, and opportunities. *IEEE Access*, 8, 48015–48029.
- Czabaj S. (2024). Zielona przyszłość branży spożywczej: Wyzwania energetyczne i regulacje prawne. Raport z webinaru z dnia 19 lipca 2024 r.
- DB Energy. Jak dobrać jednostkę kogeneracyjną do potrzeb zakładu przemysłowego? <https://www.dbenergy.pl/baza-wiedzy/jak-dobrac-jednostke-kogeneracyjna> (dostęp: 12.04.2025).
- Dusiło M. (2024). Transformacja energetyczna w Polsce. Edycja 2024. <https://www.forum-energii.eu/> (dostęp: 12.04.2025).
- Dz.U. 2024, poz. 639. Obwieszczenie Marszałka Sejmu Rzeczypospolitej Polskiej z dnia 21 marca 2024 r. w sprawie ogłoszenia jednolitego tekstu ustawy o promowaniu energii elektrycznej z wysokosprawnej kogeneracji.
- Dz.U. 2024, poz. 1609. Rozporządzenie Ministra Klimatu i Środowiska z dnia 30 października 2024 r. w sprawie maksymalnej ilości i wartości energii elektrycznej z wysokosprawnej kogeneracji objętej wsparciem oraz jednostkowych wysokości premii gwarantowanej w roku 2025.
- Enervigo. Kogeneracja. <https://enervigo.com/technologie/kogeneracja/> (dostęp: 11.04.2025).
- Eubia (European Biomass Industry Association). Cogeneration. <https://www.eubia.org/cms/wiki-biomass/combustion/cogeneration/> (dostęp: 9.04.2025).
- Gas-Trading S.A. Kogeneracja wysokosprawna – efektywność energetyczna dla Twojej firmy. <https://gtsa.pl/kogeneracja-wysokosprawna/> (dostęp: 10.04.2025).
- Gov.pl. Kogeneracja dla Energetyki i Przemysłu – II nabór wniosków. <https://www.gov.pl/web/nfosigw/kogeneracja-dla-energetyki-i-przemyslu> (dostęp: 8.04.2025).
- Grochowicz J., Zawiślak K. (2012). Energooszczędne przetwarzania ziarna kukurydzy. *Inżynieria Przetwórstwa Spożywczego*, 2(2), 15–18.
- GUS (2024). Roczник Statystyczny Przemysłu, Warszawa 2024.
- Heat not Lost 1. Premia gwarantowana. <https://hnl.pl/premie/gwarantowana/> (dostęp: 7.04.2025).
- Heat not Lost 2. Premia kogeneracyjna. <https://hnl.pl/premie/kogeneracyjna/> (dostęp: 7.04.2025).
- Kaleta P., Wałek T. (2014). Innowacyjna metoda zaopatrywania małych i średnich przedsiębiorstw produkcyjnych w ciepło i energię elektryczną. *Systemy Wspomagania w Inżynierii Produkcji*, 7, 76–87.
- Kierunekenergetyka.pl. Czy i komu opłaca się kogeneracja? <https://www.kierunekenergetyka.pl/artukul,77599,czy-i-komu-oplaca-sie-kogeneracja.html> (dostęp: 10.04.2025).
- Ladha-Sabur A., Bakalis S., Fryer P.J., Lopez-Quiroga E. (2019). Mapping energy consumption in food manufacturing. *Trends in Food Science & Technology*, 86, 270–280.
- Murugan S., Horák B. (2016). Tri and polygeneration systems – A review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 60, 1032–1051.

- Nandaliarasyad N., Maulana D.T., Darmanto, P.S. (2020). Study of development scenarios for bottoming unit binary cycle to utilize exhaust steam from back pressure turbine geothermal power plant. In IOP conference series: earth and environmental science, 417(1), 012017. IOP Publishing.
- Odnawialne-Firmy. Trigeneracja – co to jest? <https://www.odnawialne-firmy.pl/wiadomosci/pokaz/85, trigeneracja-co-to-jest> (dostęp: 30.03.2025).
- Plich M., Skrzypek J. (2016). Trendy energochłonności polskiej gospodarki. *Wiadomości Statystyczne*, 7, 16–38.
- Radchenko A., Radchenko M., Mikielewicz D., Pavlenko A., Radchenko R., Forduy S. (2022). Energy Saving in Trigeneration Plant for Food Industries. *Energies*, 15(3), 1163.
- US (2024). Urząd Statystyczny w Rzeszowie 2024. Efektywność wykorzystania energii w latach 2012–2022. Warszawa, Rzeszów 2024.
- Tauron. Efektywność energetyczna. <https://www.tauron.pl/dla-firm/obsługa-i-pomoc/porady/dla-projektantow/efektywnosc-energetyczna> (dostęp: 30.03.2025).
- Wirtualne Muzeum Gazownictwa. Gazowe ogniwa paliwowe. <https://wmgaz.pl/gazownictwo-dzis-i-jutro/artikul/gazowe-ogniwa-paliwowe> (dostęp: 28.03.2025).
- Wędzik A. (2006). Układy kombinowane produkcji energii elektrycznej. Część I. Zagadnienia techniczne. *Energetyka*, 5, 323–329.
- Wojdalski J., Dróżdź B. (2012). Efektywność energetyczna zakładów przemysłu spożywczego. *Zarys problematyki i podstawowe definicje. Inżynieria Przetwórstwa Spożywczego*, 3/4, 37–49.
- Wołowicz M. (2020). Silnik Stirlinga jako element układów mikrokogeneracyjnych. *Rynek Energii*, 5, 27–32.
- Wołowicz M., Kolasinski P., Badyda K. (2021). Modern Small and Microcogeneration Systems – A Review. *Energies*, 14(3), 785.
- Żmuda A. (2020). Dostępność układów kogeneracyjnych małych mocy z silnikami Stirlinga. *Elektro Info*, 6, 24–28.

Cogeneration and trigeneration in the food industry

Abstract: The paper presents the characteristics of cogeneration and trigeneration as solutions for reducing energy consumption and increasing energy efficiency in the food industry. This sector, alongside the paper, chemical and mineral industries, is one of the four most energy-intensive branches of the processing industry. This is mainly due to the fact that the processes of thermal processing of food, freezing and refrigerated storage are among the most energy-intensive. Reducing energy consumption and increasing energy efficiency can be achieved, among others, by limiting network losses related to the transmission and distribution of electricity, heat, natural gas, etc., optimizing energy transformation (conversion) processes, and utilizing energy generated from on-site or grid-connected renewable energy sources for heating or cooling. This can be achieved by using cogeneration (CHP), and especially trigeneration (CCHP), which involves the combined production of electricity, heat, and useful cooling within a single technological process. The main drives of a CCHP system can be steam turbines and gas microturbines, internal and external combustion (Stirling) engines and fuel cells.

Greta Adamczyk^{1,*}, Natalia Żurek¹, Tomasz Cebulak¹

PRODUKCJA MARGARYNY – INNOWACJE TECHNOLOGICZNE

Streszczenie: Margaryna to produkt spożywczy, który stanowi alternatywę dla masła i ma w porównaniu do niego konsystencję bardziej miękką w temperaturze pokojowej przy jednoczesnym zachowaniu kształtu produktu. Ponadto jest zdecydowanie tańszym od masła wyrobem tłuszczowym i zawiera w swym składzie chemicznym mniejsze ilości tłuszczów nasyconych. Produkcja margaryny wiąże się z procesami modyfikacji tłuszczów, przy czym dąży się do tego, aby stosować procesy, w których można wyprodukować margaryny o obniżonej zawartości tłuszczów w konfiguracji *trans* i o niskiej zawartości tłuszczów nasyconych. Niniejsza praca obejmuje charakterystykę wybranych technologii modyfikacji tłuszczów, w tym innowacji, które pozwalają na transformację technologii produkcji margaryny w celu uzyskiwaniu zdrowszych wersji tego produktu z jednoczesnym zachowaniem jego wysokiej jakości.

Wprowadzenie

Margaryna to produkt spożywczy, który został po raz pierwszy wytworzony w 1869 r. we Francji przez Hippolyte’a Mege-Mouriesia w odpowiedzi na potrzebę znalezienia tańszej alternatywy dla masła dla francuskich żołnierz i robotników podczas wojny francusko-pruskiej. Pierwszy sposób wytwarzania margaryny polegał na ubijaniu mleka i łożu bydlęcego [O’Hagan 2023].

Margaryna to emulsja tłuszczów i olejów jadalnych z wodą, w której faza wodna jest rozprowadzana w postaci kropelek w ciekłym oleju zakotwiczonych w trójwymiarowej sieci stałych kryształków tłuszczu [Silva i in. 2021]. Produkt ten jest przeznaczony do smarowania pieczywa, pieczenia czy smażenia, stąd też znalazł szerokie zastosowanie zarówno w gospodarstwach domowych, jak również w profesjonalnych zakładach produkujących półprodukty cukiernicze i wyroby ciastkarskie. Margaryna dobrej jakości powinna charakteryzować się łatwością w rozsmarowywaniu w szerokim zakresie temperatur, mieć przyjemny smak i rozplýwać się w ustach. Jej cechą charakterystyczną jest również zachowywanie kształtu w temperaturze pokojowej przy jednocześnie miękkiej konsystencji, a stan ten determinuje odpowiedni stosunek wiązań chemicznych nasyconych i nienasyconych w kwasach tłuszczowych [Carr i Vaisey-Genser 2002]. Ponadto

¹ Katedra Ogólnej Technologii Żywności i Żywnienia Człowieka, Wydział Technologiczno-Przyrodniczy, Uniwersytet Rzeszowski, ul. Żelwerowicza 4, 35-601 Rzeszów.

* gadamczyk@ur.edu.pl

produkt ten zawiera niskie ilości cholesterolu i tłuszczów *trans*, a dodatkowo, gdy jest wzbogacany, np. w witaminy A i D oraz fitosterole, można go uznać za żywność funkcjonalną [Morris i Vaisey-Genser 2002].

W niniejszym przeglądzie omówiono wybrane osiągnięcia technologiczne w zakresie rozwoju produkcji margaryny przy użyciu metod uwodornienia (uwodornienie plazmowe DBD na płytach równoległych, uwodornienie plazmą mikrofalową), a także interestryfikacji i oleożelowania w celu otrzymania produktów wolnych od tłuszczów *trans* i o obniżonej zawartości nasyconych kwasów tłuszczowych.

Techniki modyfikacji tłuszczów z zastosowaniem procesu uwodornienia

Konwencjonalny proces uwodornienia tłuszczów i jego wpływ na zdrowie

Proces uwodornienia oleju lub tłuszczu wymaga wprowadzenia atomów wodoru do nienasyconych kwasów tłuszczowych w celu otrzymania zwiększonej zawartości kwasów tłuszczowych z wiązaniami nasyconymi. W temperaturze pokojowej stopień uwodornienia tłuszczu skutkuje trwałym przejściem z jego stanu ciekłego do stanu półstałego lub stałego. Proces ten powoduje zmiany w temperaturze topnienia tłuszczu oraz w jego konsystencji. Ponadto zwiększa odporność tłuszczów na utlenianie, zapewnia korzyści technologiczne i funkcjonalne, a także reguluje przebieg krystalizacji. Uwodornianie tłuszczu przeprowadza się w komorze ciśnieniowej zawierającej cząsteczki wodoru, w zakresie temperatur 150–235°C i ciśnieniu do 3 atm w obecności katalizatora, np. niklu [Gunstone 2006, Gupta 2017].

Podczas procesu uwodornienia zachodzą różne reakcje chemiczne, w tym redukcja wiązań podwójnych, tworzenie izomerów *trans* i przegrupowanie wiązań podwójnych (izomeryzacja pozycyjna) [Jang i in. 2004]. Mechanizm procesu uwodornienia z użyciem katalizatora zachodzi w trzech fazach: (a) adsorpcji, (b) dysocjacji H_2 i (c) tworzenia wiązań. Adsorpcja wodoru następuje na powierzchni katalizatora w sposób odwracalny, co skutkuje powstaniem półuwodornionych produktów pośrednich. Etap dysocjacji może spowodować odłączenie atomów wodoru i powrót do stanu wyjściowego lub wznowić proces interakcji tych atomów ze sobą. Ostatnia faza uwodornienia obejmuje etap wiązania, w którym atomy wodoru wiążą się z atomami węgla substratu (kwasu tłuszczowego) [Dijkstra 2012, Gunstone 2006, Patterson 2011].

W metodzie konwencjonalnego uwodorniania tworzą się tłuszcze o konfiguracji *trans*, które wykazują negatywny wpływ na zdrowia człowieka, ponieważ zwiększają stężenie lipoprotein o niskiej gęstości (LDL), zmniejszając jednocześnie stężenie lipoprotein o wysokiej gęstości (HDL). W konsekwencji sprzyja to rozwojowi miażdżycy i choroby wieńcowej, zwiększa ryzyko raka piersi po menopauzie, a także raka jelita grubego, powoduje wzrost insulinooporności, wywołuje

cukrzyce typu II i jest przyczyną otyłości [Clarke i Lewington 2006, Dhaka i in. 2011, Hung i in. 2016, Nagpal i in. 2021, Riserus i in. 2002, Salemi i in. 2023, Salmeron i in. 2001].

Nowe techniki uwodorniania tłuszczów

Innowacyjne techniki produkcji margaryny z zastosowaniem procesu uwodornienia pozwalają na wytwarzanie produktów bez tłuszczów *trans*. Do technik tych należą m.in. uwodornienie plazmowe na płytach równoległych czy też uwodornienie plazmą mikrofalową.

Plazma odnosi się do gorącego zjonizowanego gazu, w którym znajduje się taka sama liczba jonów (dodatnio i ujemnie naładowanych). Plazma odróżnia się tym od gazu, że zjonizowane atomy przewodzą prąd elektryczny. Zjawisko jonizacji polega na odrywaniu się elektronów od atomu [Chao i in. 2008, Karkhanis i Singh 2024]. Plazmę można generować na kilka sposobów, a mianowicie poprzez podniesienie temperatury gazów do ekstremalnie wysokich poziomów lub wprowadzenie mikrofal (zwykle 2,45 GHz), częstotliwości radiowej (zwykle 13,56 MHz), wiązki elektronów lub wysokiego napięcia do gazu przy ciśnieniu znacznie niższym niż 1 atm [Puprasit i in. 2020].

a. Uwodornienie plazmowe DBD na płytach równoległych

Uwodornienie plazmowe DBD (wyładowanie barierowe dielektryczne) na płytach równoległych – w porównaniu do uwodornienia z użyciem katalizatora, które wymaga wysokich ciśnień i temperatury – to prosta technika wytwarzania pod ciśnieniem atmosferycznym i utrzymywania plazmy w temperaturze zbliżonej do pokojowej. Plazma jest wytwarzana pomiędzy parą elektrod, które są rozdzielone za pomocą dielektrycznego medium. Atomy wodoru mogą wyzwać uwodornienie, gdy wchodzi w kontakt z nienasyconymi wiązaniami kwasów tłuszczowych. Podczas procesu uwodornienia plazmowego DBD zachodzą cztery reakcje: (a) uwodornienie, (b) sprzężone wiązanie podwójne, (c) reakcja Dielsa-Aldera, (d) pękanie. Uwodornienie oleju lub tłuszczu jest ułatwione dzięki cechom plazmy niskotemperaturowej, ponieważ gaz H_2 jest pobudzany do stopnia, który umożliwia mu dysocjację na reaktywne formy wodoru, w tym H^+ , H^{3+} i $H^\bullet$, czyli inne aktywne formy niż to ma miejsce w procesach z użyciem katalizatora [Kongprawes i in. 2021]. Proces uwodornienia rozpoczyna się w momencie, kiedy wiązania podwójne cząsteczek kwasów tłuszczowych są wyzwalane przez reaktywne formy wodoru i powstające cząstki plazmy. Atomy wodoru, które są zlokalizowane blisko wiązań podwójnych, przechodzą w wolne rodniki $H^\bullet$, co powoduje niestabilność molekularną i migrację wiązań podwójnych w tym etapie. Z kolei wytworzony rodnik wodorowy ($H^\bullet$) może interkalować między wiązaniami, co prowadzi do tworzenia wiązań pojedynczych, które przyczyniają się do stabilności cząsteczki. Wolne rodniki pochodzące z łańcucha kwasu tłuszczowego wraz z rodnikami wodorowymi plazmy zostają włączone do pojedynczych wiązań

zwanych sprzężonymi wiązaniami podwójnymi [Puprasit i in. 2020]. Reakcja Dielsa-Aldera zachodzi w wyniku rozwoju sprzężonych wiązań podwójnych w łańcuchu węglowodorowym, w szczególności wiązań linolowego i linolenowego [Puprasit i in. 2022]. Natomiast w etapie reakcji pękania kwasu palmitynowego (C16:0) powstaje na skutek rozszczepienia łańcucha kwasu stearynowego (C18:0), co skutkuje powstaniem kwasu palmitynowego (C16:0) i rodników alkilowych ($-\text{CH}_2-\text{CH}\cdot$) [Hao i in. 2018].

Przykładem zastosowania nietermicznej metody uwodornienia plazmowego DBD jest uwodornienie oleju palmowego w celu wyprodukowania margaryny o niskiej zawartości tłuszczów *trans* i konsystencji zbliżonej do margaryny komercyjnej [Puprasit i in. 2020].

b. Uwodornienie plazmą mikrofalową

Technologia uwodornienia tłuszczów plazmą mikrofalową staje się coraz bardziej popularna w przemyśle spożywczym ze względu na jej zdolność do osiągnięcia stabilnej i wydajnej generacji plazmy. Plazma mikrofalowa generowana jest przez magnetron pracujący z częstotliwością 2,45 GHz i charakteryzuje się wysoką gęstością i odpowiednim rozkładem energii. Gdy źródło plazmy jest wystawione na działanie promieniowania mikrofalowego, generowane jest pole elektromagnetyczne o wysokiej częstotliwości, które powoduje gromadzenie energii przez wolne elektrony i wytwarzanie wibracji. Wolne elektrony oddziałują z cząsteczkami wodoru, przekazując im część swojej energii, co skutkuje ich interakcją z nowo powstałymi wzbudzonymi, zdysocjowanymi i zjonizowanymi formami. Powstałe formy wodoru mogą zderzać się ze sobą, wytwarzając jeszcze bardziej energetyczne wolne elektrony i reaktywne atomy. Proces ten jest złożony i zależy od wzajemnego oddziaływania promieniowania mikrofalowego, wolnych elektronów, cząsteczek wodoru i źródła plazmy [Fridman 2008, Wongjaikham i in. 2022]. Proces uwodornienia polega tu na tym, że elektron w atomowym wodorze przemieszcza się na wyższy poziom energetyczny, co sprawia, że atom jest bardziej reaktywny w reakcji z olejem. Następuje wprowadzenie wodoru atomowego do wiązania C=C kwasu tłuszczowego. Prowadzi to do powstania wolnego rodnika, który jest niesparowanym elektronem i jest wysoce reaktywny i niestabilny. Ten wolny rodnik jest następnie stabilizowany przez dodanie innego atomu wodoru, co skutkuje powstaniem stabilnego wiązania i zakończeniem reakcji uwodornienia [Yopez i Keener 2016]. W etapie pękania zachodzi proces rozszczepiania wiązań C=C długołańcuchowych kwasów tłuszczowych, np. łańcucha kwasu tłuszczowego z C18:0 na C16:0. Jest to spowodowane wysoką energią elektronu, który działa w pozycji końcowej kwasów tłuszczowych. W rezultacie powstają małe rodniki i długołańcuchowe rodniki kwasów tłuszczowych. Te ostatnie mogą oddziaływać z atomowym wodorem i tworzyć stabilny stan [Istadi i in. 2014]. Uwodornienie jest uważane za główny czynnik dużych wzrostów nasyconych kwasów tłuszczowych, co skutkuje odpowiednimi redukcjami nienasyconych kwasów tłuszczowych.

Technika plazmy mikrofalowej (2,45 GHz) została zastosowana m.in. do uwodornienia oleiny palmowej i jej późniejszego wykorzystania do produkcji margaryny o niskiej zawartości tłuszczów *trans* [Wongjaikham i in. 2022].

Interestryfikacja

Na przestrzeni ostatnich dziesięcioleci opracowano wiele metod modyfikacji oleju. Do konwencjonalnych technik należą: uwodornienie, frakcjonowanie i chemiczna interestryfikacja [Zbikowska i in. 2023]. W ostatniej wymienionej metodzie, opracowanej głównie w celu produkcji margaryny, proces interestryfikacji zapewnia produkcję jednorodnych mieszanek triacylogliceroli (TAG) poprzez włączenie nasyconych kwasów tłuszczowych (SFA) tłuszczów do oleju TAG i odwrotnie. Proces ten modyfikuje wiele parametrów produktu końcowego, jak zawartość tłuszczu stałego, temperatura topnienia i właściwości krystalizacji [Rousseau i in. 2017].

Interestryfikacja to proces, który obejmuje przegrupowanie cząsteczek poprzez przesunięcie kwasów tłuszczowych w cząsteczce triacyloglicerolu między innymi cząsteczkami TAG na drodze ich losowego rozbicia aż do momentu osiągnięcia równowagi ze wszystkimi potencjalnymi kombinacjami. W pierwszej kolejności następuje rozbicie wiązań estrowych, które łączą reszty acylowe tłuszczów z glicerolem. Następnie uwolnione kwasy tłuszczowe są wiązane albo z oryginalnym szkieletem glicerolu, albo z inną cząsteczką glicerolu w innym miejscu [Alves i in. 2024, Berry i in. 2019].

Interestryfikacja chemiczna

Chemiczna interestryfikacja to szeroko stosowany proces przemysłowy, który powoduje zmiany fizyczne i funkcjonalne właściwości olejów. Proces ten obejmuje przegrupowanie kwasów tłuszczowych w obrębie i między triacyloglicerolami poprzez losową lub ukierunkowaną wymianę kwasów tłuszczowych. W losowej chemicznej interestryfikacji rodniki kwasów tłuszczowych przemieszczają się swobodnie między cząsteczkami triacylogliceroli aż do osiągnięcia stanu równowagi. W ukierunkowanej chemicznej interestryfikacji nasycone triacyloglicerole są usuwane z ośrodka reakcji w stosunkowo niskich temperaturach [Erickson 1994, Rozendaal i Macrae 2018].

Chemiczna interestryfikacja obejmuje użycie katalizatorów alkalicznych, takich jak np. metylan sodu. Uprzednio rafinowane, wybielane i dezodoryzowane oleje są podgrzewane do około 110°C w próżni lub w warunkach niskiego ciśnienia. Katalizator ułatwia losowe przegrupowanie kwasów tłuszczowych na szkielecie glicerolowym triglicerydów. Proces ten jest bardzo wydajny, ale brakuje mu specyficzności, ponieważ losowo modyfikuje wszystkie kwasy tłuszczowe w obrębie i między cząsteczkami triglicerydów. Po zakończeniu interestryfikacji katalizator musi zostać zneutralizowany i usunięty [Erickson 1994, Gunstone 2001].

Interestryfikacja enzymatyczna

Jedną z niekonwencjonalnych metod interestryfikacji tłuszczu jest modyfikacja enzymatyczna z wykorzystaniem lipazy, która odpowiada aktualnym trendom bezpieczeństwa modyfikacji produktów tłuszczowych i spełnia obecne wymagania środowiskowe. Udowodniono, że produkcja margaryny zużywa ponad 4,5 mld kg uwodornionego oleju sojowego rocznie, a proces enzymatycznej interestryfikacji pozwoliłby zaoszczędzić 181 mln kg uwodornionego oleju sojowego i 227 mln l wody każdego roku [Sivakanthan i Madhujith 2020]. Zainteresowanie tą metodą znacznie wzrosło w ciągu ostatnich lat, co wynika z wielu jej zalet w porównaniu do chemicznej interestryfikacji. Niewątpliwym jej walorem jest szeroki zakres możliwości projektowania produktu i jego właściwości funkcjonalnych, a także korzyści ekonomiczne, w tym łagodne warunki przetwarzania, mniejsza liczba etapów oczyszczania i niższe zużycie energii [Zhang i in. 2021]. Ponadto proces interestryfikacji enzymatycznej może przyczynić się do poprawy zdrowia publicznego poprzez zmniejszenie spożycia tłuszczów *trans* w wyniku częściowego zastąpienia uwodornionych olejów roślinnych olejami interestryfikowanymi [Temkov i Mureşan 2021].

Podczas interestryfikacji enzymatycznej enzym lipaza losowo rozkłada wiązania estrowe pomiędzy glicerolem a kwasami tłuszczowymi, prowadząc do powstania wolnych kwasów tłuszczowych (FFA), które następnie ulegają ponownej estryfikacji – bądź z tym samym szkieletem glicerolowym w innym położeniu (intraestryfikacja), bądź z inną cząsteczką glicerolu (interestryfikacja) [Zhang i in. 2021]. Lipazy do tego procesu są pozyskiwane ze źródeł bakteryjnych, drożdżowych lub grzybowych, a po całym procesie odzyskiwane do kolejnego wykorzystania. Interestryfikacja obejmuje cztery podstawowe typy reakcji: (a) acydolizę, definiowaną jako reakcję pomiędzy wolnymi kwasami tłuszczowymi a TAG; (b) alkoholizę, tj. reakcję pomiędzy alkoholem a TAG; (b) glicerolizę – polegającą na reakcji glicerolu z TAG; oraz (c) transestryfikację, w której dochodzi do rozszczepienia wiązań estrowych pomiędzy kwasami tłuszczowymi a glicerolem, a następnie do ich ponownej estryfikacji w alternatywnych pozycjach sn w cząsteczce glicerolu [Nicholson i Marangoni 2021].

Ogólnie rzecz biorąc, enzymatyczna interestryfikacja stanowi efektywną metodę modyfikacji TAG, umożliwiając otrzymanie tłuszczów o zmodyfikowanym profilu strukturalnym i korzystnych właściwościach fizykochemicznych, takich jak temperatura topnienia, polimorfizm, tekstura, struktura krystaliczna, konsystencja oraz zwiększona stabilność oksydacyjna [Zhou i in. 2022]. Obecnie proces ten znajduje szerokie zastosowanie komercyjne w produkcji różnorodnych lipidów modyfikowanych, w tym margaryn pozbawionych izomerów *trans* oraz tłuszczów typu shortening, substytutów i odpowiedników masła kakaowego, strukturalnych lipidów niskokalorycznych, zamienników tłuszczu mleka kobiecego, a także jadalnych filmów i powłok o właściwościach funkcjonalnych [Sivakanthan i Madhujith 2020].

W ostatniej dekadzie opublikowano szereg badań dotyczących zastosowania enzymatycznej interestryfikacji w produkcji margaryn pozbawionych izomerów *trans*, których wyniki wskazują na wysoką efektywność tego podejścia i jego duży potencjał aplikacyjny [Zhou i in. 2022]. W jednym z badań opracowano analog łoju wołowego wytworzony w wyniku enzymatycznej interestryfikacji mieszaniny oleju sojowego i całkowicie uwodornionego oleju palmowego (w stosunku 4:3, ww.) z zastosowaniem immobilizowanej lipazy, w celu uzyskania margaryny o niskiej zawartości izomerów *trans*. Powstały produkt wykazał niższą temperaturę topnienia i wolniejszą krystalizację, co korzystanie wpłynęło na stabilizację margaryny [Li i in. 2018]. Z kolei w niedawnym badaniu Dong i in. [2023] wyprodukowano margarynę o 40% niższej zawartości SFA, wykorzystując olej z orzechów tygrysiich i stearynę palmową. Dla procesu interestryfikacji określono optymalne warunki reakcji: temperaturę 80°C, stężenie katalizatora na poziomie 0,36% (ww.) oraz czas trwania reakcji wynoszący 32 minuty. Interestryfikowany olej miał niższą zawartość trójnasyconych TAG i tłuszczu stałego [Dong i in. 2023]. Natomiast zespół Cui i in. [2022] otrzymał margarynę o niskiej zawartości izomerów *trans*, wykorzystując enzymatyczną interestryfikację mieszanin oleju owsianego i kokosowego przeprowadzoną z użyciem unieruchomionej lipazy w stężeniu 5% (ww.) w temperaturze 70°C przez 5 godzin. Zauważono, że wyprodukowana margaryna miała niższą zawartość TAG o wysokiej temperaturze topnienia i mniej woskową konsystencję. Pierwszą firmą na świecie, która wprowadziła na rynek margaryny bez izomerów *trans* zawierające enzymatycznie interestryfikowany tłuszcz była w 2012 r. firma Archer Daniels Midland [Zbikowska i in. 2023]. Do ich produkcji wykorzystano unieruchomione lipazy oraz olej sojowy, palmowy i bawełniany.

W literaturze znajduje się wiele raportów wskazujących na pożądane właściwości tłuszczów plastycznych uzyskanych w wyniku enzymatycznej interestryfikacji, co wskazuje na duży potencjał tej technologii w produkcji margaryn oraz innych tłuszczów jadalnych.

Oleozele

Przez ostatnie kilka dekad pracowano nad nowymi metodami modyfikacji lipidów w celu otrzymania zdrowszych alternatyw dla konwencjonalnych margaryn. Interesujący dla naukowców okazał się proces strukturyzacji olejów płynnych poprzez oleogelację i utworzenie oleożeli [Silva i in. 2023]. Oleozele to produkty na bazie lipidów, które stabilizują oleje płynne w matrycy żelowej. Składają się z trzech głównych komponentów: fazy olejowej, substancji strukturyzującej i opcjonalnych dodatków [Perța-Crișan i in. 2023]. Pierwszy składnik stanowi zwykle od 80 do 99% masy oleożelu. Do głównych olejów wykorzystywanych jako faza olejowa, zapewniających płynną bazę do żelowania, należą: olej słonecznikowy, sojowy, rzepakowy i oliwa z oliwek [Sun i in. 2022]. Składnikiem

tworzącym sieć żelową w oleożelach jest żelator (środek strukturyzujący). Stanowi on zwykle od 1 do 20% składu i występuje w dwóch formach, jako związki o niskiej masie cząsteczkowej (LMWO, *low-molecular-weight-oleogelator*) i związki wielkocząsteczkowe (HMWO, *high-molecular-weight-oleogelator*). LMWO są małymi cząsteczkami, które samoczynnie łączą się w struktury krystaliczne, fibrylne lub rurowe, unieruchamiając ciekłe oleje. Do typowych przedstawicieli LMWO można zaliczyć woski, alkohole, fitosterole i kwasy tłuszczowe. HMWO, takie jak białka, polisacharydy, etyloceluloza, skrobia, tworzą żele w wyniku usieciowania, splątania polimerów, mikroskopowego rozdzielenia faz lub tworzenia mezo-fazy [Mandu i in. 2020]. Wybór i stężenie środka strukturyzującego można wybrać w zależności od pożądanej tekstury, stabilności i funkcjonalności produktów spożywczych [Holey i in. 2021]. Opcjonalne dodatki, w postaci emulgatorów (lecytyna), aromatów, witamin, polifenoli, kwasów tłuszczowych z rodziny *omega*, wprowadzane są podczas produkcji oleożeli w celu poprawy tekstury, jakości sensorycznej, wydłużenia okresu przydatności do spożycia, stabilizacji i konserwacji, jak również poprawy właściwości prozdrowotnych, w tym aktywności antyoksydacyjnej i przeciwzapalnej [Pinto i in. 2021].

Oleożele z powyższych komponentów można otrzymać z wykorzystaniem metody bezpośredniej lub pośredniej. W metodzie bezpośredniej samoorganizująca się sieć oleożelu jest otrzymywana w wyniku dyspersji żelu w fazie olejowej poprzez ogrzewanie i mieszanie, a następnie chłodzenie. Z kolei w metodzie pośredniej przygotowanie oleożelu odbywa się poprzez wprowadzenie środka żelującego do emulsji wodnej utrzymanej w ciągłym mieszanii. Po uzyskaniu stabilnej struktury faza wodna jest usuwana poprzez liofilizację lub suszenie w piecu [Perța-Crișan i in. 2023].

Przygotowane w ten sposób oleożele skutecznie naśladują właściwości tłuszczów stałych. Ich wykorzystanie przez producentów margaryny umożliwia znaczną redukcję zawartości tłuszczów nasyconych przy jednoczesnym zachowaniu kluczowych cech sensorycznych, takich jak kremowa konsystencja, co pozwala lepiej odpowiadać na rosnące wymagania konsumentów. Margaryny ze zmniejszoną zawartością *trans* i SFA zostały opracowane m.in. przez zespół Abdolmaleki i in. [2021]. W przywołanej pracy zastąpienie oleju palmowego oleożelem na bazie wosku pszczelego, kazeinianu sodu, gumy guarowej i gumy ksantanowej pozwoliło na zmniejszenie SFA i kwasów tłuszczowych *trans* (TFA) odpowiednio o 28 i 80% bez negatywnego wpływu na cechy strukturalne margaryny. Także opracowanie margaryny przy użyciu oleożelu przygotowanego z wosku pszczelego, oliwy z oliwek monoacylogliceroli sprawiło, że końcowy produkt zawierał o 33% mniej SFA w porównaniu do tradycyjnego produktu i w 80% składał się z wielonienasyconych kwasów tłuszczowych (PUFA) [Alvarez i in. 2021]. Ponadto wykazano, że margaryna na bazie oleożelu jest zdrowsza niż jej tradycyjne odpowiedniki. Jej wprowadzenie do diety skutkowało poprawą profilu lipidowego surowicy krwi poprzez zmniejszenie poziomu cholesterolu LDL i zwiększenie frakcji HDL. Z jednej strony

wynikało to ze struktury oleożelu, który zapewnia stopniowe uwalnianie i wchłanianie lipidów, korzystnie wpływając na metabolizm lipidów. Z drugiej, pozytywne oddziaływanie margaryn na bazie oleożeli na zdrowie człowieka w porównaniu do ich tradycyjnych odpowiedników wynikało z niższej kaloryczności i obecności bioaktywnych dodatków [Fattore i Massa 2018]. Wykazano również, że strukturalne oleje w oleożelach wywoływały uczucie sytości, pomagając w regulacji apetytu [Werner-Carcamo i in. 2024].

Powyższe odkrycia wskazują, że margaryny przygotowane na bazie oleożeli mogą stanowić efektywne substytuty tradycyjnych tłuszczów w produktach spożywczych, oferując korzystniejszy profil żywieniowy dzięki obniżonej zawartości kwasów tłuszczowych nasyconych oraz izomerów *trans*, a tym samym odpowiadając zarówno na potrzeby zdrowotne, jak i rosnące oczekiwania konsumentów względem zdrowszych alternatyw tłuszczowych.

Podsumowanie

Techniki uwodornienia plazmowego, w porównaniu z konwencjonalnym uwodornieniem opartym na katalizatorze, wykazują korzyści technologiczne oraz żywieniowe. Procesy te są bardziej przyjazne dla środowiska, ponieważ są przeprowadzane przy ciśnieniu atmosferycznym i niskich temperaturach bez konieczności stosowania katalizatora, dzięki czemu eliminują odpady powstałe w wyniku przygotowania, użytkowania, usuwania, reaktywacji i ostatecznej utylizacji katalizatora. Jednak rozwiązania z zastosowaniem technik uwodornienia plazmowego mają również swoje wady, jak np. to, że proces uwodornienia jest powolny, koszt operacyjny wysoki, co w konsekwencji może wiązać się z wyższymi cenami produktu końcowego.

Z kolei techniki interestryfikacji wykazały znaczny potencjał w poprawie wartości odżywczej margaryny. Oleje interestryfikowane są wolne od tłuszczów *trans* i mogą być dostosowane do określonych właściwości funkcjonalnych odpowiednich do produkcji margaryny. W ten sposób można produkować margaryny o pożądanej konsystencji i stabilności przy jednoczesnym zachowaniu w składzie produktu zdrowszego profilu kwasów tłuszczowych. Natomiast wprowadzenie ustrukturyzowanych olejów roślinnych, czyli oleożeli, stanowi kolejny znaczący przełom w technologii produkcji margaryny. Oleożele umożliwiają bowiem stosowanie olejów płynnych w stałych formułach tłuszczowych bez lub z minimalnym uszczerbkiem dla tekstury i funkcjonalności. Innowacja ta przyczynia się do zwiększenia zawartości tłuszczów nienasyconych w produkcie końcowym dzięki wykorzystaniu różnych niekonwencjonalnych źródeł oleju.

Stosowanie innowacji technologicznych w produkcji margaryny pozwoli sprostać wymaganiom świadomych zdrowia konsumentów i zwolenników zrównoważonego rozwoju. Dlatego też przemysł produkcji margaryny przechodzi transformację

w podejściu do modyfikacji tłuszczów. Jednak wymaga on wciąż szeroko zakrojonych badań pilotażowych oraz inwestycji w infrastrukturę i sprzęt dostosowany do nowych technologii.

Bibliografia

- Abdolmaleki K., Alizadeh L., Nayeibzadeh K., Baranowska H.M., Kowalczewski P.L., Mousavi Khaneghah A. (2021). Potential application of hydrocolloid-based oleogel and beeswax oleogel as partial substitutes of solid fat in margarine. *Applied Sciences*, 12 (23), 12136.
- Alves V., Figueiredo Furtado G. de, Alves Macedo G. (2024). An introduction. [In:] *Chemical and enzymatic interesterification for food lipid production*. SpringerBriefs in Molecular Science. Springer, 1–15.
- Alvarez M.D., Cofrades S., Saiz A., Herranz B. (2021). Development and physico-chemical characterization of healthy puff pastry margarines made from olive-pomace oil. *Foods*, 11 (24), 4054.
- Berry S.E., Bruce J.H., Steenson S., Stanner S., Buttriss J.L., Spiro A., Gibson P.S., Bowler I., Dionisi F., Farrell L., Glass A., Lovegrove J.A., Nicholas J., Peacock E., Porter S., Mensink R.P., Hall W.L. (2019). Interesterified fats: What are they and why are they used? A briefing report from the roundtable on interesterified fats in foods. *Nutrition Bulletin*, 44(4), 363–380.
- Birania S., Attkan A.K., Kumar S., Kumar N., Singh, V.K. (2022). Cold plasma in food processing and preservation: A review. *Journal of Food Process Engineering*, 45(9), e14110.
- Carr R., Vaisey-Genser M. (2002). Margarine—Methods of manufacture. In *Encyclopedia of food sciences and nutrition* (2nd ed.). Academic Press, 3709–3714.
- Chao Y., Ching-Tsuen H., How-Ming L., Moo-Been C. (2008). Hydrogen production via partial oxidation of methane with plasma-assisted catalysis. *International Journal of Hydrogen Energy*, 33(2), 664–671.
- Clarke R., Lewington S. (2006). Trans fatty acids and coronary heart disease: Food labels should list these as well as cholesterol and saturated fat. *BMJ: British Medical Journal*, 333(7561), 214.
- Cui H., Li J., Xu X., Li J., Lu M., Song H., Wang S., Yang L., Zhu D., Liu H. (2022). Enzymatic interesterification of beef tallow/coconut oil blends to produce a superior margarine base stock. *International Journal of Food Science and Technology*, 57(2), 908–919.
- Dhaka V., Gulia N., Ahlawat K.S., Khatkar B.S. (2011). Trans fats—Sources, health risks and alternative approach—A review. *Journal of Food Science and Technology*, 48(5), 534–541.
- Dijkstra A.J. (2012). Kinetics and mechanism of the hydrogenation process—The state of the art. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 114(9), 985–998.
- Dong S., Zhou Y., Sun S., Chen X. (2023). Preparation of a novel healthy tiger nut oil-based margarine fat with low trans and saturated fatty acids. *Food Chemistry*, 427, 136731.
- Erickson M.D. (1994). Interesterification. [In:] D.R. Erickson (Ed.): *Practical handbook of soybean processing and utilization*. Academic Press and AOCS Press, 277–296.
- Fattore E., Massa E. (2018). Dietary fats and cardiovascular health: A summary of the scientific evidence and current debate. *Int J Food Sci Nutr*, 69, 916–927.
- Fridman A. (2008). *Plasma chemistry*. Cambridge University Press.
- Gunstone F.D. (Ed.). (2001). *Structured and modified lipids*. CRC Press.
- Gunstone F.D. (Ed.). (2006). *Modifying lipids for use in food*. Woodhead Publishing.
- Gupta M.K. (2017). Hydrogenation. [In:] *Practical guide to vegetable oil processing* (2nd ed.). AOCS Press, 171–215.
- Hao H., Lian P., Gong J., Gao R. (2018). Theoretical study on the hydrogenation mechanisms of model compounds of heavy oil in a plasma-driven catalytic system. *Catalysts*, 8(9), 381.

- Holey S.A., Sekhar K.P.C., Mishra S.S., Kanjilal S., Nayak R.R. (2021). Effect of oil unsaturation and wax composition on stability, properties and food applicability of oleogels. *J Am Oil Chem Soc*, 98, 1189–1203.
- Hung W., Sun Hwang L., Shahidi F., Pan M., Wang Y., Ho C. (2016). Endogenous formation of trans fatty acids: Health implications and potential dietary intervention. *Journal of Functional Foods*, 25, 14–24.
- Istadi I., Yudhistira A.D., Anggoro D.D., Buchori L. (2014). Electro-catalysis system for biodiesel synthesis from palm oil over dielectric-barrier discharge plasma reactor. *Bulletin of Chemical Reaction Engineering and Catalysis*, 9(2), 111–120.
- Jang E.S., Jung M.Y., Min D.B. (2004). Hydrogenation for low trans and high conjugated fatty acids. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 4(1), 22–30.
- Karkhanis R.P., Singh S.P. (2024). A review: Application of cold plasma in food processing industry. *Journal of Scientific Research and Reports*, 30(3), 243–258.
- Kongprawes G., Wongsawaeng D., Ngaosuwan K., Kiatkittipong W., Assabumrungrat S. (2021). Low-temperature and atmospheric pressure plasma for palm biodiesel hydrogenation. *Scientific Reports*, 11(1), 1–14.
- Li J., Zhao X., Xie Z., Zhang N., Zhang Y. (2018). A low trans margarine fat analog to beef tallow for healthier formulations: Optimization of enzymatic interesterification using soybean oil and fully hydrogenated palm oil. *Food Chemistry*, 255, 405–413.
- Mandu C.C., Barrera-Arellano D., Santana M.H.A., Fernandes G.D. (2020). Waxes used as structuring agents for food organogels: A Review. *Grasas Aceites*, 71, 918.
- Morris D., Vaisey-Genser M. (2002). Margarine—Dietary importance. [In:] *Encyclopedia of food sciences and nutrition* (2nd ed.). Academic Press, 3719–3725.
- Nagpal T., Sahu J.K., Khare S.K., Bashir K., Jan K. (2021). Trans fatty acids in food: A review on dietary intake, health impact, regulations and alternatives. *Journal of Food Science*, 86(12), 5159–5174.
- Nicholson R.A., Marangoni A.G. (2021). Lipase-catalyzed glycerolysis extended to the conversion of a variety of edible oils into structural fats. *Curr Res Food Sci*, 4, 163–174.
- O'Hagan L.A. (2023). “Classifying” margarine: The early class-based marketing of a butter substitute in Sweden (1923–1933). *Global Food History*, 9(1), 20–46.
- Patterson H. (2011). The hydrogenation reaction. [In:] G.R. List, J.W. King (Eds.): *Hydrogenation of fats and oils* (2nd ed.). AOCS Press, 1–32.
- Perța-Crișan S., Ursachi C.-Ș., Chereji B.-D., Tolan I., Munteanu F.-D. (2023). Food-Grade Oleogels: Trends in Analysis, Characterization, and Applicability. *Gels*, 9 (5), 386.
- Pinto T.C., Martins A.J., Pastrana L., Pereira M.C., Cerqueira M.A. (2021). Oleogel-Based Systems for the Delivery of Bioactive Compounds in Foods. *Gels*, 7, 86.
- Puprasit K., Wongsawaeng D., Ngaosuwan K., Kiatkittipong W., Assabumrungrat S. (2020). Non-thermal dielectric barrier discharge plasma hydrogenation for production of margarine with low trans-fatty acid formation. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 66, 102511.
- Puprasit K., Wongsawaeng D., Ngaosuwan K., Kiatkittipong W., Assabumrungrat S. (2022). Improved hydrogenation process for margarine production with no trans fatty acid formation by non-thermal plasma with needle-in-tube configuration. *Journal of Food Engineering*, 334, 111167.
- Riserus U.L.F., Arner P., Brismar K., Vessby B. (2002). Treatment with dietary trans-10 cis-12 conjugated linoleic acid causes isomer-specific insulin resistance in obese men with the metabolic syndrome. *Diabetes Care*, 25(9), 1516–1521.
- Rousseau D., Ghazani S.M., Marangoni A.G. (2017). Chemical interesterification of food lipids: Chemistry, nutrition, and biotechnology. [In:] C.C. Akoh (Ed.): *Food Lipids* (4th ed.); CRC Press: Boca Raton, FL, USA, 149–184.
- Rozendaal A., Macrae A.R. (2018). Interesterification of oils and fats. [In:] F.B. Padley (Ed.): *Lipid technologies and applications*. Routledge, Taylor and Francis, 223–263.

- Salemi F., Beigrezaei S., Arabi V., Taghipour Zahir S., Salehi-Abargouei A. (2023). Dietary trans fatty acids and risk of colorectal cancer: A systematic review and meta-analysis of observational studies. *European Journal of Nutrition*, 62(2), 563–572.
- Salmeron J., Hu F.B., Manson J.E., Stampfer M.J., Colditz G.A., Rimm E.B., Willett W.C. (2001). Dietary fat intake and risk of type 2 diabetes in women. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 73(6), 1019–1026.
- Silva T.J., Barrera-Arellano D., Ribeiro A.P.B. (2021). Margarines: Historical approach, technological aspects, nutritional profile, and global trends. *Food Research International*, 147, 110486.
- Silva R.C., Ferdaus M.J., Foguel A., da Silva T. (2023). Oleogels as a Fat Substitute in Food: A Current Review. *Gels*, 9 (3), 180.
- Sivakanthan S., Madhujith T. (2020). Current trends in applications of enzymatic interesterification of fats and oils: A review. *LWT*, 132, 109880.
- Sun H., Xu J., Lu X.Z., Xu Y.Y., Regenstein J.M., Zhang Y., Wang F.J. (2022). Development and characterization of monoglyceride oleogels prepared with crude and refined walnut oil. *LWT*, 154, 112769.
- Temkov M., Mureşan V. (2021). Tailoring the Structure of Lipids, Oleogels and Fat Replacers by Different Approaches for Solving the *Trans*-Fat Issue—A Review. *Foods*, 10 (6), 1376.
- Werner-Carcamo E.R., Soleimani Y., Macias-Rodriguez B.A., Rubilar M., Marangoni, A.G. (2024). Mechanical properties of wax-oleogels: Assessing their potential to mimic commercial margarine functionality under small and large deformations. *Food Research International*, 189, 114579.
- Wongjaikham W., Kongprawes G., Wongsawaeng D., Ngaosuwan K., Kiatkittipong W., Hosemann P., Assabumrungrat S. (2022). Production of low trans-fat margarine by partial hydrogenation of palm oil using nature-friendly and catalyst-free microwave plasma technique. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 80, 103107.
- Yopez X.V., Keener K.M. (2016). High-voltage atmospheric cold plasma (HVACP) hydrogenation of soybean oil without trans-fatty acids. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 38, 169–174.
- Zbikowska A., Onacik-Gür S., Kowalska M., Zbikowska K., Feszterová M. (2023). Trends in Fat Modifications Enabling Alternative Partially Hydrogenated Fat Products Proposed for Advanced Application. *Gels*, 9 (6), 453.
- Zhang Z., Lee W.J., Wang Y. (2021). Evaluation of enzymatic interesterification in structured triacylglycerols preparation: A concise review and prospect. *Crit Rev Food Sci Nutr*, 61, 3145–3159.
- Zhou J., Lee Y.Y., Mao Y., Wang Y., Zhang Z. (2022). Future of structured lipids: Enzymatic synthesis and their new applications in food systems. *Foods*, 11, 2400.

Margarine production – technological innovations

Abstract: Margarine is a food product that is an alternative to butter. Margarine, compared to butter, has a softer consistency at room temperature, while maintaining the shape of the product. In addition, it is definitely a cheaper fat product. Butter in its chemical composition contains larger amounts of saturated fats than margarine. The production of margarine is associated with fat modification processes, and the aim is to use processes that can produce margarines with reduced *trans* fat content and low saturated fat content. This work characterizes selected fat modification technologies, including innovations that allow the transformation of margarine production technology in order to obtain healthier versions of this product while maintaining its high quality.

Natalia Szarek^{1,2,*}, Karolina Pycia², Grażyna Jaworska²

SUSZENIE ROZPYŁOWE JAKO INNOWACYJNA METODA PRODUKCJI PROSZKÓW Z SOKÓW OWOCOWYCH I WARZYWNYCH

Streszczenie: Suszenie rozpyłowe (*spray drying*) to jedna z najczęściej stosowanych technologii przemysłowych do produkcji proszków z płynnych lub półpłynnych surowców. Proces ten polega na rozpyleniu cieczy w postaci drobnych kropelek do gorącego powietrza (120–220°C), co powoduje błyskawiczne odparowanie wody i wytworzenie suchego proszku. Kluczowymi zaletami tej technologii są jej wydajność energetyczna, szybki czas produkcji oraz możliwość uzyskania jednorodnych proszków o długiej trwałości. Proces ten pozwala na zachowanie składników odżywczych i biologicznie aktywnych, co jest szczególnie istotne w produkcji proszków z owoców i warzyw. Do ich wytwarzania często wykorzystuje się różne nośniki, takie jak skrobia, maltodekstryna, guma arabska, inulina czy białka, które chronią wrażliwe składniki przed degradacją oraz poprawiają rozpuszczalność i stabilność produktu. Suszenie rozpyłowe umożliwia tworzenie proszków o szerokim zastosowaniu, np. w suplementach diety, napojach i żywności funkcjonalnej.

Wprowadzenie

Owoce i warzywa są bogate w witaminy, składniki mineralne i związki prozdrowotne, jednak należą do grupy surowców nietrwałych. Z tego powodu poszukuje się alternatywnych metod ich przetwarzania, które pozwoliłyby uzyskać produkty o wyższej trwałości przy zachowaniu możliwie wysokiej jakości. Soki z owoców i warzyw, w zależności od metody produkcji, sposobu utrwalania, pakowania czy przechowywania, charakteryzują się trwałością wynoszącą od kilku dni do kilku miesięcy. Stabilniejszą alternatywą są uzyskane z nich proszki, które mogą być przechowywane od kilku miesięcy do nawet kilku lat w zależności od rodzaju opakowania [Chauhan i Patil 2013].

¹ Szkoła Doktorska Uniwersytetu Rzeszowskiego, Uniwersytet Rzeszowski, al. Tadeusza Rejtana 16 C, 35-959 Rzeszów.

² Katedra Ogólnej Technologii Żywności i Żywienia Człowieka, Wydział Technologiczno-Przyrodniczy, Uniwersytet Rzeszowski, ul. Zelwerowicza 4, 35-601 Rzeszów.

* nataliasz@dokt.ur.edu.pl

Suszenie rozpyłowe – definicja i opis procesu

Najbardziej ekonomiczną techniką utrzymującą wysoką jakość produktu końcowego poprzez szybkie odwodnienie i jednocześnie jedną z najpopularniejszych metod konserwowania soków z owoców i warzyw jest suszenie rozpyłowe (*spray drying*). Jest to proces polegający na otrzymaniu proszku z wyjściowego surowca płynnego (roztworu lub zawiesiny) w wyniku działania jednej ciągłej i krótkiej operacji z wykorzystaniem urządzenia zwanego suszarką rozpyłową [Samborska 2008]. Zaletami tego procesu jest możliwość uzyskania produktu w postaci proszku z półproduktu płynnego, o wyższej trwałości i stabilności w porównaniu do surowców wyjściowych, a także otrzymania produktu o celowanych właściwościach po odpowiednim dobraniu parametrów procesu (uniwersalna metoda) [Adhikari i in. 2009]. Uzyskany susz nie tylko charakteryzuje się dłuższym okresem przydatności do spożycia, ale także łatwością dozowania oraz mniejszą objętością, przez co jego transport i składowanie są dużo prostsze i wygodniejsze niż soków. Produkt suszony rozpyłowo jest bardzo stabilny z powodu niskiej zawartości wilgoci i aktywności wody. Typowa zawartość wilgoci w suszonych rozpyłowo owocach i warzywach waha się od 2 do 5%, a aktywność wody od 0,2 do 0,6 [Shishir i in. 2016, Patil i in. 2014]. Dodatkowo suszenie rozpyłowe, dzięki krótkotrwałemu kontaktowi z gorącym powietrzem materiałów wrażliwych na wysoką temperaturę, w tym witamin, składników mineralnych i przeciwutleniaczy, pozwala na zachowanie ich aktywności biologicznej. Pomimo iż w trakcie procesu częściowej degradacji ulega termolabilna witamina C, to suszenie rozpyłowe jest zabiegiem bardziej polecanym niż inne metody suszenia [Liyana-Pathirana i Shahidi 2005]. Ponadto jest to metoda „elastyczna” pod względem wydajności, gdyż w trakcie godzinowego procesu można uzyskać od kilku gramów do nawet kilku ton proszków [Samborska 2008]. W porównaniu do np. suszenia liofilizacyjnego suszenie rozpyłowe charakteryzuje się wyższą wydajnością energetyczną i większą skalowością procesu [Bhat i Bhat 2020]. Odtworzenie produktów płynnych z powstałych podczas suszenia rozpyłowego proszków ogranicza się do prostego ich rozpuszczenia w wodzie. Proszki po rozpuszczeniu dzięki krótkotrwałemu działaniu wysokiej temperatury, charakterystycznemu dla tej technologii, zachowują w wysokim stopniu cechy organoleptyczne surowca, takie jak smak, barwa i aromat [Samborska 2008, Janiszewska 2018].

Suszenie rozpyłowe obejmuje trzy fazy: atomizację strumienia cieczy (*rozpylanie*), fazę suszenia z formowaniem cząstek stałych produktu (kontakt powstałych kropeł z gorącym medium suszącym i *odparowanie*) oraz oddzielenie proszku od strumienia powietrza (*zebranie proszku*) [Samborska 2008]. Najpierw jednak należy odpowiednio przygotować sok. Surowce takie jak owoce i warzywa są poddawane obróbce wstępnej obejmującej m.in. tłoczenie i filtrację, by uzyskać sok klarowny. Następnie, w zależności od oczekiwanych rezultatów, stosowane są nośniki, które warunkują proces suszenia i w przypadku soków z owoców

i warzyw są niezbędne do jego prawidłowego przeprowadzenia. Po ich dodaniu i dokładnym wymieszaniu sok jest gotowy do suszenia rozpyłowego. Pierwsza faza procesu polega na rozdrobnieniu cieczy do postaci mgły (krople o średnicy 10–300 μm) za pomocą dyszy, która wewnątrz zamkniętej przestrzeni (komory suszarki) kontaktuje się z gorącym medium suszącym. Rozpylanie polega na wytworzeniu dużej powierzchni cieczy w stosunku do jej masy, co powoduje jej szybkie odparowanie w czasie od 1 do 20 sekund. Proces ten ma kluczowy wpływ na wielkość uzyskiwanych kropeł, a co za tym idzie, na szybkość i efektywność suszenia i wielkość cząstek uzyskanego proszku. Temperatury w tym procesie mogą wynosić od 120 do 220°C [Goula i Adamopoulos 2010]. Do rozpylania można wykorzystać trzy rodzaje urządzeń: rozpylacz odśrodkowy, ciśnieniowy (mechaniczny) oraz dwustrumieniowy (pneumatyczny), które powinny zostać dobrane do danego materiału na podstawie jego właściwości i oczekiwanych cech produktu końcowego [Samborska 2008]. Odparowanie przebiega w komorze suszarki, której kształt ma kluczowe znaczenie i zależy od zastosowanego urządzenia rozpylającego. Wyróżnia się suszarki współprądowe, przeciwprądowe oraz z mieszanym przepływem, a w przemyśle spożywczym najczęściej wykorzystywane są suszarki działające przy współprądowym kierunku powietrza i produktu [Schuck i in. 2009]. Po zakończeniu suszenia wysuszone cząstki są oddzielane od wilgotnego powietrza przez cyklon i odzyskane do odbieralnika znajdującego się na jego końcu.

Czynnikami determinującymi jakość produktu końcowego są także warunki procesu suszenia, które obejmują: stężenie wsadu, temperaturę powietrza wlotowego i wylotowego, szybkość przepływu wsadu, szybkość przepływu powietrza sprężarki, szybkość przepływu powietrza suszącego, rodzaj i prędkość atomizera, a także zastosowany rodzaj nośnika [Fazaeli i in. 2012, Kha i in. 2010]. Dostosowanie odpowiednich warunków wpływa na uzyskanie produktu końcowego i może poprawiać właściwości fizyczne uzyskanych proszków przy jednoczesnym zachowaniu związków biologicznie aktywnych [Shishir i Chen 2017]. Cały proces jest krótki, ale stosowane w nim temperatury suszenia są wysokie i zwykle wynoszą od 150 do 220°C na wlocie i od 50 do 80°C na wylocie [Phisut 2012]. Temperatura wlotowa mierzona na wejściu do komory suszącej jest rozumiana jako temperatura ogrzanego powietrza, natomiast wylotowa mierzona jest pomiędzy cyklonem a komorą suszarki i uznawana za temperaturę suszenia. Najwyższe tempo suszenia ma miejsce w pierwszym etapie, gdyż wtedy z suszonych cząsteczek wyparowuje największa ilość wody, natomiast w drugim etapie wyraźnie spada, gdyż na suszone cząsteczki oddziałuje temperatura powietrza wylotowego, która jest znacznie niższa niż powietrza wlotowego. Dlatego tak ważne jest dostosowanie odpowiednich warunków suszenia rozpyłowego, aby uniknąć degradacji bądź inaktywacji związków naturalnych takich jak witaminy, enzymy lub inne związki termolabilne [Schutyser i in. 2012, Bao i in. 2016, Chen i in. 2016].

Nośniki wykorzystywane w suszeniu rozpyłowym soków z owoców i warzyw

Produkty o wysokiej zawartości cukrów, a w szczególności soki owocowe, są jedną z grup materiałów, które mimo ciągłego postępu wciąż sprawiają kłopoty podczas suszenia rozpyłowego. Problemy te wynikają z ich składu chemicznego, a więc wysokiej zawartości cukrów prostych i kwasów organicznych. Substancje te charakteryzują się niską temperaturą przemiany szklistej T_g . Sprawia to, że w czasie suszenia soki pozostają w formie syropu lub cząstek przylepiających się do ścian komory. Głównym sposobem na uniknięcie tego niekorzystnego zjawiska uniemożliwiającego wysuszenie soków jest zastosowanie dodatku substancji podwyższających T_g (tzw. nośników), wśród których można wyróżnić skrobię, maltodekstrynę, gumę arabską, inulinę, kazeinę i białka mleka, a także żelatynę, pektynę, metylocelulozę, alginiany, fosforan triwapniowy czy ich kombinacje. Dodatkowo, dla poprawy stabilności i właściwości sensorycznych proszku, często wprowadza się niewielki dodatek glikozydów stewiolowych. Jednakże wiąże się to z wprowadzaniem do naturalnego produktu substancji trzeciej, więc po odtworzeniu soku nie można go już w takim wypadku nazwać „naturalnym” lub „100-procentowym” [Truong i in. 2005, Samborska 2008, Igual i in. 2014]. Wybór odpowiedniego nośnika zależy od celów procesu i cech fizykochemicznych przetwarzanego materiału. Nośniki muszą uzyskać certyfikat materiału stosowanego w żywności, który powinien być „ogólnie uznany za bezpieczny” (GRAS) [Barlow 2013]. Powinny też być dobrze rozpuszczalne w rozpuszczalniku procesowym, mieć odpowiednie zdolności tworzenia błon i wytwarzania roztworów o niskiej lepkości nawet przy wysokich koncentracjach. Dobór nośników w procesie suszenia rozpyłowego jest więc kluczowy dla jakości końcowego proszku, a odpowiednia ich selekcja pozwala na osiągnięcie optymalnych właściwości produktu [Đorđević i in. 2016].

Skrobia jest naturalnym nośnikiem węglowodanowym wykazującym właściwości zagęszczające, co pozwala na uzyskanie odpowiedniej konsystencji proszków. Jest niskokaloryczna w porównaniu do innych nośników, łatwo dostępna i stosunkowo niedroga [Goula i Adamopoulos 2010, O'Rourke i Daoud 2012]. Skrobie i ich pochodne mają dobre właściwości jako nośniki do suszenia rozpyłowego, wśród których można wyróżnić wysoką masę cząsteczkową, wysoką temperaturę zeszklenia, dobrą rozpuszczalność oraz niską lepkość ich roztworów wodnych (w przypadku pochodnych skrobi), a także właściwości antyadhezyjne czy zdolność tworzenia stosunkowo gęstych proszków. Ich wadą jest niska zdolność tworzenia filmu, co wpływa na wydajność suszenia, a szczególnie na zachowanie wrażliwych związków [Miller i Gil 2012].

Gumy w przeciwieństwie do skrobi wykazują silną zdolność tworzenia błony, ale ich temperatura zeszklenia jest stosunkowo niska. Najczęściej w produkcji

proszków z soków owocowych i warzywnych, a także proszków napojowych i słodczy wykorzystywana jest **guma guar** będąca naturalnym polisacharydem pochodzenia roślinnego. Jej zaletą jest stabilizacja emulsji i poprawa rozpuszczalności proszku w wodzie, jej dodatek poprawia także konsystencję produktu końcowego. Jednakże zazwyczaj jest stosowana w połączeniu z innymi nośnikami lub np. z gumą karaya [Goula i Adamopoulos 2010, O'Rourke i Daoud 2012]. Połączone działanie skrobi (lub jej pochodnych) i gumy zapewnia lepsze właściwości suszenia rozpyłowego, ale zawartość gumy powinna być niższa niż skrobi (lub jej pochodnych). Podobne dobre właściwości błonotwórcze posiada celuloza i jej pochodne, lecz nie są one strawne, dlatego związki te wykorzystywane są dość rzadko w produkcji proszków [Đorđević i in. 2016]. **Inulina** to naturalny prebiotyk, który jest stosowany w produkcji proszków owocowych i warzywnych, a także w żywności funkcjonalnej, a w szczególności w produktach skierowanych do osób dbających o zdrowie jelit. Wykazuje działanie stabilizujące, jest niskokaloryczna i poprawia rozpuszczalność proszków. Wśród wad należy wskazać jej specyficzny smak, który może nie odpowiadać preferencjom konsumentów [Goula i Adamopoulos 2010, O'Rourke i Daoud 2012]. **Glikozydy steviolowe** pochodzące z rośliny nazywanej stewią są dodatkiem funkcjonalnym stosowanym w suszeniu rozpyłowym. Najczęściej są stosowane w mieszankach z nośnikami węglowodanowymi, które odpowiadają za tworzenie odpowiedniej matrycy proszku, zapewniając m.in. wysoką temperaturę zeszklenia (T_g) oraz właściwą lepkość roztworu. Mogą być używane w suszeniu rozpyłowym zarówno soków owocowych, jak i warzywnych, lecz mają właściwości słodzące, dlatego preferowane jest ich wykorzystanie w produkcji proszków z soków z owoców. Przyczyniają się do poprawy rozpuszczalności produktów gotowych i mogą być stosowane w wyrobach bezcukrowych [Goula i Adamopoulos 2010, O'Rourke i Daoud 2012]. **Kazeina i białka mleka** są stosowane najczęściej w produkcji proszków białkowych, gdyż zapewniają wysoką jakość struktury proszku i poprawiają jego wartość odżywczą, szczególnie w kontekście odżywek białkowych i suplementów diety. Jednakże mogą być problematyczne dla osób z nietolerancją laktozy [Goula i Adamopoulos 2010, O'Rourke i Daoud 2012].

Najczęściej używanym nośnikiem do suszenia rozpyłowego soków owocowych i warzywnych są **maltodekstryny** (T_g $\frac{1}{4}$ 100–243°C) i wspomniana wcześniej guma arabska (T_g $\frac{1}{4}$ 126°C) ze względu na wysoką masę cząsteczkową, wysoką temperaturę zeszklenia (T_g), dobrą rozpuszczalność oraz niską lepkość [Quek i in. 2007, Schutyser i in. 2012]. Maltodekstryna należy do grupy polisacharydów dobrze rozpuszczających się w wodzie. Jej dodatek do soku poprawia proces suszenia kleistych produktów, przez co zwiększa się wydajność suszenia i zmniejsza wilgotność produktu [Janiszewska 2018]. Im wyższe stężenie maltodekstryny, tym niższa zawartość wilgoci w produkcie końcowym. Substancja ta poprawia teksturę i zapobiega nadmiernemu zbrylaniu się proszku, dzięki czemu produkt końcowy jest bardziej sypki i łatwiej rozpuszczalny. Dodatkową jej zaletą

jest ochrona przed termiczną degradacją cennych składników (np. witamin) i poprawa stabilności proszków podczas przechowywania. Natomiast może mieć wpływ na kaloryczność produktu, gdyż posiada wysoką wartość energetyczną.

W badaniach dotyczących wpływu parametrów suszenia rozpyłowego na barwę proszków z czarnego bzu wykorzystano maltodekstryny (MD) firmy Amylon (Czechy) o stopniu scukrzenia DE wynoszącym 10 i 20. Przygotowano roztwory o różnym udziale suchej substancji (masy) soku do maltodekstryny odpowiednio: 2:1 i 1:1. Niezależnie od analizowanych parametrów uzyskane proszki z czarnego bzu odznaczały się wysoką zawartością cyjanidyn odpowiadających za barwę fioletową. Wzrost udziału nośnika przyczynił się do wzrostu jasności proszku [Szulc i Leniart 2016]. Garofulic i in. [2017] w analizie zachowania polifenoli w kapsułkowanym soku wiśniowym udowodnili, że maltodekstryna DE 13-17 zastosowana w stosunku 3:1 okazała się być optymalnym materiałem otoczek do kapsułkowania soku wiśniowego w temperaturze 200°C, z najwyższą retencją kwasów fenolowych i antocyjanów wynoszącą odpowiednio 93 i 89%. Natomiast glikozydy flawonolowe zostały zatrzymane w największym stopniu (84%) w soku suszonym rozpyłowo w temperaturze 180°C z dodatkiem gumy arabskiej w stosunku 2:1. Różnica ta wynikała z odmiennych właściwości strukturalnych i chemicznych. Ze względu na ochronną rolę nośnika przed czynnikami zewnętrznymi wysoka temperatura okazała się nie mieć decydującego znaczenia dla retencji polifenoli, co umożliwia zastosowanie wysokich temperatur suszenia rozpyłowego do 200°C. Araujo-Díaz i in. [2017] wykazali, że dobrym nośnikiem w procesie suszenia rozpyłowego soku z borówek oprócz maltodekstryny DE 10 jest także inulina (stosunek nośnika do soku to 30:70 w/w). Uzyskany proszek charakteryzował się niższą zawartością przeciwutleniaczy w porównaniu z proszkiem uzyskanym z soku z dodatkiem maltodekstryny, ale warto podkreślić, że inulina posiada właściwości prebiotyczne stymulujące wzrost korzystnej mikroflory jelit. W suszeniu rozpyłowym soku z liczi użyto maltodekstryny (MD), gumy arabskiej (GA) i połączenia maltodekstryny z inuliną (MD i inulina). Zastosowano także kombinację gumy arabskiej i inuliny (GA i inulina). Wszystkie wskazane nośniki efektywnie zredukowały straty termiczne i oksydacyjne antocyjanin, kwasu askorbinowego oraz ogółu związków fenolowych. Niemniej jednak nośnik złożony z gumy arabskiej i inuliny (GA i inulina) wykazał się większą skutecznością w zatrzymywaniu antocyjanin, kwasu askorbinowego i związków fenolowych [Kingwatee i in. 2015]. Z kolei podczas suszenia rozpyłowego soku z czarnej marchwi udowodniono, że maltodekstryna DE 20 jako materiał nośnikowy lepiej zachowuje maksymalną aktywność antocyjanów i innych przeciwutleniaczy w porównaniu do gumy arabskiej i skrobi z tapioki [Murali i in. 2015].

Wybór nośnika zależy od rodzaju oczekiwanego produktu końcowego. Maltodekstryna lub guma arabska są najczęściej stosowane w produkcji proszków owocowych, które mają być wykorzystane w napojach typu instant. Do wyrobu proszków białkowych preferowane są białka mleka lub białka roślinne zwiększające

wartość odżywczą. Natomiast inulina jest najczęściej stosowana w procesie wytwarzania produktów funkcjonalnych jak np. proszki prebiotyczne [Goula i Adamopoulos 2010, O'Rourke i Daoud 2012].

Zastosowanie proszków z soków owocowych i warzywnych

Proszki uzyskane z soków owocowych i warzywnych znajdują zastosowanie w wielu branżach, nie tylko przemysłu spożywczego, ale i suplementów diety czy w przemyśle kosmetycznym. Proszki z soków wykorzystywane są najczęściej w produkcji napojów typu instant, zup, sosów czy koktajli. Ponadto znajdują zastosowanie jako dodatek do jogurtów, napojów mlecznych, deserów, batoników energetycznych czy innych słodczy [Wang i Chen 2012]. Proszki z soków owocowych i warzywnych charakteryzują się bogatym składem witamin, składników mineralnych czy przeciwutleniaczy, dlatego też z powodzeniem stosowane są w produkcji suplementów diety. Dużym zainteresowaniem konsumentów poszukujących źródeł składników odżywczych w tego rodzaju produktach cieszą się proszki z soków z owoców acai, granatu, borówki czy jabłek [Shah i Madan 2018]. W przemyśle kosmetycznym natomiast coraz chętniej wprowadza się proszki z soków owocowych i warzywnych do kosmetyków, takich jak np. maseczki do twarzy, kremy nawilżające czy szampony, z uwagi na naturalne właściwości tych surowców [Zhang i in. 2015]. Suszenie rozpyłowe znajduje szerokie zastosowanie także w wielu innych sektorach przemysłu, takich jak np. przemysł farmaceutyczny, agrochemiczny, chemiczny czy biotechnologiczny.

Podsumowanie

Suszenie rozpyłowe jest ugruntowaną i szeroko stosowaną techniką w celu uzyskania wielu produktów owocowych i warzywnych. Temperatura powietrza wlotowego 150°C–220°C i stężenie maltodekstryny 7%–20% to najczęstsze warunki suszenia rozpyłowego przy produkcji proszków z soków z owoców i warzyw. Produkty te posiadają doskonałą jakość, tj. niską wilgotność, niską higroskopijność i małe rozmiary cząsteczek, dzięki czemu łatwo je przetransportować. Stosując wyższą temperaturę wlotową suszenia, zwiększa się wydajność, Tg, rozpuszczalność, higroskopijność i wielkość cząsteczek oraz zmniejsza się zawartość wilgoci, aktywność wody, gęstość nasypową oraz niekiedy zawartość związków bioaktywnych. Początkowo, by ochronić związki biologicznie aktywne, stosowano nośniki takie jak maltodekstryna lub kombinacja maltodekstryny i gumy arabskiej. Oprócz wykorzystania odpowiednich nośników warto też przyrzeć się nowym technologiom w zakresie suszenia rozpyłowego, które poprawiają jakość proszków owocowych i warzywnych. Mowa tutaj o włączeniu ultradźwięków czy próżni, dzięki czemu możemy

kontrolować warunki atmosferyczne w komorze suszenia, ulepszać system dostarczania powietrza w celu uzyskania jak największej ilości proszków o niskiej wilgotności i wysokiej zawartości związków prozdrowotnych. Prowadzone badania naukowe i rozwój tej technologii wskazują na duży potencjał tego procesu w przyszłości.

Bibliografia

- Adhikari B., Bhandari B., Howes T. (2009). Spray drying of food ingredients: A review. *Drying Technology*, 27 (4), 357–368.
- Araujo-Díaz S.B., Leyva-Porras C., Aguirre-Banuelos P., Álvarez-Salas C., Saavedra-Leos Z. (2017). Evaluation of the physical properties and conservation of the antioxidants content, employing inulin and maltodextrin in the spray drying of blueberry juice. *Carbohydrate Polymers*, 167, 317–325.
- Bao T., Xu Y., Gowd V., Zhao J., Xie J., Liang W. (2016). Systematic study on phytochemicals and antioxidant activity of some new and common mulberry cultivars in China. *Journal of Functional Foods*, 25, 537–547.
- Barlow S.M. (2013). European legislative framework controlling the use of food additives. [In:] M. Saltmarsh, M. Saltmarsh, S. Barlow (Eds.): *Essential guide to food additives*, RSC Publishing, Cambridge, 44–53.
- Bhat R., Bhat H. (2020). Spray drying technology: A review of recent developments, applications, and future perspectives. *Food Science and Technology*, 49 (5), 1255–1267.
- Chauhan A.K., Patil V. (2013). Effect of packaging material on storage ability of mango milk powder and the quality of reconstituted mango milk drink. *Powder Technology*, 239, 86–93.
- Chen W., Su H., Xu Y., Bao T., Zheng X. (2016). Protective effect of wild raspberry (*Rubus hirsutus* Thunb.) extract against acrylamide-induced oxidative damage is potentiated after simulated gastrointestinal digestion. *Food Chemistry*, 196, 943–952.
- Đorđević V., Paraskevopoulou A., Mantzouridou F., Lalou S., Pantić M., Bugarski B. (2016). Encapsulation technologies for food industry. [In:] V. Nedović P. Raspor J. Lević V.T. Saponjac, G.V. Barbosa-Canovas (Eds.): *Emerging and traditional technologies for safe, healthy and quality food*. Springer International Publishing, Switzerland, 329–380.
- Fazaeli M., Emam-Djomeh Z., Kalbasi Ashtari A., Omid M. (2012). Effect of spray drying conditions and feed composition on the physical properties of black mulberry juice powder. *Food and Bioproducts Processing*, 90, 667–675.
- Garofulic I.E., Zoric Z., Pedisic S., Dragovic-Uzelac V. (2017). Retention of polyphenols in encapsulated sour cherry juice in dependence of drying temperature and wall material. *LWT – Food Science and Technology*, 83, 110–117.
- Goula A.M., Adamopoulos K.G. (2010). Spray drying of food materials: A review. *Food Research International*, 43 (9), 2307–2315.
- Igual M., Ramires S., Mosquera L.H., Martínez-Navarrete N. (2014). Optimization of spray drying conditions for lulo (*Solanum quitoense* L.) pulp. *Powder Technology*, 256, 233–238.
- Janiszewska E. (2018). Influence of spray drying conditions on beetroot pigments retention after microencapsulation process. *Acta Agrophysica* 20 (2), 343–356.
- Kha T.C., Nguyen M.H., Roach P.D. (2010). Effects of spray drying conditions on the physico-chemical and antioxidant properties of the Gac (*Momordica cochinchinensis*) fruit aril powder. *Journal of Food Engineering*, 98, 385–392.
- Kingwatee N., Apichartsrangkoon A., Chaikham P., Worametrachanon S., Techarung J., Pankasemsuk T. (2015). Spray drying *Lactobacillus casei* 01 in lychee juice varied carrier materials. *LWT – Food Science and Technology*, 62, 847–853.

- Leyva-Porras C., Saavedra-Leos M.Z., López-Pablos A.L., Soto-Guerrero J.J., Toxqui-Terán A., Fozado-Quiroz R.E. (2017). Chemical, thermal and physical characterization of inulin for its technological application based on the degree of polymerization. *Journal of Food Process Engineering*, 40 (1), 1–13.
- Liyana-Pathirana C.M., Shahidi F. (2005). Characteristics of vacuum- and air-dried cranberry powder and its stability during storage. *Journal of Food Science*, 70 (7), 445–452.
- Miller D.A., Gil M. (2012). Spray drying technology. [In:] R.O. Williams III, A.B. Watts, D.A. Miller (Eds.): *Formulating poorly water soluble drugs*. Springer-Verlag, New York, 363–442.
- Murali S., Kar A., Mohapatra D., Kalia P. (2015). Encapsulation of black carrot juice using spray and freeze drying. *Food Science and Technology International*, 21 (8): 604–612.
- O'Rourke J., Daoud M.A. (2012). Stability of spray dried powders: Effect of stabilizers. *Journal of Food Engineering*, 113 (1), 92–99.
- Patil V., Chauhan A.K., Singh R.P. (2014). Optimization of the spray drying process for developing guava powder using response surface methodology. *Powder Technology*, 253, 230–236.
- Phisut N. (2012). Spray drying technique of fruit juice powder: Some factors influencing the properties of product. *International Food Research Journal*, 19, 1297–1306.
- Quek S.Y., Chok N.K., Swedlund P. (2007). The physicochemical properties of spray-dried watermelon powders. *Chemical Engineering and Processing: Process Intensification*, 46, 386–392.
- Samborska K. (2008). Suszenie rozpyłowe w przemyśle spożywczym. *Postępy Techniki Przetwórstwa Spożywczego*, 1, 63–69.
- Schuck P., Da Silva M.A.A., Bica C.I. (2009). Spray drying of food products: A review of the technology and its applications in food industry. *Food Research International*, 42 (9), 1171–1182.
- Schutyser M.A.I., Perdana J., Boom R.M. (2012). Single droplet drying for optimal spray drying of enzymes and probiotics. *Trends in Food Science & Technology*, 27, 73–82.
- Shah B., Madan P. (2018). Potential applications of fruit and vegetable powders in functional foods: Health benefits and technological aspects. *Food Research International*, 105, 381–395.
- Shishir M.R.I., Chen W. (2017). Trends of spray drying: A critical review on drying of fruit and vegetable juices. *Trends in Food Science & Technology*, 65, 49–67.
- Shishir M.R.I., Taip F.S., Aziz N.A., Talib R.A., Sarker M.S.H. (2016). Optimization of spray drying parameters for pink guava powder using RSM. *Food Science and Biotechnology*, 25, 1–8.
- Szulek K., Leniart A. (2016). Wpływ parametrów suszenia rozpyłowego na barwę proszków z czarnego bzu. *Bromatologia i Chemia Toksykologiczna*, XLIX (4), 732–735.
- Truong V., Bhandari B.R., Howes T. (2005). Optimization of co-current spray drying process of sugar-rich foods. Part I-Moisture and glass transition temperature profile during drying. *Journal of Food Engineering*, 71, 55–65.
- Wang L., Chen J. (2012). Applications of fruit and vegetable powders in functional foods and beverages. *Journal of Food Science*, 77 (10), 209–218.
- Zhang Q., Li Y., Zhao Y. (2015). Application of fruit and vegetable powders in cosmetic formulations: The use of antioxidants and vitamins. *Journal of Cosmetic Science*, 66 (6), 433–444.

Spray drying as an innovative method of producing powders from fruit and vegetable juices

Abstract: Spray drying is one of the most widely used industrial technologies for producing powders from liquid or semi-liquid raw materials. The process involves spraying a liquid in the form of fine droplets into hot air (120–220°C), which causes water to evaporate instantly and produce a dry powder. The key advantages of this technology are its energy efficiency, fast production time and the ability to produce homogeneous powders with long shelf life. The process preserves nutrients, which is particularly important in the production of fruit and vegetable powders. The production of these powders often uses various carriers, such as starch, maltodextrin, gum arabic, inulin or proteins, which protect sensitive ingredients from degradation, improve solubility and product stability. Spray drying makes it possible to create powders for a wide range of applications, such as in dietary supplements, beverages and functional foods.

Renata Tobiasz-Salach^{1,*}, Sandra Sarzyńska²

ROLA OWSA I PRODUKTÓW OWSIANYCH W PROFILAKTYCE CHOROÓB CYWILIZACYJNYCH

Streszczenie: Ziarno owsa jest jednym z najstarszych i najzdrowszych zbóż, które od wieków stanowi ważny element diety człowieka. Jego wyjątkowe właściwości prozdrowotne są doceniane w medycynie ludowej oraz analizowane w nowoczesnych badaniach naukowych. Owies jest źródłem wielu cennych składników odżywczych, w tym błonnika, białka, witamin z grupy B, minerałów oraz przeciwutleniaczy, które wspierają zdrowie, układ krwionośny, pokarmowy oraz ogólną odporność organizmu. Dzięki wysokiej zawartości błonnika, zwłaszcza beta-glukanu, zboże to wykazuje działanie obniżające poziom cholesterolu, stabilizujące poziom cukru we krwi i wspiera prawidłową pracę jelit. Przetwory z owsa, takie jak płatki, mąka czy napój, zyskują na popularności jako zdrowa alternatywa dla tradycyjnych produktów w codziennej diecie, a ich regularne spożywanie może przyczyniać się do poprawy jakości życia i zapobiegania wielu chorobom cywilizacyjnym.

Wprowadzenie

Owies (*Avena sativa* L.) jest jednym z najcenniejszych zbóż wykorzystywanych w żywieniu człowieka, a jego znaczenie w diecie oraz przemyśle spożywczym stale rośnie. Ziarno owsa wyróżnia się wysoką wartością odżywczą oraz szerokim spektrum właściwości prozdrowotnych, które mogą odgrywać istotną rolę w profilaktyce i leczeniu chorób cywilizacyjnych [Gibiński i in. 2005, Biel i in. 2009, Piątkowska i in. 2010]. Jego wyjątkowe właściwości wynikają przede wszystkim z wysokiej zawartości błonnika pokarmowego, zwłaszcza frakcji rozpuszczalnej w wodzie, w tym beta-glukanów, które wpływają korzystnie na metabolizm lipidów oraz regulację poziomu glukozy we krwi [Whitehead i in. 2014, Kawka i Achrenowicz 2014]. W licznych badaniach wykazano, że regularne spożywanie przetworów owsianych, takich jak płatki, otręby czy mąka, przyczynia się do obniżenia poziomu cholesterolu LDL, wspomagając tym samym

¹ Katedra Produkcji Roślinnej, Wydział Technologiczno-Przyrodniczy, Uniwersytet Rzeszowski, ul. Zelwerowicza 4, 35-601 Rzeszów, Polska.

² Studentka kierunku Odnawialne Źródła Energii i Gospodarka Odpadami, Uniwersytet Rzeszowski, Wydział Technologiczno-Przyrodniczy, ul. Zelwerowicza 4, 35-601 Rzeszów, Polska.

* rtobiasz@ur.edu.pl

zdrowie układu sercowo-naczyniowego [Ho i in. 2016, Yu i in. 2022, Xi i in. 2023]. W literaturze naukowej podkreśla się, że spożywanie produktów owsianych może przyczyniać się do zmniejszenia ryzyka występowania wielu chorób cywilizacyjnych, takich jak cukrzyca typu 2, otyłość, nadciśnienie tętnicze czy miażdżyca [El Khoury i in. 2012].

Celem niniejszej pracy jest omówienie właściwości prozdrowotnych ziarna owsa i jego przetworów. W pracy zostaną również przedstawione możliwości zastosowania owsa w dietetyce oraz przemyśle spożywczym ze szczególnym uwzględnieniem jego roli w profilaktyce chorób cywilizacyjnych.

Pochodzenie gatunku

Owies zwyczajny (*Avena sativa* L.), nazywany również siewnym, należy do rodziny wiechlinowatych (*Poaceae*). W porównaniu do innych zbóż, takich jak żyto, jest rośliną uprawną o krótszej historii. Przywędrował z Azji do Europy, gdzie początkowo pojawił się jako chwast towarzyszący uprawom pszenicy i jęczmienia. Najstarsze ślady jego występowania, dotyczące owsa szorstkiego (*Avena strigosa*), odnaleziono w Szwajcarii i datuje się je na epokę brązu. Później pojawiły się inne gatunki, w tym owies głuchy (*Avena fatua* L.) oraz owies siewny (*Avena sativa* L.). W okresie średniowiecza owsianka stanowiła podstawowy element diety mieszkańców Europy, a wśród angielskich górników była ceniona jako pożywny posiłek dostarczający energii do wymagającej pracy fizycznej. Popularność owsa wynika z jego wyjątkowej zdolności do przystosowania się do trudnych warunków glebowych i klimatycznych [Budzyński i Szempliński 1999]. Najstarsze informacje dotyczące występowania tego zboża na terenach Polski pochodzą z neolitu, czyli okresu, w którym rolnictwo zaczęło się rozwijać na tych obszarach. Na początku owies pojawiał się na polach uprawnych obok innych zbóż [Loskutov 2008]. Z czasem, ze względu na mniejszą konkurencyjność w porównaniu do pszenicy i jęczmienia, zaczęto go świadomie uprawiać, szczególnie w rejonach o mniej korzystnym klimacie, gdzie inne zboża miały trudności ze wzrostem. Obecnie najbardziej popularne są dwie formy owsa, oplewiona *Avena sativa* L i nieoplewiona *Avena nuda* L. [Kotecki 2020].

Opis botaniczny gatunku

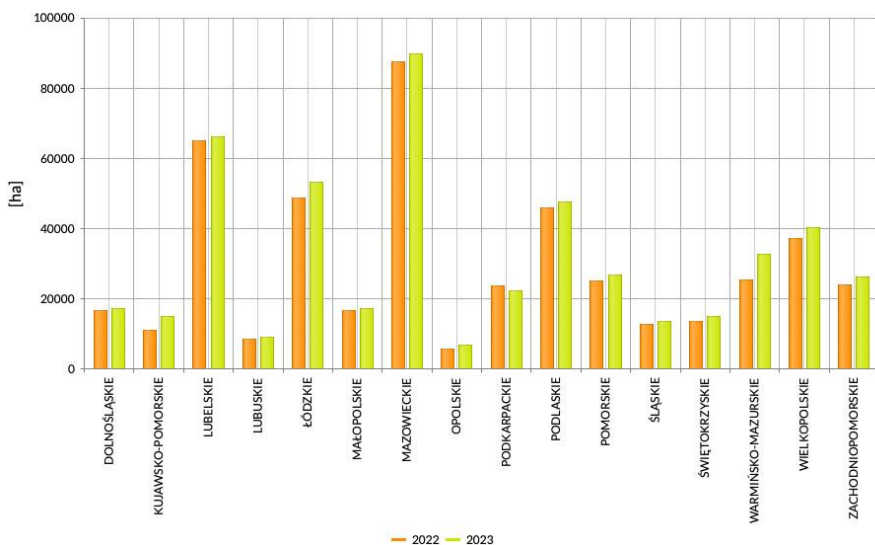
Owies jest rośliną jednoroczną występującą w formie jarej i ozimej, jednak w Polsce uprawia się tylko owies jary ze względu na niską odporność odmian ozimych na mróz. Jest dobrze przystosowany do niskich temperatur, ponieważ jego minimalna temperatura kiełkowania wynosi około 3°C, co pozwala mu kieł-

kować i rosnać nawet wczesną wiosną, kiedy występują przymrozki [Feledyn-Szewczyk i in. 2017]. Optymalne temperatury dla rozwoju owsa wahają się w zakresie od 6 do 12°C, a proces strzelania w źdźbło zaczyna się przy temperaturze 12–16°C. Wyższe temperatury w trakcie okresu wegetacyjnego mogą prowadzić do stresu termicznego i obniżenia plonów, zwłaszcza w czasie kłoszenia i wypełniania ziarna. Opady deszczu odgrywają kluczową rolę w zapewnieniu odpowiedniej wilgotności gleby, szczególnie w fazie wzrostu. Najbardziej efektywne sumy opadów wynoszą od 600 do 700 mm rocznie, a najistotniejsze są opady w okresie od wiosny do połowy lata, kiedy to przypada około 50% całkowitej sumy opadów [www1].

Owies charakteryzuje się dobrze rozwiniętym systemem korzeniowym wiązkowym, który znajduje się głównie w warstwie ornej gleby, jednak pojedyncze korzenie mogą sięgać na głębokość do 2 metrów. Dzięki tej zdolności roślina skutecznie wykorzystuje składniki pokarmowe z trudno dostępnych związków, co pozwala jej plonować lepiej na ubogich glebach niż inne zboża. Łodyga owsa, zwana źdźbłem, osiąga wysokość od 50 do 170 cm, liście są szerokie i mają lancetowaty kształt, a jego kwiatostan to wiecha. Na końcach głównej osi wiechy oraz na jej bocznych gałęziach znajdują się kłoski, z których powstają 1–3 ziarniaki zamknięte w dwóch plewkach zwanych łuskami. Owies nieobłuszczony posiada plewki wokół ziaren, a odmiana owsa nagiego nie ma tych plewek [Budzyński i Szempliński 1999, Kotecki 2020]. Dobrze rośnie na glebach średnio żyznych i przepuszczalnych, szczególnie preferując gleby gliniaste i piaszczysto-gliniaste. Może być uprawiany na terenach marginalnych, gdzie inne rośliny zwykle mają problemy z plonowaniem. Jednak nie jest zalecany do uprawy na glebach lekkich oraz w regionach dotkniętych suszą, gdzie może wymagać dodatkowego nawadniania [Mazurkiewicz 2011]. Optymalny odczyn gleby dla owsa to pH w granicach od 5,5 do 7,0, a na bardziej kwaśnych konieczne może być wapnowanie. Badania wykazały, że niektóre odmiany owsa mogą rosnać na glebach o pH dochodzącym nawet do 9,0 [Wang i in. 2023].

Powierzchnia zasiewów owsa w Polsce oraz wielkość plonu ziarna

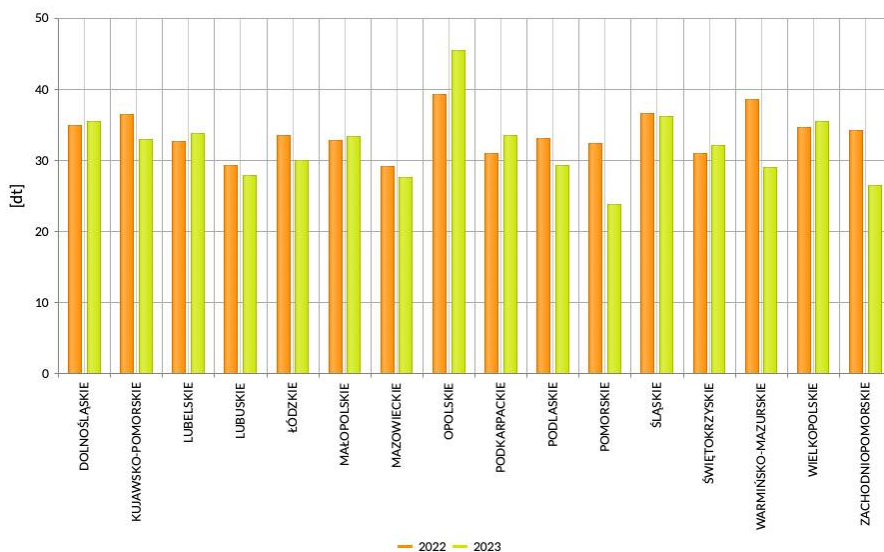
Według danych Głównego Urzędu Statystycznego w 2023 r. powierzchnia uprawy owsa w Polsce wyniosła 497 687 ha. W porównaniu do 2022 r., kiedy areał uprawy wynosił 466 272 ha, nastąpił wzrost o 6,74%, co świadczy o rosnącym znaczeniu tej rośliny w krajowym rolnictwie. Najwięcej owsa uprawiano w woj. mazowieckim, lubelskim i łódzkim. Najmniej w opolskim i lubuskim (rysunek 1) [GUS 2024a].



Rysunek 1. Powierzchnia upraw owsa w Polsce według województw w latach 2022–2023

Źródło: opracowanie własne na podstawie GUS [2024a]

Jednocześnie plony owsa uległy nieznacznemu zmniejszeniu – w 2022 r. (rysunek 2) średni plon z 1 ha wynosił 32,8 dt, natomiast w 2023 r. spadł do 30,8 dt/ha. Spadek wydajności plonowania wynikał głównie z niekorzystnych warunków atmosferycznych, suszy, która spowodowała słabe wypełnienie ziarna [GUS 2].



Rysunek 2. Plony owsa w Polsce w latach 2022–2023 (dt·ha⁻¹)

Źródło: opracowanie własne na podstawie GUS [2024a]

Skład chemiczny ziarna

Owies należy do najbardziej wartościowych zbóż, a jego skład chemiczny odróżnia go od innych gatunków. Ziarno owsa zwyczajnego (*Avena sativa* L.) wyróżnia się unikalnym składem chemicznym oraz odżywczym [Biel i in. 2009, Brzóska i in. 2017], który wpływa na jego wysoką wartość żywieniową, dietetyczną oraz prozdrowotną. Skład chemiczny ziarna owsa determinowany jest przez liczne czynniki zarówno genetyczne, jak i środowiskowe. Do kluczowych elementów wpływających na jego jakość należą właściwości gleby, w tym jej wilgotność i zasobność w składniki odżywcze, a także poziom nawożenia – zwłaszcza azotowego. Istotne znaczenie mają również parametry agrotechniczne, takie jak gęstość siewu oraz stopień nasłonecznienia [Hebda i Micek 2007, Tobiasz-Salach i in. 2010, Sykut-Domańska 2012]. Dzięki swoim właściwościom zboże to znajduje szerokie zastosowanie w przemyśle spożywczym i przetwórstwie [Korzeniowska-Ginter i Kamińska 2014, Sangwan i in. 2014]. Obłuszczone ziarno owsa wyróżnia się najwyższą zawartością białka spośród wszystkich zbóż (10–23%), charakteryzuje się także korzystnym profilem aminokwasowym [Biel i in. 2006]. Owies posiada znaczną ilość tłuszczu, w tym nienasyconych kwasów tłuszczowych, wykazuje obecność błonnika pokarmowego, zwłaszcza frakcji rozpuszczalnej bogatej w β -glukany, których zawartość wynosi od 4 do 7%. Wykazuje korzystne działanie metaboliczne oraz zawiera związki fenolowe o właściwościach antyoksydacyjnych [Woloch 2003, Jurczyńska i in. 2012].

Ziarno wyróżnia się niższą zawartością węglowodanów (około 53%) w porównaniu do pszenicy (65%), żyta (69%) i jęczmienia (64%). Jednocześnie cechuje się wyższą zawartością tłuszczu, która waha od 4% do 9%, podczas gdy w pszenicy i jęczmieniu ilość ta wynosi tylko 2%, a w życie 1,7% [Korzeniowska-Ginter i Kamińska 2014]. Ziarno owsa może występować w dwóch formach – oplewionej i nieoplewionej – które różnią się składem chemicznym. Owies nieoplewiony zawiera większe ilości białka, tłuszczów oraz bezazotowych związków wyciągowych. Oplewiony zaś cechuje się wyższą zawartością żelaza, co może mieć znaczenie w bilansowaniu diety [Tobiasz-Salach i in. 2016]. Z punktu widzenia wartości odżywczej najważniejszą frakcją białkową w owsie są globuliny, których zawartość wynosi od 50% do 80% całkowitej ilości białka. Dla porównania w innych zbożach ich udział jest znacznie niższy i mieści się w zakresie 2–12% [Zarzecka i in. 2018]. Na tle innych zbóż owies wyróżnia się szczególnie wysoką zawartością nie tylko makroelementów, takich jak potas ($5,26 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$), fosfor ($3,28 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$), magnez ($1,37 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$), wapń ($1,16 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$), sód ($0,79 \text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$), ale także mikroelementów – zwłaszcza cynku (Zn), żelaza (Fe), manganu (Mn) oraz wapnia (Ca), którego poziom znacząco przewyższa jego zawartość w wielu innych gatunkach zbóż [Surówka i Tobiasz-Salach 2017, Ginter i in. 2024]. Produkty z owsa są cennym źródłem witamin, zwłaszcza z grupy B, a także tych rozpuszczalnych w tłuszczach, takich jak A, D, E i K. Warto zwrócić uwagę na wysoki poziom witamin

B₁, B₂, B₃ oraz B₆. W 100 g ziarna owsa znajduje się nawet 0,52 mg wit. B₁, 0,17 mg wit. B₂, 2,37 mg wit. B₃ i 0,96 mg wit. B₆ [Świerczak 2021]. Oprócz witamin z grupy B owies zawiera w 100 g ziarna 3,2 mg witaminy E oraz 0,08 mg witaminy K [Ginter i in. 2024, Harasym i in. 2011].

Wykorzystanie ziarna w przetwórstwie

W przemyśle spożywczym z owsa otrzymuje się produkty takie jak: płatki typu górskie czy błyskawiczne, mąkę owsianą, kaszę, mleka, jogurty bądź kefiry, chleb i wypieki na bazie owsa, makarony, batoniki oraz granolę, a także otręby, które wykorzystywane są do bezpośredniego spożycia lub w produkcji koncentratów spożywczych [Szempliński i in. 2021]. Płatki owsiane to produkt powszechnie dostępny, ekonomiczny i wszechstronny pod względem zastosowania w codziennej diecie. Stanowią one cenne źródło błonnika pokarmowego, którego zawartość wynosi w nich około 14%. Co istotne, unikalną cechą owsa jest wysoka proporcja frakcji rozpuszczalnej, blisko 8% (kluczowym składnikiem frakcji rozpuszczalnej są beta-glukany), w stosunku do nierozpuszczalnej, ponad 6% [Zdrojewicz i in. 2017]. W różnych krajach owies stanowi surowiec wykorzystywany do produkcji szerokiej gamy wyrobów owsianych. Do popularnych należy prażone obłuszczone ziarno. Na rynku dostępne są również produkty instant na bazie owsa jak „mleko owsiane”. Napój ten jest źródłem beta-glukanów oraz niezbędnych aminokwasów, co czyni go wartościowym elementem diety będącym alternatywą dla osób z określonymi ograniczeniami dietetycznymi. Jest to napój roślinny wytwarzany wyłącznie z owsa i wody, co sprawia, że jest odpowiedni dla wegan oraz osób z alergią na soję i orzechy. Jego skład wolny od produktów pochodzenia zwierzęcego oraz potencjalnych alergenów czyni go popularnym wyborem wśród konsumentów poszukujących bezpiecznych roślinnych zamienników mleka [Flieger 2022]. Ponadto ziarno owsa posiada niższy indeks glikemiczny, który sprzyja kontroli cukru we krwi [Yu i in. 2023].

Napoje owocowe wzbogacone β-glukanami (5%), fermentowane napoje owsiane przygotowane z całościarnowej mąki owsianej oraz specjalistyczne preparaty glukonowe, takie jak Oatrim, Nutrim czy C-Trim, to wartościowe produkty w diecie człowieka. Oatrim to sacharydowy preparat pozyskiwany z mąki lub otrębów owsianych poprzez enzymatyczną hydrolizę skrobi. Charakteryzuje się wysoką zawartością rozpuszczalnych frakcji błonnika pokarmowego (5–10% β-glukanów). Dzięki niskiej kaloryczności (1 kcal/g) może być stosowany jako zamiennik tłuszczu w różnych produktach spożywczych, m.in. w czekoladzie, serach, maśle, margarynie, a także w wyrobach piekarniczych i cukierniczych o obniżonej zawartości tłuszczu [Kawka i Achremowicz 2014]. Nieskrobiowe polisacharydy pochodzące z tej rośliny wykazują duży potencjał jako alternatywa dla tradycyjnych zagęstników i stabilizatorów, takich jak żelatyna czy alginian. Proponowane zastosowania obejmują m.in. produkcję lodów, sosów oraz dressingów sałatkowych. Coraz

większe zainteresowanie budzi również możliwość wykorzystania modyfikowanych białek owsa jako składników o funkcjonalnych właściwościach w przemysłę spożywczym [Harasym 2025].

Wartości prozdrowotne owsa i jego przetworów

Właściwe wzbogacenie diety w białka zawierające pełen zestaw aminokwasów egzogennych sprzyja prawidłowemu wzrostowi i rozwojowi organizmu. Wspiera jego odporność oraz funkcje poznawcze. Udowodniono, że ziarno owsa ze względu na jego skład chemiczny ma szerokie zastosowanie w diecie [Kinsner i Kazimierska 2018].

Dieta oparta na owsie przyczynia się do redukcji nadwagi, obniżenia poziomu cholesterolu we krwi dzięki właściwościom zagęszczającym treść jelitową oraz zmniejszenia ryzyka wystąpienia niedokrwiennej choroby serca [Gibiński 2008, Gołębiowski i in. 2019]. Naturalne otręby owsiane powodują zmniejszenie wchłaniania cholesterolu o 19% i intensyfikują wydalanie kwasów żółciowych i cholesterolu o 40%, zwiększając jednocześnie syntezę kwasów żółciowych o 57% [Korzeniowska-Ginter i Kamińska 2014]. Badania kliniczne potwierdzają, że regularne spożycie 3 g beta-glukanów dziennie może znacząco zmniejszyć stężenie cholesterolu całkowitego oraz poprawić profil lipidowy pacjentów z hiperlipidemią [Whitehead i in. 2014]. Dodatkowo beta-glukany wpływają na spowolnienie procesu trawienia i wchłaniania glukozy, co przyczynia się do stabilizacji poziomu cukru we krwi oraz zmniejsza ryzyko insulinooporności [El Khoury i in. 2012, Bańcyr i Żyromski 2014]. Owies to cenny składnik diety osób z nietolerancją glutenu lub celiakią, gdyż produkty zbożowe niezawierające glutenu dostarczają od 55% do 65% dziennego zapotrzebowania energetycznego u osób przestrzegających diety bezglutenowej [Rybicka i Gliszczyńska-Świątło 2014]. Ziarno owsa naturalnie pozbawione jest glutenu, jednak w praktyce produkty owsiane często ulegają zanieczyszczeniu nim. Dzieje się tak przede wszystkim na etapie uprawy, zbioru oraz przetwarzania, gdy ziarno jest obrabiane w tych samych zakładach, co zboża glutenowe [Zarzecka i in. 2024]. Dlatego osoby na diecie bezglutenowej powinny wybierać owies certyfikowany jako bezglutenowy, rozpoznawalny dzięki symbolowi przekreślonego kłosa [Orkusz i Garaszczyk 2018, Rybicka i Gliszczyńska-Świątło 2014].

Oprócz wysokiej zawartości błonnika owies jest także bogaty w składniki bioaktywne, takie jak polifenole, flawonoidy oraz awenanthramidy, które wykazują silne działanie przeciwutleniające i przeciwzapalne [Meydani 2009]. Avenanthramidy, będące unikalnymi dla owsa związkami fenolowymi, mogą hamować procesy zapalne oraz działać ochronnie na komórki śródbłonna naczyń krwionośnych, co ma istotne znaczenie w prewencji chorób układu krążenia. Ponadto związki te mogą wspierać funkcjonowanie układu odpornościowego poprzez modulację odpowiedzi zapalnej organizmu [Sur i in. 2008]. Fityniany oraz beta-glukany

obecne w owsie mogą wykazywać działanie hamujące wzrost komórek nowotworowych różnych typów, w tym raka płuc, żołądka, krtani, okrężnicy, piersi, prostaty oraz szyjki macicy [Jurczyńska i in. 2012, Goderska i Nikrandt 2022].

Produkty na bazie owsa znajdują szerokie zastosowanie w farmacji, szczególnie przy wytwarzaniu leków oraz suplementów diety. Obecne w owsie beta-glukany wspierają proces regeneracji ran, zwłaszcza oparzeniowych, łagodzą ból oraz przyczyniają się do szybszego gojenia uszkodzeń skórnych, przez co poprawiają ich wygląd. Żelowy opatrunek BGC łączy w sobie beta-glukany i kolagen – pierwsze z nich aktywują makrofagi, natomiast kolagen odgrywa rolę naturalnego składnika skóry [Zarzecka i in. 2018]. Dodatkowo ziele owsa jest cenionym składnikiem w pielęgnacji skóry, szczególnie w walce z trądzikiem. Beta-glukany działają przeciwzapalnie i wspomagają regenerację skóry, a saponiny – naturalne środki myjące, delikatnie oczyszczają pory i redukują nadmiar sebum. Dodatkowo owies jest bogaty w antyoksydanty i cynk, które łagodzą podrażnienia oraz wspierają gojenie wyprysków. Dzięki właściwościom nawilżającym i kojącym ekstrakty owsiane są często stosowane w kosmetykach przeznaczonych do skóry problematycznej, pomagają przywrócić jej równowagę i zdrowy wygląd [Majka i in. 2009]. Obecna w owsie witamina E jest najskuteczniejszym z przeciwutleniaczy, który spowalnia proces starzenia się komórek [Milanovic 2016].

Bibliografia

- Bañcyr E., Żyromski M. (2014). Kwas ferulowy, beta-glukan i ksantohumol-bioaktywne składniki o potencjalnym wykorzystaniu prozdrowotnym. *Acta Mygenica*, 5, 47–50.
- Biel W., Bobko K., Maciorowski R. (2009). Chemical composition and nutritive value of husked and naked oats grain. *Journal of Cereal Science*, 49(3), 413–418.
- Biel W., Petkov K., Maciorowski R., Nita Z., Jaskowska I. (2006). Ocena jakości różnych form owsa na podstawie składu chemicznego. *Biuletyn Instytutu Hodowli i Aklimatyzacji Roślin*, 239, 205–211.
- Brzóska F., Szymczyk B., Szolkowska A., Śliwiński B., Pietras M. (2017). Skład aminokwasowy, profil kwasów tłuszczowych i wartość pokarmowa odmian i rodów ziarna owsa. *Roczniki Naukowe Zootechniki*, 44(2), 247–264.
- Budzyński W., Szempliński W. (1999.) *Owies*. [W:] Z. Jasińska, A. Kotecki (red.): *Szczegółowa uprawa roślin*. Tom 1. Wydawnictwo AWA, Wrocław, 235–262.
- El Khoury D., Cuda C., Luhovyy B.L., Anderson G.H. (2012). Beta glucan: health benefits in obesity and metabolic syndrome. *Journal of Nutrition and Metabolism*, 2012, 851362.
- Feledyn-Szewczyk B., Kuś J., Jończyk K., Hołubowicz-Kliza G. (2017). Zboża w uprawie ekologicznej. *Owies*, 2–50.
- Flieger N. (2022). Mleko owsiane. Właściwości i przepis na to, jak je zrobić w domu. <https://dietetycy.org.pl/mleko-owsiane/> (dostęp: 3.04.2025).
- Gibiński M. (2008). Beta-glukany owsa jako składnik żywności funkcjonalnej. *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość*, 15(2), 15–29.
- Gibiński M., Gumul D., Korus J. (2005). Prozdrowotne właściwości owsa i produktów owsianych. *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość*, 4 (45), 49–60.

- Ginter A., Zarzecka K., Gugala M., Mystkowska I. (2024). Właściwości odżywcze owsa i jego przetworów. *Herbalism*, 10(1), 127–137.
- Główny Urząd Statystyczny 1. Produkcja upraw polowych i ogrodniczych w 2022 r. i 2023 r. <https://bdl.stat.gov.pl/bdl/dane/podgrup/tablica> (dostęp: 25.03.2025).
- Główny Urząd Statystyczny 2. Wynikowy szacunek głównych ziemiopłodów rolnych i ogrodniczych w 2022 r. i 2023 r. <https://bdl.stat.gov.pl/bdl/dane/podgrup/tablica> (dostęp: 25.03.2025).
- Goderska K., Nikrandt G. (2022). Wybrane substancje bioaktywne pochodzenia roślinnego i ich rola w zapobieganiu nowotworom. *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość*, 4(133), 5–26.
- Gołębiewski D., Boros D., Gołębiewska K., Fraś A. (2019). Potencjał odżywczy i bioaktywny odmian owsa zwyczajnego. *Biuletyn Instytutu Hodowli i Aklimatyzacji Roślin*, (287), 57–58.
- Harasym J. (2025). Owies – zastosowanie inne niż spożywcze. <http://www.e-biotechnologia.pl/artykuly/owies> (dostęp: 24.03.2025).
- Harasym J., Olędzki R., Pietkiewicz J. (2011). Substancje o działaniu przeciwutleniającym obecne w ziarnach owsa. *Nauki Inżynierskie i Technologiczne*, 3, 71–89.
- Hebda T., Micek P. (2007). Cechy geometryczne ziarna wybranych odmian zbóż. *Inżynieria Rolnicza*, 5(93), 187–193.
- Ho H.V.T., Stevenpiper J.L., Zurbau A., Blanco Mejia S., Jovanovski E., Au-Yeung F., Jenkins A.L., Vuksan V. (2016). The effect of oat β -glucan on LDL-cholesterol, non-HDL-cholesterol and apoB for CVD risk reduction: a systematic review and meta-analysis of randomised-controlled trials. *British Journal of Nutrition*, 116(8), 1369–1382.
- Jurczyńska E., Saczko J., Kulbacka J., Kawa-Rygielska J., Błazewicz J. (2012). Beta-glukan jako naturalny antykarcynogen. *Polski Merkuriusz Lekarski*, 33(196), 217–220.
- Kawka A., Achremowicz B. (2014). Owies – roślina XXI wieku. Wykorzystanie żywieniowe i przemysłowe. *Nauka Przyroda Technologie*, 8(3), 41.
- Kinsner M., Kazimierska A. (2018). Programowanie metaboliczne. *Postępy Nauk o Zdrowiu*, 2, 5–18.
- Korzeniowska-Ginter R., Kamińska A. (2014). Wiedza konsumentów na temat prozdrowotnych właściwości owsa oraz wykorzystanie przetworów owsianych w żywieniu. *Zeszyt Nauk Akademii Morskiej w Gdyni*, 86, 125–132.
- Kotecki A., red. (2020). *Uprawa roślin. Tom II. Owies*. Wyd. UP we Wrocławiu, 191–209.
- Loskutov I.G. (2008). On evolutionary pathways of Avena species. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 55(2), 211–220.
- Majka Z., Podolec K., Krajewska-Wojtyś A., Smola-Męciwoda P. (2009). Surowce kosmetyczne pochodzenia naturalnego o działaniu przeciwtrądzikowym. *Kosmetologia Estetyczna*, 8(1), 39–41.
- Mazurkiewicz T. (2011). *Gleby i ich właściwości*. Wydawnictwo Uniwersyteckie, Kraków.
- Meydani M. (2009). Potential health benefits of avenanthramides of oats. *Nutr Rev*, 67(12), 731–735.
- Milanovic B. (2016). Witamina E – co kryje świat tokoferoli? *Świat Przemysłu Farmaceutycznego*, 3, 112–116.
- Orkus A., Garaszczuk A. (2018). Gluten w żywności – korzyści i zagrożenia. *Nauki Inżynierskie i Technologie. Prace Naukowe Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu*, 4 (31), 52–64.
- Piątkowska E., Witkiewicz R., Pisulewska E. (2010). Podstawowy skład chemiczny wybranych odmian owsa siewnego. *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość*, 17(3), 88–99.
- Rybicka I., Gliszczyńska-Świągło A. (2014). Ocena zawartości witamin z grupy B w owsianych produktach bezglutenowych. *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych*, 576, 111–119.
- Sangwan S., Singh R., Tomar S.K. (2014). Nutritional and functional properties of oats: An update. *Journal of Innovative Biology*, 1(1), 3–14.
- Stadnik B. (2023). *Uprawa i znaczenie gospodarcze owsa zwyczajnego*. [W:] J. Nyćkowiak, J. Leśny. (red.): *Nauki przyrodnicze: flora i fauna*. Wydawnictwo Młodzi Naukowcy, Poznań, 106–111.
- Sur R., Nigam A., Grote D., Liebel F., Southall M.D. (2008). Avenanthramides, polyphenols from oats, exhibit anti-inflammatory and anti-itch activity. *Archives of Dermatological Research*, 300(10), 569–574.

- Surówka M., Tobiasz-Salach R. (2017). Książka abstraktów. I Ogólnopolska Konferencja Naukowa Studentów i Doktorantów Nauk Przyrodniczych. Człowiek – Żywność – Środowisko, 44.
- Sykut-Domańska E. (2012). Charakterystyka wybranych cech fizycznych ziarna owsa nagiego i zwyczajnego (*Avena sativa* L.). *Acta Agrophysica*, 19(4), 845–856.
- Szempliński W., Budzyński W., Bielski S. (2021). Owies [W:] A. Kotecki (red.): *Uprawa roślin*. Tom II. Wydawnictwo Uniwersytetu Przyrodniczego we Wrocławiu, Wrocław, 191–202.
- Świerczak K. (2021). Owies – na co jest dobry? Wartości odżywcze, właściwości prozdrowotne, zastosowanie. <https://zywienie.medonet.pl/produkty-spozywcze/produkty-zbozowe/owies-wartosci-odzywcze-wlasciwosci-prozdrowotne-zastosowanie/3b8ge7f> (dostęp: 21.03.2025).
- Tobiasz-Salach R., Bobrecka-Jamro D., Buczek J., Szpunak-Krok E. (2010). Reakcja owsa oplewionego i nagoziarnistego na działanie regulatorów wzrostu. *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość*, 3(70), 174–181.
- Tobiasz-Salach R., Krochmal-Marczak B. (2016). Możliwości wykorzystania ziarna owsa w diecie człowieka. *Herbalism*, 1(2), 138–145.
- Wang Q., Liang X., Xiang D., Xu W., Wang C., Zhan C., Guo L. (2023). The Physiological Mechanism of Melatonin Enhancing the Tolerance of Oat Seedlings under Saline–Alkali Stress. *Agronomy*, 13(9), 2343.
- Whitehead A., Beck E.J., Tosh S., Wolever T.M. (2014). Cholesterol-lowering effects of oat β-glucan: a meta-analysis of randomized controlled trials. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 100(6), 1413–1421.
- Woloch R. (2003). Zdolność eliminowania wolnych rodników przez ekstrakty uzyskane z frakcji młynarskich ziarna nieoplewionych i oplewionych form jęczmienia i owsa. *Biuletyn Instytutu Hodowli i Aklimatyzacji Roślin*, 229, 263–270.
- www1.kki52.pl/files/rosliny/owies.pdf (dostęp: 24.03.2025).
- Xi H., Zhou W., Niu Y., Zhu R., Wang S., Guo Y., Liu W., Xiong X., Guo L. (2023). Effect of Oat Consumption on Blood Pressure: A Systematic Review and Meta-Analysis of Randomized Controlled Trials, 123(5), 809–823.
- Yu J., Xia J., Yang C., Pan D., Xu D., Sun G., Xia H. (2022). Effects of Oat Beta-Glucan Intake on Lipid Profiles in Hypercholesterolemic Adults: A Systematic Review and Meta-Analysis of Randomized Controlled Trials. *Nutrients*, 14(10), 2043.
- Yu Y., Li X., Zhang J., Li X., Wang J., Sun B. (2023). Oat milk analogue versus traditional milk: Comprehensive evaluation of scientific evidence for processing techniques and health effects. *Food Chemistry*, X, 19, 100859.
- Zarzecka K., Ginter A., Mystkowska I. (2024). Wartość odżywcza i prozdrowotna zbóż bezglutenowych. *Herbalism*, 10(1), 138–148.
- Zarzecka K., Gugała M., Mystkowska I., Baranowska A., Sikorska A., Zarzecka M. (2018). Odżywce i prozdrowotne właściwości ziarna owsa i przetworów owsianych. *Kosmos*, 67(2), 409–414.
- Zdrojewicz Z., Lubańska A., Wyderkowska A. (2017). Wpływ spożywania płatków owsianych na organizm człowieka. *Medycyna Rodzinna*, 20(2), 118–123.

The role of oats and oat products in the prevention of lifestyle diseases

Abstract: Oat grain is one of the oldest and healthiest cereals, playing a significant role in human nutrition for centuries. Its remarkable health benefits have been recognized in traditional medicine and modern scientific research. Oats are a rich source of essential nutrients, including fiber, protein, B vitamins, minerals, and antioxidants, contributing to heart health, digestive function, and overall immune support. The high fiber content, particularly beta-glucan, helps lower cholesterol levels, regulate blood sugar, and promote healthy gut function. Oat-based products such as oatmeal, oat flour, and oat drinks are gaining popularity as nutritious alternatives in everyday diets. Regular consumption of oats may enhance overall well-being and aid in preventing various lifestyle-related diseases.

Joanna Kaszuba^{1,*}, Barbara Krochmal-Marczak², Tomasz Cebulak¹

ROZWÓJ PRODUKTÓW OPARTYCH NA BIAŁKACH ROŚLINNYCH ORAZ ICH UDZIAŁ W KSZTAŁTOWANIU ZRÓWNOWAŻONEGO ROZWOJU PRODUKCJI ŻYWNOSCI W POLSCE I NA ŚWIECIE

Streszczenie: Wdrożenie idei zrównoważonego rozwoju przemysłu spożywczego wymaga zidentyfikowania potrzeb i ukierunkowania działań na realizację celów rozwojowych z uwzględnieniem dbałości o środowisko i dobrostanu społeczeństwa. Z punktu widzenia 17 celów zrównoważonego rozwoju kluczowe są zagadnienia gospodarowania zasobami surowców, wytwarzanie odpadów, wpływ na środowisko, marnotrawstwo żywności i rosnące zapotrzebowanie na żywność wysokiej jakości. Wzrost populacji światowej, zróżnicowany dostęp do zasobów oraz dbałość o kwestie ochrony środowiska przyczyniają się prowadzenia badań i poszukiwania nowych możliwości wykorzystania produktów ubocznych z przemysłu spożywczego jako racjonalnego gospodarowania zasobami i produkcji żywności. Do ponownego włączenia do procesów produkcyjnych odpadów, takich jak otręby zbożowe, młóto browarniane, makuchy oleiste, i użytkowania ich jako produktów ubocznych skłania zawartość w nich białka, co stwarza możliwości dla opracowania nowych artykułów spożywczych.

Wprowadzenie

Zrównoważony rozwój – termin, koncepcja i akty prawne

Termin „zrównoważony rozwój” został zdefiniowany i wprowadzony po raz pierwszy w 1987 r. w Raporcie G. Brundtlanda Światowej Komisji ds. Środowiska i Rozwoju pod tytułem „Nasza wspólna przyszłość”. Koncepcję zrównoważonego rozwoju precyzują dwa dokumenty przyjęte w 1992 r. na Konferencji „Szczyt Ziemi” Narodów Zjednoczonych „Środowisko i Rozwój” w Rio de Janeiro: Deklaracja w sprawie środowiska i rozwoju oraz Agenda 21. Pierwszy zawiera 27 zasad określających prawa i obowiązki sygnatariuszy deklaracji w dążeniu do realizacji zrównoważonego rozwoju. Drugi, Agenda 21, jest rozwinięciem pierwszego

¹ Uniwersytet Rzeszowski, Wydział Technologiczno-Przyrodniczy, Zakład Ogólnej Technologii Żywności i Żywienia Człowieka, ul. Zelwerowicza 4, 35-601 Rzeszów.

² Zakład Produkcji i Bezpieczeństwa Żywności, Państwowa Akademia Nauk Stosowanych w Krośnie, ul. Rynek 1, 38-400 Krosno.

* jkaszuba@ur.edu.pl

i zawiera szczegółowe zalecenia dla państw i organizacji dotyczące rozwiązywania problemów przy realizacji zrównoważonego rozwoju, m.in. walki z ubóstwem, ochrony zdrowia ludzi, ochrony środowiska przyrodniczego, zarządzania zasobami powierzchni Ziemi, gospodarki odpadami. Koncepcję zrównoważonego rozwoju można przedstawiać jako rezultat przemian idei postępu, od technokratycznie pojmowanego rozwoju gospodarczego, poprzez ekorozwój, do wielodyscyplinarnej, holistycznej koncepcji stawiającej w centrum człowieka, a zatem jego prawo do zdrowego i produktywnego życia w zgodzie z naturą, pomyślności globalnej zbiorowości ludzi, sprawiedliwości międzypokoleniowej, jak również samorealizacji jednostki [<https://encyklopedia.pwn.pl/haslo/rozwoj-zrownowazonzy;3969442.html>]. Jak zauważyła Kondratowicz-Pozorska [2012] globalizacja też ma na celu rozwój gospodarczy, ale jest on ujęty w wymiarze ekonomicznym, a zatem zrównoważony rozwój jest alternatywną ideą dla działań globalizacyjnych zmierzającą do poprawy jakości życia człowieka i społeczności.

Wyznaczanie nowych celów rozwojowych zainicjowano podczas Konferencji Narodów Zjednoczonych w 2012 r. (Rio de Janeiro). Państwa członkowskie jednogłośnie przyjęły Deklarację milenijną na Szczycie Milenijnym we wrześniu 2000 r. w siedzibie ONZ w Nowym Jorku. Opracowano osiem celów rozwoju milenijnego (MDGs) zmierzających do zmniejszenia skrajnego ubóstwa do 2015 r. Rok 2015 był przełomowy dla kształtowania polityki międzynarodowej, przyjęto: Agendę 2030 i kilka innych ważnych porozumień: Ramy Sendai na rzecz ograniczania ryzyka klęsk żywiołowych (marzec 2015 r.), Agendę działań z Addis Abeby dotyczącą finansowania rozwoju (lipiec 2015 r.), porozumienie paryskie w sprawie zmian klimatu (grudzień 2015 r.) [<https://sdgs.un.org/goals>].

Rezolucja przyjęta przez Zgromadzenie Ogólne 25 września 2015 r. *Przekształcamy nasz świat: Agenda na rzecz zrównoważonego rozwoju 2030* jest wynegocjowanym przez kraje członkowskie i ustalonym przez Organizację Narodów Zjednoczonych kompleksowym planem rozwoju dla świata do 2030 r., który obejmuje 17 celów zrównoważonego rozwoju (*Sustainable Development Goals, SDGs*) i 169 powiązanych z nimi zadań. Jak głosi preambuła ww. rezolucji „założeniem celów zrównoważonego rozwoju i powiązanych z nimi zadań jest przestrzeganie praw człowieka w odniesieniu do wszystkich ludzi oraz osiągnięcie równości płci i wzmocnienie pozycji wszystkich kobiet i dziewcząt”. Dalej nadmieniano, iż „cele zrównoważonego rozwoju i powiązane z nimi zadania są współzależne i niepodzielne oraz zapewniają równowagę pomiędzy trzema aspektami zrównoważonego rozwoju: gospodarczym, społecznym i środowiskowym”. Agenda 2030 wraz z porozumieniem paryskim w sprawie zmian klimatu tworzą globalne ramy dla międzynarodowej współpracy na rzecz zrównoważonego rozwoju [<https://sdgs.un.org/2030agenda>].

Agenda 2030 została ostatecznie przyjęta przez 193 państwa członkowskie Organizacji Narodów Zjednoczonych podczas Zgromadzenia Ogólnego ONZ w 2015 r. (Nowy Jork). Sprawy dotyczące środków finansowych koniecznych do

realizacji Agendy 2030 reguluje Agenda działań z Addis Ababa ONZ przyjęta podczas III Międzynarodowej Konferencji ws. Finansowania Rozwoju [<https://www.gov.pl/web/rozwoj-technologie/agenda-2030>].

Cele zrównoważonego rozwoju

W 2013 r. Zgromadzenie Ogólne ONZ powołało 30-osobową Otwartą Grupę Roboczą w celu opracowania propozycji dotyczącej SDGs. W styczniu 2015 r. Zgromadzenie Ogólne rozpoczęło proces negocjacji w sprawie programu rozwoju po 2015 r. Proces ten zakończył się późniejszym przyjęciem Agendy na rzecz zrównoważonego rozwoju 2030, której rdzeniem było 17 celów zrównoważonego rozwoju, na Szczycie Zrównoważonego Rozwoju ONZ we wrześniu 2015 r. [<https://sdgs.un.org/goals>]. Zrównoważony rozwój to koncepcja, która zakłada równowagę między trzema kluczowymi aspektami: gospodarczym, społecznym i środowiskowym. Agenda 2030 ma charakter uniwersalny. Nowa wizja rozwoju w niej nakreślona koncentruje się na pięciu wielkich zmianach transformacyjnych określonych jako zasada 5P (*People, Planet, Prosperity, Peace, Partnership*) [<https://sdgs.un.org/2030agenda>]. Cele zrównoważonego rozwoju i powiązane z nimi zadania są współzależne i niepodzielne oraz zapewniają równowagę pomiędzy trzema aspektami zrównoważonego rozwoju: gospodarczym, społecznym i środowiskowym. Cel 1. Wyeliminować ubóstwo we wszystkich jego formach na całym świecie; cel 2. Wyeliminować głód, osiągnąć bezpieczeństwo żywnościowe i lepsze odżywianie oraz promować zrównoważone rolnictwo; cel 3. Zapewnić wszystkim ludziom w każdym wieku zdrowe życie oraz promować dobrobyt; cel 4. Zapewnić wszystkim edukację wysokiej jakości oraz promować uczenie się przez całe życie; cel 5. Osiągnąć równość płci oraz wzmocnić pozycję kobiet i dziewcząt; cel 6. Zapewnić wszystkim ludziom dostęp do wody i warunków sanitarnych poprzez zrównoważoną gospodarkę zasobami wodnymi; cel 7. Zapewnić wszystkim dostęp do stabilnej, zrównoważonej i nowoczesnej energii po przystępnej cenie; cel 8. Promować stabilny, zrównoważony i inkluzywny wzrost gospodarczy, pełne i produktywnie zatrudnienie oraz godną pracę dla wszystkich ludzi; cel 9. Budować stabilną infrastrukturę, promować zrównoważone uprzemysłowienie oraz wspierać innowacyjność; cel 10. Zmniejszyć nierówności w krajach i między krajami; cel 11. Uczynić miasta i osiedla ludzkie bezpiecznymi, stabilnymi, zrównoważonymi oraz sprzyjającymi włączeniu społecznemu; cel 12. Zapewnić wzorce zrównoważonej konsumpcji i produkcji; cel 13. Podjąć pilne działania w celu przeciwdziałania zmianom klimatu i ich skutkom; cel 14. Chronić oceany, morza i zasoby morskie oraz wykorzystywać je w sposób zrównoważony; cel 15. Chronić, przywrócić oraz promować zrównoważone użytkowanie ekosystemów lądowych, zrównoważone gospodarowanie lasami, zwalczać pustoszczenie, powstrzymać i odwracać proces degradacji

gleby oraz powstrzymać utratę różnorodności biologicznej; cel 16. Promować pokojowe i inkluzywne społeczeństwa, zapewnić wszystkim ludziom dostęp do wymiaru sprawiedliwości oraz budować na wszystkich szczeblach skuteczne i odpowiedzialne instytucje sprzyjające włączeniu społecznemu; cel 17. Wzmocnić środki wdrażania i ożywić globalne partnerstwo na rzecz zrównoważonego rozwoju [Rezolucja Zgromadzenia Ogólnego ONZ A/RES/70/1].

Obecnie Wydział Celów Zrównoważonego Rozwoju (*Division for Sustainable Development Goals*, DSDG) w Departamencie Spraw Gospodarczych i Społecznych Organizacji Narodów Zjednoczonych (*Department of Economic and Social Affairs*, UNDESA) odgrywa kluczową rolę w ocenie wdrażania Agendy 2030 w całym systemie ONZ, zapewnia istotne wsparcie i budowanie potencjału dla SDGs i powiązanych z nimi kwestii tematycznych, w tym wody, energii, klimatu, oceanów, urbanizacji, transportu, nauki i technologii, Globalnego raportu o zrównoważonym rozwoju (GSDR) oraz w działaniach rzeczniczych i informacyjnych związanych z SDGs [<https://sdgs.un.org/goals>].

Monitorowanie stopnia realizacji 17 celów zrównoważonego rozwoju

Wysokie Forum Polityczne ds. Zrównoważonego Rozwoju (*High-Level Political Forum*, HLPF) jest centralną platformą Organizacji Narodów Zjednoczonych, która służy monitorowaniu i przeglądowi Agendy na rzecz zrównoważonego rozwoju 2030 oraz jej 17 celów zrównoważonego rozwoju (SDGs). HLPF został ustanowiony na Konferencji Narodów Zjednoczonych „Przyszłość, jakiej chcemy” w sprawie zrównoważonego rozwoju (Rio+20) w 2012 r. Forum zwoływane jest corocznie pod auspicjami Rady Gospodarczej i Społecznej (*Economic and Social Council*, ECOSOC), przeprowadza regularne przeglądy postępów w realizacji celów zrównoważonego rozwoju, a także obejmuje dobrowolne przeglądy krajowe obejmujące ustalenia z krajowych przeglądów postępów w celu przyspieszenia wdrażania Agendy 2030. Pokazują one podejście krajów do implementacji SDGs i postępy w ich realizacji. Oczekuje się, że każdy kraj dokona przeglądu minimum 2-krotnie do 2030 r. [<https://hlpf.un.org/home>, <https://www.gov.pl/web/rozwoj-technologie/monitoring-realizacji-agendy-2030>].

W Agendzie 2030 zapisano odpowiedzialność każdego państwa za jej realizację na poziomie krajowym, regionalnym i globalnym z uwzględnieniem różnych realiów krajowych, możliwości i poziomów rozwoju, z poszanowaniem krajowych zasad i priorytetów. Przyjęto, iż cele krajowe będą nawiązywać do celów zrównoważonego rozwoju przyjętych wraz z Agendą 2030. Ustalono obligatoryjne monitorowanie postępów na szczeblu krajowym, które obejmuje dobór wskaźników, wdrożenie odpowiedniego systemu monitorowania i raportowania [Rezolucja Zgromadzenia Ogólnego ONZ A/RES/70/1, <https://www.gov.pl/web/rozwoj-technologie/agenda-2030>]. W Polsce zasadę zrównoważonego rozwoju

ujęto w zapisach prawa podstawowego wynikającego z Konstytucji Rzeczypospolitej Polskiej (Rozdział I, art. 5.) [1997].

Realizacja celów i zadań jest monitorowana na całym świecie odpowiednimi wskaźnikami [Rezolucja Zgromadzenia Ogólnego ONZ A/RES/71/313]. Eurostat (*Statistical Office of The European Communities*), czyli Urząd Statystyczny Wspólnot Europejskich, organ pomocniczy Komisji Europejskiej, wraz z Komisją Europejską, innymi agencjami UE, państwami członkowskimi UE i innymi interesariuszami opracował szereg wskaźników służących do śledzenia postępów UE w realizacji celów zrównoważonego rozwoju. Sprawozdanie na temat zrównoważonego rozwoju w Unii Europejskiej jest publikowane corocznie przez Eurostat. Jest to dokument, który zestawia wskaźniki realizacji SDGs, analizuje tendencje dotyczące tych wskaźników, umożliwiając ocenę strategii UE i ich dostosowanie [<https://eur-lex.europa.eu/PL/legal-content/glossary/sustainable-development.html>, <https://encyklopedia.pwn.pl/szukaj/eurostat.html>]. Monitorowanie zrównoważonego rozwoju w Polsce jest prowadzone przez Ministerstwo Rozwoju i Technologii będące krajowym koordynatorem Agendy 2030. Główny Urząd Statystyczny (GUS) pełni rolę wspierającą, zbiera dane i raportuje wskaźniki zarówno globalne, jak i krajowe związane z 17 celami zrównoważonego rozwoju (SDGs). Ponadto Platforma SDG udostępnia dane GUS na potrzeby monitorowania postępów Polski w realizacji SDGs [<https://www.gov.pl/web/sdg-portal-wiedzy/monitorowanie-celow-zrownowazonego-rozwoju-w-polsce>, <https://sdg.gov.pl/>].

Zrównoważony rozwój a jakość życia

Idea zrównoważonego rozwoju ma zapewnić równowagę pomiędzy trzema jego aspektami: gospodarczym, społecznym i środowiskowym. Jedną z składowych tej koncepcji jest dążenie do rozwoju społecznego. Jakość życia w odniesieniu do idei zrównoważonego rozwoju jest wyznacznikiem rozwoju społecznego [Rezolucja Zgromadzenia Ogólnego ONZ A/RES/70/1]. Jak wynika z opracowania Katany [2016] zarówno jakość życia, jak i zrównoważony rozwój to pojęcia złożone, interdyscyplinarne i wieloaspektowe. Autorka zwróciła uwagę na problemy z całościowym ukazaniem istoty jakości życia w koncepcji zrównoważonego rozwoju – od stanowiska, iż równowaga między trzema wymiarami: społecznym, ekonomicznym i przyrodniczym kształtuje jakość życia – do zdania, iż zrównoważona jakość życia jest celem koncepcji zrównoważonego rozwoju. W ocenie spełnienia wszystkich postulatów tej idei należy zwrócić uwagę na obiektywną, ale także subiektywną ocenę jakości życia jednostek w społeczeństwach.

W literaturze dotyczącej zagadnień jakości życia oraz celów zrównoważonego rozwoju znajduje się także wniosek, iż „zielona gospodarka” wyznacza kierunek transformacji gospodarczej. Jest to podejście będące w opozycji do sytuacji, gdy wzrost gospodarczy opierał się na nieograniczonym zużyciu surowców

naturalnych. Skutkiem tego są zmiany klimatu, które oddziałują na dobrobyt. Obecnie obserwuje się ukierunkowanie na inne modele gospodarcze, które opierają się na racjonalnym gospodarowaniu zasobami, ale przyczyniają się do wzrostu dobrobytu i jakości życia [Zakrzewska 2019]. Badania jakości życia w świetle realizacji SDGs dotyczą również możliwości kształtowania i ulepszania prozdrowotnego stylu życia, który wpisuje się w zakres zrównoważonej konsumpcji. Jej przejawem może być ukierunkowanie konsumentów na aspekt ekologiczny żywności, szczególnie w wyborze produktów z kategorii żywności funkcjonalnej [Rzoska 2022].

Produkcja żywności a cele zrównoważonego rozwoju

Sektor spożywczy jest jedną z najważniejszych i najszybciej rosnących gałęzi polskiej gospodarki. Polska jest 6. największym rynkiem w Europie. Polscy producenci charakteryzują się wysoką konkurencyjnością zarówno w UE, jak i na świecie, a ponad 70% polskiego eksportu rolno-spożywczego trafia na rynki unijne [<https://www.paih.gov.pl/inwestycje/sektory/spozywczy>]. Przemysł spożywczy odgrywa ważną rolę w realizacji celów zrównoważonego rozwoju, w tym przyczynia się do wzrostu dobrostanu społeczeństwa. Identyfikacja i uwzględnienie potrzeb konsumentów na etapie projektowania i rozwoju produktów dostarczają cennych danych dla zrównoważonej produkcji żywności o wysokich walorach odżywczych i sensorycznych. Obecnie przemysł spożywczy ukierunkowuje się na efektywne wykorzystanie surowców, optymalizację procesów technologicznych, minimalizację ich negatywnego wpływu na środowisko i zapewnienie stałej wysokiej jakości produktów. Wykazano, że zrównoważony rozwój staje się jednym z ważniejszych obszarów funkcjonowania łańcuchów dostaw żywności [Michalczyk 2018]. Zgodnie z koncepcją Przemysłu 4.0 należy opracować i wdrożyć metody kontroli jakości w łańcuchu żywnościowym „Od pola do stołu” [Sikorska i in. 2022]. Strategia „Od pola do stołu” dotyczy również rozwiązań logistycznych, w tym optymalizacji sieci logistycznych, zmniejszenia śladu węglowego, minimalizacji ilości odpadów czy ograniczenia emisji. Zakłada się, iż wdrożenie technologii Przemysłu 4.0 w zrównoważonym rozwoju logistyki sektora rolno-spożywczego przyczyni się do poprawy wydajności z utrzymaniem wysokiej jakości i bezpieczeństwa żywności [Topczewska i Krupa 2022].

Przemysł spożywczy to jeden z największych sektorów gospodarki światowej, ale także jest to dział odpowiedzialny za generowanie ogromnej ilości odpadów. Organizacja ds. Wyżywienia i Rolnictwa (FAO) podała, że w 2023 r. produkcja żywności wyniosła 9,9 mld ton upraw podstawowych. Obejmuje to znaczne ilości różnych upraw, takich jak kukurydza, pszenica, ryż, trzcina cukrowa i soja, a także produkty pochodzenia zwierzęcego, takie jak mleko i mięso. Produkty uboczne przetwórstwa żywności, w tym produkty z przetwórstwa zbóż, nabiału i mięsa, mogą być

również znaczne i stanowią około 19% odpadów żywnościowych [FAO 2024]. Obecne metody produkcji żywności powodują straty szacowane na ok. 5,7 bln USD rocznie, a zatem konieczne jest wprowadzenie zrównoważonych metod produkcji zgodnych z ideą gospodarki o obiegu zamkniętym. Jest to model gospodarczy oparty na zatrzymywaniu surowców i produktów w obiegu gospodarczym przez możliwie najdłuższy czas przy zachowaniu ich najwyższej wartości [Zarębska 2017, Sznyk 2020].

Rocznie w skali globalnej marnuje się około 30–40% całej wyprodukowanej żywności. W 2022 r. w Unii Europejskiej wytworzono około 132 kg odpadów żywnościowych na mieszkańca. Gospodarstwa domowe wytworzyły 54% odpadów żywnościowych, co stanowi 72 kg na mieszkańca. Pozostałe 46% to odpady wytworzone w wyższych ogniwach łańcucha dostaw żywności [https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Food_waste_and_food_waste_prevention_-_estimates#Amounts_of_food_waste_at_EU_level]. Na etapach produkcji, przetwórstwa, dystrybucji i konsumpcji w Polsce rocznie marnuje się niemal 5 mln ton żywności [Łaba i in. 2020]. Straty te identyfikuje się wzdłuż całego łańcucha żywnościowego „Od pola do stołu” i wymagają one analizy i monitorowania z uwagi na ich oddziaływanie na rozwój sektora żywnościowego. Straty żywności i jej marnowanie wpływają na system żywnościowy i jego równowagę w trzech wymiarach: ekonomicznym, społecznym i środowiskowym [Bilska i in. 2015]. Problem strat i marnotrawstwa żywności mają również ogromny wpływ na zasoby naturalne, różnorodność biologiczną, środowisko przyrodnicze i gospodarkę. Ograniczenie strat i marnotrawstwa żywności jest ujęte w celach zrównoważonego rozwoju, gdyż przyjęto, iż przyczyni się to do poprawy bezpieczeństwa żywnościowego na świecie i jednocześnie zmniejszy presję na środowisko przyrodnicze [Kwasek i Kowalczyk 2023].

Zrównoważony rozwój znajduje swoje odzwierciedlenie w zrównoważonej produkcji opakowań, m.in. poprzez możliwość ich ponownego użycia i recyklingu. Coraz większą rolę odgrywa wykorzystanie biosurowców do produkcji opakowań. Wdrożenie gospodarki w obiegu zamkniętym w produkcji opakowań, tj. zamkniętego obiegu surowców i odpowiedzialnego wykorzystywania materiałów, staje się istotnym czynnikiem przewagi konkurencyjnej na rynku producentów opakowań [Gajlewicz i Lenartowicz-Klik 2022].

Zidentyfikowanie głównych trendów i zagrożeń związanych z konsumpcją żywności oraz omówienie ich związków z 17 celami zrównoważonego rozwoju dokonane przez Wiśniewską [2022] potwierdziło ich zbieżność z potrzebą zapewnienia bezpieczeństwa żywności i żywnościowego. Ważne trendy, które odnotowała autorka, to świadoma konsumpcja, aspekt ekologiczny konsumpcji, dzielenie się jedzeniem, oszczędność, freeganizm, spersonalizowana i hedonistyczna konsumpcja oraz klimatarianizm. Główne zagrożenia zidentyfikowane w cytowanym źródle to trudności w zakresie żywienia się, rosnąca liczba osób z obniżoną odpornością, zmiany klimatu, pojawienie się pandemii COVID-19 i innych patologii na rynku żywności, obecność alergenów w żywności i niska kultura bezpieczeństwa.

Produkty uboczne a zrównoważony rozwój przemysłu spożywczego

Przemysł spożywczy wytwarza znaczne ilości pozostałości poprodukcyjnych, m.in. wywar gorzelniczy, młóto, wysłodki buraczane, melasa buraczana, pulpa ziemniaczana, wytloki z owoców, skórki owocowe, pestki z jabłek i wiśni, śruta poekstrakcyjna, odpady z rzeźni, serwatka, otręby [Górecka i Pośpiech 2016, Szymańska i in. 2020, Kawecka i Galus 2021].

Odpady z produkcji żywności stanowią znaczący problem środowiskowy i gospodarczy, a skuteczne zarządzanie nimi przynosi korzyści ekologiczne i ekonomiczne [Żary-Sikorska 2024]. Zagospodarowanie pozostałości poprodukcyjnych regulują akty prawne. Przedmiot lub substancje powstające w wyniku procesu produkcyjnego, którego podstawowym celem nie jest ich produkcja, uznaje się za produkt uboczny niebędący odpadem, jeżeli łącznie są spełnione warunki ujęte w Ustawie z dnia 17 listopada 2021 r. o zmianie ustawy o odpadach oraz niektórych innych ustaw. Konieczne jest 1) dalsze wykorzystywanie przedmiotu lub substancji jest pewne; 2) przedmiot lub substancja mogą być wykorzystywane bezpośrednio bez dalszego przetwarzania, innego niż normalna praktyka przemysłowa; 3) przedmiot lub substancja są produkowane jako integralna część procesu produkcyjnego; 4) przedmiot lub substancja spełniają wszystkie istotne wymagania, w tym prawne, w zakresie produktu, ochrony środowiska oraz życia i zdrowia ludzi, dla określonego wykorzystania danego przedmiotu lub danej substancji i wykorzystanie takie nie doprowadzi do ogólnych negatywnych oddziaływań na środowisko, życie lub zdrowie ludzi; 5) przedmiot lub substancja spełniają szczegółowe warunki uznania danego przedmiotu lub danej substancji za produkt uboczny, jeżeli zostały one określone w przepisach prawa Unii Europejskiej albo w przepisach wydanych na podstawie art. 11 ust. 6 [Dz.U. 2021, poz. 2151].

Zagospodarowanie produktów ubocznych przemysłu spożywczego jest wielokierunkowe. Biomasa pozostałości poprodukcyjnych niesie potencjał energetyczny (odpady warzywne), nawozowy (pozostałości pofermentacyjne) i paszowy (wysłodki, wytloki, makuchy) i zgodnie z zasadami zrównoważonego rozwoju powinna zostać przetworzona na bioenergię lub bioprodukty (pasze, nawozy organiczne) [Czyżyk i Strzelczyk 2015, Soloha i in. 2025].

Wzrost populacji światowej, zróżnicowany dostęp do zasobów oraz dbałość o kwestie ochrony środowiska przynagla do prowadzenia badań i poszukiwania nowych możliwości wykorzystania odpadów poprodukcyjnych w celu zwiększenia wartości dodanej produkowanej żywności i spożycia przez ludzi. Zagospodarowanie wybranych produktów ubocznych przemysłu spożywczego daje szereg korzyści dla przemysłu spożywczego, środowiska i konsumentów [Anal 2017]. Z drugiej strony ograniczona liczba badań bezpieczeństwa wyrobów z produktów ubocznych lub z ich dodatkiem, takich jak oceny fizykochemiczne i mikrobiologiczne lub oznaczanie toksycznych zanieczyszczeń oraz konieczność sformułowania

przepisów prawa, są czynnikami limitującym opłacalne zagospodarowanie pozostałości poprodukcyjnych przemysłu spożywczego [Socas-Rodríguez 2021].

Optymalnym rozwiązaniem jest zapobieganie powstawaniu odpadów i produktów ubocznych, a następnie ponowne ich wykorzystanie lub recykling. Powstawanie odpadów jest nieuniknione, a opcje ich zarządzania muszą być innowacyjne i spełniać wymogi prawne. Najczęściej zarządzanie jest kompromisem między tym, co jest uznawane za dopuszczalne na podstawie wymogów prawnych i potrzeb, a tym, co jest opłacalne finansowo i uznawane za wykonalne technologicznie [Hicks i Verbeek 2016].

Rozwój produktów spożywczych opartych na białkach roślinnych

Białko należy do podstawowych składników odżywczych niezbędnych do życia i zdrowia człowieka [Jaskiewicz 2007]. Światowe prognozy pokazują, że będzie to podstawowy makroskładnik limitujący światowe bezpieczeństwo żywnościowe. W światowej strukturze spożycia dominuje białko pochodzenia roślinnego, a podstawowym jego źródłem są ziarna zboża, głównie pszenicy [Boczczar 2018]. Wzrost liczebności światowej populacji znajduje odzwierciedlenie we wzroście popytu na żywność, a w tym szczególnie na białko [Henchion i in. 2017]. W globalnym spożyciu tego makroskładnika dominują źródła roślinne (57%), resztę stanowią mięso (18%), nabiał (10%), ryby i skorupiaki (6%) oraz inne produkty odzwierzęce (9%) [FAO 2011]. Perspektywy i nowe źródła białka to: białko pochodzenia roślinnego (rośliny strączkowe), owady, algi oraz źródła białka mięśniowego: ryby i mięso *in vitro* [Henchion i in. 2017]. Boczczar [2018] dokonał charakterystyki głównych źródeł białka roślinnego pod względem wielkości jego produkcji z jednostki powierzchni, kosztów produkcji 1 kg białka i jego jakości. Spośród analizowanych źródeł białka (pszenicy, ryżu, kukurydzy, ziemniaka, fasoli oraz soi) największy plon z jednostki powierzchni oraz najmniejsze bezpośrednie koszty produkcji posiada białko z nasion soi. Charakteryzuje się ono największą wartością biologiczną spośród badanych białek roślinnych.

Drugim czynnikiem mającym wpływ na coraz większe zainteresowanie białkiem roślinnym jest trend wprowadzania na rynek roślinnych zamienników produktów mięsnych i mlecznych. Wegański rynek substytutów mięsnych oraz napojów roślinnych rozwija się, próbując sprostać oczekiwaniom konsumentów oraz odpowiedzieć na ich potrzeby żywieniowe [Pielak 2023]. Produkty wegetariańskie są wybierane przez konsumentów przez wzgląd na środowisko naturalne, wartość odżywczą oraz kwestie etyczne. Wśród popularnych roślinnych zamienników mięsa i produktów mięsnych znajdują się tradycyjne produkty otrzymywane z nasion soi (tofu, tempeh), wyroby zawierające teksturowane białko roślinne oraz artykuły na bazie grzybów [Nowak i in. 2024].

Produkty uboczne z przetwórstwa ziarna zbóż i nasion oleistych, takie jak otręby, młóto browarniane oraz makuchy oleiste, mogą być zagospodarowane z uwagi na znaczną zawartość białka. Jak wynika z przeglądu literatury, znanych jest wiele możliwości wykorzystania otręb (zawartość białka około 16 g/100 g), a ich celem jest głównie podniesienie wartości żywieniowej produktu wzbogaczonego. Dodatek otręb stosowano do produkcji pieczywa, makaronów i przekąsek ekstrudowanych. Uzyskane produkty miały większą zawartość białka i błonnika, a także zachowały pożądaną jakość sensoryczną [Słowik 2016]. Połączenie różnych metod wstępnej obróbki otręb pszennych dało obiecujące wyniki w zakresie tworzenia modyfikowanych otręb pszennych o ulepszonym profilu odżywczym. Badania nad możliwościami zastosowania ich jako funkcjonalnego składnika żywności nadal pozostają otwartą perspektywą [Onipe i in. 2021]. Młóto browarniane jest największym ilościowo produktem ubocznym przemysłu piwowarskiego, a zatem jego waloryzacja i wykorzystanie są bardzo interesujące pod względem wdrażania zrównoważonego rozwoju. Obecnie sprzedawane jest głównie do produkcji pasz dla zwierząt. Jednakże ze względu na wysoką jakość białka i potencjał do szerokiej gamy zastosowań, w tym produkcji żywności (chleb, ciasteczka i produkty typu przekąski), wzrasta zainteresowanie ekstrakcją białek z tego surowca [Jaeger i in. 2021]. Celus in. [2007] wykazali, że hydrolizaty białka młóta browarnianego mają zwiększoną funkcjonalność, w tym rozpuszczalność, właściwości spieniające i emulgujące w porównaniu z białkiem niemodyfikowanym. Oleje roślinne zimnotłoczone zyskują coraz większe grono konsumentów z uwagi na ich wartość odżywczą oraz sposób ich pozyskiwania [Boskou 2017]. W procesie tłoczenia oleju na zimno powstaje produkt uboczny, czyli makuchy oleiste. Zawartość białka w produktach ubocznych olejów jadalnych tłoczonych na zimno (migdałowy, orzechowy, z pestek granatu i winogron) jest zróżnicowana i zależy od surowca oraz sposobu tłoczenia i wynosi od 9,38 do 49,05% [Karaman i in. 2015]. Białka rzepakowe odzyskiwane z makuchów rzepakowych (zawartość białka ok. 30%) mogą być naturalnym emulgatorem, wykazują działanie antyoksydacyjne [Östbring i in. 2020]. Białko pozyskane z makuchów oleistych (m.in. słonecznikowych) można stosować jako dodatki funkcjonalne lub składniki wysokobiałkowe w projektowaniu produktów spożywczych [Arrutia i in. 2020].

Podsumowanie

Projektowanie i rozwój produktów spożywczych, dodatków funkcjonalnych i preparatów białkowych opartych na białkach roślinnych, szczególnie pozyskanych z produktów ubocznych przetwórstwa surowców roślinnych (ziarna zbóż, nasiona), jest zintegrowanym działaniem rozwojowym przemysłu spożywczego. Takie podejście łączy kluczowe aspekty dla idei zrównoważonego rozwoju. Przyczynia się do: zmniejszenia presji na środowisko poprzez całkowite lub częściowe

włączenie do obiegu powstałych odpadów jako produktów ubocznych (aspekt środowiskowy), pozyskania wartościowych surowców zasobnych w białko, co jest wyrazem dbałości o jakość żywnościową i bezpieczeństwo żywnościowe (aspekt społeczny) oraz jest to korzystne rozwiązanie z punktu widzenia zarządzania zasobami, technologiami, dystrybucją (aspekt gospodarczy). Dynamiczny rozwój przemysłu spożywczego oraz realizacja celów zrównoważonego rozwoju stwarzają przestrzeń do poszukiwania innowacji produktowych i procesowych.

Bibliografia

- Anal A.K. (2017). Food processing by-products and their utilization: introduction [W:] Food processing by-products and their utilization, John Wiley & Sons Ltd., 1–10.
- Arrutia F., Binner E., Williams P., Waldron K.W. (2020). Oilseeds beyond oil: Press cakes and meals supplying global protein requirements. *Trends in Food Science & Technology*, 100, 88–102.
- Bilska B., Wrzosek M., Krajewski K., Kołożyn-Krajewska D. (2015). Zrównoważony rozwój sektora żywnościowego a ograniczenie strat i marnotrawstwa żywności. *Journal of Agribusiness and Rural Development*, 36(2), 171–179.
- Boczar P. (2018). Białko roślinne – źródła, koszty produkcji i jakość. *Zeszyty Naukowe SGGW w Warszawie. Problemy Rolnictwa Światowego*, 18(4), 122–132.
- Boskou D. (2017). Edible cold pressed oils and their biologically active components. *Journal of Experimental Food Chemistry*, 3(1), 1000108–1000109.
- Celus I., Brijis K., Delcour J.A. (2007). Enzymatic hydrolysis of brewers' spent grain proteins and technofunctional properties of the resulting hydrolysates. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 55(21), 8703–8710.
- Czyżyk F., Strzelczyk M. (2015). Racjonalne wykorzystanie pozostałości poprodukcyjnych sektora rolno-spożywczego. *Archiwum Gospodarki Odpadami i Ochrony Środowiska*, 17(3), 99–106.
- FAO. (2011). The State of Food Insecurity in the World. Addressing Food Insecurity in Protracted Crises. Vol. 2011.
- FAO. (2024). Agricultural production statistics 2010–2023. FAOSTAT Analytical Briefs, No. 96.
- Gajlewicz I., Lenartowicz-Klik M. (2022). Zrównoważony rozwój opakowań do żywności. *Przemysł Spożywczy*, 76(8), 66–71.
- Górecka D., Pospiech E. (red.) 2016. Zagospodarowanie ubocznych produktów przemysłu spożywczego. Wydział Nauk o Żywności i Żywieniu Uniwersytet Przyrodniczy w Poznaniu.
- Henchion M., Hayes M., Mullen A.M., Fenelon M., Tiwari B. (2017). Future protein supply and demand: strategies and factors influencing a sustainable equilibrium. *Foods*, 6(7), 53.
- Hicks T.M., Verbeek C.J.R. (2016). Protein-rich by-products: Production statistics, legislative restrictions, and management options. [In] *Protein byproducts*. Academic Press, 1–18.
- Jaeger A., Zannini E., Sahin A.W., Arendt E.K. (2021). Barley Protein Properties, Extraction and Applications, with a Focus on Brewers' Spent Grain Protein. *Foods*, 10(6), 1389.
- Jaskiewicz J. (2007). Rola białka w żywieniu człowieka. *Dietetyka. Oficjalne Czasopismo Polskiego Towarzystwa Dietetyki*, 1(1), 14–15.
- Karaman S., Karasu S., Tornuk F., Tokar O.S., Geçgel U., Sagdic O., Özcan N., Gül O. (2015). Recovery potential of cold press byproducts obtained from the edible oil industry: Physicochemical, bioactive, and antimicrobial properties. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 63(8), 2305–2313.
- Katana K. (2016). Istota jakości życia w koncepcji zrównoważonego rozwoju. *Zeszyty Naukowe. Organizacja i Zarządzanie/Politechnika Śląska*, 95, 175–187.

- Kawecka L., Galus S. (2021). Wytłoki owocowe – charakterystyka i możliwości zagospodarowania®. *Postępy Techniki Przetwórstwa Spożywczego*, 1, 156–167.
- Kondratowicz-Pozorska J. (2012). Globalizacja a idee zrównoważonego rozwoju. *Handel Wewnętrzny, nr specjalny (lipiec-sierpień)*. Tom 1. Trendy i wyzwania zrównoważonego rozwoju w XXI wieku, 111–119.
- Konsytuacja Rzeczypospolitej Polskiej. Tekst uchwalony 2 kwietnia 1997 r. przez Zgromadzenie Narodowe. Rozdział I, art. 5.
- Kwasek M., Kowalczyk S. (2023). Straty i marnotrawstwo żywności w aspekcie bezpieczeństwa żywnościowego. *Kwartalnik Nauk o Przedsiębiorstwie*, 68(2), 23–42.
- Łaba S., Łaba R., Szczepański K., Bilska B., Tomaszewska M., Tul-Krzyszczuk A., Kosicka-Gębska M., Kołożyn-Krajewska D. (2020). Próba oszacowania strat i marnotrawstwa żywności w Polsce. *Przemysł Spożywczy*, 74(11), 10–18.
- Michalczyk J. (2018). Zrównoważone łańcuchy dostaw żywności. Wybrane inicjatywy. *Prace Naukowe Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu*, (523), 221–241.
- Nowak O., Ciborska J., Modzelewska-Kapituła M. (2024). Roślinne substytuty produktów mięsnych. *Przemysł Spożywczy*, 78(7), 34–39.
- Onipe O.O., Ramashia S.E., Jideani A.I. (2021). Wheat bran modifications for enhanced nutrition and functionality in selected food products. *Molecules*, 26(13), 3918.
- Östbring K., Nilsson K., Ahlström C., Fridolfsson A., Rayner M. (2020). Emulsifying and Anti-Oxidative Properties of Proteins Extracted from Industrially Cold-Pressed Rapeseed Press-Cake. *Foods*, 9(5), 678.
- Pielak M. (2023). Produkty wegańskie – charakterystyka rynku i perspektywy rozwoju. *Nauki Inżynierskie i Technologie*, (39), 104–116.
- Rezolucja Zgromadzenia Ogólnego ONZ A/RES/70/1: Agenda na rzecz zrównoważonego rozwoju 2030 przyjęta przez Zgromadzenie Ogólne Organizacji Narodów Zjednoczonych w dniu 25 września 2015 r.
- Rezolucja Zgromadzenia Ogólnego ONZ A/RES/71/313: Prace Komisji Statystycznej dotyczące Agendy na rzecz zrównoważonego rozwoju 2030 przyjęta przez Zgromadzenie Ogólne Organizacji Narodów Zjednoczonych w dniu 6 lipca 2017 r.
- Rzoska A.A. (2022). Zrównoważona konsumpcja żywności funkcjonalnej a prozdrowotny styl życia. *Marketing i Rynek*, (8), 30–38.
- Słowik E. (2016). Otręby z różnych zbóż – wartość technologiczna i żywieniowa. *Przegląd Zbożowo-Młynarski*, 60(5), 29–32.
- Sikorska E., Samotyja U., Dankowska A., Pawlak-Lemańska K., Wójcicki K., Wold J. P. (2022). Zrównoważona żywność – jakość „Od pola do stołu”. *Przemysł Spożywczy*, 76(6), 15–18.
- Socas-Rodríguez B., Álvarez-Rivera G., Valdés A., Ibáñez E., Cifuentes A. (2021). Food by-products and food wastes: are they safe enough for their valorization? *Trends in Food Science & Technology*, 114, 133–147.
- Soloha R., Lukasa L.K., Dace E. (2025). Estimation and bio-valorisation of food industry by-products in Northern Europe. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 15(3), 4349–4370.
- Szyk A. (2020). Gospodarka o obiegu zamkniętym – zrównoważony rozwój w produkcji żywności. *Przemysł Spożywczy*, 74(12), 90–13.
- Szymańska I., Brzeski M., Żbikowska A. (2020). Gospodarka odpadami przemysłu spożywczego w Polsce ze szczególnym uwzględnieniem odpadów tłuszczowych. *Przemysł Spożywczy*, 74(8), 23–27.
- Topczewska J., Krupa S. (2022). Zrównoważona logistyka żywności a technologie przemysłu 4.0. *Polish Journal for Sustainable Development*, 26(1), 43–50.
- Ustawa z dnia 17 listopada 2021 r. o zmianie ustawy o odpadach oraz niektórych innych ustaw (Dz.U. 2021, poz. 2151).

- Wiśniewska M.Z. (2022). Ewolucja trendów i zagrożeń w konsumpcji żywności w świetle celów zrównoważonego rozwoju. *Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Ekonomicznego w Krakowie*, 995(1), 63–79.
- Zarebska J. (2017). Gospodarka o obiegu zamkniętym drogą do zrównoważonego rozwoju. *Systemy Wspomagania w Inżynierii Produkcji*, 6(7), 286–295.
- Zakrzewska B. (2019). Zrównoważony rozwój a jakość życia. *Autobusy – Technika, Eksploatacja, Systemy Transportowe*, 20(4), 38–41.
- Żary-Sikorska E. (2024). Odpady z przetwórstwa owoców i warzyw – charakterystyka problemu. *Infrastructure & Ecology of Rural Areas/Infrastruktura & Ekologia Terenów Wiejskich*, 19(1), 93–106.

Źródła internetowe

- https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Food_waste_and_food_waste_prevention_-_estimates#Amounts_of_food_waste_at_EU_level (dostęp: 5.05.2025)
- <https://encyklopedia.pwn.pl/haslo/rozwoj-zrownowazon;3969442.html> (dostęp: 5.05.2025)
- <https://encyklopedia.pwn.pl/szukaj/eurostat.html> (dostęp: 5.05.2025)
- <https://eur-lex.europa.eu/PL/legal-content/glossary/sustainable-development.html> (dostęp: 5.05.2025)
- <https://www.gov.pl/web/rozwoj-technologia/agenda-2030> (dostęp: 5.05.2025)
- <https://www.gov.pl/web/rozwoj-technologia/monitoring-realizacji-agendy-2030> (dostęp: 5.05.2025)
- <https://www.gov.pl/web/sdg-portal-wiedzy/monitorowanie-celow-zrownowazonego-rozwoju-w-polsce> (dostęp: 6.05.2025)
- <https://hlpf.un.org/home> (dostęp: 5.05.2025)
- <https://www.paih.gov.pl/inwestycje/sektory/spozywczy> (dostęp: 6.05.2025)
- <https://sdg.gov.pl/> (dostęp: 6.05.2025)
- <https://sdgs.un.org/2030agenda> (dostęp: 5.05.2025)
- <https://sdgs.un.org/goals> (dostęp: 5.05.2025)

Development of products based on plant proteins and their contribution in shaping the sustainable development of food production in Poland and worldwide

Abstract: Implementing the idea of Sustainable Development in the food industry requires identifying needs and directing actions towards achieving development goals based on care for the environment and the well-being of society. From the point of view of the 17 Sustainable Development Goals, the key issues are the management of raw material resources, waste generation, environmental impact, food waste and the growing demand for high-quality food. The growth of the world's population, diversified access to resources and attention to environmental protection contribute to conducting research and searching for new possibilities of using by-products from the food industry as a rational management of resources and food production.. The protein content of waste materials such as cereal bran, spent brewer's grain, and oilseed cake encourages their reintroduction into production processes and their use as by-products, creating opportunities for the development of new food products.

Tomasz Cebulak^{1,*}, Joanna Kaszuba¹, Greta Adamczyk¹,
Barbara Krochmal-Marczak²

FERMENTOWANE NAPOJE ROŚLINNE ELEMENTEM ZRÓWNOWAŻONEJ DIETY

Streszczenie: Współczesny model żywienia ulega ciągłym przemianom i w obecnie funkcjonującym dominują produkty odzwierzęce. Realistyczne podejście do tej problematyki, wynikające z postępu badań naukowych związanych z wpływem spożywanej żywności na stan zdrowia człowieka, podkreśla znaczącą rolę produktów roślinnych o wysokim potencjale biologicznym w prawidłowym żywieniu. Jednym z rodzajów tego typu produktów są roślinne napoje fermentowane na bazie ziaren zbóż, nasion strączkowych i orzechów, stanowiące obecnie alternatywę dla mlecznych produktów fermentowanych. Powstają głównie z udziałem bakterii fermentacji mlekowej (LAB) *Lactobacillus* i *Bifidobacterium*. Za korzyści zdrowotne wynikające z produktów fermentowanych uważa się głównie aktywność metaboliczną mikroorganizmów fermentujących lub ich biologicznie czynne metabolity, takie jak egzopolisacharydy (EPS) czy biologicznie aktywne peptydy (BAP) powstające na skutek oddziaływania mikroflore na rodzinne białka produktu. Napoje takie wykazują liczne korzyści prozdrowotne, w tym działanie przeciwcukrzycowe, obniżające poziom cholesterolu, przeciwutleniające oraz immunomodulujące.

Wprowadzenie

Kształtowanie postawy prozdrowotnej społeczeństw krajów rozwiniętych wiąże się z odpowiednio prowadzonymi programami w kierunku wzrostu społecznej świadomości dotyczącej wpływu odpowiedniego sposobu odżywiania oraz aktywności fizycznej na stan zdrowia. Wzrost świadomości społecznej otwiera możliwość projektowania i produkcji żywności o wysokich walorach żywieniowych i prozdrowotnych. Jednocześnie stało się powszechnie wiadome, że zachowanie zdrowia związane jest nie tylko z właściwym sposobem odżywiania, lecz także aktywnością fizyczną. Przestrzeganie tej zasady zmniejsza prawdopodobieństwo rozwoju chorób metabolicznych takich jak cukrzyca, nowotwory, choroby układu krążenia i układu pokarmowego. Zarówno dietetycy, jak i lekarze coraz częściej zwracają uwagę, że w codziennej diecie Europejczyka znajduje się zbyt dużo produktów odzwierzęcych, co w połączeniu z niską aktywnością

¹ Katedra Ogólnej Technologii Żywności i Żywienia Człowieka, Wydział Technologiczno-Przyrodniczy, Uniwersytet Rzeszowski, ul. Żelwerowicza 4, 35-601 Rzeszów.

² Zakład Produkcji i Bezpieczeństwa Żywności, Państwowa Akademia Nauk Stosowanych w Krośnie, ul. Rynek 1, 38-400 Krosno.

* tcebulak@ur.edu.pl

fizyczną może być przyczyną aktywacji mechanizmów chorób metabolicznych. W ostatnich latach popularna stała się żywność funkcjonalna, która oprócz typowej wartości odżywczej oferuje konsumentom dodatkowe korzyści zdrowotne, które znajdują potwierdzenie w wynikach badań naukowych. Jednym z tego typu produktów zyskujących coraz to większą popularność są roślinne napoje fermentowane na bazie bakterii kwasu mlekowego o działaniu probiotycznym [Renzo i Reale 2025]. Głównymi rodzajami probiotyków stosowanymi w matrycach spożywczych są drobnoustroje z rodziny *Lactobacillus* i *Bifidobacterium*. Najnowsze badania wskazują, że napoje na bazie zbóż, owoców, orzechów oraz roślin strączkowych mogą być nośnikami bakterii probiotycznych. Produkty te, w odróżnieniu od artykułów tradycyjnych, nie zawierają laktozy, która może być przyczyną nietolerancji pokarmowej. Fermentacja pozwala na modyfikację składu jakościowego i ilościowego produktów poddanych temu procesowi [Sharma i Mishra 2013]. Zaczodzą wówczas zmiany ilościowe i jakościowe składników odżywczych, tj. białek, tłuszczów i węglowodanów, prowadzące do zmiany smaku, aromatu czy tekstury fermentowanych produktów. Dodatkowo napoje takie wychodzą naprzeciw zapotrzebowaniu rynku na wegetariańskie alternatywy mlecznych napojów fermentowanych. Przygotowanie fermentowanych napojów roślinnych ma ogromny potencjał w aspekcie rozwoju nowego produktu funkcjonalnego. Jednak przed produkcją takich napojów roślinnych stoją poważne wyzwania związane z utrzymaniem trwałości kultur bakterii probiotycznych w wytworzonych produktach [Łopusiewicz i in. 2022].

W literaturze opisano badania dotyczące ekstraktów z soi, ryżu, kukurydzy, kokosa i orzechów ziemnych. Ostatnio również ze względów zdrowotnych związanych z zasobnością w składniki odżywcze i związki bioaktywne do badań zostały dołączone także ekstrakty na bazie innych zbóż i orzechów [Hidalgo-Fuentes i in. 2024]. Wartość zdrowotna i odżywcza niektórych roślinnych ekstraktów wynika z wysokiej zawartości białek, węglowodanów i lipidów. Poza tym różnorodność surowców roślinnych wiąże się z możliwością uzyskania różnych naturalnych smaków. Wady napojów roślinnych wynikają głównie z niskiej zawartości mikroelementów oraz białka o niższej wartości żywieniowej, wyjątkiem stanowią tu napoje sojowe, a także braku wszystkich aminokwasów egzogennych w optymalnych proporcjach wymaganych przez organizm ludzki w porównaniu z mlekiem. Większość napojów roślinnych charakteryzuje niższy poziom niezbędnych makroelementów, magnezu i potasu, jak również witamin [Mantzourani i in. 2024].

Technologia produkcji roślinnych napojów fermentowanych

Produkty fermentowane pochodzenia roślinnego są wytwarzane z nasion lub ziaren różnych roślin, takich jak kukurydza, jęczmień, proso, komosa ryżowa, owies, ryż, pszenica, soja, sorgo, kokos, sezam, żyto, konopie, jak również z orzechów

laskowych i migdałów. Do ich produkcji wykorzystuje się naturalne bakterie sa-profityczne występujące na powierzchni tych surowców lub stosuje się specjalnie dobrane kompozycje bakteryjnych kultur starterowych. Przykłady tradycyjnych produktów fermentowanych pochodzenia roślinnego to kwas chlebowy, boza, kile, taar, kaera, hulumur, kali i barsh [Mishra i in. 2024]. Drobnoustroje, takie jak *Lactobacillus confusus*, *Leuconostoc mesenteroides* i *Saccharomyces cerevisiae*, są często używane do fermentacji kilku napojów [Ojeda-Linares i in. 2021]. Roślinne napoje fermentowane dzielą się na produkty alkoholowe i bezalkoholowe.

Istnieje wiele różnych procesów produkcji fermentowanych napojów roślinnych, a wykorzystywana w nich technologia uzależniona jest od surowca [Fabbri i in. 2024]. Typowy proces ich produkcji rozpoczyna się od wyselekcjonowania i oczyszczenia surowca, a następnie jego zmielenia na mokro lub sucho i poddania go dynamicznej ekstrakcji wodnej, która niekiedy może być wspomagana działaniem pól elektromagnetycznych czy ultradźwięków [Renzo i Reale 2025, Morales-de la Peña i in. 2023]. Następnym etapem produkcji napojów fermentowanych jest separacja ciał stałych poprzez filtrację, formowanie produktu przy użyciu różnych dodatków i składników, homogenizacja, obróbka cieplna w celu dezaktywacji endogennych enzymów i obciążenia mikrobiologicznego. Niekiedy w celu poprawy właściwości sensorycznych wytworzony produkt poddaje się działaniu enzymów hydrolizujących [Verni i in. 2020] lub mikrofluidyzacji [Xu i in. 2024]. Tak przygotowaną mieszaninę zaszczenia się kulturami starterowymi i poddaje procesowi fermentacji w temperaturze zalecanej dla danej mieszanek bakterii mlekowych najczęściej od 28 do 32°C. W przypadku zbyt niskiej zawartości cukrów mieszaninę uzupełnia się ich dodatkiem [Miller i in. 2013]. Proces fermentacji w dużej mierze zależy od składu mieszanek fermentacyjnej, użytych kultur bakteryjnych i trwa od kilku do kilkunastu godzin [Hidalgo-Fuentes i in. 2024]. Aby ustabilizować wartość odżywczą fermentowanych napojów roślinnych, do kompozycji można dodać biologicznie aktywne składniki o działaniu przeciwutleniającym, co zwiększa odporność produktu na procesy utleniania. Wprowadzenie substancji bioaktywnych w formie mikroemulsji stabilizowanych mikrocelulozą poprawia właściwości reologiczne i przeciwutleniające napoju [Merenkova i in. 2022]. Po procesie fermentacji napoje przeznaczone do długotrwałego przechowywania poddaje się pasteryzacji i rozlewa, natomiast te, w których chce się utrzymać żywą mikroflorę, rozlewa się do opakowań bez procesu pasteryzacji. W badaniach kontrolowanej fermentacji przeprowadzonych przez Deziderio i współpracowników [2023] na 4% ekstraktach owsa, ryżu, migdałów, orzechów brazylijskich i soi zaszczeplonych kulturami *Streptococcus thermophilus*, *Lactobacillus acidophilus* LA-5® i *Bifidobacterium* BB-12, w porównaniu z równoległą fermentacją mleka pełnego UHT, wykazano, że średnia zawartość aktywnych szczepów bakterii probiotycznych była utrzymywana w mleku przez 14 dni, a w ekstraktach z migdałów, orzechów brazylijskich i nasion soi nawet przez 28 dni.

Bezpieczeństwo produkcji roślinnych napojów fermentowanych

Zagrożenia mikrobiologiczne

Rozwój mikroorganizmów w napojach alkoholowych i bezalkoholowych zależy od wielu czynników, w tym zewnętrznych i wewnętrznych. Czynniki wewnętrzne obejmują obecność środków przeciwdrobnoustrojowych, suplementów odżywczych, karbonatyzacji i kwasowości. Niemniej jednak warunki przechowywania, opakowanie, metoda produkcji, czystość zakładu produkcyjnego i surowce mają wpływ na jakość mikrobiologiczną gotowego produktu. Różne mikroorganizmy stanowią zanieczyszczenia napojów, ale niewiele z nich może występować w środowisku o niskiej zawartości tlenu i wysokiej kwasowości. Są to zwykle mikroorganizmy związane z psuciem się, procesem metabolicznym, który zmienia właściwości sensoryczne napojów do tego stopnia, że stają się one nieodpowiednie do spożycia przez ludzi, w tym szeroka gama bakterii, pleśni i drożdży [Laveffe i in. 2019]. Jednak bakterie mogą przystosować się do wysokich stężeń kwasu mlekowego i alkoholu etylowego obecnego w różnych produktach fermentowanych, a większość problemów związanych z bezpieczeństwem dotyczy bakterii chorobotwórczych, takich jak *Salmonella* spp. lub *Escherichia coli* O157:H7.

Pleśnie są naturalnie występującymi zanieczyszczeniami surowych owoców i powodują poważne pogorszenie jakości mikrobiologicznej soków owocowych [Mantzourani i in. 2024]. Grzybnia lub zarodniki pleśni mogą zainfekować produkt końcowy, produkt uboczny lub surowce służące do produkcji napojów fermentowanych. Pleśnie, które mogą wykazywać niekorzystny wpływ na jakość soków owocowych, to gatunki takie jak: *Acremonium*, *Alternaria*, *Aspergillus*, *Aureobasidium*, *Botrytis*, *Byssoschlamys*, *Cladosporium*, *Eupenicillium*, *Fonseceae*, *Fusarium*, *Geotrichum*, *Humicola*, *Monilia*, *Mucor*, *Neosartorya*, *Penicillium*, *Rhizopus* i *Talaromyces* [Avirvarei i in. 2023]. Drożdże są uważane za powszechne zanieczyszczenie napojów ze względu na ich wyjątkową odporność na duże nasycenie dwutlenkiem węgla powyżej 3,0 obj. i warunki kwaśne. Uznawane są za ważną grupę organizmów, które wywołują niekorzystne zmiany w napojach. Jedną z głównych przyczyn zanieczyszczenia nimi napojów bezalkoholowych jest wszechobecność populacji drożdży w surowcach. Występowanie różnych ich szczepów spowodowane jest różnorodnymi czynnikami, takimi jak nieodpowiednie praktyki rolnicze, wykorzystywane odmiany roślin oraz specyfika środowiska, w którym te drożdże występują. Szczepy *Cryptococcus*, *Rhodotulora* i *Sporobolomyces* są związane z nadziemnymi częściami roślin i owoców, podczas gdy *Candida*, *Debaryomyces* i *Pichia* dominują w owocach. Mykotoksyny są metabolitami wtórnymi grzybów strzępkowych, takich jak *Aspergillus*, *Fusarium*, *Penicillium* i *Alternaria* i występują powszechnie w łańcuchu pokarmowym [Niyigaba i in. 2025]. Rozpowszechnienie tych związków w produktach takich jak owoce, ziarna zbóż, warzywa, napoje i inne produkty rolne okazało się poważnym problemem dla zdrowia

ludzkiego ze względu na ich zdolność do wywoływania poważnych skutków toksycznych (rakotwórczych, genotoksycznych, teratogennych, nefro- i hepatotoksycznych) [Khan i in. 2024].

Aminy biogenne (BA) to związki zawierające azot o niskiej masie cząsteczkowej, powstające w reakcjach enzymatycznych, takich jak dekarboksylacja, transaminacja, aminacja redukcyjna i degradacja odpowiednich aminokwasów prekursorowych [Turna i in. 2024]. Można wśród nich wyróżnić związki o strukturze chemicznej, alifatycznej (kadaweryna, putrescyna, agmatyna, ornityna, spermidyna i spermina), aromatycznej (β -fenyloetyloamina i tyramina) lub heterocyklicznej (tryptamina i histamina) [Avîrvarei i in. 2023].

Kolejne zagrożenie stanowią pestycydy masowo stosowane w nowoczesnym rolnictwie, których obecność w fermentowanym surowcu zakłóca proces fermentacji. Równoległym zagrożeniem stały się metale ciężkie. Ich obecność może być wynikiem nawożenia nieatestowanymi nawozami fosforowymi i zanieczyszczenia środowiska przyrodniczego [Armenova i in. 2023]. Rosnącym problemem staje się również mikroplastik wszechobecny w środowisku [Avîrvarei i in. 2023]. Wśród często poruszanych wątków w publikacjach naukowych pozostaje kwestia zawartości w produktach spożywczych pleśni, dzikich drożdży, mykotoksyn, których głównym producentem jest grzyb *Penicillium expansum* i gatunki *Alternaria* wytwarzające mykotoksynę dibenzo-pironową określaną jako alternariol. Przewlekła ekspozycja na działanie zarodników pleśni może mieć działanie mutagenne, rakotwórcze, ksenoestrogenne i immunomodulujące. W celu ograniczenia powstawania i usuwania zanieczyszczeń wykorzystuje się enzymy mikrobiologiczne drożdży, bakterie i grzyby zdolne do detoksykacji mykotoksyn, jak również techniki chemiczne obejmujące stosowanie podchlorynu, amoniaku, ozonu czy nadtlenu wodoru. Mykotoksyny mogą być neutralizowane za pomocą adsorbentów chemicznych, takich jak kulki magnetyczne zakończone sulfhydrylem, magnetyczne nanorurki węglowe (Fe_3O_4 -MWCNT) i funkcjonalizowana propylotiolem krzemionka SBA-15. Gлина, cholesterymina, estryfikowany glukomannan, węgiel aktywny i inne zmodyfikowane polimery są wykorzystywane jako absorbenty i mogą absorbować mykotoksyny w środowisku ciekłym od 17 do 100%. Metody detoksykacji fizycznej opierają się na zastosowaniu absorpcji fizycznej, filtracji przez membrany mikroporowe, mikrofal, promieniowania UV, promieniowania gamma, obróbki termicznej, technologii światła pulsacyjnego (PL) i przetwarzania wysokociśnieniowego (HPP) [Owolabi i in. 2022].

Właściwości zdrowotne roślinnych napojów fermentowanych

Fermentacja jest starożytną praktyką stosowaną do dziś w wielu kulturach na całym świecie, od Azji po Europę i Bliski Wschód, w celu zachowania i zwiększenia wartości odżywczej żywności. Proces ten nie tylko zmienia smak, zapach

i konsystencję żywności, ale także poprawia jej strawność i profil odżywczy. Fermentacja przyczynia się do rozkładu złożonych węglowodanów i białek, zwiększa wchłanianie jelitowe składników odżywczych, witamin i minerałów, czyniąc je bardziej biodostępnymi. Dodatkowo obniża indeks glikemiczny żywności dzięki aktywności enzymów mikrobiologicznych, takich jak maltaza i α -amylaza, przekształcających skrobię w cukry proste, które są łatwo wchłaniane przez mikroorganizmy, co skutkuje niską zawartością węglowodanów w produkcie końcowym [Fabbri i in. 2024]. Za korzyści zdrowotne wynikające ze spożywania produktów fermentowanych uważa się głównie aktywność metaboliczną społeczności mikroorganizmów fermentujących lub ich biologicznie czynne metabolity. Zaobserwowano, że różne LAB (bakterie kwasu mlekowego) wytwarzają egzopolisacharydy (EPS) podczas fermentacji. Wytwarzane EPS wykazują różne korzyściami zdrowotne, w tym działanie przeciwcukrzycowe, obniżające poziom cholesterolu, przeciwutleniające i immunomodulujące [Ji i in. 2021].

Stwierdzono, że fermentacja napojów pochodzenia roślinnego przyczynia się do poprawy ich właściwości sensorycznych, składu odżywczego i profilu bioaktywnego. Właściwości takie przypisuje się głównie mikroorganizmom, które wykorzystują składniki odżywcze podczas wzrostu w matrycy napojów roślinnych, co prowadzi do zmian w ich składzie [Miller i in. 2013]. Ponadto ten proces biochemiczny może pomóc w eliminacji czynników antyodżywczych, co korzystnie wpływa na biodostępność składników odżywczych [Cardinali i in. 2021]. Podczas fermentacji enzymy i mikroorganizmy rozkładają złożone makrocząsteczki (tj. białka i węglowodany) obecne w matrycy roślinnej na prostsze formy [Alexandre i in. 2023]. Proces ten może prowadzić do poprawy strawności białek, ponieważ są one częściowo hydrolizowane do polipeptydów, oligopeptydów i wolnych aminokwasów, dzięki czemu są bardziej dostępne i łatwiejsze do wchłonięcia przez organizm. Ponadto skład aminokwasowy napojów roślinnych jest modyfikowany podczas fermentacji, ponieważ niektóre aminokwasy są syntetyzowane lub uwalniane z peptydów przez mikroorganizmy, co prowadzi do zmian w ogólnym profilu aminokwasowym, który może się różnić w zależności od początkowego składu białkowego specyficznej fermentowanej macierzy roślinnej i zaangażowanych enzymów mikrobiologicznych (np. proteinaz otoczki komórkowej i peptydaz wewnątrzkomórkowych).

Fermentacja może również zwiększyć biodostępność minerałów poprzez zmniejszenie obecności czynników antyodżywczych, takich jak między innymi kwas fitynowy, saponiny, skondensowane garbniki i inhibitory tripsyny, które mogą wiązać się z minerałami i utrudniać ich wchłanianie [Criste i in. 2023]. Niektóre bakterie kwasu mlekowego mogą metabolizować szczawiany, zmniejszając ich stężenie w końcowym produkcie fermentowanym. Innym powszechnym surowcem do produkcji roślinnych napojów fermentowanych są owoce i warzywa. Nowe badania dowiodły, że biotransformacja i biodostępność związków fenolowych podczas fermentacji bakterii kwasu mlekowego mogą być podwyższone

[Abdi i in. 2025]. W badaniach Mantzourani i współpracowników [2024] przeprowadzonych na dwóch mieszankach soków, pierwsza na bazie 4 soków, druga na bazie 9 soków zageszczonych, zaszczipionych szczepami probiotycznymi *Lactiplantibacillus paracasei* SP5 i *Pediococcus pentosaceus* SP2 i poddanych 48-godzinnej fermentacji wykazano, że zwiększyła się aktywność antyoksydacyjna wyrażona wynikami testów DPPH i ABTS, jak również wzrosła zawartość karotenoidów (zeaksantyny i luteiny) w tych mieszankach. Podczas fermentacji zmieniły się proporcje kwasów organicznych, zmniejszyła się zawartość kwasu jabłkowego, a zwiększyła kwasów mlekowego i cytrynowego. Proces fermentacji wpłynął również na zmianę profilu polifenoli [Merenkova i in. 2022, Fabbri i in. 2024].

Obecnie jednym z ważniejszych składników napojów fermentowanych jest obecność w nich biologicznie aktywnych peptydów (BAP). BAP to peptydy składające się z 2 do 20 aminokwasów pochodzących z białek prekursorowych w wyniku procesu aktywacji obejmującego wiele reakcji, takich jak hydroliza chemiczna, hydroliza enzymatyczna katalizowana przez enzymy proteolityczne lub fermentacja mikrobiologiczna prowadzona przez bakterie proteolityczne [Fei Chai i in. 2020]. Potencjał prozdrowotny BAP zarówno pochodzenia roślinnego, jak i zwierzęcego został uznany i powiązany z kilkoma użytecznymi aktywnościami biologicznymi, w tym przeciwnadciśnieniowymi, przeciwutleniającymi, przeciwbakteryjnymi i przeciwzapalnymi [Abdi i in. 2025]. Najczęściej badanymi BAP są te obecne w mleku i produktach mlecznych, nasionach roślin strączkowych, zbożach, mięsie i rybach. Ze względu na ich obiecujące właściwości badania skupiły się na przewyciężeniu wyzwań związanych z produkcją i dostarczaniem BAP. Rzeczywiście fermentacja często skutkuje niską zawartością BAP, którą można zwiększyć poprzez modulację parametrów fizykochemicznych, takich jak czas, temperatura i pH, oraz zastosowanie nowych zielonych technologii. Co więcej, stabilność i biodostępność BAP w systemach biologicznych można zwiększyć dzięki strategiom enkapsulacji i procesom fizykochemicznym [Fei Chai i in. 2020]. Bakterie kwasu mlekowego (LAB) i niektóre grzyby, takie jak *Aspergillus oryzae*, odgrywają kluczową rolę w tym procesie biosyntezy. Najczęściej stosowanymi LAB ze względu na ich skuteczność w wytwarzaniu BAP są *Lactobacillus helveticus*, *Lactobacillus delbrueckii* ssp. *bulgaricus*, *Lactococcus lactis* ssp. *diacetylactis*, *L. lactis* ssp. *cremoris* i *Streptococcus salivarius* ssp. *Thermophilus*. Oprócz LAB znaczącą rolę w produkcji BAP odgrywają inne mikroorganizmy, takie jak gatunki *Bacillus* i niektóre grzyby. Na przykład *Bacillus subtilis* i *Bacillus licheniformis* są znane ze swojej silnej aktywności proteolitycznej, która pozwala im hydrolizować białka do bioaktywnych peptydów [Fabbri i in. 2024]. Grzyby, takie jak między innymi *Aspergillus oryzae*, *Candida lipolytica*, *Saccharomyces cerevisiae* i *Rhizopus oligosporus*, są również szeroko stosowane w produkcji BAP ze względu na różnorodność enzymów, w tym proteaz, zdolnych do rozkładania określonych typów białek pochodzenia roślinnego i zwierzęcego [Chourasia i in. 2023].

Badania wskazują na potencjał fermentowanych produktów zbożowych w poprawie zdrowia człowieka. Ziarna zbóż są wykorzystywane do tworzenia nowej żywności i składników ze względu na wysoką zawartość białka (10–15%), co czyni je odpowiednim substratem do fermentacji probiotycznej. Białka zbóż rozkładane są przez enzymy mikrobiologiczne podczas fermentacji i tworzą BAP [Takayama Arbach i in. 2021]. Ziarno ryżu poddane procesom fermentacji zawierało BAP, które zapobiegały zmianom neurogeneratywnym mózgu myszy poprzez regulację w górę poziomu neurotroficznego czynnika pochodzenia mózgowego [Tian i in. 2022]. Fermentacja ziarna owsa przez wybrane drobnoustroje *L. plantarum* i *Rhizopus oryzae* wiązała się ze wzrostem poziomu BAP w porównaniu do owsa niefermentowanego, przy jednocześnie wyższej aktywności hamującej ACE-I, co wiązać się może z działaniem przeciwnadciśnieniowym [Corpusz i in. 2019]. Dodatkowo produkty na bazie nasion pseudozbóż również zyskują lepsze właściwości po poddaniu ich fermentacji. Podobnie fermentacja nasion amarantusa przy użyciu 40 szczepów z gatunku *Lactobacillus* jako starterów w temperaturze 30°C przez 16 godzin może potencjalnie prowadzić do produkcji zapobiegającego nowotworom peptydu lunazyny [Wu i in. 2018].

Cenne właściwości fermentowanych produktów spożywczych, jak ich korzystne działanie na mikrobiotę jelitową, zostały opublikowane w pracy Vila-Real i współpracowników [2025], gdzie badano wpływ fermentowanego napoju roślinnego na bazie prosa palcowego z udziałem szczepów *Weissella confusa* 2LABPT05 i *Lactiplantibacillus plantarum* 299v na poziom krótkołańcuchowych kwasów tłuszczowych, octowych, propionowych i masłowych, których to poziom zwiększył się 6 godzin po spożyciu, wykazując przy tym potencjał przeciwcukrzycowy [Knez i in. 2023, Renzo i Reale 2025].

Znaczenie roślinnych napojów fermentowanych w zrównoważonej diecie

Od ponad dekady obserwujemy dynamicznie zmieniającą się matrycę żywienia. Przyjęty model żywnościowy ewoluje wraz ze zmianami społeczno-środowiskowymi i dokonaniem na gruncie badań medycznych, biologicznych i środowiskowych. Wzrost liczby chorób chronicznych niezakaźnych stawia pod znakiem zapytania obecny model żywienia, w którym filarem są produkty odzwierzęce. Tym bardziej, że w ostatnich latach znacznie wzrosło obciążenie środowiska produkcją żywności, dlatego też obecnie poszukuje się modelu żywienia, który zabezpieczałby i utrzymywał dobry stan zdrowia społeczeństwa [Rachtan-Janicka i in. 2025]. Napoje roślinne można uznać za część zrównoważonego systemu żywnościowego, ponieważ wymagają mniejszego wykorzystania zasobów (np. wody i ziemi) i generują mniejszy ślad węglowy w porównaniu z produkcją mleka krowiego. Szacuje się, że średni ślad węglowy produkcji mleka

wynosi około 3,2 kg ekwiwalentu CO₂ na litr wyprodukowanego mleka, podczas gdy ślad węglowy różnych napojów roślinnych waha się od 0,7 do 1,2 kg ekwiwalentu CO₂ na litr wyprodukowanego napoju [Abbaspour 2024].

Wartość odżywcza napojów roślinnych różni się w zależności od użytego surowca i zastosowanych procesów technologicznych. Napoje wytwarzane z nasion roślin strączkowych (soja, groch) mają stosunkowo wysoką zawartość białka z dobrym składem aminokwasowym. Ponadto nasiona roślin strączkowych i innych dwuliściennych są bogate w pektyny i ksylany, podczas gdy nasiona zbóż i innych roślin jednoliściennych są ubogie w pektyny, ale zawierają arabinoksy-lan i/lub beta-glukan. Ziarno owsa jest szczególnie bogate w β-glukan, który jest rozpuszczalnym błonnikiem zwiększającym lepkość roztworu. β-glukan może opóźniać czas opróżniania żołądka i wydłużać czas pasażu żołądkowo-jelitowego, co wiąże się z niższym poziomem glukozy we krwi i, jak wykazano, przyczynia się do hipocholesterolemii. Migdały z kolei są bogate w alfa-tokoferol i mangan. Alfa-tokoferol jest funkcjonalnie aktywnym składnikiem witaminy E i silnym przeciwutleniaczem. Napoje roślinne mogą również zawierać korzystne związki bioaktywne, w tym flawonoidy, kwasy fenolowe, lignany. Jednakże napoje roślinne jako alternatywa dla produktów mlecznych są stosunkowo nowym konceptem i istnieje znacznie mniej długoterminowych badań nad ich wpływem na zdrowie niż dotyczących mleka i produktów mlecznych [Rachtan-Janicka i in. 2025].

Obecnie popularność zyskuje holistyczny model żywienia, którego podstawą są strategie łączące promocję zdrowia fizycznego i psychicznego [Hadla 2024]. Zbilansowana dieta zasobna w składniki biologicznie aktywne i regularna aktywność fizyczna są pozytywnymi elementami utrwalającymi zachowania prozdrowotne [Raubenheimer i in. 2022]. Tym bardziej, że dokonania nauki wyraźnie wskazują, iż zbyt wysokie spożycie białka, niskie spożycie błonnika pokarmowego w powiązaniu z niską i nieregularną aktywnością fizyczną przyczynia się do zakwaszenia organizmu. Taki stan promuje stany zapalne w organizmie, które to z kolei są zaczątkiem rozwoju szeregu chorób metabolicznych [Kumanyika i in. 2020]. Skierowanie uwagi w stronę produktów roślinnych także wiąże się z pewnymi wyzwaniem będącymi skutkiem niższej jakości odżywczej artykułów roślinnych, co jest wynikiem obecności w nich składników antyodżywczych i niższej jakości biologicznej białka. Jednak postęp w badaniach dokonanych w przestrzeni żywieniowo-technologicznej pozwala na tworzenie produktów, które niwelują wcześniej wspomniane ograniczenia. Jedną z grup roślinnych produktów żywnościowych wpisujących się w ten trend są fermentowane napoje na bazie nasion zbóż, orzechów oraz owoców i warzyw. Produkty te odpowiednio skomponowane i poddane kontrolowanemu działaniu mikroorganizmów pozwalają na tworzenie nowej żywności o wysokim potencjale odżywczym, będącym wynikiem wysokiej zasobności BAP, i potwierdzonym działaniem prozdrowotnym, co doskonale wpisuje się w ideę zrównoważonej diety [Rachtan-Janicka i in. 2025].

Kolejnym wyróżnikiem, dzięki któremu sfermentowana żywność jest uważana za potencjalnie korzystną dla zdrowia, jest zmiana profili odżywczych i bioaktywnych poprzez modulację aktywności enzymatycznej i mikrobiologicznej. Zmniejszenie zawartości amin biogennych i kwasu fitynowego to korzystne rezultaty procesu fermentacji. Co więcej, fermentacja na zakwasie może zmniejszyć ilość fermentujących oligosacharydów, disacharydów, cukrów prostych i poliooli (FODMAP) w produkcji, co z kolei może skutkować poprawą zdrowia układu pokarmowego. Badania epidemiologiczne wykazały pozytywny związek między spożyciem fermentowanych produktów mlecznych a ryzykiem cukrzycy typu 2, nadciśnienia, osteoporozy i zespołu jelita drażliwego [Hadla 2024].

Badania nad osią jelitowo-mózgową podkreślają związek między mikrobiomem jelitowym a zdrowiem psychicznym [Vila-Real i in. 2025]. Mikrobiom, złożona społeczność mikroorganizmów znajdujących się w przewodzie pokarmowym, wytwarza różne neuroprzekazniki, które mogą wpływać na nastrój i poziom lęku. Dieta bogata w błonnik prebiotyczny znajdujący się w owocach, warzywach i produktach pełnoziarnistych odżywia pożyteczne bakterie jelitowe, podczas gdy pokarmy probiotyczne, takie jak jogurt i produkty fermentowane, wprowadzają żywe pożyteczne bakterie do jelit [Mantzourani i in. 2024]. Wybory dietetyczne wspierające zdrowy mikrobiom jelitowy mogą potencjalnie przyczynić się do poprawy zdrowia psychicznego. I odwrotnie, diety bogate w przetworzoną żywność i rafinowane cukry mogą zaburzać mikrobiom i prowadzić do stanu zapalnego i zwiększonego ryzyka zaburzeń zdrowia psychicznego. Dlatego priorytetowe traktowanie zdrowia jelit poprzez wybory żywieniowe jest istotnym aspektem wspierania zdrowia psychicznego i emocjonalnego [Chang de Pinho i in. 2024].

Podsumowanie

Produkty fermentacji mlekowej zazwyczaj kojarzone są z artykułami mlecznymi, ale jak wskazują najnowsze badania, bakterie kwasu mlekowego mogą być również wykorzystywane do produkcji analogów produktów fermentowanych na bazie orzechów, nasion zbóż i roślin strączkowych. Procesy fermentacji mlekowej pozwalają na znaczną redukcję związków antyodżywczych przy jednoczesnym zwiększeniu poziomu strawności białek. Dlatego też artykuły na bazie fermentowanych ziaren zbóż i roślin strączkowych mogą stanowić alternatywę dla mlecznych produktów fermentowanych głównie dla osób uczulonych na białko mleka i laktozę. Dodatkowo napoje te zawierać mogą związki o działaniu prozdrowotnym, np. błonnik pokarmowy, jak również związki bioaktywne, w tym flawonoidy, kwasy fenolowe, lignany. Połączenie technologii i zdobyczy wiedzy ostatnich lat pozwala na tworzenie roślinnych produktów fermentowanych mających korzystny wpływ na zdrowie konsumenta.

Bibliografia

- Abbaspour N. (2024). Fermentation's pivotal role in shaping the future of plant-based foods: An integrative review of fermentation processes and their impact on sensory and health benefits. *Applied Food Research*, 4, 100468.
- Abdi A., Gatri M., Filannino P., M'Hir S., Ayed L. (2025). Formulation Design and Functional Characterization of a Novel Fermented Beverage with Antioxidant, Anti-Inflammatory and Antibacterial Properties. *Beverages*, 11, 27.
- Alexandre E.M.C., Aguiar N.F.B., Voss G.B., Pintado M.E. (2023). Properties of Fermented Beverages from Food Wastes/By-Products. *Beverages*, 9, 45.
- Armenova N., Tsigoriyna L., Arsow A., Pietrov K., Pietrova P. (2023). Microbial Detoxification of Residual Pesticides in Fermented Foods: Current Status and Prospects. *Foods*, 12, 6, 1163.
- Avîrvarei A.C., Salant L.C., Pop C.R., Mudura E., Pasqualone A., Anjos O., Barboza N., Usaga J., Dărab C.P., Burja-Udrea C., Zhao H., Fărcaș A.C., Coldea T.E. (2023). Fruit-Based Fermented Beverages: Contamination Sources and Emerging Technologies Applied to Assure Their Safety. *Foods*, 12, 838.
- Awira A.C., Salanță L.C., Pop C.R., Mudura E., Pasqualone A., Anjos O., Barboza N., Jessie Usaga J., Dărab C.P., Burja-Udrea C., Zhao H., Farcaș A.C., Coldea T.E. (2023). Fruit-Based Fermented Beverages: Contamination Sources and Emerging Technologies Applied to Assure Their Safety. *Foods*, 12, 4, 838.
- Cardinali F., Osimani A., Milanovi' V., Garofalo C., Aquilanti L. (2021). Innovative Fermented Beverages Made with Red Rice, Barley, and Buckwheat. *Foods*, 10, 613.
- Chang de Pinho I., Giorelli G., Oliveira Toledo D. (2024). A narrative review examining the relationship between mental health, physical activity, and nutrition. *Discover Psychology* 4:162.
- Chourasia R., Chiring Phukon L., Abedin M., Padhi S., Singh S.P., Kumar Rai A. (2023). Bioactive peptides in fermented foods and their application: a critical review. *Systems Microbiology and Biomanufacturing*, 3, 88–109.
- Corpus H.M., Fujii H., Nakamura S., Katayama S. (2019) Fermented Rice Peptides Attenuate Scopolamine-Induced Memory Impairment in Mice by Regulating Neurotrophic Signaling Pathways in the Hippocampus. *Brain Res.*, 1720, 146322.
- Criste A.D., Urcan A.C., coroiian C.O., Coplovici L., Coplovici D.A., Burtescu R., Oláh N.K. (2023). Plant-Based Beverages from Germinated and Ungerminated Seeds, as a Source of Probiotics, and Bioactive Compounds with Health Benefits—Part 1: Legumes. *Agriculture*, 13, 1185.
- Deziderio M.A., Fernandes de Souza H., Setsuko Kamimura E., Rodrigues Petrus R. (2023) Plant-Based Fermented Beverages: Development and Characterization. *Foods*, 12, 4128.
- Fabbri L.P., Cavallero A., Vidotto F., Gabriele M. (2024). Bioactive Peptides from Fermented Foods: Production Approaches, Sources, and Potential Health Benefits. *Foods*, 13, 3369.
- Fei Chai K., Ying Hui Voo A., Ning Chen W. (2020). Bioactive peptides from food fermentation: A comprehensive review of their sources, bioactivities, applications, and future development. *Compr. Rev. Food Sci. Food Saf.*, 19, 3825–3885.
- Hadla M. (2024). Nutrition. Exercise, and energy balance: A comprehensive guide. *Clin. Nutr. Hosp. Diet.*, 44, (1), 01–02.
- Hidalgo-Fuentes B., Jesús-José E., Cabrera-Hidalgo A.J., Sandoval-Castilla O., Espinosa-Solares T., González-Reza R.M., Zambrano-Zaragoza M.L., Liceaga A.M., Aguilar-Toalá J.E. (2024). Plant-Based Fermented Beverages: Nutritional Composition, Sensory Properties, and Health Benefits. *Foods*, 13, 844.
- Ji D., Ma J., Xu M., Agyei D. (2021). Cell-envelope Proteinases from Lactic Acid Bacteria: Biochemical Features and Biotechnological Applications. *Compr. Rev. Food Sci. Food Saf.*, 20, 369–400.

- Karwowska K.K., Kaczmarczyk D. (2023). Rola i znaczenie produktów fermentowanych w diecie. *Med. Og. Nauki Zdr.*, 29 (2), 79–88.
- Knez E., Kadac-Czapska K., Grembecka M. (2023). Fermented Vegetables and Legumes vs. Life-style Diseases: Microbiota and More. *Life*, 13, 1044.
- Khan R., Anwar F., Mohamad Ghazali F. (2024). A comprehensive review of mycotoxins: Toxicology, detection, and effective mitigation approaches. *Heliyon*, 10, e28361.
- Kumanyika S., Afshin A., Arimond M., Lawrence M., McNaughton S.A., Nishida Ch. (2020). Approaches to Defining Healthy Diets: A Background Paper for the International Expert Consultation on Sustainable Healthy Diets. *Food and Nutrition Bulletin*, 4(2s), 7–30.
- Lavefve L., Marasini D., Carbonero F. (2019). Microbial Ecology of Fermented Vegetables and Non-Alcoholic Drinks and Current Knowledge on Their Impact on Human Health. *Advances in Food and Nutrition Research*, 87, 147–185.
- Łopusiewicz Ł., Kwiatkowski P., Drożdowska E. (2022). Production and Characterization of Yogurt-Like Fermented Beverage Based on Camelina (*Camelina sativa* L.) Seed Press Cake. *Appl. Sci.*, 12, 1085.
- Mantzourani I., Nikolaou A., Kourkoutas Y., Alexopoulos A., Dasenaki M., Mastrotheodoraki A., Proestos Ch., Thomaidis N., Plessas S. (2024). Chemical Profile Characterization of Fruit and Vegetable Juices after Fermentation with Probiotic Strains. *Foods*, 13, 1136.
- Merenkova S., Zinina O., Potoroko I. (2022). Fermented Plant Beverages Stabilized with Micro-emulsion: Confirmation of Probiotic Properties and Antioxidant Activity. *Fermentation*, 8, 723.
- Miller S.A., Ikeda D.M., Weinert E., Jr., Chang K.C.S., McGinn J.M., Kelihoomalu Ch., DuPont M.W. (2013). Natural Farming: Fermented Plant Juice. *Sustainable Agriculture*, SA-7 – Aug.
- Mishra T. Machireddy J. Vuppu S. (2024). Comprehensive Study on Hygiene and Quality Assessment Practices in the Production of Drinkable Dairy-Based and Plant-Based Fermented Products. *Fermentation*, 10, 489.
- Morales-de la Peña M., Miranda-Mejía G.A., Martín-Belloso O. (2023). Recent Trends in Fermented Beverages Processing: The Use of Emerging Technologies. *Beverages*, 9, 51.
- Niyigaba T., Küçükğöz K., Kołożyn-Krajewska D., Królikowski T., Trzaskowska M. (2025). Advances in Fermentation Technology: A Focus on Health and Safety. *Appl. Sci.*, 15, (6), 3001.
- Ojeda-Linares C., Álvarez-Ríos G.D., Figueredo-Urbina C.J., Islas L.A., Lappe-Oliveras P., Nabhan G.P., Torres-García I., Vallejo M., Casas A. (2021) Traditional Fermented Beverages of Mexico: A Biocultural Unseen Foodscape. *Foods*, 10, 2390.
- Owolabi I.O., Kolawole O., Jantarabut P., Elliott Ch.T., Petchkongkaew A. (2022). The importance and mitigation of mycotoxins and plant toxins in Southeast Asian fermented foods. *npj Science of Food*, 6, 39.
- Rachtan-Janicka J., Gajewska D., Szajewska H., Włodarek D., Weker H., Wolnicka K., Wiśniewska K., Socha P., Hamulka J. (2025). The Role of Plant-Based Beverages in Nutrition: An Expert Opinion. *Nutrients*, 17, (9), 1562.
- Raubenheimer D., Seniot A.M., Mirth Ch., Cui Z., Hou R., Le Couteur D.G., Solon-Biet S.M., Le'opold P., Simpson S.J. (2022). An integrative approach to dietary balance across the life course. *iScience*, 25, 104315.
- Renzo T.D., Reale A. (2025). Process Optimization and Quality Improvement of Fermented Foods and Beverages. *Foods*, 14, 1238.
- Sharma V., Mishra H.N. (2013). Fermentation of vegetable juice mixture by probiotic lactic acid bacteria. *Nutrafoods* 12, 17–22.
- Takayame Arbach C.T., Almedia Alves I.A., Russo Serafini M.R., Stephani R., Tuler Perrone I., Carvalho da Costa J. (2021). Recent patent applications in beverages enriched with plant proteins. *Science of Food*, 5, 28.

- Tian F., Woo S.Y., Lee S.Y., Park S.B., Im J.H., Chun H.S. (2022). Mycotoxins in Soybean-based Foods Fermented with Filamentous Fungi: Occurrence and Preventive Strategies. *Compr. Rev. Food Sci. Food Saf.*, 21, 5131–5152.
- Turna N.S., Chung R., McIntyre L. (2024). A review of biogenic amines in fermented foods: Occurrence and health effects. *Heliyon*, 10, e24501.
- Verni M., Demarinis Ch., Rizzello C.G., Baruzzi F. (2020). Design and Characterization of a Novel Fermented Beverage from Lentil Grains. *Foods*, 9, 893.
- Vila-Real C., Costa C., Pimenta-Martins A., Mbugua S., Hagrétou S.L., Katina K., Maina N.H., Pinto E., Gomes A.M.P. (2025). Novel Fermented Plant-Based Functional Beverage: Biological Potential and Impact on the Human Gut Microbiota. *Foods*, 14, 433.
- Wu H., Rui X., Li W., Xiao Y., Zhou J., Dong M. (2018). Whole-Grain Oats (*Avena sativa* L.) as a Carrier of Lactic Acid Bacteria and a Supplement Rich in Angiotensin I-Converting Enzyme Inhibitory Peptides through Solid-State Fermentation. *Food Funct.*, 9, 2270–2281.
- Xu J., Fan X., Xu X., Deng D., Yang L., Song H., Liu H. (2024). Microfluidization improved hempseed yogurt's physicochemical and storage properties. *J. Sci. Food. Agric.*, 104, 2252–2261.

Fermented plant-based beverages as a component of a sustainable diet

Abstract: The modern model of nutrition is constantly being rebuilt, currently the functioning nutritional model is dominated by animal products. A realistic approach to this subject—driven by scientific advances regarding the impact of diet on human health—highlights the significant role of plant-based products with high biological potential in proper nutrition. One such category comprises fermented plant-based beverages made from cereal grains, legumes, and nuts, which currently serve as an alternative to fermented dairy products. They are mainly based on lactic acid bacteria *Lactobacillus* and *Bifidobacterium*. The health benefits of fermented products are mainly considered to be the metabolic activity of the fermenting microorganism community or their biologically active metabolites, such as exopolysaccharides (EPS) or biologically active peptides (BAP) formed as a result of the impact of the microflora on the native proteins of the product. Such drinks have numerous health benefits, including antidiabetic, cholesterol-lowering, antioxidant and immunomodulatory effects.

Marek Zborowski^{1,*}, Anna Mikulec²

WYKORZYSTANIE OWADÓW JADALNYCH W PRODUKCJI ŻYWNOSCI

Streszczenie: W obliczu rosnącej populacji światowej oraz nasilającej się presji na zasoby naturalne owady jadalne zyskują na znaczeniu jako alternatywne, zrównoważone źródło białka. Artykuł omawia wieloaspektowe uwarunkowania wykorzystania owadów w produkcji żywności – od potencjału środowiskowego i odżywczego po wyzwania prawne, mikrobiologiczne oraz społeczne. Owady charakteryzują się wysoką wartością odżywczą, efektywnym wykorzystaniem paszy, niską emisją gazów cieplarnianych i ograniczonym zużyciem wody. Zawierają pełnowartościowe białko, korzystne kwasy tłuszczowe, witaminy oraz minerały. Włączenie owadów do diety może przyczynić się do poprawy bezpieczeństwa żywnościowego i zdrowia publicznego. Jednocześnie istotne są kwestie akceptacji społecznej i barier psychologicznych, w tym neofobii żywieniowej. Omówiono także aktualne regulacje prawne obowiązujące w Unii Europejskiej oraz przykłady praktycznego zastosowania owadów w różnych sektorach przemysłu spożywczego, takich jak piekarstwo, cukiernictwo, produkcja makaronów, wyrobów mięsnych i nabiału. Artykuł podkreśla potrzebę dalszych badań nad technologią przetwarzania owadów, ich bezpieczeństwem zdrowotnym oraz strategii zwiększania akceptowalności konsumenckiej.

Wprowadzenie

Kwestia bezpieczeństwa żywnościowego stała się kluczowym wyzwaniem o znaczeniu globalnym, skłaniając do refleksji nad wielowymiarową naturą systemów żywnościowych, obejmującą czynniki ekonomiczne, społeczne, kulturowe oraz polityczne [Omuse i in. 2024]. Przewiduje się, że do 2050 r. globalna populacja osiągnie 9,8 miliarda ludzi [ONZ 2017]. Wraz ze wzrostem liczby ludności znacząco wzrośnie globalne zapotrzebowanie na żywność. Według szacunków Światowej Organizacji Zdrowia może ono zwiększyć się od 59% do nawet 98%. [WHO 2021]. Nowsze badania wskazują jednak na zróżnicowane prognozy. W zależności od scenariusza rozwoju społeczno-gospodarczego oraz zmian klimatycznych globalne zapotrzebowanie na żywność może wzrosnąć od 35% do 56% do roku 2050 [van Dijk i in. 2021]. Dynamiczny wzrost zapotrzebowania na żywność będzie wywierał coraz silniejszą presję na ograniczone zasoby naturalne,

¹ Katedra Dietetyki, Wydział Lekarski i Nauk o Zdrowiu, Akademia Nauk Stosowanych w Nowym Sączu, ul. Kościuszki 2G, 33-300 Nowy Sącz.

² Katedra Zarządzania i Inżynierii Produkcji, Wydział Nauk Inżynierskich, Akademia Nauk Stosowanych w Nowym Sączu, ul. Staszica 1, 33-300 Nowy Sącz.

* mzborowski@ans-ns.edu.pl

takie jak woda i gleba, co budzi poważne wątpliwości w aspekcie możliwości utrzymania zrównoważonego rozwoju obecnych modeli rolnictwa. Dodatkowo negatywne skutki zmian klimatycznych – w tym degradacja gleb, zmienność opadów atmosferycznych oraz ekspansja szkodników – jeszcze bardziej osłabiają wydajność produkcji rolnej. Co więcej, globalny system żywnościowy odpowiada za znaczną emisję dwutlenku węgla, co może znacząco utrudnić realizację celów klimatycznych zakładających ograniczenie wzrostu średniej temperatury do poziomu 1,5°C lub maksymalnie 2°C [Clark i in. 2020]. Wobec tych wyzwań konieczne staje się szybkie wdrożenie nowych, zrównoważonych, a zarazem sprawiedliwych systemów żywnościowych wspieranych przez odpowiednie strategie polityczne, które będą sprzyjać poprawie zdrowia i jakości życia ludzi na całym świecie. Alternatywą dla białek pochodzących z tradycyjnej produkcji zwierzęcej i roślinnej są białka pozyskiwane z owadów jadalnych [Huis 2016].

Zgodnie z danymi FAO wykorzystanie owadów jako składnika żywności zyskuje na znaczeniu w XXI w. głównie w kontekście rosnących kosztów produkcji białka zwierzęcego, pogłębiającego się problemu braku bezpieczeństwa żywnościowego, nasilającej się presji środowiskowej, dynamicznego przyrostu ludności oraz wzrastającego zapotrzebowania na białko wśród rozwijającej się klasy średniej. W związku z tym pojawia się pilna potrzeba poszukiwania alternatywnych jego źródeł, które mogłyby częściowo zastąpić tradycyjną hodowlę zwierząt. Spożycie owadów stanowi w tym kontekście korzystne rozwiązanie przyczyniające się do ochrony środowiska, poprawy zdrowia oraz zapewnienia źródeł utrzymania. FAO podkreśla również, że owady stanowią wartościowy i pełnowartościowy składnik diety bogaty w tłuszcze, białko, witaminy, błonnik oraz składniki mineralne. Tym samym mogą stanowić atrakcyjną alternatywę dla konwencjonalnych źródeł białka wspierającą proces przechodzenia na bardziej zdrową i zrównoważoną dietę [Huis van i in. 2013]. Owady jadalne jako alternatywne źródło białka dla tradycyjnej żywności dla ludzi oraz paszy dla zwierząt są interesujące pod względem niskiej emisji gazów cieplarnianych, wysokiej wydajności przetwarzania, niskiego wykorzystania gruntów i zdolności do przekształcania niskowartościowych organicznych strumieni ubocznych w wysokowartościowe produkty białkowe [Huis van 2016, Kowalski i in. 2023]. Alternatywą dla tego rodzaju białka mogą być również analogi roślinne które strukturą przypominają mięso oraz charakteryzują się wysoką wartością odżywczą [Lurie-Luke 2024].

Uwarunkowania prawne oraz bezpieczeństwo

Hodowla owadów z przeznaczeniem do spożycia przez ludzi budzi szereg istotnych wątpliwości związanych z bezpieczeństwem ich konsumpcji. Do głównych zagrożeń zalicza się m.in. specyficzną strukturę biologiczną owadów, wykorzystywanie odpadów jako materiału paszowego, potencjalne ryzyko mikrobiologiczne,

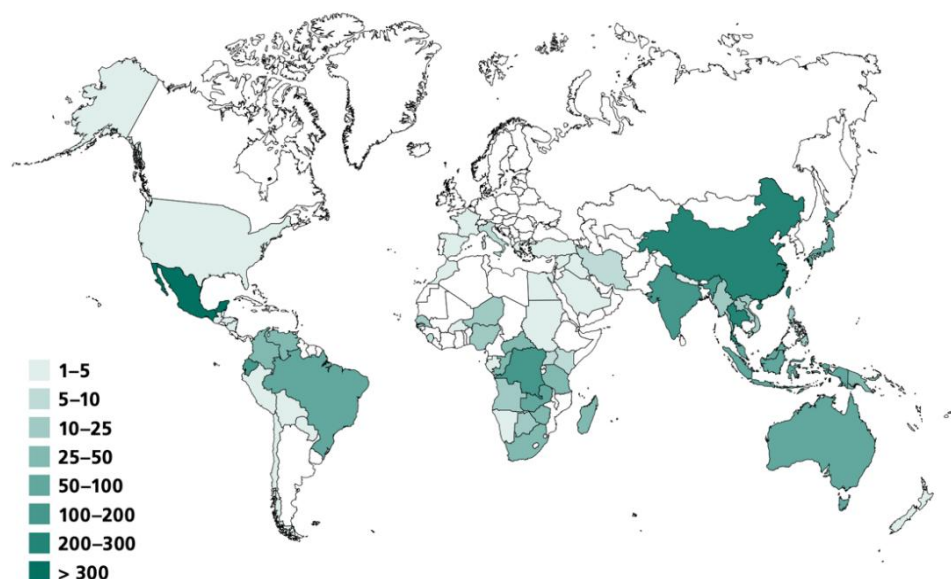
możliwość występowania reakcji alergicznych, obecność zanieczyszczeń toksykologicznych i nieorganicznych, a także ograniczoną percepcję sensoryczną utrudniającą ocenę jakości produktu [Ribeiro i in. 2017, Garofalo i in. 2019, Imathiou 2020]. Wprowadzanie owadów do diety człowieka powinno uwzględniać tradycyjną wiedzę na temat spożycia owadów w różnych krajach, jak i kwestie bezpieczeństwa żywności oraz regulacje oparte na znajomości łańcucha pokarmowego owadów w zależności od gatunku, pochodzenia, natury i stanu środowiska [Eswaran i in. 2023]. Rośliny mogą wchłaniać metale ciężkie do swoich tkanek z gleby i z zanieczyszczonego powietrza. Ich akumulacja w tkankach roślin może być następnie przenoszona na owady roślinożerne, które się nimi żywią. W rezultacie produkty roślinne, takie jak nektar, liście, kwiaty i owoce, a także organizmy, które je spożywają, w tym owady, mogą zostać zanieczyszczone i gromadzić te metale [Malematja i in. 2023]. Owady jadalne, ze względu na swoje naturalne zachowanie, są narażone na różne zanieczyszczenia, w tym substancje chemiczne powszechnie stosowane w zwalczaniu szkodników w rolnictwie, np. pestycydy, takie jak insektycydy, herbicydy i fungicydy. Zanieczyszczenie może nastąpić bezpośrednio – poprzez stosowanie pestycydów lub nawadnianie – lub pośrednio, gdy owady spożywają rośliny lub wodę zawierającą pozostałości pestycydów [Calatayud-Vernich i in. 2018].

Owady jadalne są również siedliskiem różnorodnych mikroorganizmów, z których niektóre przynoszą korzyści ochronne swoim gospodarzom, broniąc ich przed szkodliwymi mikrobami, organizmami pasożytniczymi i innymi zagrożeniami, podczas gdy inne mogą stanowić ryzyko mikrobiologiczne dla ludzi [Douglas 2015]. Innym realnym zagrożeniem wynikającym ze spożywania owadów są zawarte w nich białka, które mogą wywoływać reakcje alergiczne. Niektóre z nich wykazują podobieństwa do alergenów występujących w skorupiakach i roztoczach kurzu domowego. Ta reaktywność krzyżowa sugeruje potencjalne ryzyko dla osób z istniejącymi wcześniej alergiami pokarmowymi [Gier i Verhoeckx 2018]. Kanały handlowe jadalnych owadów różnią się w zależności od kraju i są zgodne z krajowymi przepisami i preferencjami żywieniowymi konsumentów. W krajach azjatyckich i afrykańskich handel opiera się głównie na krótkich łańcuchach dostaw, takich jak hurtowe zakupy i lokalne rynki, a także sprzedaż uliczna na rynkach miejskich, w supermarketach i sklepach typu *food convenience* [Colamatteo i in. 2025]. W obliczu wzrostu globalnego spożycia jadalnych owadów potrzeba wprowadzenia ram regulacyjnych zapewniających bezpieczeństwo konsumentów staje się coraz bardziej oczywista, co doprowadziło do wdrożenia przez wiele krajów konkretnych przepisów. W Unii Europejskiej (UE) owady są sklasyfikowane jako „nowa żywność” przez Komisję Europejską na mocy Rozporządzenia Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2015/2283 z dnia 25 listopada 2015 r. w sprawie nowej żywności [Rozporządzenie UE 2015]. Żywność ta zyskuje ostatnio popularność zarówno ze względu na jej potencjał odżywczy, jak i niewielki wpływ na środowisko. Rozporządzenie w sprawie nowej żywności dotyczy

wyłącznie zatwierdzenia produktu po przeprowadzeniu rygorystycznej oceny naukowej przez Europejski Urząd ds. Bezpieczeństwa Żywności (EFSA). Urząd weryfikuje, w świetle dostępnych dowodów naukowych, czy żywność nie stanowi zagrożenia dla zdrowia ludzkiego. Do tej pory udokumentowano około 2300 gatunków owadów jako jadalnych, w tym chrząszcze, gąsienice, osy, pszczoły, mrówki, świerszcze itp. [Ferrazzano i in. 2023, Kowalski i in. 2023, Ruiz i in. 2025]. Rozporządzenie wykonawcze Komisji (UE) 2017/2470 z dnia 20 grudnia 2017 r. ustanawiające unijny wykaz nowej żywności zgodnie z rozporządzeniem Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2015/2283 w sprawie nowej żywności dopuszcza do spożycia stosunkowo niewielką liczbę owadów jadalnych. Należą do nich larwy mączników (*Tenebrio molitor* L.), świerszcze domowe (*Acheta domestica* L.), szarańcza wędrowna (*Locusta migratoria*), a od 5 marca 2023 r. larwy dżdżownic (*Alphitobius diaperinus* P.). Dnia 20 stycznia 2025 r. Komisja zezwoliła na wprowadzenie do obrotu proszku z całych larw *Tenebrio molitor* (mącznika młynarka) poddanego działaniu promieniowania UV jako nowej żywności.

Owady jadalne na świecie

Hodowla, przetwarzanie i sprzedaż owadów jadalnych stanowi szansę na rozwój zrównoważonych systemów produkcji żywności [Omuse i in. 2024]. Spożycie owadów znacznie różni się w zależności od kraju i odzwierciedla różnicowane preferencje żywieniowe konsumentów. Najwięcej gatunków owadów jadalnych występuje w Azji (932), następnie w Ameryce Północnej (w tym w Meksyku) (529), Afryce (464) i Ameryce Południowej (300), najmniej natomiast w Oceanii (107) [Omuse i in. 2024]. Owady jadalne wyróżniają się wysoką efektywnością wykorzystania paszy oraz stosunkowo niskimi wymaganiami hodowlanymi w porównaniu z tradycyjną hodowlą zwierząt, takich jak trzoda chlewna czy bydło [Szulc 2023]. Choć współczynnik konwersji paszy różni się w zależności od gatunku owada oraz stosowanych praktyk produkcyjnych, to jednak ogólnie owady wykazują wyższą wydajność niż zwierzęta gospodarskie [Rumpold i Schlüter 2013, Cadinu i in. 2020, Madau i in. 2020]. W aspekcie środowiskowym hodowla owadów przyczynia się do zmniejszenia śladu węglowego oraz zużycia wody w porównaniu z konwencjonalnym rolnictwem zwierzęcym [Shi i in. 2022]. Emisja dwutlenku węgla podczas chowu owadów zależy od wielu czynników, takich jak gatunek, stadium rozwojowe, temperatura otoczenia, klimat oraz intensywność żerowania [Oonincx i in. 2010]. Dodatkowo hodowla owadów cechuje się znacznie mniejszym zapotrzebowaniem na wodę. Szacuje się, że globalne rolnictwo pochłania aż około 70% zasobów słodkiej wody [Lange i Nakamura 2021], co czyni alternatywne źródła białka, jak owady, wyjątkowo atrakcyjnymi z punktu widzenia zrównoważonego rozwoju.



Rysunek 1. Liczba gatunków owadów jadalnych odnotowanych w poszczególnych krajach

Źródło: Huis van i in. [2013], na podstawie danych Jongema [2012]

Obawy związane z jedzeniem owadów

Termin „entomofagia” (od greckich słów έντομον *éntomon*, „owad”, i φάγειν *phagein*, „jeść”) odnosi się do wykorzystywania owadów jako pożywienia [Kouřimská i Adámková 2016]. Preferencje żywieniowe konsumentów i ich wiedza na temat modeli żywieniowych mogą wpływać na wybór owadów jako elementów żywności [Onwezen i in. 2021]. Należy zaznaczyć, że pogląd na temat entomofagi zróżnicowany jest w różnych częściach świata [Lange i Nakamura 2021]. Badania nad akceptacją owadów i innych innowacyjnych produktów spożywczych przez konsumentów zazwyczaj podkreślają czynniki psychologiczne wpływające na początkową chęć jedzenia. Literatura wskazuje, że neofobia żywieniowa stanowi istotną barierę w spożywaniu owadów [Platta i in. 2024, Mikulec i in. 2024]. Wysoki poziom zarówno neofobii żywieniowej, jak i wstrętu, które mogą towarzyszyć konsumentom, są silnie powiązane, mogą utrudniać chęć spożywania jadalnych owadów, szczególnie z powodu braku znajomości samego produktu [La Barbera i in. 2018, Długoński i in. 2025]. Neofobia jest również powiązana z oczekiwaniami sensorycznymi dotyczącymi jedzenia. Owady mogą być postrzegane jako mające nieprzyjemny smak lub konsystencję, co odstrasza konsumentów od ich próbowania [Ruby i in. 2015, Mikulec i in. 2024, Długoński i in. 2025]. Trudności związane z akceptacją produktów spożywczych

na bazie owadów można skutecznie rozwiązać poprzez zwiększanie świadomości konsumenckiej na temat tej grupy surowców oraz zwiększoną ekspozycję społeczną na entomofagię, która zmniejsza neofobię żywieniową i wrażliwość na wstręt żywieniowy [Lopez-Santamarina i in. 2020]. Rozpowszechnienie na rynku produktów spożywczych powstałych z owadów jadalnych wymaga zmiany nastawienia do tego rodzaju żywności, ale potencjalne korzyści pod względem zdrowia, zrównoważonego rozwoju i ekonomii sprawiają, że są one realną i atrakcyjną opcją na przyszłość [Platta i in. 2024]. W wielu społeczeństwach krajów wysoko-rozwinętych istnieje ogólna niechęć do spożywania owadów. W tych regionach owady są wyraźnie nieobecne w głównym nurcie wyborów konsumenckich, co klasyfikuje ich obecność do strefy produktów żywnościowych w niszowym sektorze spożywczym [Szlachciuk i Żakowska-Biemans 2024]. Niechęć konsumentów w Europie Zachodniej do akceptowania owadów jako źródła pożywienia można przypisać połączeniu czynników kulturowych, psychologicznych i sensorycznych [Serpico i in. 2021]. W czasie, gdy entomofagia wykazuje potencjał rozwiązania problemów bezpieczeństwa żywnościowego na świecie i szansę realizacji celów zrównoważonego rozwoju, staje jednocześnie przed wyzwaniami takimi jak akceptacja konsumencka, regulacje prawne oraz ogólnie rozumiana akceptowalność konsumancka.

Innym problemem, który należy rozwiązać, jest potencjalne ryzyko wiążące się z włączaniem proszku z owadów do żywności. Obawy z tym związane dotyczą właściwości alergizujących oraz zagrożeń chemicznych i biologicznych, które mogą niekorzystnie wpłynąć na postrzeganie tej praktyki przez konsumentów w wyniku realnych obaw o własne zdrowie [Mancini i in. 2022]. Badania wskazały, że głównymi determinantami warunkującymi spożycie jadalnych owadów są te związane z płcią, wiekiem, wartością odżywczą, cechami sensorycznymi, tradycją, kulturą, neofobią żywieniową, obrzydzeniem oraz doświadczeniami z przeszłości [Mancini i in. 2022, Florença i in. 2022]. Postawy konsumentów wobec jadalnych owadów zależą od takich czynników jak region, fobie, świadomość ekologiczna, świadomość zdrowotna, ryzyko spożycia owadów, osobiste doświadczenia i kultura. Wiek, płeć i wykształcenie zostały szeroko zbadane jako wpływowe czynniki społeczne wpływające na akceptację owadów wśród konsumentów [Platta i in. 2024]. Większość badań sugeruje, że młodsi ludzie mają tendencję do większej akceptacji owadów w porównaniu do starszych, a osoby w wieku od 15 do 35 lat wykazują wyższy poziom akceptacji w porównaniu z innymi grupami wiekowymi [Li i in. 2023]. Również badania prowadzone przez Plattę i współpracowników [2024] wskazują, że młodzi konsumenci mają pozytywne nastawienie do zakupu żywności z owadami. Badana grupa konsumentów oczekuje, że żywność ta będzie źródłem białka i kwasów tłuszczowych $n-3$. Poziom wiedzy i komfortu w odniesieniu do spożywania owadów, a także prawdopodobieństwo rozwinięcia nowych lęków lub niechęci do nowej żywności, są kluczowymi czynnikami, które wpływają na ich chęć zaakceptowania jadalnych owadów [Woolf i in. 2019].

Wartość odżywcza owadów

Spożywanie owadów rozpatrywane jest w aspekcie korzyści wynikających z ich wysokiej wartości odżywczej, która jest bardzo zróżnicowana, głównie ze względu na dużą liczbę i zmienność gatunków. Może się ona znacznie różnić nawet w obrębie grupy owadów w zależności od stadium metamorfozy, pochodzenia owada i jego diety. Wartość odżywcza zmienia się także w zależności od przygotowania i przetwarzania przed spożyciem [Kouřimská i Adámková 2016]. Owady jadalne charakteryzują się również zmienną kalorycznością, która waha się od 290 do ponad 750 kcal/100 g. Zazwyczaj dorosłe osobniki składają się z dużej ilości chityny, która jest niestrawna, a zatem mają niską kaloryczność. Chityna owadów (pancerz zewnętrzny) i jej pochodne mogą wpływać na zdrowie człowieka poprzez selektywne promowanie wzrostu pożytecznych gatunków bakterii w przewodzie pokarmowym [Stull 2021]. Chociaż chityna wydaje się działać jako prebiotyk w żywności o niskiej zawartości białka, jej pochodne wykazują lepsze wyniki w modulacji mikrobioty jelitowej, zwiększając wzrost pożytecznych i hamując wzrost niektórych potencjalnie patogennych bakterii. Pochodne chityny mają również działanie przeciwzapalne, stymulują odpowiedź immunologiczną, zapobiegają cukrzycy i otyłości oraz wspierają leczenie otyłości [Lopez-Santamarina i in. 2020]. Larwy i poczwarki zazwyczaj składają się z dużej ilości białek i tłuszczów, co odpowiada wysokiej kaloryczności. Stąd produkty wykonane z owadów w różnych stadiach mogą odpowiadać osobom o różnych preferencjach [Tang i in. 2019].

Owady są łatwo dostępnym źródłem białka, lipidów, węglowodanów, niektórych witamin i minerałów, takich jak wapń, żelazo lub cynk. Ich wartość energetyczna jest porównywalna z mięsem z wyjątkiem wieprzowiny z uwagi na jej wysoką zawartość tłuszczu. Owady są zwierzętami, a ich spożycie jest aktem przyjmowania pokarmu pochodzenia zwierzęcego, który cechują wyższe poziomy składników odżywczych – białka i tłuszczu. Dla porównania jadalne owady mają więcej energii, białka, tłuszczu, wielonienasyconych kwasów tłuszczowych i cholesterolu niż mięso zwierzęce oraz cechują się większą różnorodnością i zawartością pierwiastków śladowych niż mięso [Orkusz 2021, Zhou i in. 2022]. Głównym czynnikiem wpływającym na spożycie owadów przez ludzi jest wysoka zawartość w nich białka [Ojha i in. 2021]. Białko pochodzące z owadów charakteryzuje się wysoką wartością odżywczą i zawartością białka całkowitego oraz korzystnym profilem aminokwasowym. Ponadto obecność owadów w diecie jest źródłem wielonienasyconych kwasów tłuszczowych i składników o działaniu bioaktywnym [Zielińska i in. 2015]. Większość owadów dostępnych w handlu występuje w formie całych okazów lub mączek owadzych, a ich zastosowanie w produktach spożywczych rozpatrywane jest szczególnie w aspekcie wysokiej zawartości białka [Navarro del Hierro i in. 2020], która dla większości owadów waha się od około 12% do 70% suchej masy lub od 10% do 25% świeżej masy, co już jest

ogólnie wyższe niż w zbożach i roślinach strączkowych [Schlüter i in. 2017, Kipkoech 2023]. Na przykład zawartość białka w świeżych jadalnych gąsienicach i kurczaku wynosi odpowiednio 28 g/100 g świeżej masy i 21 g/100 g świeżej masy. Ponadto pod względem strawności białko owadów jest porównywalne z mlekiem, soją i kazeiną. Powszechnie spożywane owady mogą dostarczać nie mniej składników odżywczych niż konwencjonalny drób [Li i in. 2023]. Lipidy owadów stanowią drugą najliczniejszą grupę składników odżywczych owadów, zwykle wyższą w stadium larwalnym, przy czym suszone owady zawierają 10–50% lipidów [Li i in. 2023]. Tłuszcz owadów bogaty jest w wielonienasycone kwasy tłuszczowe, szczególnie omega-3 i omega-6, które mają pozytywny wpływ na zdrowie serca i funkcjonowanie mózgu [Nowak i in. 2016]. Skład i zawartość kwasów tłuszczowych różnią się w zależności od gatunku owadów. W przypadku larw chrząszczy dominującym kwasem tłuszczowym jest kwas oleinowy, podczas gdy u larw świerszczy dominuje kwas linolowy [Müller 2019]. Tłuszcz owadów jest często określany jako olej owadzi, ponieważ jego konsystencja w temperaturze pokojowej jest płynna. Jest on bogaty w kwasy linolowy i linolenowy, które nadają mu płynną konsystencję, dzięki czemu może być wykorzystywany jako środek smarny do żywności. Zawiera dużo nienasyconych kwasów tłuszczowych, które stanowią około 57–75%, dzięki czemu jest przydatny do produkcji makaronu, słodyczy i masła [Ushakova i in. 2016].

Witaminy i minerały są niezbędne do utrzymania prawidłowego funkcjonowania organizmu i ogólnego stanu zdrowia. Podczas gdy tradycyjne źródła pożywienia, takie jak warzywa, owoce, mięso i zboża, są powszechnie znane jako czołowe źródła tych składników odżywczych, jadalne owady są obecnie również uznawane za cenne źródła tych składników. Owady zawierają kluczowe witaminy, takie jak B12, A i D, a także minerały: potas, wapń, magnez, cynk, żelazo, fosfor, miedź i mangan. Te składniki odżywcze można ekstrahować z owadów i stosować jako suplementy diety [Nowakowski i in. 2022]. Powszechnymi witaminami występującymi w owadach są witamina B12, ryboflawina i tiamina, których poziom może być różny u różnych gatunków. Witamina B12, która występuje głównie w produktach pochodzenia zwierzęcego, jest niezbędna dla osób, które nie spożywają mięsa ani ryb [Peterson i in. 2020]. Minerały stanowią jedną z siedmiu niezbędnych grup składników odżywczych wymaganych przez organizm człowieka i są wykorzystywane do tworzenia tkanek i utrzymywania prawidłowych funkcji fizjologicznych.

Zastosowanie owadów jadanych w projektowaniu żywności

Według Międzynarodowej Platformy Owadów jako Żywności i Pasz (IPIFF) [IPIFF 2024] produkcja jadalnych artykułów na bazie owadów ma osiągnąć około 260 000 ton do roku 2030, podczas gdy liczba Europejczyków spożywających te

produkty ma wzrosnąć z 9 milionów konsumentów w 2019 r. do około 390 milionów do 2030 r. Większość owadów dostępnych w handlu występuje w formie całych okazów lub mączek owadzych [Navarro del Hierro i in. 2020]. Tradycyjne metody obróbki cieplnej owadów obejmują głównie prażenie, gotowanie, smażenie, gotowanie na parze i wędzenie. Pierwszym etapem przetwarzania owadów jest usunięcie jelit, skrzydeł, nóg i głów w zależności od gatunku owada, a następnie użycie bieżącej wody do czyszczenia i oddzielenie ciał obcych i elementów niejadalnych. Następnie owady są przetwarzane zgodnie z technologicznymi schematami produkcji oraz zapotrzebowaniem [Rumpold i in. 2014, Mutungi i in. 2019]. Wybór odpowiedniej metody przetwarzania w produkcji przemysłowej ma zasadnicze znaczenie dla zapewnienia wysokiej jakości produktów [Liang i in. 2024]. Jadalne owady były źródłem pożywienia w różnych tradycyjnych kulturach i regionach, przy czym pszczoły, osy, szarańcza, koniki polne, świerszcze, jedwabniki, gąsienice bambusa, chrząszcze, mrówki, termity i muchy są najczęściej spożywanymi grupami owadów [Li i in. 2023]. Smażone skorpiony i koniki polne są powszechnym jedzeniem ulicznym w Azji Południowo-Wschodniej, podczas gdy smażone koniki polne są popularne w Afryce, podobnie jak smażone skorpiony w Tajlandii i koniki polne w Meksyku [Jameson i Drumont 2013]. Tradycyjne przekąski z owadów są przygotowywane na wiele sposobów. Owady są zazwyczaj czyszczone, gotowane, przyprawiane, a następnie przetwarzane na przekąski poprzez smażenie, grillowanie, fumigację lub smażenie w głębokim tłuszczu. Te metody przygotowywania sprawiają, że owady są chrupiące i atrakcyjne dla konsumentów pod względem organoleptycznym [Liceaga 2021].

Jedną z intensywnie rozwijających się gałęzi, w której wykorzystywane są owady jadalne, jest piekarstwo [Amoah i in. 2023]. Wzbogacanie produktów piekarskich jadalnymi owadami wpływa na ich profil odżywczy, ale też na zróżnicowaną akceptowalność gotowych wyrobów. Produkty piekarskie obejmują chleb, ciasta, muffiny, ciasteczka oraz batony energetyczne [Florença i in. 2022]. Ze względu na czynniki, takie jak koszt, łatwość przygotowania i wygoda oraz okres przydatności do spożycia, produkty piekarskie są powszechnie spożywane na całym świecie. Podstawowymi składnikami większości wyrobów piekarskich zawierających gluten są mąka pszenna i woda, które są uważane za gęste energetycznie i stosunkowo ubogie w składniki odżywcze. Skład odżywczy, zawartość białka, tłuszczu, błonnika i popiołu w produktach piekarniczych można poprawić, dodając proszek z jadalnych owadów. Włączenie owadów do produktów piekarskich wpływa na ich skład odżywczy, zwłaszcza na poziom białka i tłuszczu. Chleb jest jednym z produktów piekarskich najczęściej wzbogacanych owadami [Kowalczewski i in. 2021]. Ciekawym kierunkiem wykorzystania owadów jadalnych jest również gałąź produktów ekstrudowanych [Ruszkowska i in. 2022].

Dziedzina przemysłu spożywczego, w którym maki owadzie wykorzystywane są do projektowania innowacyjnych artykułów spożywczych, jest przemysł cukierniczy i ciastkarski [Zielińska i in. 2017, Kowalski i in. 2023]. Dodatek mąk

owadziach w produkcji biszkoptów sprawił, że charakteryzowały się one istotnie wyższą zawartością wszystkich niezbędnych aminokwasów w porównaniu z mąką pszenną. Ponadto dodatek jadalnych owadów (15% i 30% w stosunku do pierwotnej masy mąki pszennej) do receptury ciastek zwiększył również ich potencjał antyoksydacyjny. Biszkopty uzupełnione mąką z jadalnych owadów charakteryzują się też wzrostem zawartości błonnika pokarmowego [Kowalski i in. 2023].

Innym powszechnie konsumowanym produktem węglowodanowym są makarony oraz kluski. Arp i Pasini [2024] wskazują, że zarówno makarony, jak i kluski mogą zawierać inne dodatkowe składniki, takie jak różne mąki, jaja, warzywa oraz owady. Można je również opracować, stosując różne metody przetwarzania, takie jak laminowanie i kształtowanie lub wytłaczanie. Autorzy wskazują, że makarony i kluski przygotowane ze dodatkiem owadów jadalnych mają wyższą zawartość białka, błonnika i lipidów, a niższą węglowodanów. Taki kierunek zmiany składu produktu finalnego może stanowić zachętę dla konsumentów stosujących diety alternatywne. Badania wykazały, że postrzeganie tych nowych produktów spożywczych pod względem oceny sensorycznej jest obiecujące. Wstępne badania sugerują, że dodatek owadów w formie pełnych proszków, odtłuszczonych frakcji lub ekstraktów może poprawiać wartość odżywczą produktów makaronowych, w szczególności pod względem zawartości białka, tłuszczów oraz mikroelementów. Niemniej jednak, ze względu na ograniczoną liczbę publikacji naukowych w tym obszarze, formułowanie jednoznacznych wniosków nie jest możliwe, szczególnie w aspekcie projektowania innowacyjnych produktów bezglutenowych.

Inną grupą produktów spożywczych, która może być wzbogacana mąkami owadziemi, są artykuły mleczne [Kim i in. 2017]. Badania Andrzejczyka i współpracowników [2024] wykazały, że dodatek proszku z mącznika młynarka do jogurtu prowadzi do znaczącego zwiększenia zawartości białka oraz tłuszczu w produkcie końcowym. Przykładowo poziom białka wzrósł z 4,91% w jogurcie bez dodatku proszku do 7,41% przy 5% dodatku proszku, natomiast zawartość tłuszczu zwiększyła się z 1,67% do 3,88%. Inną interesującą grupą produktów spożywczych wzbogacanych owadami jadalnymi mogą być zupy. Badania prowadzone przez Skotnicką i współpracowników [2023] wskazują, że zupy z dodatkiem różnych rodzajów owadów charakteryzowały się zróżnicowaną akceptowalnością konsumencką. W przypadku zupy pomidorowej oraz kremu z białych warzyw to smak i konsystencja były kluczowymi deskryptorami kształtującymi ogólną akceptowalność. Autorka nie wykazała też statystycznie istotnego związku między badanymi grupami wiekowymi, co pozwala na poszerzenie docelowej grupy konsumentów owadów o osoby starsze, dla których zupy mogą stanowić ważny element codziennej diety przy jednoczesnym nowoczesnym i innowacyjnym podejściu do wzbogacania tradycyjnych potraw.

Inną szeroką grupą produktów spożywczych z dodatkiem mąk owadziach są wyroby mięsne. Najbardziej poznane właściwości technologiczne i funkcjonalne jadalnych białek owadów to zdolność emulgowania i stabilność, tworzenie żelu,

zdolność zatrzymywania wody i oleju oraz rozpuszczalność. Właściwości te są fundamentalne dla reformulacji produktów mięsnych [Borges i in. 2022]. Literatura wskazuje na zastosowanie owadów jadalnych w produktach takich jak: kiełbaski, parówki, pasztety, burgery oraz analogi mięs [Caparros Megido i in. 2016, Scholliers i in. 2020, Mishyna i in 2021]. Białka owadzie wykazują korzystne właściwości technologiczne, takie jak zdolność do tworzenia i stabilizacji emulsji, piany oraz żeli, co jest istotne w produkcji przetworów mięsnych. Zastosowanie białek owadzych może wpływać na teksturę, smak i aromat produktów mięsnych. W niektórych przypadkach obserwuje się poprawę tych cech, jednak konieczne są dalsze badania na tej płaszczyźnie. Warto zauważyć, że wysoka zawartość tłuszczu w niektórych mączkach owadzych może wpływać na stabilność oksydacyjną produktów co może skutkować szeregiem niekorzystnych zmian w zakresie przechowywalności. Ponadto akceptacja konsumencka produktów z dodatkiem owadów wciąż stanowi wyzwanie, szczególnie w kulturach, gdzie entomofagia nie jest powszechna. Białka owadzie mają potencjał jako składniki wzbogacające produkty mięsne zarówno pod względem wartości odżywczej, jak i właściwości funkcjonalnych. Jednakże aby w pełni wykorzystać ten potencjał, konieczne są dalsze badania nad optymalizacją procesów technologicznych oraz zwiększeniem akceptacji konsumenckiej [Borges i in. 2022].

Podsumowanie

W dobie narastających wyzwań związanych z bezpieczeństwem żywnościowym, zmianami klimatycznymi oraz ograniczonymi zasobami naturalnymi poszukiwanie alternatywnych źródeł białka staje się koniecznością. Owady jadalne dzięki swoim unikalnym właściwościom odżywczym, środowiskowym i technologicznym stanowią realną i obiecującą alternatywę wobec tradycyjnych źródeł białka pochodzenia zwierzęcego i roślinnego. Wysoka zawartość białka, obecność cennych tłuszczów, witamin i minerałów, a także niski wpływ na środowisko sprawiają, że owady mogą odegrać istotną rolę w budowaniu zrównoważonych systemów żywnościowych. Zastosowanie owadów w przemyśle spożywczym pozwala na tworzenie nowoczesnych i funkcjonalnych produktów, które odpowiadają na potrzeby zarówno żywieniowe, jak i środowiskowe. Niemniej jednak pełne wykorzystanie potencjału owadów wymaga pokonania istotnych barier kulturowych, psychologicznych i prawnych. Niska akceptacja konsumencka wynikająca z neofobii żywieniowej, uprzedzeń oraz braku wiedzy nadal stanowi wyzwanie. Konieczne jest zatem prowadzenie intensywnych działań edukacyjnych i społecznych, które przyczynią się do zmiany postrzegania tej formy żywności. Równie istotne jest rozwijanie ram prawnych oraz zapewnienie bezpieczeństwa i jakości produktów z owadów. Podsumowując, należy podkreślić, że owady jadalne mają potencjał, by stać się istotnym elementem nowoczesnej zrównoważonej

diety i stanowić odpowiedź na kluczowe wyzwania współczesnych systemów żywnościowych, jednak ich integracja z globalnym rynkiem żywności wymaga dalszych badań, innowacji i współpracy między nauką, przemysłem i społeczeństwem.

Bibliografia

- Amoah I., Cobbinah J.C., Yeboah J.A., Essiam F.A., Lim J.J., Tandoh M.A., Rush E. (2023). Edible insect powder for enrichment of bakery products – A review of nutritional, physical characteristics and acceptability of bakery products to consumers. *Future Foods*, 8, 100251.
- Andrzejczyk B., Łobacz A., Ziajka J., Lis A., Małkowska-Kowalczyk M. (2024). Comprehensive analysis of yoghurt made with the addition of yellow mealworm powder (*Tenebrio molitor*). *Foods*, 13(15), 2416.
- Arp C.G., Pasini G. (2024). Exploring edible insects: From sustainable nutrition to pasta and noodle applications—A critical review. *Foods*, 13(22), 3587.
- Borges M.M., Costa D.V. da, Trombete F.M., Câmara A.K.F.I. (2022). Edible insects as a sustainable alternative to food products: An insight into quality aspects of reformulated bakery and meat products. *Current Opinion in Food Science*, 46, 100864.
- Cadinu L.A., Barra P., Torre F., Delogu F., Madau F.A. (2020). Insect rearing: Potential, challenges, and circularity. *Sustainability*, 12, 4567.
- Calatayud-Vernich P., Calatayud F., Simó E., Picó Y. (2018). Pesticide residues in honey bees, pollen and beeswax: Assessing beehive exposure. *Environmental Pollution*, 241, 106–114.
- Caparros Megido R., Gierts C., Blecker C., Brostaux Y., Haubruge É., Alabi T., Francis F. (2016). Consumer acceptance of insect-based alternative meat products in Western countries. *Food Quality and Preference*, 52, 237–243.
- Clark M.A., Domingo N.G.G., Colgan K., Thakrar S.K., Tilman D., Lynch J., Azevedo I.L., Hill J.D. (2020). Global food system emissions could preclude achieving the 1.5° and 2°C climate change targets. *Science*, 370(6517), 705–708.
- Colamatteo I., Bravo I., Cappelli L. (2025). Insect-based food products: A scoping literature review. *Food Research International*, 200, 115355.
- Dijk M. van, Morley T., Rau M.L., Saghai Y. (2021). A meta-analysis of projected global food demand and population at risk of hunger for the period 2010–2050. *Nature Food*, 2(7), 494–501.
- Długoński Ł., Skotnicka M., Zborowski M., Skotnicki M., Folwarski M., Bromage S. (2025). The relationship between the level of food neophobia and children's attitudes toward selected food products. *Nutrients*, 17(8), 1347.
- Douglas A.E. (2015). Multiorganismal insects: Diversity and function of resident microorganisms. *Annual Review of Entomology*, 60, 17–34.
- Eswaran U.G.M., Karunanithi S., Gupta R.K., Rout S., Srivastav P.P. (2023). Edible insects as emerging food products—processing and product development perspective. *Journal of Food Science and Technology*, 60(8), 2105–2120.
- European Commission (2025). Approval of another insect/insect-derived food as a Novel Food. *Food Safety – European Commission*.
- Ferrazzano G.F., D'Ambrosio F., Caruso S., Gatto R., Caruso S. (2023). Bioactive peptides derived from edible insects: Effects on human health and possible applications in dentistry. *Nutrients*, 15(21), 4611.
- Florença S.G., Guiné R.P.F., Gonçalves F.J.A., Barroca M.J., Ferreira M., Costa C.A., Correia P.M.R., Cardoso A.P., Campos S., Anjos O., Cunha L.M. (2022). The Motivations for Consumption of Edible Insects: A Systematic Review. *Foods*, 11(22), 3643.

- Garofalo C., Milanović V., Cardinali F., Aquilanti L., Clementi F., Osimani A. (2019). Current knowledge on the microbiota of edible insects intended for human consumption: A state-of-the-art review. *Food Research International*, 125, 108527.
- Gier S. de, Verhoeckx K. (2018). Insect (food) allergy and allergens. *Molecular Immunology*, 100, 82–106.
- Huis A. van (2016). Edible insects are the future? *Proceedings of the Nutrition Society*, 75(3), 294–305.
- Huis A. van, Itterbeeck J. van, Klunder H., Mertens E., Halloran A., Muir G., Vantomme P. (2013). Edible insects: Future prospects for food and feed security. Rome: FAO. [dostępny pod adresem: <https://www.fao.org/4/i3253e/i3253e.pdf>].
- Imathiu S. (2020). Benefits and food safety concerns associated with consumption of edible insects. *NFS Journal*, 18, 1–11.
- [IPIFF] International Platform of Insects for Food and Feed (IPIFF). (2020). Edible Insects Market – Market Factsheet. IPIFF, 1–6.
- Jameson M.L., Drumont A. (2013). Aroid scarabs in the genus *Peltonotus* Burmeister (*Coleoptera*, *Scarabaeidae*, *Dynastinae*): Key to species and new distributional data. *ZooKeys*, 320, 63–95.
- Jongema Y. (2012). List of edible insect species of the world. Wageningen: Laboratory of Entomology, Wageningen University [dostęp: www.ent.wur.nl/UK/Edible+insects/Worldwide+species+list/].
- Kim H.-S., Kim Y.-J., Chon J.-W., Kim D.-H., Song K.-Y., Kim H., Seo K.-H. (2017). Organoleptic evaluation of the high-protein yoghurt containing the edible insect *Oxya chinensis sinuosa* (grasshopper): A preliminary study. *Journal of Milk Science and Biotechnology*, 35(4), 266–269.
- Kipkoech C. (2023). Beyond Proteins—Edible Insects as a Source of Dietary Fiber. *Polysaccharides*, 4(2), 116–128.
- Kouřimská L., Adámková A. (2016). Nutritional and sensory quality of edible insects. *NFS Journal*, 4, 22–26.
- Kowalczewski P.Ł., Gumienna M., Rybicka I., Górná B., Sarbak P., Dziedzic K., Kmiecik D. (2021). Nutritional value and biological activity of gluten-free bread enriched with cricket powder. *Molecules*, 26, 1184.
- Kowalski S., Gumul D., Oracz J., Rosicka-Kaczmarek J., Mikulec A., Mickowska B., Skotnicka M., Zborowski M. (2023). Chemical composition, antioxidant properties and sensory aspects of sponge cakes supplemented with edible insect flours. *Antioxidants*, 12, 1912.
- La Barbera F., Verneau F., Amato M., Grunert K. (2018). Understanding Westerners' disgust for the eating of insects: The role of food neophobia and implicit associations. *Food Quality and Preference*, 64, 120–125.
- Lange K.W., Nakamura Y. (2021). Edible insects as future food: Chances and challenges. *Journal of Future Foods*, 1, 38–46.
- Li M., Mao C., Li X., Jiang L., Zhang W., Li M., Liu H., Fang Y., Liu S., Yang G., Hou X. (2023). Edible insects: a new sustainable nutritional resource worth promoting. *Foods*, 12(22), 4073.
- Liang Z., Zhu Y., Leonard W., Fang Z. (2024). Recent advances in edible insect processing technologies. *Food Research International*, 182, 114137.
- Liceaga A.M. (2021). Processing insects for use in the food and feed industry. *Current Opinion in Insect Science*, 48, 32–36.
- Lopez-Santamarina A., Mondragon A.D.C., Lamas A., et al. (2020). Animal-origin prebiotics based on chitin: An alternative for the future? A critical review. *Foods*, 9, 782.
- Lurie-Luke E. (2024). Alternative protein sources: science powered startups to fuel food innovation. *Nature Communications*, 15, 4425.
- Madau F.A., Arru B., Furesi R., Pulina P. (2020). Insect farming for feed and food production from a circular business model perspective. *Sustainability*, 12, 5418.

- Malematja E., Manyelo T.G., Sebola N.A., Kolobe S.D., Mabelebele M. (2023). The accumulation of heavy metals in feeder insects and their impact on animal production. *Science of the Total Environment*, 885, 163716.
- Mancini S., Sogari G., Espinosa Diaz S., Menozzi D., Paci G., Moruzzo R. (2022). Exploring the Future of Edible Insects in Europe. *Foods*, 11(3), 455.
- Mikulec A., Platta A., Radzyńska M., Suwała G., Zborowski M., Ruszkowska M., Nowicki M., Kowalczewski P.Ł. (2024). Edible insects as a potential product for achieving global food security. Part 2. Żywność. Nauka. Technologia. Jakość, 31(3[140]), 149–170.
- Mishyna M., Keppler J.K., Chen J. (2021). Techno-functional properties of edible insect proteins and effects of processing. *Current Opinion in Colloid & Interface Science*, 56, 101508.
- Müller A. (2019). Insects as food in Laos and Thailand: A case of “Westernisation”? *Asian Journal of Social Science*, 47(2), 204–223.
- Mutungi C., Irungu F.G., Nduko J., Mutua F., Affognon H., Nakimbugwe D., Fiaboe K.K.M. (2019). Postharvest processes of edible insects in Africa: A review of processing methods, and the implications for nutrition, safety and new products development. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 59(2), 276–298.
- Navarro del Hierro J., Gutiérrez-Docio A., Otero P., Reglero G., Martin D. (2020). Characterization, antioxidant activity, and inhibitory effect on pancreatic lipase of extracts from the edible insects *Acheta domesticus* and *Tenebrio molitor*. *Food Chemistry*, 309, 125742.
- Nowak V., Persijn D., Rittenschober D., Charrondiere U.R. (2016). Przegląd danych dotyczących składu żywności dla owadów jadalnych. *Food Chemistry*, 193, 39–46.
- Nowakowski A.C., Miller A.C., Miller M.E., Xiao H., Wu X. (2022). Potential health benefits of edible insects. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 62(13), 3499–3508.
- Ojha S., Tiwari B.K., O'Donnell C.P., Schlüter O.K. (2021). Bioavailability of nutrients from edible insects. *Current Opinion in Food Science*, 41, 1–8.
- Omuse E.R., Tonnang H.E.Z., Yusuf A.A., Machezano H., Egonyu J.P., Kimathi E., Mohamed S.F., Kassie M., Subramanian S., Onditi J., Mwangi S., Ekesi S., Niassy S. (2024). The global atlas of edible insects: analysis of diversity and commonality contributing to food systems and sustainability. *Scientific Reports*, 14, 5045.
- Onwezen M.C., Bouwman E.P., Reinders M.J., Dagevos H. (2021). A systematic review on consumer acceptance of alternative proteins: Pulses, algae, insects, plant-based meat alternatives, and cultured meat. *Appetite*, 159, 105058.
- Oonincx D.G.A.B., Itterbeeck J. van, Heetkamp M.J.W., Brand H. van den, Loon J.J.A. van, Huis A. van (2010). An exploration on greenhouse gas and ammonia production by insect species suitable for animal or human consumption. *PLoS One*, 5, e14445.
- Orkusz A. (2021). Edible Insects versus Meat—Nutritional Comparison: Knowledge of Their Composition Is the Key to Good Health. *Nutrients*, 13(4), 1207.
- Peterson C.T., Rodionov D.A., Osterman A.L., Peterson S.N. (2020). B vitamins and their role in immune regulation and cancer. *Nutrients*, 12(11), 3380.
- Platta A., Mikulec A., Radzyńska M., Suwała G., Zborowski M., Ruszkowska M., Nowicki M., Kowalczewski P.Ł. (2024). Edible insects as a potential product for achieving global food security. Part 1. Żywność. Nauka. Technologia. Jakość, 31(3[140]), 129–148.
- Ribeiro J.C., Cunha L.M., Sousa-Pinto B., Fonseca J. (2017). Allergic risks of consuming edible insects: A systematic review. *Molecular Nutrition & Food Research*, 61(1), 1700030.
- Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (UE) 2015/2283 z dnia 25 listopada 2015 r. w sprawie nowej żywności, zmieniające rozporządzenie (UE) nr 1169/2011 oraz uchylające rozporządzenia (WE) nr 258/97 i (WE) nr 1852/2001, *Dziennik Urzędowy UE L 327* z 11.12.2015, 1–22.

- Ruby M.B., Rozin P., Chan C. (2015). Determinants of willingness to eat insects in the USA and India. *Journal of Insects as Food and Feed*, 1, 215–225.
- Ruiz A., Zhang Y., Kumar S., Singh A., Chen L., Wang J. (2025). Edible insects as functional foods: bioactive compounds, health benefits, safety concerns, allergenicity, and regulatory considerations. *Frontiers in Nutrition*, 12, 1571084.
- Rumpold B.A., Schlüter O.K. (2013). Nutritional composition and safety aspects of edible insects. *Molecular Nutrition & Food Research*, 57, 802–823.
- Rumpold B.A., Fröhling A., Reineke K., Knorr D., Boguslawski S., Ehlbeck J., Schlüter O. (2014). Comparison of volumetric and surface decontamination techniques for innovative processing of mealworm larvae (*Tenebrio molitor*). *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 26, 232–241.
- Ruszkowska M., Tańska M., Kowalczewski P.Ł. (2022). Extruded corn snacks with cricket powder: Impact on physical parameters and consumer acceptance. *Sustainability*, 14(24), 16578.
- Schlüter O., Rumpold B., Holzhauser T., Roth A., Vogel R.F., Quasigroch W., Vogel S., Heinz V., Jäger H., Bandick N., Kulling S.E. (2017). Safety aspects of the production of foods and food ingredients from insects. *Molecular Nutrition & Food Research*, 61(6), 1600520.
- Scholliers J., Steen L., Fraeye I. (2020). Partial replacement of meat by superworm (*Zophobas morio* larvae) in cooked sausages: Effect of heating temperature and insect:meat ratio on structure and physical stability. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, 66, 102535.
- Serpico M., Rovai D., Wilke K., Lesniasukas R., Garza J., Lammert A. (2021). Studying the Emotional Response to Insects Food Products. *Foods*, 10(10), 2404.
- Shi R., Irfan M., Liu G., Yang X., Su X. (2022). Analysis of the impact of livestock structure on carbon emissions of animal husbandry: A sustainable way to improving public health and green environment. *Frontiers in Public Health*, 10, 835210.
- Skotnicka M., Mazurek A., Kowalski S. (2023). The acceptance of cream soups with the addition of edible insects (*Mealworm, T. molitor*; *House Cricket, A. domesticus*; *Buffalo Worm, A. diaperinus*; *Grasshopper, R. differens*) among young people and seniors in Poland. *Nutrients*, 15(24), 5047.
- Stull V.J. (2021). Wpływ spożycia owadów na zdrowie człowieka. *Journal of Insects as Food and Feed*, 7, 695–713.
- Szlachciuk J., Żakowska-Biemans S. (2024). Breaking the taboo: understanding the relationship between perception, beliefs, willingness to eat insects, and food neophobia among Polish adults. *Foods*, 13(6), 944.
- Szulc K. (2023). Edible insects: A study of the availability of insect-based food in Poland. *Sustainability*, 15, 14964.
- Tang C., Yang D., Liao H., Sun H., Liu C., Wei L., Li F. (2019). Edible insects as a food source: a review. *Food Production, Processing and Nutrition*, 1, 8.
- Ushakova N.A., Brodskii E.S., Kovalenko A.A., Bastrakov A.I., Kozlova A.A., Pavlov D.S. (2016). Characteristics of lipid fractions of larvae of the black soldier fly *Hermetia illucens*. *Doklady Biochemistry and Biophysics*, 468, 209–212.
- Woolf E., Zhu Y., Emory K., Zhao J., Liu C. (2019). Wngness to consume insect-containing foods: A survey in the United States. *LWT*, 102, 100–105.
- [WHO 2021] World Health Organization (2021). Food safety: report by the Director-General. Geneva.
- [ONZ 2017] World Population Prospects: The 2017 Revision, United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division. [online, dostęp: 1 czerwca 2025, dostępne w Internecie: Worm up to the idea of edible insects, Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO)].

- Zhou Y., Wang D., Zhou S., Duan H., Guo J., Yan W. (2022). Nutritional composition, health benefits, and application value of edible insects: a review. *Foods*, 11, 3961.
- Zielińska E., Baraniak B., Karaś M., Rybczyńska K., Jakubczyk A. (2015). Selected species of edible insects as a source of nutrient composition. *Food Research International*, 77, 460–466.
- Zielińska E., Karaś M., Jakubczyk A. (2017). Antioxidant activity of predigested protein obtained from a range of farmed edible insects. *International Journal of Food Science & Technology*, 52, 306–312.

The use of edible insects in food production

Abstract: In the face of a growing global population and increasing pressure on natural resources, edible insects are gaining importance as an alternative, sustainable source of protein. The article discusses the multifaceted conditions for the use of insects in food production – from their environmental and nutritional potential to legal, microbiological and social challenges. Insects are characterised by high nutritional value, efficient feed utilisation, low greenhouse gas emissions and limited water consumption. They contain complete protein, beneficial fatty acids, vitamins and minerals. Incorporating insects into the diet can contribute to improving food security and public health. At the same time, issues of social acceptance and psychological barriers, including food neophobia, are important. Current legal regulations in the European Union and examples of the practical application of insects in various sectors of the food industry, such as baking, confectionery, pasta production, meat products and dairy products, are also discussed. The article emphasises the need for further research into insect processing technology, their health safety and strategies to increase consumer acceptance.

Marian Gil^{1,*}, Mariusz Rudy¹, Paulina Duma-Kocan¹, Renata Stanisławczyk¹,
Mateusz Rudy²

BEZPIECZEŃSTWO SPOŻYCIA ORAZ WYKORZYSTANIA OWADÓW W PRODUKCJI ŻYWNOSCI

Streszczenie: Zagadnienia bezpieczeństwa żywności w odniesieniu do jadalnych owadów muszą być gruntownie poznane, aby można oczekiwać przełamania oporów w społeczeństwach, dla których takie praktyki żywieniowe są nieznane. Wśród tych zagrożeń wykrycie potencjalnych patogenów żywnościowych, alergenów, toksyn oraz zanieczyszczeń chemicznych może budzić poważne obawy. Obecność i poziom zanieczyszczeń w owadach jadalnych zależy od gatunku owadów, etapu zbioru, stosowanych podłoży paszowych oraz metod produkcji. Skuteczne środki kontroli i praktyki higieniczne w produkcji, przetwarzaniu, konserwacji i obchodzeniu się z jadalnymi owadami są potrzebne dla wyeliminowania ryzyka infekcji mikrobiologicznych i ochrony zdrowia konsumentów.

Wprowadzenie

Z żywieniowego punktu widzenia owady są bogatym źródłem kilku mikro- i makroskładników, takich jak minerały, witaminy, jedno- i wielonienasycone kwasy tłuszczowe oraz białka [Tang i in. 2019], a także chityny i obiecującego węglowodanu o szerokim zakresie możliwych zastosowań (takich jak żywność, kosmetyki, farmaceutyki, przemysł tekstylny itd.) [Caligiani i in. 2018, Fuso i in. 2024]. Uznaje się owady za niedostatecznie wykorzystany i niedoceniany zasób odnawialny, mają ogromny potencjał, aby stawić czoła kryzysom żywnościowym i zaspokoić rosnące potrzeby żywieniowe [Zhang i in. 2024]. Według statystyk około 25% światowej populacji spożywa już jadalne owady. Rozpowszechnione jest to w Azji, Afryce, Ameryce Południowej i Oceanii [Huis 2020].

Pomimo licznych funkcji biologicznych owadów jadalnych związanych ze zrównoważonym rozwojem bezpośrednio ich wykorzystanie jako pożywienia stoi przed kilkoma wyzwaniami, z których najważniejszym jest psychologiczna

¹ Zakład Przetwórstwa i Towaroznawstwa Rolniczego, Wydział Technologiczno-Przyrodniczy, Uniwersytet Rzeszowski, ul. Zelwerowicza 4/D9, 35-601 Rzeszów.

² Studenckie Koło Naukowe Oceny i Przetwórstwa Żywności „Kabanosik”, Wydział Technologiczno-Przyrodniczy, Uniwersytet Rzeszowski, ul. Zelwerowicza 4, 35-601 Rzeszów.

* mgil@ur.edu.pl

bariera akceptacji, szczególnie w krajach zachodnich [López i in. 2023]. Z tego powodu strategie ukrywania obecności owadów w produktach spożywczych są już zdefiniowane. Owady jadalne mogą być przygotowywane jako smażone, suszone, marynowane, wędzone, mielone na proszek, przetwarzane na produkty takie jak mąka czy pasta lub mogą być frakcjonowane na różne składniki, jak białko, lipidy lub chityna, i dodawane do innych produktów spożywczych [Poma i in. 2022].

Wzrost zainteresowania owadami jadalnymi promowany przez Organizację Narodów Zjednoczonych ds. Wyżywienia i Rolnictwa (FAO) zmusza do zwrócenia większej uwagi na kwestie związane z bezpieczeństwem żywności [Baiano 2020, FAO 2021, Borges i in. 2022]. Obawy dotyczące bezpieczeństwa żywności produkowanej z jadalnych owadów muszą być rozwiane, aby zachęcać i promować jej stosowanie w diecie człowieka [Imathiu 2020]. Obecnie więcej uwagi poświęca się opracowywaniu strategii promowania owadów jadalnych, poznawaniu preferencji konsumenckich, podczas gdy to zbadanie i poznanie obaw jest kluczem do ich opanowania i przełamania barier akceptacji. Celem niniejszej pracy było przedstawienie zagrożeń związanych z pozyskiwaniem, produkcją i konsumpcją owadów jadalnych.

Zagrożenia bezpieczeństwa zdrowotnego owadów jadalnych

Oprócz korzyści odżywczych związanych ze spożywaniem jadalnych owadów mogą one przenosić egzogenne i endogenne czynniki ryzyka dla zdrowia ludzkiego. Potencjalne zagrożenia dla bezpieczeństwa żywności, które mogą być związane z jadalnymi owadami, można podzielić na trzy kategorie: chemiczne, biologiczne i alergenowe [Murefu i in. 2019]. Zagrożenia dla zdrowia związane z wykorzystywaniem owadów jako pożywienia i paszy zależą od wykorzystywanych gatunków i ich podłoża oraz od sposobu ich hodowli i przetwarzania do spożycia [Turck i in. 2021].

Podczas opracowywania żywności lub paszy z jadalnych owadów i składników na bazie owadów należy zidentyfikować i zminimalizować potencjalne problemy dotyczące bezpieczeństwa konsumentów i zwierząt, aby zminimalizować ich skutki. Wśród tych zagrożeń wykrycie potencjalnych patogenów żywnościowych, alergenów, toksyn oraz zanieczyszczeń środowiska może budzić poważne obawy [Poma i in. 2022].

Zagrożenia biologiczne

Owady nie są wolne od patogenów, posiadają złożoną mikrobiotę, której większość gatunków jest związana z przewodem pokarmowym. Jest ona również obecna w innych częściach anatomicznych owadów i może zostać wprowadzona

podczas hodowli i przetwarzania do produkowanej z nich żywności [Anusha i Negi 2022]. Owady jadalne mogą przenosić mikroorganizmy chorobotwórcze stanowiące zagrożenie dla zdrowia konsumentów, przy czym stopień zanieczyszczenia mikrobiologicznego owadów jadalnych zależy od ich gatunku, metody zbierania (dzikie lub udomowione), a także praktyk higienicznych oraz procedur przetwarzania i obchodzenia się z owadami stosowanych w ich przygotowaniu [Lange i Nakamura 2021]. Wśród zagrożeń biologicznych wykazano, że na mikrobiotę związaną z jelitami owadów i środowiskiem chowu duży wpływ ma pasza, a także pionowe przenoszenie mikroorganizmów z matki na potomstwo podczas składania jaj [Garofalo i in. 2019].

Badanie przeprowadzone w Tajlandii wykazało obecność różnych potencjalnie chorobotwórczych bakterii u jadalnych owadów, w tym: *Bacillus*, *Clostridium*, *Staphylococcus*, *Streptococcus* i *Vibrio* [Osimani i in. 2018], a także *Campylobacter*, *Neisseria*, *Pseudomonas*, które znaleziono w surowych jadalnych konikach polnych w Ugandzie [Ssepuuya i in. 2019]. Inne bakterie chorobotwórcze występujące w owadach jadalnych to *Micrococcus*, *Salmonella* i *Shigella* [Mézès 2018, Ssepuuya i in. 2019], *Bacillus cereus* i *Escherichia coli* [Jensen i in. 2020, Marin i in. 2020]. Wśród nich patogeny zarodnikujące są najbardziej niepokojące ze względu na ich zdolność do tworzenia endospor, które są odporne na ciepło i wysuszenie [Ordoñez-Araque i Egas-Montenegro 2021]. Frigerio i współpracownicy [2020] podkreślili obecność *Bacillus* w większości próbek (80%) analizowanych komercyjnych produktów spożywczych na bazie owadów.

Owady mają specyficzną obfitość patogenów wirusowych, ale należy je rozpatrywać tylko z punktu widzenia zdrowia zwierząt, ponieważ wirusy te są uważane za bezpieczne dla ludzi. Niemniej jednak wirusy przenoszone przez stawonogi (arbowirusy) mogą również powodować choroby, takie jak denga, choroba Zachodniego Nilu, gorączka doliny Rift, gorączka krwotoczna i chikungunya u ludzi [Belluco i in. 2018]. Ponadto nie można wykluczyć możliwości, że niektóre wirusy wprowadzane do ferm owadów przez substrat są przenoszone na ludzi [Baiano 2020].

Stosowana w celu zapewnienia bezpieczeństwa żywności obróbka termiczna może skutecznie wyeliminować dużą liczbę chorobotwórczych mikroorganizmów obecnych w owadach jadalnych [Zhang i in. 2024], jednak przedłużona obróbka cieplna prowadzi do utraty substancji bioaktywnych i utleniania proszku owadziego [Cao i in. 2020].

Zagrożenia chemiczne

Przenoszenie lub bioakumulacja zanieczyszczeń chemicznych wydaje się zależeć od substancji chemicznej, gatunku owadów, etapu ich życia, źródła zanieczyszczenia (wzbogacone lub naturalne), podłoża i warunków hodowli [Meyer i in. 2021]. Badania wskazują, że metale ciężkie: ołów, arsen, rtęć i kadm, mogą się kumulować w organizmach owadów jadalnych. Wykazano, że arsen i kadm gromadzą się

odpowiednio w żółtych larwach mącznika młynarka i u czarnej muchy [Fels-Klerx i in. 2018]. Kumulację kadmu w przedpoczwarkach muchy czarnej wykazały badania Dienera i in. [2015]. Suszone koniki polne (*Chapulines*) uznano za jedno ze źródeł podwyższonego poziomu ołowiu we krwi ($> 10 \mu\text{g/dl}$) u dzieci i kobiet w ciąży w trzech klinikach hrabstwa Monterey w Kalifornii w latach 2001–2003 [Handley i in. 2007]. Nie potwierdzono kumulowania się w organizmach owadów mykotoksyn i wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych (WWA). Wskazuje się natomiast, że mykotoksyny i leki weterynaryjne, takie jak linkomycyna [Luo i in. 2022], mogą być degradowane przez owady [Huis 2022]. Jednak obecność w jadalnych owadach różnych mikotoksyn [Fels-Klerx i in. 2018], w tym aflatoksyn, jako udowodnionych czynników rakotwórczych powoduje największe obawy zdrowotne [Lange i Nakamura 2021].

Oprócz zanieczyszczeń chemicznych pochodzenia środowiskowego, które trafiają do żywności, zagrożenie mogą stanowić substancje chemiczne wywarzone przez mechanizmy obronne owadów. Owady posiadają zdolność produkcji np. kwasów węglowych, alkoholi, aldehydów i fenoli, które mogą być miejscowo drażniące lub, w przypadku alkaloidów, steroidów, glukozydów cyjanogennych, (benzo)chinonów i alkenów, mogą wywoływać znaczące skutki ogólnoustrojowe [Belluco i in. 2018]. Doniesiono także, że niektóre jadalne gatunki owadów zawierają takie substancje antyodżywcze, jak: alkaloidy, saponiny, garbniki, szczawiany, fitynian i cyjanowodorek [EFSA 2015].

Żywność pochodząca z dziko zebranych owadów jadalnych jest zagrożona obecnością pozostałości pestycydów, ponieważ dzikie owady mogą żywić się uprawami lub roślinnością skażoną pestycydami [Poma i in. 2017]. Na przykład niedawne masowe opryski powietrza i gleby pestycydami o szerokim spektrum działania w celu zwalczania plag szarańczy w krajach Afryki Wschodniej mogą mieć znaczący negatywny wpływ na środowisko i zdrowie ludzi [McConnell 2021]. W Tajlandii owady skażone pestycydami spowodowały zatrucia pokarmowe u osób je spożywających [Lange i Nakamura 2021]. Akumulację czynników ryzyka związanego ze spożywaniem owadów można ograniczyć poprzez opróżnianie ich treści jelitowej, co eliminuje około 47% pozostałości deltametryny i 78% tebukonazolu oraz aż 100% chloru tetrachlorometanu i znacznie podnosi bezpieczeństwo zastosowań w przetwórstwie owadów [Dreassi i in. 2020]. Pozostałości treści pokarmowych w jelitach owadów i produktach owadzych mogą być niebezpieczne dla osób uczulonych. W artykułach tych mogą znajdować się nieznane substancje toksyczne i alergen. Żywienie nimi musi być ustandaryzowane, aby przesiać potencjalne zagrożenia [Tang i in. 2019].

Alergeny

Każdy pokarm zawierający białko może powodować reakcje alergiczne, a niektóre białka zawarte w jadalnych owadach, m.in. takie jak kinaza argininowa, α -amylaza i tropomiozyna, są uważane za alergen [Murefu i in. 2019]. Przyczyną

prawie jednej piątej śmiertelnych reakcji na żywność w Chinach było spożycie owadów [Ji i in. 2009], a u 7,6% osób spożywających owady w Laosie stwierdzono reakcje alergiczne [Barennes i in. 2015].

EFSA ds. żywienia, Panel ds. Nowej Żywności i Alergenów Żywnościowych, poza pozytywnymi opiniami naukowymi na temat owadów wskazuje, że spożywanie żywności z owadów jadalnych może wywoływać pierwotne uczulenie i reakcje alergiczne na białko owadzie oraz powodować reakcje alergiczne u osób z alergią na skorupiaki i roztocza kurzu domowego. Ponadto w produktach zawierających owady jadalne mogą znajdować się alergeny z paszy dla owadów [Fuso i in. 2024]. Ważne jest określenie potencjalnej alergenicności nowej żywności, takiej jak jadalne owady [Gier i Verhoeckx 2018, Ribeiro i in. 2018], które stanowią realne ryzyko alergizacji, ponieważ białka owadów wykazują reaktywność krzyżową z panalergenami z rodzaju *Arthropoda*. Wykazano, że pacjenci uczuleni na skorupiaki mają specyficzną reaktywność krzyżową IgE z niektórymi gatunkami owadów, w tym świerszczami, mącznikami, konikami polnymi i czarnymi muchami żołnierskimi, przy czym głównymi białkami alergizującymi są tropomiozyna i kinaza argininowa [Hall i Liceaga 2021, Marchi i in. 2021].

Innym ryzykiem jest zanieczyszczenie alergizującymi białkami z podłoża hodowlanego. Istotnym aspektem entomofagii jest fakt, że zarówno larwy, jak i osobniki dorosłe owadów są zwykle przetwarzane w całości, najczęściej do postaci mąki, bez uprzedniej separacji poszczególnych części ciała. W rezultacie spożyciu podlega cały organizm owada, w tym egzoszkielet oraz zawartość przewodu pokarmowego. Jelita mogą zawierać resztki niestrawionej paszy, jeśli przed zbiorem i zabiciem owadów nie zostanie przeprowadzony odpowiedni post [Fuso i in. 2024]. Niedeklarowana obecność owadów w żywności może stanowić ryzyko alergii dla osób uczulonych na skorupiaki lub roztocza. Biorąc pod uwagę rzeczywiste ryzyko wystąpienia reakcji alergicznych w przypadku niektórych kategorii osób, prawidłowe etykietowanie ma zasadnicze znaczenie dla umożliwienia konsumentom dokonania świadomego wyboru [Fuso i in. 2024].

Zagrożenia bezpieczeństwa produkcji owadów jadalnych

Owady są uważane za jedną z najbardziej zrównoważonych alternatyw konwencjonalnej hodowli zwierząt gospodarskich [Kim i in. 2020], ponieważ emitują mniej gazów cieplarnianych i amoniaku, mają wysoką wydajność konwersji żywności i paszy, wymagają mniej ziemi i wody oraz mogą przekształcać niskowartościowe organiczne produkty uboczne w wysokiej jakości żywność lub paszę [Surendra i in. 2020]. Nieco inaczej prezentuje się ta kwestia, jeśli rozpatruje się produkcję w warunkach ściśle kontrolowanych na bezpiecznych, wysokiej jakości substratach przy zachowaniu warunków sanitarnych. Narracja o marketingu owadów jako panaceum na wyzwania klimatyczne związane z zasobami i źródłem może być myląca [Lange i Nakamura 2021].

Na występowanie i poziom zanieczyszczeń w owadach jadalnych mają wpływ gatunki owadów, etap zbioru, stosowane podłoże paszowe oraz metody produkcji. W szczególności stosowanie wolnego od zagrożeń podłoża paszowego ma zasadnicze znaczenie dla poprawy bezpieczeństwa żywności z owadów jadalnych [EFSA 2015, Lange i Nakamura 2021]. Prawidłowy wybór wysokiej jakości substratu paszowego wolnego od zagrożeń wymaga oceny i kontroli, co jest możliwe tylko w przypadku kontrolowanej produkcji innej niż dzikie zbiory [Imathiu 2020]. Obecnie owady mogą być karmione wyłącznie dozwolonymi substratami, takimi jak materiały pochodzenia roślinnego, mleko, jaja i ich przetwory, miód, wytopione tłuszcze lub produkty krwiopochodne zwierząt innych niż przeżuwacze, natomiast stosowanie odpadów gastronomicznych, obornika, gnojowicy lub innych produktów pochodzenia zwierzęcego, jak niesprzedane produkty z supermarketów zawierające mięso i ryby, jest obecnie zabronione ze względów bezpieczeństwa [Huis i Gasco 2023, Fuso i in. 2024]. Przestrzeganie tych wymogów powinno być monitorowane w sposób analogiczny do tradycyjnych systemów produkcji zwierzęcej, ponieważ doniesienia o względnej odporności owadów na zagrożenia środowiskowe nie są równoznaczne z bezpieczeństwem owadów pozyskanych z takiego środowiska jako pokarmu dla człowieka.

W podmiotach, które nie wdrożyły środków bioasekuracji, owady i żywność na bazie owadów mogą zostać skażone mikroorganizmami chorobotwórczymi przenoszonymi przez personel i szkodniki [Bakula i Gałęcki 2021, Kwiatek i in. 2021]. Aby zminimalizować to ryzyko, fermy owadów powinny przestrzegać tych samych standardów bezpieczeństwa biologicznego, które są stosowane w konwencjonalnym sektorze spożywczym [Kok 2021, Żuk-Gołaszewska i in. 2022]. Skuteczne środki kontroli i praktyki higieniczne w całym łańcuchu pokarmowym jadalnych owadów, w tym w produkcji, przetwarzaniu, konserwacji i obchodzeniu się z jadalnymi owadami, są niezbędne dla ochrony zdrowia konsumentów i wyeliminowania ryzyka infekcji mikrobiologicznych i [Lange i Nakamura 2021].

Nie wszystkie gatunki owadów są dopuszczone jako żywność i pasza w Unii Europejskiej, co toruje drogę dla ewentualnych oszustw [Fuso i in. 2024]. Zagrożenie dla bezpieczeństwa mogą stanowić oszustwa dotyczące różnych aspektów związanych z nowym kierunkiem produkcji żywności, które mogą też powodować poważne konsekwencje zdrowotne. Może być podrabiane pochodzenie geograficzne owadów bądź dzikie owady mogą być wprowadzane do obrotu jako hodowlane. Owady hodowane w niedozwolony sposób mogą potencjalnie przenosić patogeny na ludzi [Gałęcki i Sokół 2019], ale także zanieczyszczenia chemiczne i procesowe. Również pewnego rodzaju zafałszowanie, takie jak substytucja białek owadów tańszymi, może wywołać reaktywność krzyżową między białkami a ludzkimi IgE [Leni i in. 2020]. Obawy związane z oszustwami w branży [Poma i in. 2022] wymuszają zapotrzebowanie na narzędzia analityczne do kontrolowania integralności łańcucha jakości owadów.

Podsumowanie

Owady uznaje się za zasób odnawialny o ogromnym potencjale mogący stawić czoło kryzysom żywnościowym i zaspokoić potrzeby żywieniowe ludności. Obawy jednak budzi wykrywanie w nich potencjalnych patogenów żywnościowych, alergenów, toksyn oraz zanieczyszczeń środowiska. W jadalnych owadach wykrywa się potencjalnie chorobotwórcze bakterie, w tym: *Bacillus*, *Clostridium*, *Staphylococcus*, *Streptococcus*, *Vibrio*, *Campylobacter*, *Neisseria*, *Pseudomonas*, *Micrococcus*, *Salmonella*, *Shigella* *Bacillus cereus* i *Escherichia coli*. Pomimo że większość obecnych w owadach wirusów uznaje się za bezpieczne dla ludzi, wskazuje się jednak, że wirusy przenoszone przez stawonogi (arbowirusy) mogą wywoływać u ludzi choroby takie jak denga, choroba Zachodniego Nilu, gorączka doliny Rift, gorączka krwotoczna i chikungunya. W organizmach owadów mogą się kumulować metale ciężkie jak ołów, arsen, rtęć i kadm. Kumulacji mykotoksyn wprawdzie nie potwierdzono, ale zagrożeniem jest już sama ich obecność związana z podłożem służącym do hodowli. Spożywanie owadów pochodzących z nowej żywności może wywoływać pierwotne uczulenie i reakcje alergiczne na białko owadzie oraz reakcje alergiczne u osób z alergią na skorupiaki i roztocza kurzu domowego. Zagrożeniem mogą być także reakcje alergiczne wywołane zastosowaniem owadów jako dodatku do żywności. Ryzyko można ograniczyć poprzez wymóg stosowania w fermach owadów standardów bezpieczeństwa biologicznego analogicznych do tych w konwencjonalnym sektorze spożywczym. Warunkiem osiągnięcia bezpieczeństwa w tym zakresie jest zapewnienie ściśle kontrolowanych warunków produkcji na bezpiecznych, wysokiej jakości substratach przy zachowaniu wysokiego poziomu higieny na każdym etapie produkcji i dystrybucji produktów.

Bibliografia

- Anusha S., Negi P.S. (2022). Chapter 29 – Edible insects and gut health. [In:] D. Bagchi, S.E. Ohia (Eds.): Nutrition and Functional Foods in Boosting Digestion, Metabolism and Immune Health. Academic Press, 523–39.
- Baiano A. (2020). Edible insects: An overview on nutritional characteristics, safety, farming, production technologies, regulatory framework, and socio-economic and ethical implications. Trends Food Sci Technol. 100, 35–50.
- Bakula T., Gałęcki R. (2021). Strategia wykorzystania owadów jako alternatywnych źródeł białka w żywieniu zwierząt oraz możliwości rozwoju jego produkcji na terytorium Rzeczypospolitej Polskiej. Studio Reklamy Erzet.
- Barenes H., Phimmasane M., Rajaonarivo C. (2015). Insect Consumption to Address Undernutrition, a National Survey on the Prevalence of Insect Consumption among Adults and Vendors in Laos. PLOS ONE, 10(8), 1–16.
- Belluco S., Mantovani A., Ricci A. (2018). Edible Insects in a Food Safety Perspective. [In:] A. Halloran, R. Flore, P. Vantomme, N. Roos (Eds.): Edible Insects in Sustainable Food Systems. Springer International Publishing, Cham, 109–26.

- Borges M.M., Costa D.V. da, Trombete F.M., Câmara A.K.F.I. (2022). Edible insects as a sustainable alternative to food products: an insight into quality aspects of reformulated bakery and meat products. *Curr Opin Food Sci.*, 46, 100864.
- Caligiani A., Marseglia A., Leni G., Baldassarre S., Maistrello L., Dossena A., Sforza S. (2018). Composition of black soldier fly prepupae and systematic approaches for extraction and fractionation of proteins, lipids and chitin. *Food Res. Int.*, 105, 812–820.
- Cao X., Islam M.N., Zhong S., Pan X., Song M., Shang F., Nie H., Xu W., Duan Z. (2020). Drying kinetics, antioxidants, and physicochemical properties of litchi fruits by ultrasound-assisted hot air-drying. *J Food Biochem.*, 44(1), e13073.
- Diener S., Zurrbrugg C., Tockner K. (2015). Bioaccumulation of heavy metals in the black soldier fly, *Hermetia illucens* and effects on its life cycle. *J. Insects Food Feed*, 1, 261–270.
- Dreassi E., Mancini A., Corbini G., Botta M., Tarchi F., Francardi V. (2020). Bioaccumulation of deltamethrin, tebuconazole and chlormequat chloride in *T. molitor* larvae and risks associated with their human consumption. *J. Insects Food Feed*, 6(5), 457–66.
- EFSA Scientific Committee. (2015). Risk profile related to production and consumption of insects as food and feed. *EFSA J.*, 13(10), 4257.
- FAO. (2021). Looking at edible insects from a food safety perspective. Challenges and opportunities for the sector. *Angew Chem Int Ed.*
- Fels-Klerx H.J. van der, Camenzuli L., Belluco S., Meijer N., Ricci A. (2018). Food Safety Issues Related to Uses of Insects for Feeds and Foods. *Compr. Rev. Food Sci. Food Saf.*, 17(5), 1172–1183.
- Frigerio J., Agostinetti G., Sandionigi A., Mezzasalma V., Berterame N.M., Casiraghi M., Labra M., Galimberti A. (2020). The hidden ‘plant side’ of insect novel foods: A DNA-based assessment. *Food Res. Int.*, 128, 108751.
- Fuso A., Leni G., Prandi B., Lolli V., Caligiani A. (2024). Novel foods/feeds and novel frauds: The case of edible insects. *Trends Food Sci. Technol.*, 147, 104457.
- Gałęcki R., Sokół R. (2019). A parasitological evaluation of edible insects and their role in the transmission of parasitic diseases to humans and animals. *PloS One*, 14(7), e0219303.
- Garofalo C., Milanović V., Cardinali F., Aquilanti L., Clementi F., Osimani A. (2019). Current knowledge on the microbiota of edible insects intended for human consumption: A state-of-the-art review. *Food Res. Int.*, 125, 108527.
- Gier S. de, Verhoeckx K. (2018). Insect (food) allergy and allergens. *Mol Immunol*, 100, 82–106.
- Hall F.G., Liceaga A.M. (2021). Isolation and proteomic characterization of tropomyosin extracted from edible insect protein. *Food Chem. Mol. Sci.*, 3, 100049.
- Handley M.A., Hall C., Sanford E., Diaz E., Gonzalez-Mendez E., Drace K., Wilson R., Villalobos M., Croughan M. (2007). Globalization, binational communities, and imported food risks: results of an outbreak investigation of lead poisoning in Monterey County, California. *American Journal of PublicHealth*, 97, 900–906.
- Huis A. van (2020). Insects as food and feed, a new emerging agricultural sector: a review. *J. Insects Food Feed*, 6(1), 27–44.
- Huis A. van (2022). Edible insects: Challenges and prospects. *Entomol. Res.*, 52(4), 161–77.
- Huis A. van, Gasco L. (2023). Insects as feed for livestock production. *Science*, 379(6628), 138–139.
- Imathiu S. (2020). Benefits and food safety concerns associated with consumption of edible insects. *NFS J*, 18, 1–11.
- Jensen A.N., Hansen S.H., Baggesen D.L. (2020). *Salmonella typhimurium* level in mealworms (*Tenebrio molitor*) after exposure to contaminated substrate. *Front. Microbiol.*, 11, 1613.
- Ji K., Chen J., Li M., Liu Z., Wang C., Zhan Z., Wu X., Xia Q. (2009). Anaphylactic shock and lethal anaphylaxis caused by food consumption in China. *Trends Food Sci. Technol.*, 20(5), 227–31.
- Kim B.F., Santo R.E., Scatterday A.P., Fry J.P., Synk C.M., Cebren S.R., Mekonnen M.M., Hoekstra A.Y., Pee S. de, Bloem M.W., Neff R.A., Nachman K.E. (2020). Country-specific dietary shifts to mitigate climate and water crises. *Glob. Environ. Change*, 62, 101926.

- Kok R. (2021). Preliminary project design for insect production: part 4 – facility considerations. *J. Insects Food Feed*, 7(5), 541–52.
- Kwiatk K., Bakula T., Sieradzki Z., Osiński Z., Kowalczyk E. (2021). Wytyczne dobrej praktyki higienicznej w produkcji owadów dla celów paszowych i spożywczych. Zakład Hig. Pasz Państw. Inst. Weter. Inst. Badaw., 169.
- Lange K.W., Nakamura Y. (2021). Edible insects as future food: chances and challenges. *J. Future Foods*, 1(1), 38–46.
- Leni G., Tedeschi T., Faccini A., Pratesi F., Folli C., Puxeddu I., Migliorini P., Gianotten N., Jacobs J., Depraetere S., Caligiani A., Sforza S. (2020). Shotgun proteomics, in-silico evaluation and immunoblotting assays for allergenicity assessment of lesser mealworm, black soldier fly and their protein hydrolysates. *Sci. Rep.*, 10(1), 1228.
- López M.F.O., Ghnimi S., Liu C. (2023). Willingness to consume insect-based food in France: Determinants and consumer perspectives. *LWT*, 185, 115179.
- Luo X., Yang Q., Lin Y., Tang Z., Tomberlin J.K., Liu W., Huang Y (2022). Black soldier fly larvae effectively degrade lincomycin from pharmaceutical industry wastes. *J. Environ. Manage.*, 307, 114539.
- Marchi L.D., Mainente F., Leonardi M., Scheurer S., Wangorsch A., Mahler V., Pilolli R., Sorio D., Zoccatelli G. (2021). Allergenicity assessment of the edible cricket *Acheta domestica* in terms of thermal and gastrointestinal processing and IgE cross-reactivity with shrimp. *Food Chem.*, 359, 129878.
- Marin C., Ibañez D., Rios-Corripio G., Guerrero J.A., Rodrigo D., Martinez A. (2020). Nature of the inactivation by high hydrostatic pressure of natural contaminating microorganisms and inoculated *Salmonella Typhimurium* and *E. coli* O157: H7 on insect protein-based gel particles. *LWT*, 133, 109948.
- McConnell T. (2021). A locust plague hit East Africa. The pesticide solution may have dire consequences. *Natl. Geogr.*, 24.
- Meyer A.M., Meijer N., Hil E.F.H. van den, Fels-Klerx H.J. van der. (2021). Chemical food safety hazards of insects reared for food and feed. *J. Insects Food Feed*, 7(5), 823–832.
- Mézes M. (2018). Food safety aspect of insects: A review. *Acta Aliment.*, 47(4), 513–522.
- Murefu T.R., Macheka L., Musundire R., Manditsera F.A. (2019). Safety of wild harvested and reared edible insects: A review. *Food Control*, 101, 209–224.
- Ordoñez-Araque R., Egas-Montenegro E. (2021). Edible insects: A food alternative for the sustainable development of the planet. *Int. J. Gastron. Food Sci.*, 23, 100304.
- Osimani A., Milanović V., Cardinali F., Roncolini A., Garofalo C., Clementi F., Pasquini M., Mozzon M., Foligni R., Raffaelli N., Zamporlini F., Aquilanti L. (2018). Bread enriched with cricket powder (*Acheta domestica*): A technological, microbiological and nutritional evaluation. *Innov. Food Sci. Emerg. Technol.*, 48, 150–163.
- Poma G., Cuykx M., Amato E., Calaprice C., Focant J.F., Covaci A. (2017). Evaluation of hazardous chemicals in edible insects and insect-based food intended for human consumption. *Food Chem. Toxicol.*, 100, 70–79.
- Poma G., Cuykx M., Silva K.M.D., Iturrospe E., Nuijs A.L.N. van, Huis A. van, Covaci A. (2022). Edible insects in the metabolomics era. First steps towards the implementation of entometabolomics in food systems. *Trends Food Sci. Technol.*, 119, 371–377.
- Ribeiro J.C., Cunha L.M., Sousa-Pinto B., Fonseca J. (2018). Allergic risks of consuming edible insects: A systematic review. *Mol. Nutr. Food Res.*, 62(1), 1700030.
- Ssepuuya G., Wynants E., Verreth C., Crauwels S., Lievens B., Claes J., Nakimbugwe D., Campenhout L.V. (2019). Microbial characterisation of the edible grasshopper *Ruspolia differens* in raw condition after wild-harvesting in Uganda. *Food Microbiol.*, 77, 106–117.
- Surendra K.C., Tomberlin J.K., Huis A. van, Cammack J.A., Heckmann L.H.L., Khanal S.K. (2020). Rethinking organic wastes bioconversion: Evaluating the potential of the black soldier fly (*Hermetia illucens* (L.)) (Diptera: Stratiomyidae) (BSF). *Waste Manag.*, 117, 58–80.

- Tang C., Yang D., Liao H., Sun H., Liu C., Wei L., Li F. (2019). Edible insects as a food source: a review. *Food Prod. Process. Nutr.*, 21, 1(1), 8.
- Turck D., Bohn T., Castenmiller J., De Henauw S., Hirsch-Ernst K.I., Maciuk A., Mangelsdorf I., McArdle H.J., Naska A. i in. (2021). Safety of frozen and dried formulations from whole yellow mealworm (*Tenebrio molitor* larva) as a novel food pursuant to Regulation (EU) 2015/2283. *EFSA J.*;19(8), e06778.
- Zhang Z.Q., Chen S.C., Xiao J.H., Huang D.W. (2024). State-of-the-art review of edible insect: from bioactives, pretreatment to enrichment. *Food Biosci.*, 59, 103879.
- Żuk-Golaszewska K., Gałęcki R., Obremski K., Smetana S., Figiel S., Golaszewski J. (2022). Edible Insect Farming in the Context of the EU Regulations and Marketing-An Overview. *Insects*, 13(5).

Safety of consumption and use of insects in food production

Abstract: Food safety issues related to edible insects must be thoroughly understood if we are to overcome resistance in societies unfamiliar with such dietary practices. Among these threats, the detection of potential food pathogens, allergens, toxins, and chemical contaminants can be of major concern. The presence and level of contaminants in edible insects depends on the insect species, the stage of collection, the feed substrates used, and the production methods. Effective control measures and hygienic practices in production, processing, preservation, and handling of edible insects are needed to eliminate the risk of microbiological infections and protect the health of consumers.

Michał Miłek^{1,*}, Karolina Kasiedczak (z d. Szymaniak)²,
Małgorzata Dżugan¹

WPŁYW WYBRANYCH METOD UTRWALANIA ORAZ WZBOGACANIA EKSTRAKTEM PROPOLISU NA AKTYWNOŚĆ ANTYOKSYDACYJNĄ OWOCÓW GRUSZY

Streszczenie: Gruszki (owoce gruszy, *Pyrus communis*) należą do najważniejszych owoców produkowanych w Europie Środkowej, w tym w Polsce, o cennych właściwościach odżywczych i dużym potencjale biologicznym. Celem pracy było zbadanie wpływu wybranych metod utrwalania (suszenie, liofilizacja) na zawartość związków fenolowych oraz potencjał przeciwutleniający owoców gruszy (3 odmiany), a także możliwość wzbogacenia w antyoksydanty poprzez zastosowanie przed suszeniem moczenia w ekstrakcie propolisu. Zawartość związków fenolowych ogółem kształtowała się w przedziale 87 – 266 mg GAE/100 s.m., po utrwalaniu wartości te uległy obniżeniu o 8,25 – 22,87%, podobnie jak aktywność antyoksydacyjna mierzona metodami FRAP i DPPH. Uzyskane wyniki wskazują, że liofilizacja pozwala na lepsze zachowanie właściwości prozdrowotnych owoców. Zastosowanie ekstraktu propolisu do wzbogacenia owoców odmiany Lukaszówka przed suszeniem pozwoliło osiągnąć istotne wzmocnienie oznaczanych parametrów (wzrost od 17 do 40%), co potencjalnie wskazuje na wyższą wartość prozdrowotną otrzymanych owoców, a jednocześnie stanowi metodę wprowadzenia propolisu do diety.

Wprowadzenie

Owoce są ważnym źródłem składników odżywczych, a także substancji bioaktywnych w prawidłowej diecie człowieka. Wraz z warzywami, przy zachowaniu odpowiedniej proporcji, stanowią jeden z podstawowych poziomów piramidy żywieniowej. Dostarczają wody, węglowodanów, błonnika, składników mineralnych, witamin (zwłaszcza witaminy C) oraz przeciwutleniaczy [Płocharski i in. 2017]. Wśród owoców polskich istotne miejsce zajmują gruszki. W 2023 r. w skali kraju uprawy gruszy zajmowały powierzchnię 5587 ha, a całkowity zbiór owoców wyniósł ponad 79 000 ton [GUS 2024].

¹ Katedra Chemii i Toksykologii Żywności, Wydział Technologiczno-Przyrodniczy, Uniwersytet Rzeszowski, ul. Ćwiklińskiej 1a, 35-959 Rzeszów.

² Absolwentka kierunku Technologia Żywności i Żywnienie Człowieka, Wydział Technologiczno-Przyrodniczy, Uniwersytet Rzeszowski, ul. Zelwerowicza 4, 35-601 Rzeszów.

* mmilek@ur.edu.pl

Grusza (*Pyrus* L.) jest drzewem z rodziny różowatych (*Rosaceae*) rosnącym naturalnie w Europie Zachodniej, Afryce Południowej i Azji (Chiny, Pakistan) [Ibrahim i Hammoudi 2020]. Znanych jest ponad 20 gatunków z rodzaju *Pyrus*, a liczba podgatunków i odmian przewyższa 5000 [Wu i in. 2018]. W warunkach europejskich uprawiana jest grusza pospolita (*P. communis* L.) z jej licznymi odmianami różniącymi się morfologią i właściwościami owoców. Owoce są typu jabłkowatego o charakterystycznym gruszkowatym kształcie, długości 4–12 cm, z ziarnistym miąższem i skórka o barwie od zielonej do żółtej, czasem z odcieniem czerwieni, zawierają kilka ciemnobrązowych nasion. Wśród odmian gruszy uprawianych w Polsce najpopularniejsze są Konferencja, Lukaszówka, Faworytka, Bera, Concorde czy Hortensja, ostatnio popularyzuje się także uprawę odmian dawnych, np. Dobra Szara, Dziekanka Lipcowa, Kongresówka [Wawrzyńczak i in. 2008, Hodun 2020].

Owoce gruszy spożywanie na surowo oraz w postaci różnego rodzaju przetworów (przeciery, konfitury, marynaty, kompoty) dostarczają składników odżywczych oraz cennych substancji bioaktywnych. Gruszki składają się w głównej mierze z wody (84%), węglowodanów (14%), błonnika (2%), białka (0,3%) i tłuszczu (0,1%). Stugramowa porcja gruszek dostarcza ok. 54 kalorii [Kolniak-Ostek 2016a]. Ponadto zawierają witaminy (A, B1, B2, B3, B6) oraz składniki mineralne: potas, fosfor, wapń, magnez, sód, żelazo, miedź. Są również bogate w aminokwasy, m.in. leucynę, izoleucynę, metioninę, fenyloalaninę, lizynę, treoninę i histydynę [Mahammad i in. 2010]. Skład fitochemiczny owoców gruszy obejmuje przede wszystkim związki polifenolowe, terpenoidy oraz karotenoidy. Wśród związków polifenolowych dominują flawonoidy i kwasy fenolowe, a skórka owoców jest także źródłem antocyjanin i procyanidyn. Flawonoidy obecne w gruszkach zaliczane są do klas flawan-3-oli (katechiny), flawonoli (pochodne kemferolu, kwercetyny i izoramnetyny) oraz flawonów (pochodne apigeniny) [Kolniak-Ostek 2016a]. Wśród kwasów fenolowych dominują pochodne kwasu chinowego, kawowego, p-kumarowego i ferulowego [Kolniak-Ostek 2016a]. W gruszkach oznaczono także związki z klasy terpenoidów: kwas ursolowy, betulinowy, oleanolowy, a także betulinę i lupeol [Kolniak-Ostek 2016a, 2016b, Singh i in. 2024].

Dzięki substancjom bioaktywnym owoce gruszy wykazują szereg właściwości prozdrowotnych. Z obecności licznych polifenoli oraz kwasu askorbinoowego wynikają antyoksydacyjne właściwości gruszek, co wykazano wielokrotnie za pomocą różnorodnych metod analitycznych (m.in. ABTS, DPPH, FRAP) [Kolniak-Ostek 2016a, Ibrahim i Hammoudi 2020, Singh i in. 2024]. Ponadto w badaniach *in vitro* oraz *in vivo* dowiedziono m.in. przeciwdrobnoustrojowego, przeciwcukrzycowego, przeciwzapalnego, hepatoprotekcyjnego, antyproliferacyjnego i przeciwartretycznego działania gruszek i preparatów uzyskanych na ich bazie [Kolniak-Ostek i in. 2020, Ibrahim i Hammoudi 2020, Singh i in. 2024].

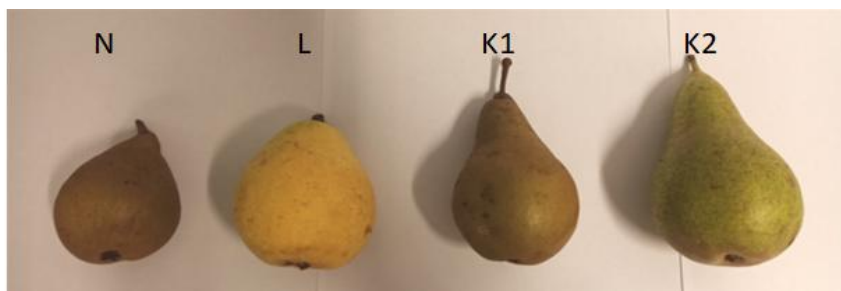
Świeże owoce mają krótki termin spożycia, a występujące w nich składniki odżywcze mogą ulegać degradacji podczas przechowywania, dlatego też stosuje się różnorodne metody utrwalania owoców. Zwraca się uwagę, by stosowane techniki utrwalania pozwalały na utrzymanie możliwie największej części składników i korzystnych właściwości produktu. Tradycyjnymi metodami konserwacji gruszek są suszenie, marynowanie w zalewach oraz przetwarzanie na dżemy, konfitury i kompoty.

Celem pracy było zbadanie wpływu zastosowanych metod konserwacji gruszek na ich potencjał antyoksydacyjny i zawartość związków polifenolowych. Ponadto oceniono możliwość wzbogacenia suszonych owoców gruszki w związki bioaktywne propolisu.

Materiał i metody

Materiał badany

Materiał do badań stanowiły owoce gruszy *P. communis* zebrane i zakupione we wrześniu 2021 w gospodarstwach sadowniczych oraz na targach w województwach podkarpackim i lubelskim. Pozyskano 4 próbki: jedną nieokreślonej odmiany (N), jedną odmiany Lukasówka (L) oraz dwie odmiany Konferencja (K1 i K2). Zdjęcia owoców przedstawiono na rysunku 1.



Rysunek 1. Badane odmiany gruszek

(N – odmiana nieokreślona, L – odmiana Lukasówka, K1 i K2 – odmiana Konferencja)

Źródło: opracowanie własne

Zawartość wody w owocach ustalono metodą wagową przy użyciu wagosuszarki Radwag MA.50 R.

Ekstrakt propolisu (EEP) przygotowano poprzez zalanie 10 g rozdrobnionego propolisu 100 ml roztworu etanolu (70%). Mieszaninę poddano wytrząsaniu przez 30 minut na wytrząsarce laboratoryjnej (400 obr/min), a następnie pozostawiono do maceracji na 5 dni z okazjonalnym wstrząsaniem. Po tym czasie ekstrakt przesączono przez filtr bibułowaty.

Utrwalanie owoców

Suszenie konwekcyjne

Po 6 sztuk owoców każdej odmiany obrano, usunięto gniazda nasienne i zważono. Następnie pokrojono w kostki o wymiarach $2 \times 1,5$ cm i plastry o grubości 0,2–0,3 mm. Tak przygotowane próbki poddano suszeniu przez 48 godzin w temperaturze 60°C i 20 godzin w temperaturze 65°C przy użyciu suszarki SLN 53 STD (Pol-Eko Aparatura, Wodzisław Śląski). Po suszeniu oznaczono ponownie masę próbek i obliczono stratę masy podczas suszenia.

Liofilizacja

Owoce pokrojone w kostki o wymiarach $2 \times 1,5$ cm zamrożono w temperaturze -65°C (48 godzin), a następnie poddano liofilizacji przy użyciu liofilizatora Alpha 1-2 LDPLUS (Martin Christ). Proces prowadzono przez 75 godzin.

Wzbogacenie owoców ekstraktem propolisu

Do wzbogacenia etanolem ekstraktem propolisu wybrano owoce odmiany Lukaszówka. Plastry owocu ($66,0 \pm 0,5\text{g}$) zanurzano w ekstrakcie propolisu na 5 sekund, a następnie odsączało nadmiar cieczy na bibule. Plastry gruszek poddano suszeniu w warunkach opisanych powyżej.

Ocena całkowitej zawartości związków fenolowych i właściwości antyoksydacyjnych

Do oceny zawartości związków fenolowych oraz właściwości antyoksydacyjnych przygotowano ekstrakty z gruszek poddanych utrwalaniu. Próbkę zhomogenizowano w mrożdźniku, a następnie odważano po 1 g materiału badanego, zalewano 10 ml 50% alkoholu etylowego i ekstrahowano w łaźni ultradźwiękowej Sonic-10 (Polsonic, Warszawa) przez 15 minut. Ekstrakty przesączono przez filtry bibułowe i do czasu analiz przechowywano w chłodziarce.

Całkowitą zawartość związków fenolowych oznaczono metodą kolorymetryczną z odczynnikiem Folina-Ciocalteu według zmodyfikowanej metody Singletona i Rossiego [1965]. Do studzienek płytki 96-dołkowej wprowadzono w trzech powtórzeniach po 20 μl ekstraktów gruszek, następnie dodano po 100 μl odczynnika Folina-Ciocalteu (10%) i 80 μl 7,5% Na_2CO_3 . Płytkę inkubowano w ciemności przez godzinę, a następnie dokonano pomiaru absorpcji przy długości fali 760 nm przy pomocy czytnika mikropłytek EPOCH2 (Biotek). Zawartość związków fenolowych wyrażono w równoważnikach kwasu galusowego [$\text{mg GAE}/100\text{ g s.m.}$] według krzywej wzorcowej ($y = 0,3364x$, $r^2 = 0,9914$).

Aktywność antyoksydacyjną oznaczono zmodyfikowanymi metodami DPPH [Blois 1958] oraz FRAP [Benzie i Strain 1996].

W celu określenia potencjału przeciwrodnikowego do 20 µl ekstraktu dodawano 180 µl odczynnika DPPH (0,1 M w metanolu, rozcieńczony do absorbancji $0,900 \pm 0,050$). Mieszaniny inkubowano bez dostępu światła przez 30 minut, a następnie zmierzono absorbancję przy długości fali 517 nm przy pomocy czytnika mikroplitek EPOCH2 (Biotek) względem metanolu. W próbie kontrolnej ekstrakt zastąpiono wodą destylowaną. Aktywność antyoksydacyjną, wyrażoną jako % inhibicji wolnych rodników, obliczono za pomocą wzoru: $AA\% = [(AB - AA)/AB] \times 100$, gdzie AA – to absorbancja badanej próbki, AB – absorbancja próby kontrolnej. Uzyskane wyniki wyrażono w równoważnikach troloksu [$\mu\text{mol Tx}/100 \text{ g s.m.}$] z równania krzywej kalibracyjnej: $y = 15,555x$ ($r^2=0,9898$).

Zdolność do redukcji jonów żelaza(III) określono metodą FRAP. Do 20 µl ekstraktu dodawano 180 µl odczynnika FRAP [2,5 ml 10 mM roztworu 2,4,6-tripirydylotriazyny (TPTZ) w 40 mM HCl, 2,5 ml 20 mM FeCl_3 i 25 ml 0,3 M buforu octanowego (pH 3,6)]. Płytkę inkubowano przez 10 minut w temperaturze 37°C i po tym czasie dokonano pomiaru absorbancji przy długości fali 593 nm przy pomocy czytnika mikroplitek EPOCH2 (Biotek). Uzyskane dane zostały przeliczone na równoważniki troloksu [$\mu\text{mol Tx}/100 \text{ g s.m.}$] z równania krzywej kalibracyjnej: $y = 0,152x$ ($r^2=0,9998$).

Analiza statystyczna

Wszystkie analizy wykonano w trzech powtórzeniach, wyniki przedstawiono jako średnia $\pm$ odchylenie standardowe. Istotność statystyczną różnic oceniono testem post-hoc Tukeya poprzedzonym analizą wariancji (ANOVA) oraz testem t-Studenta. Do obliczeń zastosowano oprogramowanie Statistica 13 (Statsoft) oraz GraphPad Prism 10.

Wyniki i dyskusja

W zbiorczej tabeli (tabela 1) zestawiono dane uzyskane dla gruszek świeżych (na świeżą masę oraz z uwzględnieniem zawartości wody w przeliczeniu na suchą masę), suszonych oraz liofilizowanych.

Tabela 1. Zawartość wody, związków fenolowych oraz właściwości antyoksydacyjne próbek świeżych oraz utrwalonych

Próbka		Zawartość wody [%]	Całkowita zawartość związków fenolowych [$\text{mg GAE}/100 \text{ g}$]	Aktywność przeciwrodnikowa DPPH [$\mu\text{mol TE}/100 \text{ g}$]	Sila redukująca FRAP [$\mu\text{mol TE}/100 \text{ g}$]
1	2	3	4	5	6
N	świeża [s.m.]	83,41	$41,5^d \pm 0,01$	$108,56^c \pm 0,06$	$150,33^c \pm 0,04$
	świeża [s.m.]*	–	$250,15^c \pm 0,60$	$654,36^c \pm 0,36$	$906,14^c \pm 0,24$
	suszona	n.o.	$229,5^d \pm 0,06$	$389,19^c \pm 0,02$	$771,71^c \pm 0,003$
	liofilizowana	n.o.	$239,5^b \pm 0,01$	$337,22^b \pm 0,01$	$792,43^d \pm 0,03$

1	2	3	4	5	6
L	świeża [ś.m.]	90,43	25,5 ^b ± 0,01	65,44 ^a ± 0,03	98,68 ^b ± 0,01
	świeża [s.m.]*	–	266,46 ^c ± 1,04	683,83 ^c ± 0,31	1031,18 ^d ± 0,14
	suszona	n.o.	205,5 ^c ± 0,01	219,43 ^b ± 0,03	539,80 ^b ± 0,05
	liofilizowana	n.o.	214,0 ^c ± 0,02	275,81 ^b ± 0,02	549,34 ^b ± 0,04
K1	świeża [ś.m.]	83,01	38,5 ^c ± 0,05	53,51 ^a ± 0,01	107,24 ^b ± 0,02
	świeża [s.m.]*	–	226,60 ^b ± 0,29	314,95 ^b ± 0,06	631,18 ^b ± 0,18
	suszona	n.o.	178,5 ^b ± 0,03	264,47 ^b ± 0,002	623,68 ^b ± 0,02
	liofilizowana	n.o.	238,0 ^b ± 0,01	429,61 ^c ± 0,008	628,29 ^c ± 0,04
K2	świeża [ś.m.]	83,44	14,5 ^a ± 0,50	76,14 ^b ± 0,01	57,24 ^a ± 0,01
	świeża [s.m.]*	–	87,56 ^a ± 3,02	163,54 ^a ± 0,06	345,63 ^a ± 0,06
	suszona	n.o.	75,5 ^a ± 0,04	149,45 ^a ± 0,02	373,36 ^a ± 0,06
	liofilizowana	n.o.	84,0 ^a ± 0,01	128,19 ^a ± 0,01	383,22 ^a ± 0,02

a, b, c, d – średnie w kolumnach dla danej metody utrwalania oznaczone różnymi literami różnią się istotnie ($p < 0,05$), N – odmiana nieokreślona, L – Lukasówka, K1, K2 – Konferencja, ś.m. – świeża masa, s.m. – sucha masa (100% – zawartość wody); * – wynik przeliczony na zawartość suchej masy, n.o. – nie oznaczono

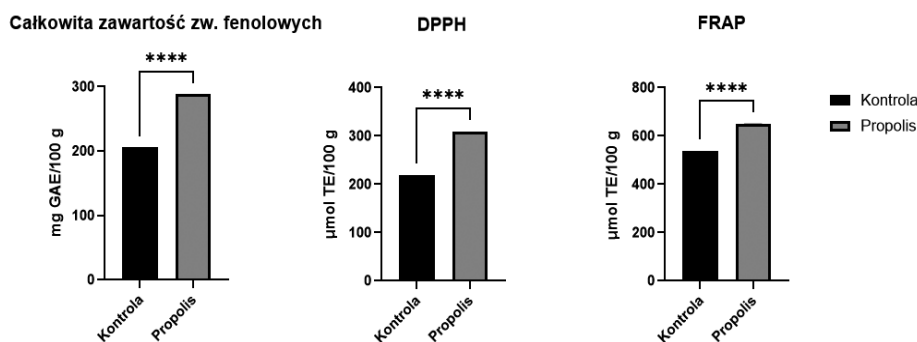
Źródło: opracowanie własne

W przypadku świeżych owoców gruszki najwyższą zawartością polifenoli oraz aktywnością przeciwutleniającą charakteryzowały się owoce nieokreślonej odmiany (N), a najniższą odmiany Konferencja (K2, odmiana o największych owocach). Istotną różnicę wykazano również w przypadku zawartości polifenoli ogółem pomiędzy dwiema próbkami odmiany Konferencja. Różnice w aktywności owoców tej samej odmiany mogą być spowodowane warunkami uprawy drzew, zabiegami agrotechnicznymi czy też różnym stopniem dojrzałości. Zróżnicowanie odmianowe gruszek pod kątem zawartości polifenoli oraz antyoksydantów potwierdzają także inne badania. Kolniak-Ostek i współpracownicy [2020] wskazali na Konferencję jako odmianę o najslabszych właściwościach przeciwutleniających. Owoce tradycyjnych odmian, takich jak badane owoce N, mogą być cennym źródłem substancji bioaktywnych. Potwierdzają to m.in. badania Savić i współpracowników [2021], którzy w porównaniu tradycyjnych serbskich odmian gruszek do gruszek dzikich oraz komercyjnych ('Williams Bartlett') potwierdzili silniejsze właściwości odmian tradycyjnych.

Suszenie jest najbardziej powszechną metodą utrwalania owoców takich jak gruszki. Stwierdzono obniżenie całkowitej zawartości związków fenolowych w granicach od 8,26 do 22,88% dla wszystkich badanych owoców. Suszenie owoców gruszki K2 spowodowało natomiast wzrost całkowitej zawartości związków fenolowych o 49,89%. Suszenie wpłynęło na obniżenie aktywności antyoksydacyjnej, mierzonej zdolnością do wygaszania rodnika DPPH, większości badanych odmian gruszek. Największe straty aktywności obserwowano dla gruszki L (67%), natomiast najmniejsze dla K1 (16,03%). Ponownie tendencję wzrostu właściwości przeciwutleniającej zaobserwowano dla gruszki K2. Analogiczne zmiany wykazano metodą redukcji jonów żelaza(III) (FRAP).

Spadek zawartości polifenoli podczas suszenia jest zjawiskiem typowym dla owoców. Obniżenie poziomu tych związków, a także aktywności antyoksydacyjnej podczas suszenia jabłek różnymi metodami obserwowali Nowacka i współpracownicy [2011]. Z kolei liofilizacja jest procesem utrwalania pozwalającym na najlepsze zachowanie wartości odżywczych suszonych produktów [Sadowska i in. 2017]. We wszystkich ocenianych próbkach liofilizowanych zawartość związków fenolowych była wyższa niż w suszonych konwekcyjnie, z wyjątkiem próbek K2 oraz N (w przypadku metody DPPH), odnotowano również wyższy potencjał antyoksydacyjny owoców liofilizowanych niż suszonych. W badaniach Gębczyńskiego i współpracowników [2017] stwierdzono wyższą retencję witamin C i E gruszek liofilizowanych niż w produktach suszonych konwekcyjnie, natomiast w przypadku polifenoli i aktywności antyoksydacyjnej była ona podobna. Na przykładzie jabłek potwierdzono również, że suszenie sublimacyjne zapewnia najniższą degradację związków bioaktywnych i najwyższą jakość sensoryczną produktu [Kidoń i Grabowska 2021].

Zastosowanie ekstraktu propolisu miało w założeniu przedłużyć trwałość suszonych owoców, ze względu na znane właściwości przeciwdrobnoustrojowe i konserwujące propolisu [Wolska i in. 2016, Przybyłek i Karpiński 2019, Segueni i in. 2023], a także wzbogacić uzyskany w ten sposób produkt w składniki bioaktywne. Dane pokazujące wzbogacenie suszonej gruszki w związki fenolowe z propolisu oraz wzrost potencjału przeciwutleniającego przedstawiono na rysunku 2.



Rysunek 2. Wzbogacenie suszonej gruszki odmiany Łukasówka w składniki bioaktywne propolisu podczas suszenia konwekcyjnego

**** – istotne różnice ($p < 0,0001$)

Źródło: opracowanie własne

Wszystkie trzy oznaczane parametry wskazują na istotne wzbogacenie gruszki w składniki bioaktywne pochodzące z ekstraktu propolisu. Zaobserwowano ok. 40% wzrost zawartości związków fenolowych w owocach suszonych z dodatkiem ekstraktu propolisu. Także potencjał antyoksydacyjny uległ podwyższeniu,

co jest ściśle związane ze wzbogaceniem w polifenole. Propolis jest bogatym źródłem związków fenolowych, głównie kwasów fenolowych i flawonoidów [Kurek-Górecka i in. 2013, Miłek i in. 2024]. Ze względu na złożony skład chemiczny i nierozpuszczalność w wodzie jego zastosowanie jako funkcjonalnego składnika żywności wymaga ekstrakcji i uzyskania odpowiedniej formy, np. w postaci proszków (suszenie rozpyłowe, liofilizacja) czy emulsji [Irigoit i in. 2021].

Zwiększenie zawartości związków fenolowych i aktywności antyoksydacyjnej przy jednoczesnym efekcie hamującym pleśnienie zaobserwowano np. w przypadku dodatku suchego ekstraktu propolisu do chleba [Hosseini Khabbazi i in. 2023]. Wielokrotnie badano możliwość przedłużania trwałości owoców poprzez ich zanurzanie, nastrzykiwanie oraz spryskiwanie ekstraktami propolisu, jak również stosowanie cienkich filmów opartych na ekstraktach propolisu powlekających powierzchnię owoców [Pu i in. 2023]. Badania naukowców z Portugalii dowiodły skuteczności aplikacji ekstraktu propolisu na uszkodzone gruszki w celu zahamowania rozwoju grzybów z gatunku *Stemphylium vesicarium* [Loebler i in. 2020]. Z kolei krótkotrwale zanurzanie bananów w ekstrakcie propolisu pozwoliło na wydłużenie ich trwałości, ograniczenie strat wody i witaminy C, zmian pH i barwy przy jednoczesnym zwiększeniu zawartości związków fenolowych [Awad i Al-Qurashi 2019].

Podsumowanie i wnioski

Spośród badanych owoców gruszy najwyższą zawartością związków fenolowych odznaczały się małe owoce nieokreślonej starej odmiany. Jednak przy uwzględnieniu wyższej zawartości wody duże owoce odmiany Łukasówka były bogatsze w antyoksydanty. Zastosowanie liofilizacji pozwoliło w największym stopniu zachować prozdrowotne właściwości gruszek, nieco większe straty zaobserwowano w przypadku suszenia konwekcyjnego. Jako innowacyjny sposób utrwalania owoców pozwalający dodatkowo wzbogacić je w związki polifenolowe zaproponowano krótkotrwale zanurzanie ich w ekstrakcie propolisu przed procesem suszenia. Z drugiej strony, owoce suszone z dodatkiem ekstraktu propolisu stanowią funkcjonalną przekąskę i mogą być ciekawą formą wprowadzenia tego cennego produktu pszczelego do diety.

Bibliografia

- Awad M.A., Al-Qurashi A.D. (2019). Quality and Biochemical Changes of 'Sukkari' Bananas during Shelf Life as Affected by Postharvest Dipping in Ethanolic Extract of Propolis. The Philippine Agricultural Scientist, 102 (2), 132–140.

- Benzie I.F.F., Strain J.J. (1996). The Ferric Reducing Ability of Plasma (FRAP) as a Measure of "Antioxidant Power": The FRAP Assay. *Analytical Biochemistry* 239, 70–76.
- Blois M.S. (1958). Antioxidant Determinations by the Use of a Stable Free Radical. *Nature* 181(4617), 1199–1200.
- Gębczyński P., Skoczeń-Słupska R., Kur K. (2017). Effect of storage on the content of selected antioxidants and quality attributes in convection and freeze-dried pears (*Pyrus communis* L.). *Italian Journal of Food Science*, 29, 454–462.
- [GUS 2024] Główny Urząd Statystyczny (2024). Produkcja upraw rolnych i ogrodnich w 2023 roku, <https://stat.gov.pl/obszary-tematyczne/rolnictwo-lesnictwo/uprawy-rolne-i-ogrodnicze/produkcja-upraw-rolnych-i-ogrodnich-w-2023-roku,9,22.html> (dostęp: 17.03.2025).
- Hodun G. (2020). Dawne odmiany do ogrodów przydomowych. Rośliny sadownicze. Grusze do sadu i ogrodu. Instytut Ogrodnictwa, Skierniewice, 1–33.
- Hosseini Khabbazi S., Mansouripour S., Saremnezhad S. (2023). The effect of propolis extract as a valuable natural additive on the quality characteristics of toast bread. *Food Science & Nutrition*, 11, 5438–5445.
- Ibrahim R.M., Hammoudi Z.M. (2020). Phytochemistry and pharmacological activity of pear (*Pyrus communis* L.): a review. *Plant Archives*, 20 (2), 7820–7828.
- Irigoitia Y., Navarro A., Yamul D., Libonatti C., Tabera A., Basualdo M. (2021). The use of propolis as a functional food ingredient: A review. *Trends in Food Science & Technology*, 115, 297–306.
- Kidoń M., Grabowska J. (2021). Bioactive compounds, anti-oxidant activity, and sensory qualities of red-fleshed apples dried by different methods, *LWT – Food Science and Technology*, 136, 110302.
- Kolniak-Ostek J. (2016a). Chemical composition and antioxidant capacity of different anatomical parts of pear (*Pyrus communis* L.). *Food Chemistry*, 203, 491–497.
- Kolniak-Ostek J. (2016b). Identification and quantification of polyphenolic compounds in ten pear cultivars by UPLC-PDA-Q/TOF-MS. *Journal of Food Composition and Analysis*, 49, 65–77.
- Kolniak-Ostek J., Kłopotowska D., Rutkowski K.P., Skorupińska A., Kruczyńska D.E. (2020). Bioactive Compounds and Health-Promoting Properties of Pear (*Pyrus communis* L.) Fruits. *Molecules*, 25, 4444.
- Kurek-Górecka A., Rzepecka-Stojko A., Górecki M., Stojko J., Sosada M., Świerczek-Zięba G. (2013). Structure and Antioxidant Activity of Polyphenols Derived from Propolis. *Molecules*, 19 (1), 78–101.
- Loebler M., Sanchez C., Mauchagato Maurizio E., Diogo E., Santos M., Vasilenko P., Cruz A.S., Mendes B., Goncalves M., Duarte M.P. (2020). Potential Application of Propolis Extracts to Control the Growth of *Stemphylium vesicarium* in "Rocha" Pear. *Applied Sciences*, 10, 1990.
- Mahammad M.U., Kamba A.S., Abubakar L., Bagna E.A. (2010). Nutritional composition of pear fruits (*Pyrus communis*). *African Journal of Food Science and Technology*, 1 (3), 76–81.
- Milek M., Franke G., Tomczyk M., Górecki M., Cwikova O., Jarošova A., Džugan M. (2024). The Influence of Geographical Origin on Poplar Propolis Composition and the Impact of Human Microbiota. *Pharmaceutics*, 17 (6), 768.
- Nowacka M., Witrowa-Rajchert D., Ruła J. (2011). Wpływ procesów technologicznych na aktywność przeciwutleniającą i zawartość polifenoli w tkance jabłka. *Postępy Techniki Przetwórstwa Spożywczego*, 2, 12–15.
- Płocharski W., Markowski J., Rutkowski K.P., Konopacka D. (2017). Wartości odżywcze i zdrowotne owoców i warzyw. Instytut Ogrodnictwa, Skierniewice, 8–12.
- Przybyłek I., Karpiński T.M. (2019). Antimicrobial properties of propolis. *Molecules*, 24 (11), 2047.
- Pu Y., Jiang H., Zhang Y., Cao J., Jiang W. (2023). Advances in propolis and propolis functionalized coatings and films for fruits and vegetables preservation. *Food Chemistry*, 414, 135662.

- Sadowska A., Dybkowska E., Rakowska R., Hallmann E., Świderski F. (2017). Ocena zawartości składników bioaktywnych i właściwości przeciwutleniających proszków wyprodukowanych metodą liofilizacji z wybranych surowców roślinnych. *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość*, 24 (4), 59–75.
- Savić A., Aradski A.A., Živković J., Šavakin K., Jarić S., Marin P.D., Duletić-Laušević S. (2021). Phenolic Composition, and Antioxidant and Antineurodegenerative Potential of Methanolic Extracts of Fruit Peel and Flesh of Pear Varieties from Serbia. *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences*, 71 (2), 225–236.
- Segueni N., Boutaghane N., Asma S.T., Tas N., Acaroz U., Arslan-Acaroz D., Ali Shah S.R., Abdelatiff H.A., Akkal S., Penalver R., Nieto G. (2023). Review on Propolis Applications in Food Preservation and Active Packaging. *Plants*, 12 (8), 1654.
- Singh S., Verma R., Sharma H. (2024). Exploring the therapeutic potential and bioactive compounds in *Pyrus* species. *Pharmacological Research – Modern Chinese Medicine*, 10, 100342.
- Singleton V.L., Rossi J.A. (1965). Colorimetry of Total Phenolics with Phosphomolybdic-Phosphotungstic Acid Reagents. *American Journal of Enology and Viticulture*, 16(3), 144–158.
- Wawrzyńczak A., Rutkowski K.P., Kruczyńska D.E. (2008). Jakość owoców wybranych odmian gruszy w zależności od temperatury przechowywania. *Zeszyty Naukowe Instytutu Sadownictwa i Kwiaciarstwa*, 16, 153–162.
- Wolska K., Górka A., Adamiak A. (2016). Właściwości przeciwbakteryjne propolisu. *Postępy Mikrobiologii*, 55 (4), 343–350.
- Wu J., Wang Y., Xu J., Korban S.S., Fei Z., Tao S., Ming R., Tai S., Khan A.M., Postman J.D., Gu C., Yin H., Zheng D., Qi K., Li Y., Wang R., Deng C.H., Kumar S., Chagne D., Li X., Wu J., Huang X., Zhang H., Xie Z., Zhang M., Li Y., Yue Z., Fand X., Li J., Li L., Jin C., Qin M., Zhang J., Yang H., Zhang S. (2018). Diversification and independent domestication of Asian and European pears. *Genome Biology*, 19, 77.

Effect of selected preservation methods and propolis extract enrichment on the antioxidant activity of pear fruits

Abstract: Pears (Pear fruit, *Pyrus communis*) are among the most important fruits produced in Central Europe, including Poland, with valuable nutritional properties and high biological potential. The aim of the study was to investigate the effect of selected preservation methods (drying, freeze-drying) on the content of phenolic compounds and the antioxidant potential of pear fruit (3 varieties) and the possibility of enriching them with antioxidants by soaking in propolis extract before drying. The content of total phenolic compounds ranged from 87.56 to 266.46 mg GAE/100 d.m. After preservation, these values decreased by 8.25–22.87%, as did the antioxidant activity, measured by FRAP and DPPH methods. The results obtained indicate that freeze-drying allows for better preservation of the health-promoting properties of the fruit. The use of propolis extract to enrich the fruit of the Lukasówka variety before drying allowed for a significant enhancement of the determined parameters (increase from 17 to 40%), which indicates a higher health-promoting value of the obtained fruit and, at the same time, constitutes a method of introducing propolis into the diet.

Małgorzata Dżugan^{1,*}, Anita Maguda², Monika Tomczyk¹

WYKORZYSTANIE EKSTRAKTÓW OWOCOWYCH I PROPOLISU W PRODUKCJI SŁODYCZY FUNKCJONALNYCH

Streszczenie: Celem pracy było opracowanie receptury żelków na bazie ekstraktów z owoców pigwowca, miodu i propolisu oraz ocena ich właściwości antyoksydacyjnych i tekstury. Ekstrakty z owoców pigwowca uzyskano metodą klasycznej ekstrakcji wodno-etanolowej wspomaganą ultradźwiękami oraz maceracji w miodzie i cukrze. Stwierdzono, że najkorzystniejsze właściwości przeciwutleniające oraz najwyższą zawartość związków fenolowych wykazywał macerat owoców w miodzie. Opracowano recepturę żelków na bazie żelatyny, miodu i ekstraktów, w tym barwionych naturalnymi barwnikami spożywczymi (łącznie 7 wariantów i 2 próby kontrolne). Żelki na bazie maceratu miodowego cechowały się najkorzystniejszymi parametrami tekstury, chociaż wykazywały niższą aktywność antyoksydacyjną niż żelki z dodatkiem zagęszczonego ekstraktu z pigwowca. Barwienie żelków naturalnymi barwnikami zwiększyło atrakcyjność konsumencką słodczy. Z uwagi na wyższą stabilność mikrobiologiczną żelków z dodatkiem propolisu można przypuszczać, że te słodczy będą wykazywać działanie przeciwdrobnoustrojowe w jamie ustnej, wymaga to jednak dalszej weryfikacji badawczej.

Wprowadzenie

W ostatnich latach zarówno w Polsce, jak i na świecie można zaobserwować rosnące zainteresowanie konsumentów żywnością funkcjonalną oraz stosowaniem suplementów diety. Poszukuje się wygodnych i nowoczesnych rozwiązań, które ułatwią bądź też wspomogą tzw. zdrowy tryb życia związany z rosnącą świadomością konsumentów odnośnie zagrożeń zdrowia wynikających z niedbałości dotyczącej sposobu żywienia oraz niedoborów składników odżywczych [Olejniczak 2016].

Jedno z podstawowych zaleceń żywieniowych dotyczy ograniczenia spożycia cukru białego, w tym głównie słodczy. Ich wysokie spożycie może prowadzić do wielu chorób, takich jak cukrzyca, otyłość, hiperglikemia czy też próchnica zębów [Teixeira-Lemos i in. 2021]. Wychodząc naprzeciw oczekiwaniom konsumentów, producenci stają przed wyzwaniem opracowywania receptur słodczy o obniżonej zawartości cukru, w których stosuje się tzw. zamienniki sacharozy, co z kolei budzi

¹ Katedra Chemii i Toksykologii Żywności, Wydział Technologiczno-Przyrodniczy, Uniwersytet Rzeszowski, ul. Ćwiklińskiej 1a, 35-959 Rzeszów.

² Studentka kierunku Technologia Żywności i Żywnienie Człowieka, Wydział Technologiczno-Przyrodniczy, Uniwersytet Rzeszowski, ul. Żelwerowicza 4, 35-601 Rzeszów.

* mdzugan@ur.edu.pl

obawy odnośnie negatywnego wpływu syntetycznych słodzików na zdrowie [Staniewska i in. 2016]. Lepszą alternatywę dla sacharozy stanowi naturalny miód, który posiada niższą kaloryczność i większą słodkość, a równocześnie wykazuje szereg cennych właściwości prozdrowotnych [Kudełka i Jachna 2009].

Żelki owocowe to rodzaj słodczy cieszący się popularnością głównie wśród najmłodszych konsumentów. Produkty te wytwarza się głównie z soków owocowych, cukru lub syropu glukozowo-fruktozowego, substancji żelujących, syntetycznych barwników i aromatów oraz innych E-dodatków. Żelowa tekstura uzyskiwana jest dzięki zastosowaniu substancji żelujących (hydrokoloidów), głównie żelatyny – białka otrzymywanego z kości, chrząstek i skór świńskich lub bydłych [Pilarska i Gawalek 2016]. W związku z popularyzacją wegetarianizmu na rynku wyrobów cukierniczych pojawiły się także żelki na bazie roślinnych hydrokoloidów, takich jak pektyna, agar-agar, guma guar, mączka chleba świętojańskiego [www1]. W ich recepturze stosuje się ekstrakty z owoców stanowiące skoncentrowane źródło składników bioaktywnych, w tym naturalnych barwników i aromatów. Jednak proces technologiczny ich wytwarzania jest związany ze stosowaniem podwyższonych temperatur, co prowadzić może do degradacji składników bioaktywnych [Teixeira-Lemos i in. 2021].

Producenci kształtują prozdrowotne właściwości żelków głównie przez wprowadzanie do receptury ekstraktów z kwaśnych cytrusów. W tym aspekcie dobrą alternatywą wydają się być owoce pigwowca japońskiego określanego mianem „cytryny północy”, które są stosowane w tradycyjnej medycynie chińskiej ze względu na działanie przeciwzapalne, przeciwbakteryjne, przeciwcukrzycowe, przeciwhiperlipidemiczne oraz immunostymulujące [Byczkiewicz i in. 2019]. Podobnie propolis, naturalny środek do leczenia grzybiczych zapaleń jamy ustnej, aft, próchnicy, nadwrażliwości oraz stanów zapalnych dziąseł i przyzębia [Szeleszczuk i in. 2013], wydaje się być dobrym składnikiem wzbogacającym żelki. Wykorzystanie synergizmu produktów pochodzenia pszczelego i roślin leczniczych stanowi podstawę apifitoterapii, niekonwencjonalnej metody profilaktyki chorób cywilizacyjnych, która w naszym kraju powoli zdobywa popularność [Dżugan i in. 2020].

Wpisując się w aktualne trendy poszukiwania zdrowej alternatywy dla popularnych słodczy, w niniejszej pracy podjęto próbę opracowania receptury funkcjonalnych żelków na bazie naturalnych składników, wpisujących się w trend „czystej etykiety” i wykazujących działanie prozdrowotne.

Materiał i metody badań

Do opracowania receptury żelków wykorzystano następujące surowce: owoce pigwowca japońskiego (*Chaenomeles japonica*) pozyskane z prywatnej uprawy, żelatynę spożywczą (Gellwe), miód wielokwiatowy (z własnej pasieki), sacharozę (cukier „Królewski”), ekstrakt propolisowy 10% w 70% etanolu (Miody Polskie Sp. z o.o.) oraz barwniki naturalne „Lemon” i „Strawberry” (Food Colours Perczak Sp. j. Piotrków Trybunalski).

Przygotowanie ekstraktów z owoców pigwowca

Owoce pigwowca dokładnie umyto, usunięto gniazda nasienne i rozdrobniono za pomocą blendera kuchennego. Ekstrakt etanolowy uzyskano na drodze ekstrakcji wspomaganej ultradźwiękami (40 g surowca w 100 cm³ 50% etanolu, łaźnia ultradźwiękowa SONIC-10, Polsonic, Warszawa, 20 minut). Odsączono ekstrakt surowy (objętość dla dwóch powtórzeń wyniosła średnio 68 cm³) i poddano go zagęszczeniu poprzez odparowanie etanolu w koncentratorze próżniowym (RVC 2–18 CDPlus, Martin Christ, Osterode am Harz, Niemcy). Stopień zagęszczenia ekstraktu (Pz) wyniósł średnio 50%. Maceraty owoców pigwowca w miodzie (Pm) i cukrze (Pc) przygotowano przez wymieszanie 100 g drobno pokrojonych owoców pigwowca z substancją słodzącą w stosunku 1:1. Próbkę pozostawiono na 7 dni do maceracji w zamkniętym naczyniu, po tym czasie odsączono owoce. Proces ekstrakcji prowadzono w dwóch powtórzeniach.

Wytwarzanie żelków na bazie ekstraktów pigwowca

Żelki wytworzono według własnej receptury z wykorzystaniem przygotowanych ekstraktów pigwowca w 7 różnych wariantach, których skład podano w tabeli 1. Każdorazowo żelki przygotowano w ten sam sposób: żelatynę zalano wodą (lub ekstraktem) i pozostawiono na 5 min, następnie mieszaninę delikatnie podgrzano do temperatury 40°C na kuchence elektrycznej i mieszano aż do rozpuszczenia. Do ciepłego (ok. 35°C) roztworu wprowadzono pozostałe składniki: miód, propolis oraz opcjonalnie barwnik. Intensywnie mieszano za pomocą szklanej bagietki do połączenia się składników. Masę przeniesiono do silikonowej formy za pomocą plastikowej pipetki i odstawiono do zastygnięcia (60 min w temperaturze ok. 20°C). Po tym czasie formę wstawiono do lodówki, a po 24 godz. wyjęto żelki (rysunek 1), które przechowywano w warunkach chłodniczych w zamkniętym pudełku. Każdy wariant żelków wykonano w dwóch powtórzeniach.

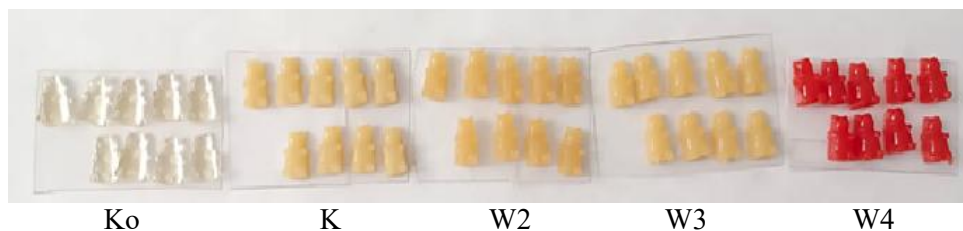
Tabela 1. Skład recepturowy żelków wytworzonych w warunkach laboratoryjnych

Wariant żelków	Żelatyna [g]	Woda [ml]	Ekstrakt owocowy [ml]	Ekstrakt propolisu [ml]	Miód rzepakowy [g]	Barwnik naturalny [g]
1	2	3	4	5	6	7
Ko	2	10	–	–	3 g	–
K	2	9,2	–	0,8	3 g	–
W1	2	–	9,2 Pz	0,8	3 g	–
W2	2	3	9,2 Pm	0,8	–	–
W3	2	3	9,2 Pm	0,8	–	0,075 „Lemon”
W4	2	3	9,21 Pm	0,8	–	0,075 „Strawberry”

1	2	3	4	5	6	7
W5	2	3	9,2 Pc	0,8	–	–
W6	2	3	9,2 Pc	0,8	–	0,075 „Lemon”
W7	2	3	9,2 Pc	0,8	–	0,075 „Strawberry”

Oznaczenia: Ko – żelki kontrolne; K – żelki kontrolne z propolisem; W1 – żelki z propolisem i ekstraktem etanolemowym, W2–W4 – żelki z propolisem i maceratem w miodzie niebarwione i barwione (żółte i czerwone); W5–W7 – żelki z propolisem i maceratem w cukrze niebarwione i barwione (żółte i czerwone)

Źródło: opracowanie własne



Rysunek 1. Żelki bezpośrednio po wyjęciu z formy

Źródło: opracowanie własne

Analiza aktywności antyoksydacyjnej i zawartości związków fenolowych

Aktywność antyoksydacyjną ekstraktów owocowych (odpowiednio rozcieńczonych), ekstraktu propolisu oraz ekstraktów żelków (1 g rozpuszczono w 10 ml wody) analizowano, wykorzystując standardowe metody: FRAP, DPPH oraz TPC. Wszystkie oznaczenia wykonano w trzech powtórzeniach.

Oznaczenie siły redukującej w metodzie FRAP wykonano ściśle według metodyki podanej w pracy Dżugan i in. [2018], mierząc absorbancję w czytniku mikroplótek EPOCH2 (Biotek, Winooski, VT, USA) przy długości fali 593 nm. Wyniki obliczono z równania krzywej kalibracyjnej ($y = 0,152 \cdot x$; $r^2 = 0,999$) wykonanej dla roztworów wzorcowych troloksu i wyrażono w mg troloksu na 1 ml ekstraktu lub 1 g żelków.

Zdolność próbki do neutralizacji rodnika DPPH badano według procedury podanej w pracy Dżugan i in. [2018] na podstawie pomiaru absorbancji przy długości fali 517 nm. Aktywność antyoksydacyjną przeliczono na równoważniki troloksu, stosując krzywą wzorcową ($y = 15,555 \cdot x$; $r^2 = 0,997$) i wyrażono je na 1 ml ekstraktu lub 1 g żelków.

Do wyznaczenia całkowitej zawartości związków fenolowych wykorzystano metodę Folina-Ciocalteu według Dżugan i in. [2018]. Wyniki pomiarów absorbancji przy długości fali 760 nm przeliczono na równoważniki kwasu galusowego (mg GAE) i wyrażono na 1 ml ekstraktu lub 1 g żelków na podstawie krzywej kalibracyjnej ($y = 0,336x$; $r^2 = 0,991$).

Analiza tekstury żelków

Analizę tekstury wytworzonych żelków przeprowadzono z użyciem aparatu MultiTest 2,5-i (Mecmesin, Slinfold, Wielka Brytania). Zastosowano test podwójnego ściskania przy zakresie pomiarowym czujnika 500 N i sile kontaktu 0,1N. Średnica głowicy wynosiła 30 mm. Poziom odkształcenia wyniósł 70% w stosunku do wartości początkowej. Wyznaczono następujące cechy: sprężystość, twardość, adhezyjność, kohezyjność oraz gumistość.

Analiza statystyczna

Wyniki przedstawiono jako średnie $\pm$ odchylenie standardowe (SD). Do wyznaczenia różnic pomiędzy próbkami zastosowano metodę analizy wariancji jednoczynnikowej z testem post-hoc Tukeya. Wyznaczono współczynniki korelacji Pearsona pomiędzy analizowanymi parametrami. Wszystkie obliczenia wykonano w programie Statistica 13.3 (StatSoft, Tulsa, OK, USA).

Wyniki i dyskusja

Aktywność antyoksydacyjna ekstraktów z owoców pigwowca i propolisu

Do wytworzenia żelków zastosowano ekstrakt z owoców pigwowca o kwaśnym smaku charakteryzujących się wysoką zawartością składników odżywczych i bioaktywnych, w tym witaminy C (52–92 mg/100 g) [Marosz 2016]. Owoce te są trudne do przetwarzania, charakteryzują się zbitym, twardym, mięszmem oraz wysoką zawartością kwasów organicznych i nie nadają się do bezpośredniego spożycia. Do izolacji z nich składników bioaktywnych zastosowano ekstrakcję wodnym roztworem etanolu wspomaganą ultradźwiękami oraz macerację w ciepłym miodzie i cukrze. Aktywność antyoksydacyjną wytworzonych ekstraktów analizowano z użyciem standardowych testów kolorymetrycznych FRAP i DPPH, oznaczono także całkowitą zawartość związków polifenolowych (TPC). W zależności od sposobu ekstrakcji uzyskano ekstrakty owocowe o odmiennych właściwościach przeciwutleniających i zróżnicowanej zawartości związków polifenolowych (tabela 2).

Tabela 2. Aktywność antyoksydacyjna mierzona metodą FRAP i DPPH oraz całkowita zawartość związków fenolowych w ekstraktach z owoców pigwowca i farmaceutycznym ekstrakcie z propolisu (średnia $\pm$ SD)

EKSTRAKT	Zdolność redukująca FRAP [mg troloksu/ml]	Aktywność przeciw- rodnikowa DPPH [mg troloksu/ml]	Zawartość TPC [mg GAE/ml]
1	2	3	4
Pz	4,290 $\pm$ 0,282 ^a	1,828 $\pm$ 0,830 ^a	0,990 $\pm$ 0,163 ^a
Pm	9,043 $\pm$ 0,287 ^c	5,979 $\pm$ 1,493 ^b	2,356 $\pm$ 0,082 ^c

1	2	3	4
Pc	7,982 ± 0,181 ^b	3,981 ± 0,720 ^b	1,825 ± 0,120 ^b
10% propolisowy	27,237 ± 0,634 ^d	15,607 ± 0,476 ^c	9,658 ± 0,411 ^d

Pz – ekstrakt etanolowy pigwowca, Pm – macerat pigwowca w miodzie, Pc – macerat pigwowca w cukrze,

a, b, c – średnie oznaczone różnymi literami różnią się od siebie istotnie statystycznie ($p < 0,05$) w obrębie kolumny

Źródło: opracowanie własne

Najwyższe wyniki, niezależnie od metody ekstrakcji, uzyskano dla maceratu owoców w miodzie, kolejno w cukrze, podczas gdy skoncentrowany ekstrakt etanolowy wykazywał kilkukrotnie niższe wartości wszystkich wyznaczonych parametrów. Proces zagęszczania polega na usunięciu większej części rozpuszczalnika organicznego z ekstraktu, co w efekcie powinno prowadzić do wyższej koncentracji związków neutralizujących wolne rodniki [Naczki i Shahidi 2004]. Niska aktywność zagęszczonego etanolowego ekstraktu z pigwowca może wskazywać na słabą wydajność ekstrakcji etanolowej i/lub straty związków lotnych podczas odparowywania etanolu. Słabą wydajność ekstrakcji wodnej i alkoholowej surowców roślinnych opisywali już Tal-Figiel i Figiel [2010], którzy rekomendowali stosowanie rozpuszczalników organicznych i ich mieszanin.

W porównaniu do ekstraktów z owoców ekstrakt propolisowy charakteryzował się istotnie wyższą aktywnością antyoksydacyjną i zawartością związków fenolowych (tabela 2). Zastosowanie kombinacji ekstraktów z pigwowca z ekstraktem propolisu może więc istotnie wzmocnić właściwości prozdrowotne żelków. Jednak ze względu na specyficzny zapach propolisu i jego wpływ na cechy organoleptyczne produktu udział tego dodatku nie może być wysoki. Stosowanie ekstraktu z propolisu jako funkcjonalnego dodatku do żywności, m.in. do soków, mięsa, nabiału i olejów, opisali Juszcak i Cabaj [2023]. Autorzy wskazywali, że propolis nie tylko wzbogaca produkt o liczne składniki bioaktywne, głównie fenolowe, ale także zwiększa jego stabilność mikrobiologiczną [Juszcak i Cabaj 2023].

Aktywność antyoksydacyjna wytworzonych żelków

W ramach przeprowadzonych badań wytworzono 7 wariantów żelków owocowo-propolisowych według tej samej receptury na bazie ekstraktów owocowych i propolisu z wykorzystaniem żelatyny wieprzowej jako składnika żelującego oraz miodu jako substancji słodzącej. Głównym zmiennym składnikiem receptury był rodzaj użytego ekstraktu z owoców pigwowca. Testowano również możliwość nadania produktowi barwy z wykorzystaniem naturalnych barwników. Jako kontrolę zastosowano żelki propolisowe wytworzone bez dodatku ekstraktu owocowego (K) oraz bez ekstraktu propolisu (Ko). Aktywność antyoksydacyjną 10-krotnie rozcieńczonych ekstraktów uzyskanych przez rozpuszczenie żelków

w ciepłej wodzie analizowano z użyciem standardowych testów kolorymetrycznych FRAP i DPPH, wyznaczono także całkowitą zawartość związków polifenolowych (tabela 3).

Tabela 3. Aktywność antyoksydacyjna oraz całkowita zawartość związków fenolowych dla wytworzonych żelków owocowo-propolisowych (średnia $\pm$ SD); skład określony w tabeli 1

Wariant żelków	Zdolność redukująca FRAP [mg troloksu/ml]	Aktywność przeciwo- rodnikowa DPPH* [mg troloksu/ml]	Zawartość TPC [mg GAE/ml]
Ko	0,001 $\pm$ 0,000 ^a	6,296 $\pm$ 1,630 ^a	0,378 $\pm$ 0,011 ^a
K	2,015 $\pm$ 0,082 ^b	7,461 $\pm$ 0,656 ^a	1,017 $\pm$ 0,011 ^b
W1	9,526 $\pm$ 0,234 ^d	19,483 $\pm$ 0,523 ^c	2,678 $\pm$ 0,156 ^c
W2	6,969 $\pm$ 0,259 ^c	10,044 $\pm$ 0,619 ^b	2,458 $\pm$ 0,042 ^c
W3	8,041 $\pm$ 0,422 ^c	9,317 $\pm$ 0,321 ^b	3,064 $\pm$ 0,051 ^d
W4	7,773 $\pm$ 0,169 ^c	8,762 $\pm$ 1,826 ^{ab}	3,075 $\pm$ 0,029 ^d
W5	10,928 $\pm$ 0,193 ^d	7,602 $\pm$ 1,836 ^{ab}	1,979 $\pm$ 0,038 ^c
W6	9,566 $\pm$ 0,132 ^d	7,413 $\pm$ 0,472 ^a	2,089 $\pm$ 0,034 ^c
W7	10,721 $\pm$ 0,973 ^d	7,105 $\pm$ 0,882 ^a	2,144 $\pm$ 0,019 ^c

Oznaczenia: Ko – żelki kontrolne; K – żelki kontrolne z propolisem; W1 – żelki z propolisem i ekstraktem etanolemym, W2–W4 – żelki z propolisem i maceratem w miodzie niebarwione i barwione (żółte i czerwone); W5–W7 – żelki z propolisem i maceratem w cukrze niebarwione i barwione (żółte i czerwone)

a, b, c – średnie w kolumnach oznaczone różnymi literami różnią się od siebie istotnie statystycznie ($p < 0,05$) w obrębie kolumny

* Wyniki zawyżone z powodu zmętnienia wywołanego denaturacją żelatyny w metanolemym roztworze DPPH

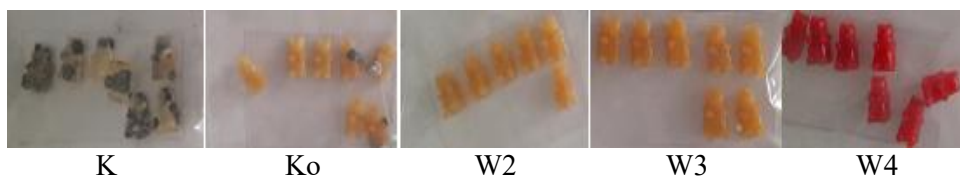
Źródło: opracowanie własne

Analiza siły redukującej odczynnik FRAP (tabela 3) potwierdziła, że dodatek ekstraktów pigwowca istotnie podwyższał wartość analizowanego wskaźnika w stosunku do próby kontrolnej K ($p < 0,05$). Udział ekstraktów pigwowca w zwiększaniu siły redukującej był większy niż ekstraktu propolisowego (porównanie prób Ko i K). Najlepsze właściwości stwierdzono dla żelków z dodatkiem maceratu w cukrze (W5), kolejno z zagęszczonym ekstraktem etanolemym (W1) i maceratem miodowym (W2). Odminną tendencję zaobserwowano dla wyników uzyskanych w analizie DPPH (tabela 3), gdzie najwyższą aktywność przeciworodnikową stwierdzono dla żelków na bazie koncentratu etanolewego (W1), a istotnie niższą ($p < 0,05$) dla żelków z maceratem miodowym (o 49%)

i cukrowym (o 61%). Udział ekstraktów owocowych w kształtowaniu tego parametru był istotny w przypadku wariantów W1 i W3, ale nie dla W5.

Dodatek ekstraktów owocowych istotnie zwiększał zawartość związków fenolowych w żelkach w porównaniu do kontroli K ($p < 0,05$), przy czym udział polifenoli pochodzących z propolisu był w tym przypadku bardziej wyraźny (porównanie K i Ko) (tabela 3). Największą zawartość związków fenolowych wykazano dla żelków z dodatkiem koncentratu ekstraktu etanolowego, niższą dla żelków z maceratem owoców w miodzie (o 9%) i cukrze (o 27%). Zawartość związków polifenolowych była dodatnio skorelowana z pomiarami potencjału antyoksydacyjnego, a wyznaczone współczynniki korelacji Pearsona wynosiły odpowiednio: TPC-DPPH $r = 0,851$, TPC-FRAP 0,257 oraz FRAP-DPPH 0,366. Wskazuje to na istotny udział polifenoli w kształtowaniu zdolności do zmiatania rodnika DPPH, co wykazano wielokrotnie zarówno dla miodów odmianowych, jak i ekstraktów roślinnych [Dżugan i in. 2020]. Niski współczynnik korelacji wyników uzyskanych metodą FRAP i DPPH może wynikać z różnic w mechanizmach działania obu testów (FRAP – redukcja jonów żelaza, DPPH – wyłapywanie syntetycznego rodnika) oraz składu chemicznego badanych próbek (rodzaje antyoksydantów, składniki interferujące) [Jakobek 2015, Shahidi i Zhong 2015]. Niektóre antyoksydanty, w tym polifenolowe, mogą być bardziej efektywne w danym teście ze względu na budowę chemiczną i specyficzne interakcje z reagentami, np. lipofilowe w teście DPPH [Zych i Krzepiło 2010]. W przypadku próbek żywności należy również uwzględnić efekt złożonej matrycy, w której oznaczane są antyoksydanty, np. obecność w badanych ekstraktach cukrów redukujących oraz żelatyny może wpływać na wynik testów redukujących [Jakobek 2015]. Wiadomo, że owoce są bogatym źródłem licznych substancji przeciwutleniających, w tym przede wszystkim polifenoli, jednak skład ilościowy oraz jakościowy związków odpowiedzialnych za działanie antyoksydacyjne różni się w zależności od gatunku owoców [Szajdek i Borkowska 2004] oraz stopnia przetworzenia produktu [Gheribi 2011].

Badania wykazały, że zastosowanie naturalnych barwników w ilości 0,5% pozwoliło uzyskać żelki o barwie pomarańczowożółtej i intensywnie czerwonej. Dodatek barwników generalnie nie wpływał na wartość analizowanych parametrów aktywności antyoksydacyjnej ($p > 0,05$), chociaż wyniki uzyskane dla żelków barwionych były nieco wyższe. Ich barwa nie ulegała zmianie podczas długotrwałego (75 dni) przechowywania w warunkach chłodniczych, chociaż utraciły one połysk i stały się bardziej matowe, co może wskazywać na zmiany w strukturze żelu podczas przechowywania w niskiej temperaturze. Zaobserwowano natomiast pojawienie się pleśni na powierzchni żelków kontrolnych Ko (rysunek 2). Dodatek propolisu zwiększył stabilność mikrobiologiczną produktu K, ale nie hamował całkowicie rozwoju pleśni. Dla pozostałych wariantów, zawierających w swojej masie zarówno 10-procentowy ekstrakt propolisowy jak i ekstrakt z pigwowca, nie stwierdzono oznak pleśnienia (rysunek 2).



Rysunek 2. Stan mikrobiologiczny żelków przechowywanych w temperaturze chłodniczej przez 75 dni

Źródło: opracowanie własne

Instrumentalna ocena tekstury żelków

Kluczowym elementem decydującym o atrakcyjności konsumenckiej żelków, oprócz smaku i barwy, jest ich tekstura. Powinny być one miękkie i sprężyste oraz łatwe do żucia. Analiza tekstury wytworzonych żelków owocowych (tabela 4) wykazała, że największą twardością charakteryzował się wariant W1 zawierający zatężony ekstrakt z pigwowca, z kolei najmniejszą twardością cechowały się żelki na bazie maceratu miodowego, zwłaszcza z dodatkiem barwników. Adhezyjność dla wszystkich wariantów była porównywalna, chociaż niewielki spadek ($p > 0,05$) wartości stwierdzono dla żelków W1, W5, W6 i W7. Ponadto ustalono, że warianty żelków wykazujące wysoką twardość mają również najwyższe wyniki gumiaistości. Należy podkreślić, że instrumentalny test TPA jest doskonałym uzupełnieniem testów sensorycznych, pozwala uzyskać miarodajne informacje o teksturze produktów niezależnie od indywidualnych preferencji oceniających. Zastosowany w prezentowanych badaniach test pozwolił na obiektywne porównanie jakości uzyskanych żelków i wykazanie, że korzystniejsze parametry tekstury posiadały żelki na bazie maceratu w miodzie.

Tabela 4. Analiza tekstury żelków w teście podwójnego ściskania (średnia $\pm$ SD)

WARIANT	Twardość 1 [N]	Twardość 2 [N]	Adhezyjność [N.mm]	Kohezyjność [Ratio]	Sprężystość [mm]	Gumiaistość [N]
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>
Ko	29,87 $\pm$ 4,81 ^a	28,33 $\pm$ 4,07 ^a	0,12 $\pm$ 0,03 ^a	0,84 $\pm$ 0,03 ^a	4,24 $\pm$ 0,26 ^a	24,95 $\pm$ 3,31 ^a
K	26,64 $\pm$ 1,51 ^a	24,66 $\pm$ 1,41 ^a	0,13 $\pm$ 0,01 ^b	0,81 $\pm$ 0,01 ^a	4,34 $\pm$ 0,46 ^a	21,61 $\pm$ 1,31 ^a
W1	39,20 $\pm$ 2,80 ^a	36,02 $\pm$ 2,50 ^b	0,11 $\pm$ 0,00 ^a	0,81 $\pm$ 0,03 ^a	3,89 $\pm$ 0,12 ^a	31,66 $\pm$ 1,23 ^b
W2	30,70 $\pm$ 2,80 ^a	20,59 $\pm$ 14,29 ^b	0,21 $\pm$ 0,12 ^a	0,84 $\pm$ 0,04 ^a	4,16 $\pm$ 1,82 ^a	18,16 $\pm$ 1,26 ^b
W3	20,14 $\pm$ 14,98 ^a	19,00 $\pm$ 13,83 ^a	0,21 $\pm$ 0,13 ^a	0,86 $\pm$ 0,08 ^a	4,21 $\pm$ 0,95 ^a	18,56 $\pm$ 11,97 ^a

1	2	3	4	5	6	7
W4	31,75 ± 2,62 ^a	29,57 ± 2,32 ^a	0,12 ± 0,02 ^a	0,80 ± 0,04 ^a	4,40 ± 0,29 ^a	25,42 ± 2,37 ^a
W5	27,84 ± 1,04 ^b	26,10 ± 1,27 ^b	0,12 ± 0,01 ^a	0,77 ± 0,02 ^a	4,11 ± 0,05 ^a	21,53 ± 1,40 ^b
W6	26,10 ± 3,45 ^b	23,92 ± 2,94 ^b	0,10 ± 0,01 ^a	0,76 ± 0,02 ^a	4,25 ± 0,16 ^a	19,98 ± 3,11 ^b
W7	33,99 ± 4,39 ^b	31,46 ± 3,75 ^b	0,09 ± 0,02 ^a	0,79 ± 0,01 ^a	4,48 ± 0,09 ^a	26,76 ± 3,70 ^b

a, b, c – średnie oznaczone różnymi literami różnią się od siebie istotnie statystycznie ($p < 0,05$) w obrębie kolumn

Źródło: opracowanie własne

Wnioski

Żelki na bazie ekstraktu owoców pigwowca, propolisu i miodu charakteryzują się wzmocnioną aktywnością antyoksydacyjną i zawartością związków polifenolowych zależną od rodzaju użytego ekstraktu owocowego. Najlepszą wydajność ekstrakcji składników bioaktywnych z owoców uzyskano z zastosowaniem płynnego miodu. Żelki z dodatkiem maceratu owoców pigwowca w miodzie wykazywały także najkorzystniejsze cechy tekstury. Żelki można zabarwić, używając naturalnych barwników, co zwiększa atrakcyjność konsumencką produktu, a dodatkowo może dodatnio wpływać na jego właściwości antyoksydacyjne. Dodatek propolisu i ekstraktów owocowych powodował również wzrost stabilności mikrobiologicznej żelków.

Funkcjonalne słodyczne wytworzone na bazie składników o uznanym działaniu leczniczym, takich jak propolis i miód (api-) oraz ekstrakty z owoców o udowodnionym działaniu przeciwzapalnym (-fito-), stanowią produkt o potencjalnym działaniu apifitoterapeutycznym. Sposób spożywania żelków, dłuższe przeżuwanie w jamie ustnej, pozwala na uwolnienie wszystkich składników bioaktywnych i zwiększa miejscowe działanie antybakteryjne. Oczekiwane korzyści wynikające ze spożycia żelków wzbogaconych wymagają jednak potwierdzenia w kolejnych badaniach.

Bibliografia

- Byczkiewicz S., Kobus-Cisowska J., Szulc P., Telichowska A., Szczepaniak O., Dziedzinski M. (2019). Pigwowiec japoński (*Chaenomeles japonica* L.) jako surowiec o właściwościach prozdrowotnych – aktualny stan wiedzy. *Technika Rolnicza, Ogrodnicza, Leśna*, (5), 22–25.
- Dżugan M., Miłek M., Sidor E., Grabek-Lejko D. (2020) Apifitoterapia: synergistyczne działanie miodu i roślin leczniczych. *Wydawnictwo Uniwersytetu Rzeszowskiego*, 7–254.

- Dżugan M., Tomczyk M., Sowa P., Grabek-Lejko D. (2018). Antioxidant activity as biomarker of honey variety. *Molecules*, 23(8), 2069.
- Gheribi E. (2011). Związki polifenolowe w owocach i warzywach. *Medycyna Rodzinna*, 4(60), 111–115.
- Jakobek L. (2015). Interactions of polyphenols with carbohydrates, lipids and proteins. *Food Chem.*, 175, 556–567.
- Juszczak L., Cabaj A. (2023) Propolis jako funkcjonalny składnik żywności. *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość*, 2 (135), 144–162.
- Kudelka W., Jachna D. (2009). Charakterystyka żywności o obniżonej wartości energetycznej. *Zeszyty Naukowe/Uniwersytet Ekonomiczny w Krakowie*, 834, 69–96.
- Marosz A. (2016). *Pigwowiec. Szkółkarstwo*, 3, 6–17.
- Naczek M., Shahidi F. (2004). Extraction and analysis of phenolics in food. *Journal of Chromatography A*, 1054(1–2), 95–111.
- Olejniczak M. (2016). Model zakupu produktów żywnościowych opatrzonych oświadczeniami żywieniowymi i zdrowotnymi. *Zeszyty Naukowe Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego. Ekonomia i Organizacja Gospodarki Żywnościowej*, (114), 69–80.
- Pilarska A.A., Gawałek J. (2016). Hydrokoloidy – substancje stabilizujące żywność. Cz. I. Funkcje, modyfikacje i uwarunkowania prawne. *Przemysł Spożywczy*, 70(3), 36–39.
- Shahidi F., Zhong Y. (2015). Measurement of antioxidant activity. *Journal of Functional Foods*, 18, Part B, 757–781.
- Staniewska K., Jakubowska D., Radzyńska M. (2016). Wybrane socjodemograficzne determinanty postaw konsumentów wobec żywności o obniżonej zawartości cukru. *Zeszyty Naukowe Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego. Ekonomia i Organizacja Gospodarki Żywnościowej*, (113), 145–157.
- Szajdek A., Borowska J. (2004). Właściwości przeciwutleniające żywności pochodzenia roślinnego. *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość*, 11(4 spec), 5–27.
- Szeleszczuk Ł., Zielińska-Pisklak M., Goś P. (2013). Propolis – panaceum prosto z ula. *Lek w Polsce*, 23(6–7), 32–39.
- Tal-Figiel B., Figiel W. (2010). Porównanie efektywności ekstrakcji surowców roślinnych za pomocą niekonwencjonalnych technik ekstrakcyjnych. *Inżynieria i Aparatura Chemiczna*, 3, 115–116.
- Teixeira-Lemos E., Almeida A.R., Voug, B., Morais C., Correia I., Pereira P., Guiné R.P. (2021). Development and characterization of healthy gummy jellies containing natural fruits. *Open Agriculture*, 6(1), 466–478.
- www1. <https://slodyczowo.pl/Slodycze/Zelki-wegetarianskie> (dostęp: 10.08.2025).
- Zych I., Krzepiło A. (2010). Pomiar całkowitej zdolności antyoksydacyjnej wybranych antyoksydantów i naparów metodą redukcji rodnika DPPH. *Chemia – Dydaktyka – Ekologia – Metrologia*, 5 (1), 51–54.

Use of fruit extracts and propolis in the production of functional sweets

Abstract: The aim of the study was to determine the recipe for jellies based on extracts from quince fruit, honey and propolis and to assess their antioxidant properties and texture. Quince fruit extracts were obtained using the classic water-ethanol extraction method assisted by ultrasound and maceration in honey and sugar. It was found that the most beneficial antioxidant properties and the highest content of phenolic compounds were demonstrated by the macerate of fruit in honey. A recipe for jellies based on gelatin, honey and extracts was developed, including those colored with natural food dyes (a total of 7 variants and 2 control samples). Jellies based on honey macerate were characterized by the most favorable texture parameters, although they showed lower antioxidant activity than jellies with the addition of concentrated quince extract. Coloring jellies with natural dyes increased the consumer attractiveness of the sweets. Due to the increased microbiological stability during storage, it can be assumed that the developed sweets may have antimicrobial activity in the oral cavity, but this requires further research.

Paweł Hanus^{1,*}, Łukasz Kogut², Grzegorz Zaguła³

NOWE HORYZONTY W PRODUKCJI WIN: ZASTOSOWANIE CHMIELENIA W TWORZENIU WIN Z OWOCÓW TROPIKALNYCH

Streszczenie: W pracy omówiono innowacyjne zastosowanie chmielenia na zimno w produkcji win z owoców tropikalnych: banana, mandarynki, pomarańczy i limonki. Zwiększenie w nich zawartości polifenoli i podniesienie właściwości przeciwutleniających uzyskano poprzez dodatek chmielu Magnum i Enigma w dwóch dawkach. Badania wykazały, że chmielenie – szczególnie odmianą Enigma – poprawiało właściwości antyoksydacyjne i sensoryczne win mandarynkowych i pomarańczowo-limonkowych, natomiast pogarszało wygląd i klarowność win bananowych. Efekty zależały od rodzaju owocu, dawki i odmiany chmielu. Wyniki wskazują, że chmielenie może być skutecznym sposobem wzbogacania win owocowych w związki bioaktywne i poprawy ich właściwości sensorycznych, co czyni je obiecującą propozycją na rynku napojów funkcjonalnych.

Wprowadzenie

Obecnie prowadzone badania nad produkcją win owocowych oprócz skupiania się na poprawie walorów smakowych koncentrują się również w dużej mierze na zawartości różnych substancji bioaktywnych. Substancje te mogą znacząco wpływać na właściwości prozdrowotne i wartość odżywczą. Oprócz enologii również browarnictwo i jego produkty są sektorem innowacyjnych badań nad różnymi związkami bioaktywnymi i ich właściwościami.

W produkcji piwa kluczową rolę odgrywa proces chmielenia. Chmiel zawiera liczne związki z grupy flawonoidów (ksantohumol, izoksantohumol), w tym flawonów i flawonoli (kemferol), olejki eteryczne (monoterpeny, seskwiterpeny), żywice (α i β -kwasy) oraz garbniki, które wpływają na właściwości smakowo-zapachowe piwa. Dodatkowo związki zawarte w chmielu posiadają silne działanie antyoksydacyjne, przeciwzapalne, przeciwwirusowe, przeciwbakteryjne oraz potencjalne działanie przeciwnowotworowe [Jiang i in. 2018, Agacka i Skomra 2012].

¹ Katedra Ogólnej Technologii Żywności i Żywienia Człowieka, Wydział Technologiczno-Przyrodniczy, Uniwersytet Rzeszowski, ul. Zelwerowicza 4, 35-601 Rzeszów.

² Studenckie Koło Naukowe Technologów Żywności FERMENT, Wydział Technologiczno-Przyrodniczy, Uniwersytet Rzeszowski.

³ Katedra Bioenergetyki, Analizy Żywności i Mikrobiologii, Wydział Technologiczno-Przyrodniczy, Uniwersytet Rzeszowski, ul. Zelwerowicza 4, 35-601 Rzeszów.

* phanus@ur.edu.pl

Interesującym zabiegiem poruszonym w tej pracy jest implementacja procesu chmielenia, a dokładniej chmielenia metodą na zimno, w produkcji win owocowych. Powstały w ten sposób produkt, czyli chmielone wino owocowe, może okazać się interesującą alternatywą dla innych podobnych produktów dostępnych na rynku.

Banan (*Musa paradisiaca* L) jest owocem rośliny tropikalnej powstałej ze skrzyżowania dwóch odmian dzikich: *Musa acuminata* i *Musa balbisiana*. To roślina należąca do rodziny bananowatych i rzędu imbirowatych, a jej owoce rosnące na jednoliściennych wysokich palmach uznawane są w botanice za jagody [Singh i in. 2016]. Przeprowadzone badania tego owocu udowodniły jego silne działanie antyoksydacyjne [Singh i in. 2016], kardioprotekcyjne [Singh i in. 2016], przeciwzapalne [Vijayakumar i in. 2008], hipocholesterolemiczne [Lassoudière 2007], przeciwhiperglikemiczne [Aларcon-Aguilara i in. 1998], przeciwnowotworowe [Dahham i in. 2015] oraz uspokajające i antystresowe [www1].

Mandarynka (*Citrus reticulata* Blanco) roślina należąca do rodziny rutowatych. Owoc wzrasta na kolczastym wiecznie zielonym krzewie osiagającym od 2 do 8 metrów wysokości, posiadającym bardzo gęsty system gałęziowy i ciemnozielone liście o lancetowatym kształcie. Owoce powstają z białego kwiatostanu, mają owalny lub spłaszczony kształt, a skórka dojrzałego owocu jest łatwo obieralna i ma kolor od pomarańczowego do złocistego. Miąższ jest słodki, a cząstki owocu łatwo się od siebie oddzielają [Musara i in. 2020]. Owoc ten posiada szerokie zastosowanie medyczne, wykazuje działanie przeciwzapalne, neuroprotekcyjne, ma właściwości kardioprotekcyjne oraz znaczący wpływ na metabolizm i gospodarkę glukozową [Saini i in. 2022].

Pomarańcza słodka (*Citrus sinensis* L.) to owoc cytrusowy należący do rodziny rutowatych [Ogo i in. 2024]. Drzewo pomarańczowe dorasta do wysokości od 7,5 do 15 m [Morton 1987]. Jest to roślina szeroko uprawiana ze względu na swoje właściwości i zdolności do owocowania niemal w każdym regionie świata, co podyktowane jest zarówno aspektem ekonomicznym, jak i zdrowotnym [Hamdan i in. 2024]. Związki zawarte w tych owocach wykazują silne działanie przeciwzapalne [Lim 2012], przeciwbakteryjne i przeciwgrzybicze [Caccioni i in. 1998, O'Bryan i in. 2008, Osarumwense i in. 2011], przeciwnowotworowe [Kandaswami i in. 1991, Camarda i in. 2007] i przeciwosteoporotyczne [Deyhim i in. 2006, Murakami i in. 2007]. Dodatkowo wykazano pozytywny wpływ ekstraktów z pomarańczy na proces wchłaniania żelaza [Balay i in. 2010] oraz w działaniu protekcyjnym tarczycy [Parmar i Kar 2008].

Limonka (*Citrus aurantifolia*) roślina należąca do rodziny rutowatych. Posiada bardzo wyrazisty kwaśny smak i zapach miąższu. Skórka owocu jest gładka i cienka o kolorze zielonożółtym. Owoc dojrzewa od koloru zielonego do żółtego i w trakcie tego procesu miąższ staje się coraz miękniejszy [Lin i in. 2019]. W przemyśle używana głównie jako dodatek do żywności dzięki swoim właściwościom aromatycznym [Indriyani i in. 2023, Galovičová i in. 2022]. Limonka ze względu na swoje składniki może być stosowana w profilaktyce i leczeniu wielu schorzeń, ponieważ wykazuje m.in. działanie przeciwgruźlicze [Sandoval-Montemayor i in. 2012], przeciwnowotworowe [Narang i Jiraungkoorskul 2016] oraz przeciwgrzybicze [Jain i in. 2020].

Materiał i metody badań

Materiałem badawczym były wina owocowe wyprodukowane z bananów (*Musa paradisiaca*), mandarynek (*Citrus reticulata*), pomarańczy (*Citrus sinensis*) oraz limonki (*Citrus aurantiifolia*). Produkcję prowadzono w wariantach z dodatkiem chmielu odmian Magnum i Enigma w ilościach 0,5 g/l oraz 1,5 g/l.

Technologia produkcji wina

Owoce (banany, mandarynki, pomarańcze oraz limonki) wykorzystane do produkcji win umyto i przeprowadzono obróbkę wstępną zakończoną rozdrobnieniem surowca. Następnie umieszczano je w zdezynfekowanych fermentorach, dodawano wodę, cukier i drożdże, po czym prowadzono fermentację burzliwą (14 dni) w temp. 18–25°C. Po oddzieleniu osadu wina leżakowały przez 4 miesiące w ciemnym pomieszczeniu o stałej temperaturze 18°C. Następnie przeprowadzano chmielenie na zimno (odmiany Magnum, Enigma w dawkach 0,5 g/l i 1,5 g/l) przez 14 dni. Po filtracji wina butelkowano i przygotowano próbki do analiz.

Całkowita zawartość związków polifenolowych

W celu określenia ogólnej liczby polifenoli w badanych winach zastosowano metodę Folina-Ciocalteu, w której związki fenolowe możliwe są do wykrycia podczas reakcji z chemicznym odczynnikiem na drodze badania kolorymetrycznego i pomiaru absorbancji przy długości fali $\lambda=765\text{nm}$. Zawartość związków polifenolowych wyrażono w mg ekwiwalentu kwasu galusowego na 100 g wina (mg GAE/100 g) na podstawie krzywej wzorcowej sporządzonej dla roztworów standardowych kwasu galusowego [Singleton i in. 1999].

Pomiar redukcji jonów żelaza – metoda FRAP

Metoda bazuje na zdolności do redukcji kompleksu TPTZ- Fe^{3+} do TPTZ- Fe^{2+} i mierzona jest absorbancja przy długości fali $\lambda = 593\text{ nm}$. Uzyskane wyniki obliczono na podstawie krzywej wzorcowej sporządzonej dla roztworów $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ i wyrażono w mmol ekwiwalentu Fe^{2+} na 100 g wina (mmol Fe^{2+} /100 g) [Benzie i Strain 1996].

Oznaczenie zdolności antyoksydacyjnej – metoda ABTS

Całkowitą zdolność antyoksydacyjną oznaczono metodą ABTS polegającą na pomiarze zdolności związków przeciwutleniających do neutralizacji rodników ABTS^{*+} , co objawia się spadkiem absorbancji przy długości fali $\lambda = 734\text{ nm}$. Wyniki obliczono na podstawie krzywej wzorcowej sporządzonej dla roztworów troloksu i wyrażono w mmol ekwiwalentu troloksu na 100 g wina (mmol TE/100 g) [Re i in. 1999].

Oznaczenie aktywności antyoksydacyjnej – metoda DPPH*

Aktywność antyoksydacyjną oznaczono również metodą DPPH* opartą na pomiarze zdolności antyoksydantów do redukcji rodnika DPPH*, co powoduje zmniejszenie intensywności jego barwy mierzonej przy $\lambda = 517$ nm. Wyniki obliczono na podstawie krzywej wzorcowej sporządzonej dla roztworów troloksu i wyrażono w mmol ekwiwalentu troloksu na 100 g wina (mmol TE/100 g) [Yen i Chen 1995].

Oznaczenie mętności win owocowych

Mętność win oznaczono przy użyciu turbidymetru (model 2100Q IS), który umożliwia ocenę przejrzystości poprzez pomiar rozproszenia światła przez zawieszone w cieczy cząsteczki, takie jak drożdże, cząstki owoców czy białka. Wynik mętności wyrażany jest w jednostkach NTU (nefelometryczne jednostki mętności) [Jorge i in. 2021, Schneider i in. 2016].

Oznaczanie ekstraktu win owocowych

Metoda wykorzystuje zjawisko złamania światła przechodzącego przez refraktometr, co umożliwia odczyt stężenia substancji rozpuszczonych, głównie cukrów, w winie owocowym. Wynik zawartości ekstraktu podano w jednostce % Brix [Zylstra 2005].

Analiza kolorymetryczna

Analiza kolorymetryczna została przeprowadzona na urządzeniu UltraScan VIS HunterLAB zgodnie z normami CIE 15: 2004 i ISO 7724/1 z zastosowaniem skali CIE L^*a^*b .

Analiza składu chemicznego i właściwości fizycznych win metodą spektroskopii w bliskiej podczerwieni (NIR)

Badanie analizy składu chemicznego i właściwości fizycznych przeprowadzono za pomocą aparatu OenoFoss. Urządzenie do analizy próbek wykorzystuje technologię spektroskopii w bliskiej podczerwieni (NIR).

W ramach badań za pomocą aparatury pomiarowej OenoFoss zmierzono: zawartość alkoholu (% obj.), gęstość (g/cm^3), kwasowość ogólną (g/l /kw. winowy), kwasowość lotną (g/l /kw. octowy), pH, kwas jabłkowy (g/l), kwas mlekowy (g/l) i glukozę + fruktozę (g/l).

Analiza sensoryczna

Analiza sensoryczna została przeprowadzona 4 czerwca 2024 r. w grupie 10 doświadczonych penetelistów o sprawdzonej wrażliwości sensorycznej. Ocena prze-

przewodzona została w laboratorium analiz sensorycznych Uniwersytetu Rzeszowskiego. Przed przystąpieniem do badania uczestnikom wyjaśniono sposób wypełniania ankiet i przedstawiono zasady poprawnej oceny (tabela 1, rysunek 1).

Tabela 1. Tabela cech organoleptycznych z wyjaśnieniami

Cecha jakościowa	5 pkt	4 pkt	3 pkt	2 pkt	1 pkt
Wygląd	Doskonałe wrażenie wizualne	Bardzo dobre wrażenie	Przeciętne wrażenie	Słabe wrażenie	Bardzo słabe wrażenie
Kolor	Doskonały, intensywny kolor bez żadnych wad	Dobry, minimalne wady koloru	Przeciętny, widoczne wady koloru	Słaby, wyraźne wady koloru	Bardzo słaby, nieakceptowalny kolor
Klarowność	Kryształowo czyste, bez osadów lub mętności	Lekko mętne, akceptowalne	Wyraźnie mętne, nieakceptowalne	Silnie mętne, nie do zaakceptowania	Bardzo mętne, nienadające się do spożycia
Zapach	Intensywny, przyjemny, bez wad	Dobry, lekko wyczuwalne wady zapachu	Przeciętny, wyraźne wady zapachu	Słaby, nieprzyjemny zapach	Bardzo słaby, nie do zniesienia
Smak	Doskonały, zbalansowany, bez wad	Dobry, minimalne wady smaku	Przeciętny, wyraźne wady smaku	Słaby, nieprzyjemny smak	Bardzo słaby, nie do spożycia
Wrażenia ogólne	Doskonałe wrażenia, bez wad	Dobre wrażenia, posiada cechy głównie pozytywne	Przeciętne wrażenia, może posiadać wady, brak wyrazistych cech	Słabe wrażenia, posiada wady, nie spełnia oczekiwań	Bardzo słabe wrażenia, nieakceptowalne, wywołuje negatywne odczucia

Wygląd wina: Wygląd to pierwsze wrażenie, które oceniający odbiera. Obejmuje barwę, przejrzystość i ogólny wygląd wina w szkle.

Kolor: Kolor wina jest pierwszym wrażeniem, które odbiera oceniający, dlatego jest istotny przy degustacji. Obejmuje odcień wina, który może być różny w zależności od rodzaju wina i surowca użytego do produkcji.

Klarowność: Klarowność wina odnosi się do jego przejrzystości. Im bardziej wino jest czyste, bez osadów lub mętności, tym wyżej jest oceniane.

Zapach: Wszystkie wrażenia zapachowe, które docierają podczas oceny wina. Zapach wina to mieszanka wszystkich aromatów występujących w winie. Ostatecznie to indywidualne preferencje zapachowe decydują, czy zapach jest dla nas satysfakcjonujący.

Smak: Smak wina jest subiektywny, a różne związki w nim zawarte wpływają na jego odbiór. Ostatecznie to indywidualne preferencje smakowe decydują, czy dane wino jest dla nas satysfakcjonujące.

Wrażenia ogólne: Oceniający ocenia ogólną jakość wina, uwzględniając wszystkie cechy. Wrażenia ogólne mogą być pozytywne (np. eleganckie, złożone) lub negatywne (np. niedojrzałe, niezrównoważone).

Wiek:					
Płeć:					
Kierunek studiów:					
Numer próbki:					
Badana cecha	5 pkt	4 pkt	3 pkt	2 pkt	1 pkt
Nr próbki					
Wygląd					
Kolor					
Klarowność					
Zapach					
Smak					
Wrażenia ogólne					

Rysunek 1. Karta oceny organoleptycznej

Źródło: opracowanie własne

Statystyka

Otrzymane w pracy wyniki przedstawiono w postaci średnich arytmetycznych $\pm$ odchylenie standardowe. Otrzymane dane poddano analizie statystycznej przeprowadzonej w programie Statistica 13.3. W celu oceny istotności różnic między badanymi wariantami wina zastosowano jednoczynnikową analizę wariancji (ANOVA) oraz test post-hoc NIR (najmniejsza istotna różnica) Fischera. Analizy zawartości związków polifenolowych oraz aktywności antyoksydacyjnej (metody Folina-Ciocalteu, FRAP, ABTS, DPPH) wykonano na wszystkich próbkach wina. Każda została przebadana w trzech niezależnych powtórzeniach.

Analizy mętności i ekstraktu wina wykonano na wszystkich próbkach. Każdą przebadano w trzech niezależnych powtórzeniach.

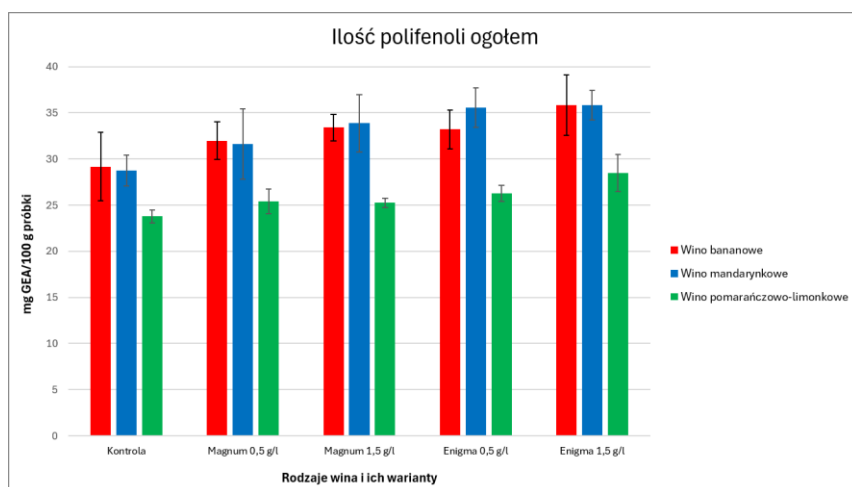
Analiza barwy została wykonana na wszystkich próbkach wina. Każdą przebadano w czterech niezależnych powtórzeniach.

Analizę składu chemicznego i właściwości fizycznych win wykonano we wszystkich próbkach, a każdą przebadano w czterech niezależnych powtórzeniach.

Wyniki i dyskusja

Wyniki oznaczenia zawartości polifenoli ogółem w winach owocowych

Najwyższą zawartość polifenoli stwierdzono w winie bananowym z dodatkiem chmielu Magnum w dawce 1,5 g/l oraz w winie mandarynkowym z dodatkiem Enigma w tej samej dawce. Oba wina zawierały około 36 mg GEA/100 g. Wino pomarańczowo-limonkowe zawierało nieco mniej polifenoli ogółem – 28,5 mg GEA/100 g. Otrzymane wartości mieszczą się w zakresie podawanym w literaturze

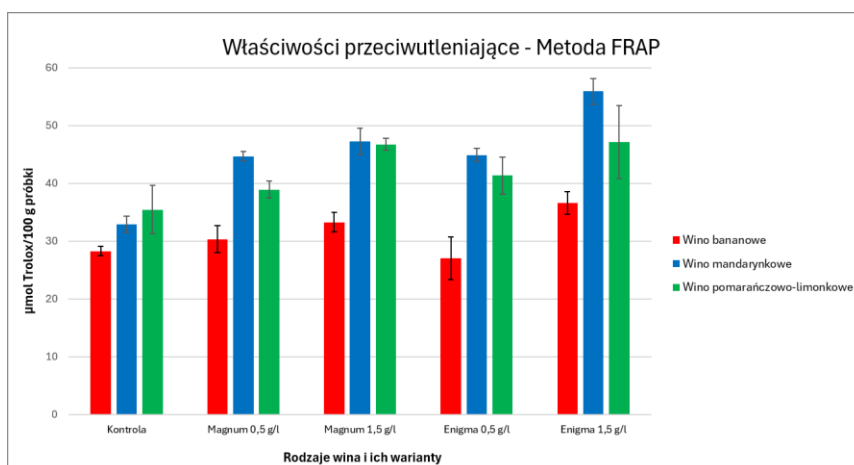


Rysunek 2. Zawartość polifenoli ogółem w badanych wariantach winach

Źródło: opracowanie własne

dla podobnych produktów, jednak w części badań odnotowano zarówno niższe, jak i wyższe zawartości polifenoli. Dla porównania, w winie bananowym bez dodatku skórek stwierdzono jedynie 16 mg/100 ml, a z dodatkiem skórek aż 113,6 mg/100 ml [Panchal i in. 2025]. Dla wina mandarynkowego zakres wartości wynosił od 13,7 do 42,1 mg/100 ml, natomiast wino pomarańczowe zawierało około 15 mg/100 ml [Athira i Sinija 2021].

Wyniki oznaczenia właściwości przeciwutleniających metodą FRAP

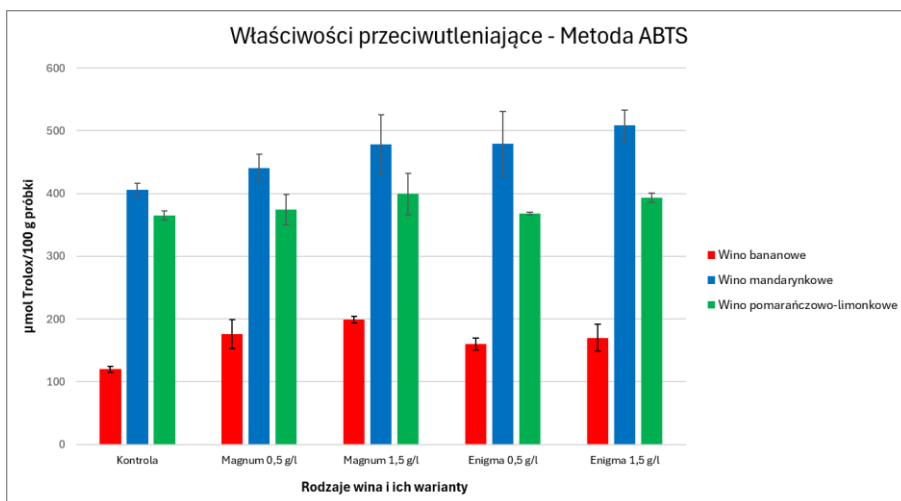


Rysunek 3. Właściwości przeciwutleniające badanych wariantów win

Źródło: opracowanie własne

Zdolność do redukcji jonów żelaza wykazywało w największym stopniu wino mandarynkowe z dodatkiem chmielu Enigma w dawce 1,5 g/l, które osiągnęło aktywność na poziomie 55,9 μmol troloksu/100 g. Wino pomarańczowo-limonkowe w tej samej dawce wykazało aktywność na poziomie 47,1 μmol troloksu/100 g, natomiast najniższą aktywność odnotowano w winie bananowym – 36,6 μmol troloksu/100 g. Uzyskane wartości były niższe niż dla świeżych soków cytrusowych, w których aktywność FRAP może osiągać poziom do 91 μmol /100 ml, jak w przypadku soku pomarańczowego [Odrizola-Serrano i in. 2022]. Sok bananowy wykazywał aktywność na poziomie ok. 139,6 μmol /100 ml [Bratovcic i in. 2021], natomiast w innych badaniach sok mandarynkowy osiągał poziom ok. 1130 μmol /100 ml [Kumar i in. 2019].

Wyniki oznaczenia właściwości przeciwutleniających metodą ABTS

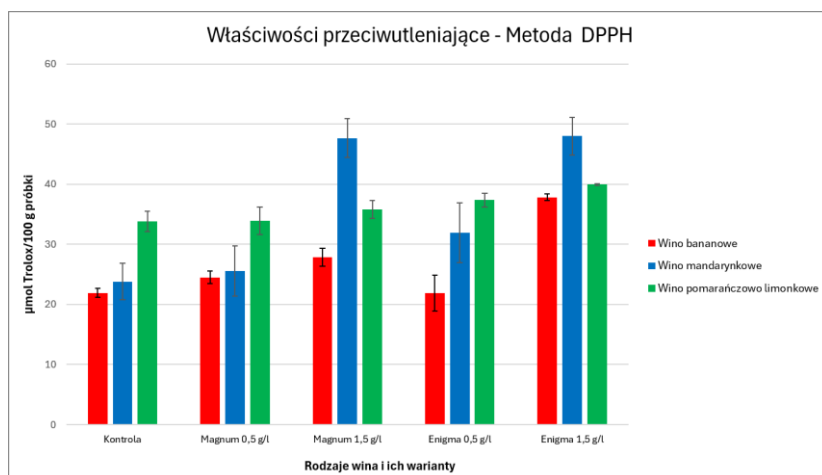


Rysunek 4. Właściwości przeciwutleniające badanych wariantów win

Źródło: opracowanie własne

Najsilniejszą zdolność neutralizacji wolnych rodników wykazało wino mandarynkowe z dodatkiem Enigmy w dawce 1,5 g/l – 508,5 μmol troloksu/100g. Wino pomarańczowo-limonkowe osiągnęło 399,3 μmol , a bananowe 199,1 μmol troloksu/100g. W porównaniu do danych literaturowych świeży sok pomarańczowy osiąga aktywność rzędu 707 μmol /100ml [Odrizola-Serrano i in. 2022], podczas gdy wino mandarynkowe zwykle osiąga około 200 μmol /100 ml [Kelebek i Selli 2011]. W badaniu dla owoców banana uzyskano wartość aktywności ABTS na poziomie 118 μmol troloksu/100 g świeżej masy [Thaipong i in. 2006], co jest zbliżone, lecz nieco niższe od wyniku wina bananowego z niniejszego badania (199,09 μmol troloksu/100 g).

Wyniki oznaczenia właściwości przeciwutleniających metodą DPPH



Rysunek 5. Właściwości przeciwutleniające badanych wariantów win – Metoda DPPH

Źródło: opracowanie własne

Największą zdolność wygaszania rodnika DPPH odnotowano w winie mandarynkowym z dodatkiem chmielu Magnum w dawce 1,5 g/l – 48,0 μmol troloksu/100 g. Wino pomarańczowo-limonkowe osiągnęło wartość 39,9 μmol , a bananowe 37,8 μmol troloksu/100g. Te wartości są niższe niż dla świeżych soków, dla których zdolność do wygaszenia rodnika DPPH może wynosić nawet 300 μmol /100ml w przypadku soku pomarańczowego [Kelebek i Selli 2011], a dla wina mandarynkowego szacuje się 200–300 μmol /100 ml [Kelebek i Selli 2011]. Wino bananowe wykazało aktywność antyoksydacyjną na poziomie około 36,7 mg troloksu/100 g [Panchal i in. 2025].

Wyniki oznaczenia ekstraktu i mętności badanych win z owoców tropikalnych

Tabela 2. Zawartość ekstraktu (% Brix) i mętność (NTU) różnych wariantów win owocowych

WINO	ODMIANA	Ekstrakt (Brix)	Mętność (NTU)
1	2	3	4
Banan	kontrola	18,45 ^c ± 0,07	148 ^a ± 0,00
Banan	Magnum 5	18,4 ^c ± 0,00	150 ^a ± 1,41
Banan	Magnum 15	18,25 ^b ± 0,07	154 ^b ± 4,24
Banan	Enigma 5	17,95 ^a ± 0,07	155 ^b ± 0,00
Banan	Enigma 15	18,45 ^c ± 0,07	154,25 ^b ± 0,35
Mandarynka	kontrola	9,55 ^c ± 0,07	4,76 ^b ± 0,35
Mandarynka	Magnum 5	9,3 ^a ± 0,00	6,12 ^c ± 0,13
Mandarynka	Magnum 15	9,45 ^{bc} ± 0,07	7,17 ^d ± 0,06

1	2	3	4
Mandarynka	Enigma 5	9,2 ^a ± 0,00	3,15 ^a ± 0,17
Mandarynka	Enigma 15	9,25 ^{ab} ± 0,07	2,83 ^a ± 0,02
Pomarańcza-limonka	kontrola	7,5 ^a ± 0,00	65,2 ^a ± 1,13
Pomarańcza-limonka	Magnum 5	7,5 ^a ± 0,00	86,35 ^b ± 0,92
Pomarańcza-limonka	Magnum 15	7,6 ^a ± 0,00	129 ^c ± 0,00
Pomarańcza-limonka	Enigma 5	7,45 ^a ± 0,07	88,5 ^c ± 0,57
Pomarańcza-limonka	Enigma 15	7,5 ^a ± 0,00	119,5 ^d ± 0,71

Źródło: opracowanie własne

Najwyższą wartość ekstraktu (18,45°Brix) uzyskano w winie bananowym bez dodatku chmielu oraz w wariancie z dodatkiem odmiany Enigma w dawce 1,5 g/l, co było nieznacznie niższe niż wartości odnotowywane w sokach bananowych (20–29°Brix) [Kyamuhangire i in. 2002]. Najwyższą mętność (155 NTU) stwierdzono w winie z dodatkiem Enigmy 0,5 g/l, jednak wartość ta była niższa niż w przypadku świeżego soku bananowego (200–250 NTU) [Lee i in. 2007].

Najwyższą wartość ekstraktu (9,55°Brix) dla win mandarynkowych uzyskano w próbie bez dodatku chmielu i była ona wyraźnie niższa niż w świeżym soku mandarynkowym (12–13°Brix) [Kelebek i Selli 2011]. Największą mętność (7,17 NTU) stwierdzono w winie z dodatkiem Magnum 1,5 g/l, mimo to próbka ta cechowała się znacznie wyższą klarownością w porównaniu z typowym sokiem cytrusowym (>100 NTU) [Ilame i Singh 2018].

Najwyższą wartość ekstraktu (7,63°Brix) odnotowano w winie pomarańczowo-limonkowym z dodatkiem Magnum 1,5 g/l, była ona jednak niższa niż w sokach pomarańczowych (41,8°Brix) [Crandall i in. 1987] oraz limonkowych (10,5°Brix) [Olivia 2022]. Najwyższą mętność w grupie win cytrusowych stwierdzono w wariancie pomarańcza-limonka-Magnum 15 (129 NTU), jednak była ona istotnie niższa w porównaniu z wartościami charakterystycznymi dla soków cytrusowych (ok. 1000 NTU) [Sabanci i Icier 2022]. Dodatek chmielu w istotny sposób zwiększał mętność win, choć w przypadku poprzednich grup efekt ten był umiarkowany.

Analiza kolorymetryczna

Tabela 3. Porównanie parametrów barwy (L*, a*, b*) oraz różnicy barwy (ΔE*) dla różnych wariantów win owocowych

WINO	ODMIANA	L*	a*	b*	ΔE*
1	2	3	4	5	6
Banan	kontrola	31,21 ^b ± 0,05	0,01 ^b ± 0,06	2,35 ^a ± 0,01	
Banan	‘Magnum’ 0,5g/l	31,65 ^d ± 0,02	-0,08 ^a ± 0,04	2,64 ^b ± 0,03	0,14
Banan	‘Magnum’ 1,5g/l	31,50 ^c ± 0,04	-0,11 ^a ± 0,00	3,00 ^d ± 0,01	0,26

1	2	3	4	5	6
Banan	'Enigma' 0,5g/l	31,10 ^a ± 0,05	-0,13 ^a ± 0,02	2,77 ^c ± 0,04	0,10
Banan	'Enigma' 1,5g/l	31,04 ^a ± 0,01	-0,12 ^a ± 0,01	3,06 ^d ± 0,02	0,27
Mandarynka	kontrola	34,54 ^{ab} ± 0,01	-1,17 ^b ± 0,01	4,93 ^b ± 0,01	
Mandarynka	Magnum 0,5g/l	34,41 ^a ± 0,12	-1,20 ^a ± 0,01	4,82 ^a ± 0,03	0,01
Mandarynka	Magnum 1,5g/l	34,57 ^b ± 0,03	-1,25 ^c ± 0,03	5,01 ^c ± 0,01	0,01
Mandarynka	Enigma 0,5g/l	34,76 ^c ± 0,04	-1,28 ^c ± 0,01	4,99 ^c ± 0,01	0,03
Mandarynka	Enigma 1,5g/l	34,45 ^{ab} ± 0,02	-1,22 ^d ± 0,01	5,06 ^d ± 0,02	0,01
Pomarańcza-limonka	kontrola	33,06 ^c ± 0,03	-2,00 ^d ± 0,03	7,75 ^d ± 0,02	
Pomarańcza-limonka	Magnum 0,5g/l	32,59 ^d ± 0,04	-1,51 ^c ± 0,03	6,40 ^c ± 0,01	1,14
Pomarańcza-limonka	Magnum 1,5g/l	32,07 ^b ± 0,01	-1,03 ^a ± 0,00	5,26 ^a ± 0,03	4,06
Pomarańcza-limonka	Enigma 0,5g/l	32,40 ^c ± 0,11	-1,53 ^c ± 0,01	6,32 ^c ± 0,07	1,35
Pomarańcza-limonka	Enigma 1,5g/l	31,88 ^a ± 0,01	-1,17 ^b ± 0,04	5,53 ^b ± 0,02	3,50

Źródło: opracowanie własne

W winach bananowych wartości ΔE^* dla wszystkich wariantów wynosiły od 0,10 do 0,27, czyli były znacząco poniżej progu 1,0. Oznacza to, że różnice barwy pomiędzy próbkami były bardzo małe i niewidoczne gołym okiem. Podobny efekt odnotowano w badaniu, w którym fermentowany napój bananowy wykazywał $\Delta E^* < 0,8$, co potwierdza wysoką stabilność barwy [Cornelia i in. 2023].

W winach mandarynkowych wartości ΔE^* mieściły się w przedziale 0,01–0,03, również znacznie poniżej progu 1,0. Świadczy to o bardzo wysokiej stabilności barwy i braku zmian zauważalnych wizualnie. Podobny wynik uzyskano w badaniu soków mandarynkowych naturalnych i zagęszczonych, gdzie ΔE^* nie przekraczało 0,5 [Maharramov 2021].

W winach pomarańczowo-limonkowych wartości ΔE^* były zróżnicowane. Wariant kontrolny wykazywał $\Delta E^* = 0,00$, co oznacza brak zmian barwy względem siebie, natomiast w wariantach z dodatkiem chmielu wartości ΔE^* przekraczały próg 1,0 (od 1,14 do 4,06) i w przypadku Magnum 1,5 g/l osiągały 4,06, co oznacza zmiany barwy dostrzegalne gołym okiem, a w wariantcie Enigma 1,5 g/l – bardzo wyraźne różnice ($\Delta E^* = 3,50$). Podobne zakresy ($\Delta E^* = 3\text{--}5$) dla soków pomarańczowych po obróbce UV i termicznej odnotowano w badaniu Cortes i współpracowników [2008].

Analiza składu chemicznego i właściwości fizycznych win

Tabela 4. Porównanie parametrów fizykochemicznych dla różnych wariantów win owocowych

WINO	ODMIANA	Alkohol % obj.	Gęstość g/cm ³	Kwasowość ogólna g/l (kw. winowy)	Kwasowość lotna g/l (kw. octowy)	pH	Kwas jabłkowy (g/l)	Kwas mlekowy (g/l)	Glukoza + Fruktoza (g/l)
Banan	kontrola	11,57 ^c ± 0,01	1,038 ^a ± 0,00	4,15 ^a ± 0,00	0,99 ^{ab} ± 0,00	4,69 ^{ab} ± 0,01	0,80 ^a ± 0,00	0,00 ± 0,00	127,45 ^c ± 0,00
Banan	Magnum 0,5g/l	11,66 ^d ± 0,04	1,037 ^a ± 0,00	4,13 ^a ± 0,01	0,97 ^{ab} ± 0,00	4,69 ^{ab} ± 0,01	0,80 ^a ± 0,00	0,00 ± 0,00	125,75 ^c ± 0,00
Banan	Magnum 1,5g/l	11,45 ^b ± 0,00	1,038 ^a ± 0,00	4,07 ^a ± 0,02	0,97 ^{ab} ± 0,02	4,73 ^{bc} ± 0,02	0,85 ^a ± 0,07	0,00 ± 0,00	124,19 ^b ± 0,00
Banan	Enigma 0,5g/l	11,39 ^a ± 0,02	1,037 ^a ± 0,00	4,05 ^a ± 0,00	0,96 ^a ± 0,01	4,68 ^a ± 0,01	0,75 ^a ± 0,07	0,00 ± 0,00	122,10 ^a ± 0,00
Banan	Enigma 1,5g/l	11,55 ^c ± 0,03	1,037 ^a ± 0,00	4,27 ^a ± 0,19	1,03 ^b ± 0,05	4,75 ^c ± 0,02	0,85 ^a ± 0,07	0,00 ± 0,00	126,76 ^d ± 0,00
Mandarynka	kontrola	14,80 ^b ± 0,06	0,994 ^b ± 0,00	13,36 ^d ± 0,00	0,00 ± 0,00	2,71 ^b ± 0,01	3,85 ^b ± 0,07	0,50 ^b ± 0,00	0,35 ^a ± 0,21
Mandarynka	Magnum 0,5g/l	14,92 ^{ab} ± 0,01	0,993 ^a ± 0,00	11,77 ^c ± 0,00	0,00 ± 0,00	2,86 ^a ± 0,00	3,40 ^a ± 0,00	0,30 ^a ± 0,14	0,75 ^b ± 0,07
Mandarynka	Magnum 1,5g/l	14,99 ^b ± 0,07	0,993 ^{ab} ± 0,00	10,99 ^b ± 0,01	0,00 ± 0,00	2,88 ^a ± 0,01	3,35 ^a ± 0,07	0,25 ^a ± 0,07	1,00 ^{bc} ± 0,00
Mandarynka	Enigma 0,5g/l	14,98 ^b ± 0,04	0,993 ^a ± 0,00	10,69 ^a ± 0,03	0,00 ± 0,00	2,90 ^a ± 0,01	3,30 ^a ± 0,00	0,20 ^a ± 0,00	1,10 ^c ± 0,00
Mandarynka	Enigma 1,5g/l	14,92 ^{ab} ± 0,10	0,993 ^a ± 0,00	10,62 ^a ± 0,07	0,00 ± 0,00	2,92 ^a ± 0,01	3,35 ^a ± 0,07	0,25 ^a ± 0,07	1,25 ^c ± 0,07
Pomarańcza- -limonka	kontrola	11,86 ^a ± 0,19	0,994 ^a ± 0,00	12,24 ^b ± 0,00	0,00 ± 0,00	2,90 ^a ± 0,01	3,00 ^a ± 0,00	0,40 ^a ± 0,14	0,00 ± 0,00
Pomarańcza- -limonka	Magnum 0,5g/l	11,96 ^a ± 0,02	0,994 ^{ab} ± 0,00	12,24 ^b ± 0,00	0,00 ± 0,00	2,90 ^a ± 0,01	3,05 ^a ± 0,07	0,40 ^a ± 0,00	0,00 ± 0,00
Pomarańcza- -limonka	Magnum 1,5g/l	11,97 ^a ± 0,04	0,994 ^b ± 0,00	12,08 ^a ± 0,00	0,00 ± 0,00	2,90 ^a ± 0,02	3,10 ^a ± 0,14	0,40 ^a ± 0,00	0,00 ± 0,00
Pomarańcza- -limonka	Enigma 0,5g/l	11,85 ^a ± 0,04	0,994 ^a ± 0,00	12,08 ^a ± 0,00	0,00 ± 0,00	2,91 ^a ± 0,01	3,00 ^a ± 0,00	0,40 ^a ± 0,00	0,00 ± 0,00
Pomarańcza- -limonka	Enigma 1,5g/l	11,92 ^a ± 0,01	0,994 ^{ab} ± 0,00	12,08 ^a ± 0,00	0,00 ± 0,00	2,91 ^a ± 0,01	3,05 ^a ± 0,07	0,35 ^a ± 0,07	0,00 ± 0,00

Źródło: opracowanie własne

Najwyższą zawartość etanolu odnotowano w winie mandarynkowym w wariancie Magnum 1,5 g/l (ok. 15%), co wskazuje na intensywny przebieg fermentacji i jest zgodne z niską zawartością cukrów reszkowych (ok. 1,25 g/l w wariancie Enigma 1,5 g/l) oraz niską gęstością (ok. 0,994 g/cm³), typową dla win całkowicie przefermentowanych [Habimana i in. 2017, Lv i in. 2024, Idise 2011]. W winie bananowym, mimo znacznie wyższej zawartości cukrów reszkowych (ok. 127 g/l) i dużej gęstości (ok. 1,038 g/cm³), poziom alkoholu wynosił jedynie ok. 11,5%, co wskazuje na wcześniejsze zatrzymanie fermentacji [Idise 2011, Lv i in. 2024].

Najwyższą kwasowość ogólną odnotowano w winie mandarynkowym bez dodatków (13,36 g/l) przy jednocześnie najniższym pH wśród badanych win cytrusowych (ok. 2,9) oraz wysokiej zawartości kwasu jabłkowego (3,85 g/l), co odpowiada naturalnej charakterystyce soków cytrusowych [Cancalon i Xu 2002, Habimana i in. 2017, Fu i in. 2022]. Obecność kwasu mlekowego (do 0,50 g/L) w winach cytrusowych sugeruje częściowy przebieg fermentacji mólolaktycznej, co mogło dodatkowo wpływać na profil kwasowości [Lv i in. 2024].

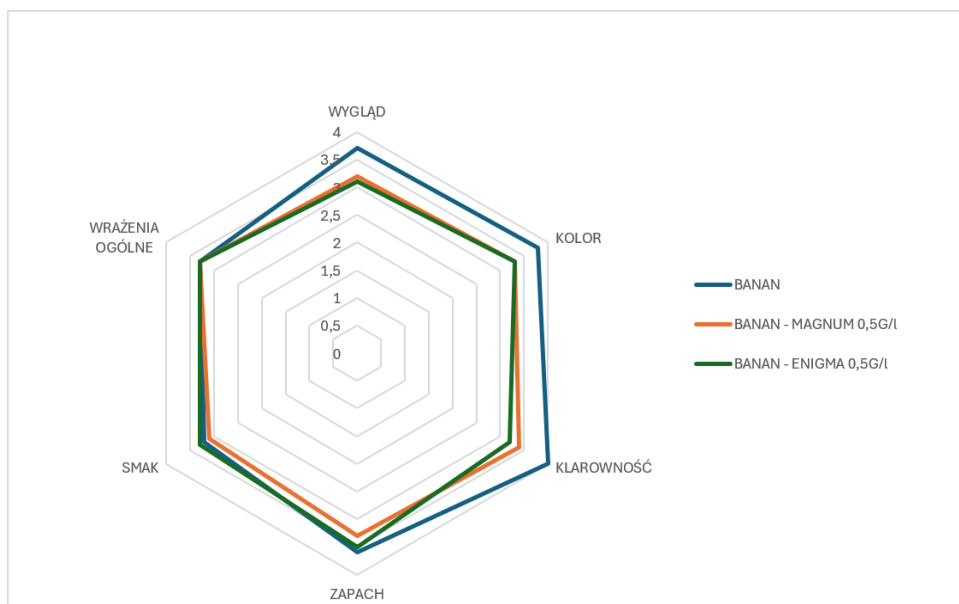
Wino pomarańczowo-limonkowe charakteryzowało się nieco niższą kwasowością ogólną (12,24 g/l bez dodatku), mniejszą ilością kwasu jabłkowego (3,1 g/l) oraz zawartością kwasu mlekowego ok. 0,40 g/l, co również sugeruje częściowy przebieg fermentacji mólolaktycznej [Cancalon i Xu 2002, Habimana i in. 2017, Fu i in. 2022, Lv i in. 2024].

Wina bananowe wykazywały zdecydowanie niższą kwasowość ogólną (ok. 4,3 g/l) i wyższe pH (do 4,75 w wariancie Enigma 1,5 g/l), co jest zgodne z wartościami typowymi dla fermentowanych napojów z banana (4,0–4,7), nie wykryto w nich także kwasu mlekowego [Li i in. 2023; Habimana i in. 2017; Lv i in. 2024]. Jednocześnie w wariancie tym odnotowano podwyższoną kwasowość lotną (do 1,3 g/l) przekraczającą akceptowalny próg dla win owocowych (ok. 0,8 g/l), co może wskazywać na rozwój mikroflory wytwarzającej kwas octowy [Lv i in. 2024].

Analiza sensoryczna

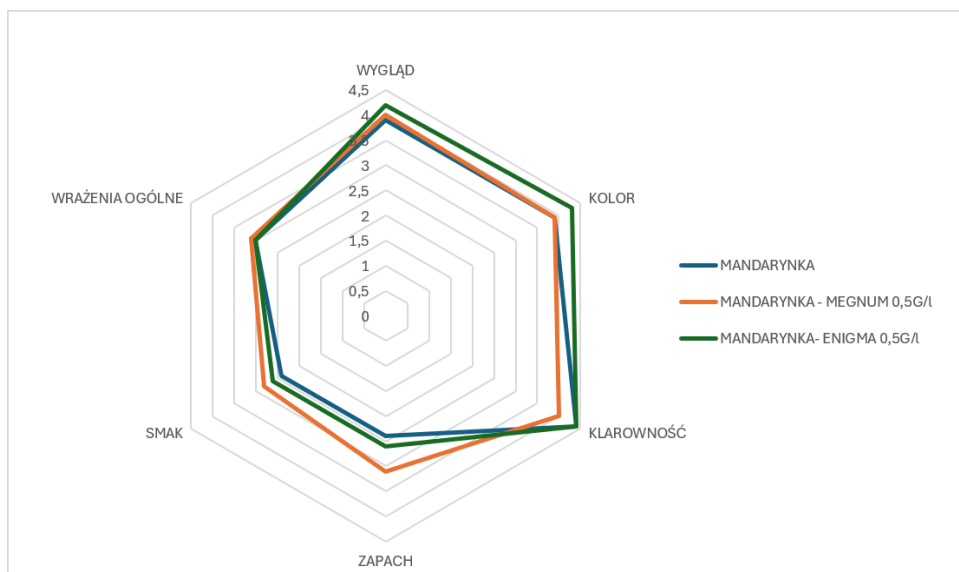
Dodatek obu odmian chmielu wpłynął negatywnie na wygląd i kolor wina bananowego, a ogólne wrażenia sensoryczne były nieco obniżone, szczególnie w wariancie z odmianą Enigma. Wino mandarynkowe uzyskało najwyższe oceny w kategoriach wygląd i klarowność przy minimalnym zróżnicowaniu pomiędzy wariantami z dodatkiem chmielu i bez dodatków, natomiast ogólne wrażenia sensoryczne utrzymywały się na wysokim poziomie niezależnie od wariantu.

W winie mandarynkowym dodatek chmielu, szczególnie odmiany Enigma (0,5 g/l), okazał się korzystny. Odnotowano poprawę niemal wszystkich ocenianych cech, co szczególnie widoczne jest w kategoriach wrażeń ogólnych i smaku. W przypadku odmiany Magnum (0,5 g/l) również stwierdzono wzrost ocen większości parametrów, w tym wyglądu, koloru i zapachu, jednak poprawa ta była mniej wyraźna niż dla odmiany Enigma.



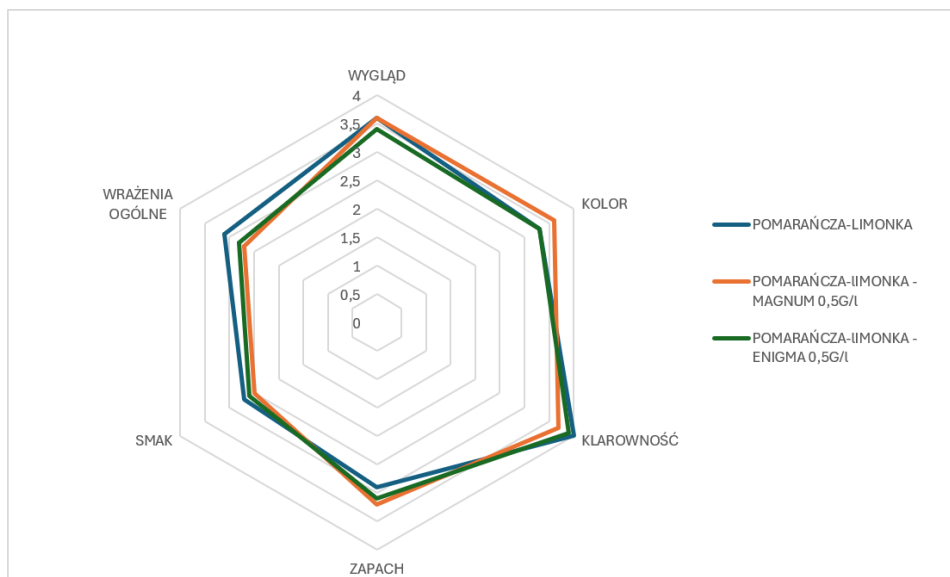
**Rysunek 6. Wyniki oceny organoleptycznej
wina bananowego oraz jego wariantów**

Źródło: opracowanie własne



**Rysunek 7. Wyniki oceny organoleptycznej
wina mandarynkowego oraz jego wariantów**

Źródło: opracowanie własne



**Rysunek 8. Wyniki oceny organoleptycznej
wina pomarańczowo-limonkowego oraz jego wariantów**

Źródło: opracowanie własne

Wino pomarańczowo-limonkowe charakteryzowało się dość stabilnymi wynikami we wszystkich wariantach. Dodatek chmielu wpłynął pozytywnie na jego cechy, lekko podnosząc oceny w kategoriach smaku i zapachu, bez negatywnych zmian w wyglądzie produktu. Wariant z dodatkiem odmiany Enigma (0,5 g/l) uzyskał nieco wyższe noty niż z dodatkiem Magnum (0,5 g/l), jednak w obu przypadkach różnice były niewielkie, a poprawa jakości organoleptycznej w stosunku do próbki kontrolnej była zbliżona.

Wnioski

Dodatek chmielu odmiany Magnum i Enigma w większości badanych wariantów win (mandarynkowe 0,5 g/l, 1,5 g/l; pomarańczowo-limonkowe 0,5 g/l, 1,5 g/l; bananowe 0,5 g/l, 1,5 g/l) zwiększał zawartość w nich polifenoli oraz wzmacniał ich właściwości przeciwutleniające, przy czym największy wzrost odnotowano w winie mandarynkowym z dodatkiem Enigmy 1,5 g/l oraz bananowym z dodatkiem Magnum 1,5 g/l.

Dodatek chmielu, szczególnie odmiany Enigma w dawce 0,5 g/l, poprawiał smak i aromat win mandarynkowych i pomarańczowo-limonkowych, podczas gdy w winach bananowych – niezależnie od odmiany i dawki chmielu – odnotowano pogorszenie wyglądu i klarowności.

Większe dawki chmielu (1,5 g/l) wpływały na zwiększenie stopnia zmętnienia oraz powodowały zauważalne zmiany barwy win, szczególnie w wariantach pomarańczowo-limonkowych.

Najlepsze rezultaty pod względem właściwości antyoksydacyjnych i sensorycznych uzyskano dla wina mandarynkowego z dodatkiem Enigmy w dawce 1,5 g/l. Efekty stosowania chmielu zależą zarówno od jego odmiany, jak i dawki, a także od rodzaju owocu użytego do produkcji wina.

Bibliografia

- Agacka M., Skomra U. (2012). Chmiel jako źródło bioaktywnych metabolitów wtórnych dla przemysłu piwowarskiego i farmaceutycznego. *Studia i Raporty IUNG-PIB*, 31(5), 33–48.
- Alarcon-Aguilara F.J., Roman-Ramos R., Perez-Gutierrez S., Aguilar-Contreras A., Contreras-Weber C.C., Flores-Saenz J.L. (1998). Study of the antihyperglycemic drug effects of plants used as antidiabetic drugs. *Journal of Ethnopharmacology*, 61, 101–110.
- Atthira V.A., Sinija V.R. (2021). Comparative assessment of wines developed from different varieties of oranges. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 10(1), 3602–3611.
- Balay K.S., Hawthorne K.M., Hicks P.D., Griffin I.J., Chen Z., Westerman M., Abrams S.A. (2010). Orange but not apple juice enhances ferrous fumarate absorption in small children. *Journal of Pediatric Gastroenterology and Nutrition*, 50(5), 545–550.
- Benzie I.F.F., Strain J.J. (1996). The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of “antioxidant power”: The FRAP assay. *Analytical Biochemistry*, 239(1), 70–76.
- Bratovcic A., Djapo-Lavic M., Kazacic M., Mehic E. (2021). Evaluation of antioxidant capacities of orange, lemon, apple and banana peel extracts by FRAP and ABTS methods. *Revue Roumaine de Chimie*, 66(8–9), 713–717.
- Caccioni D.R., Guizzardi M., Biondi D.M., Renda A., Ruberto G. (1998). Relationship between volatile components of citrus fruit essential oils and antimicrobial action on *Penicillium digitatum* and *Penicillium italicum*. *International Journal of Food Microbiology*, 43, 73–79.
- Camarda L., Stefano V.D., Bosco S.F.D., Schillaci D. (2007). Antiproliferative activity of citrus juices and HPLC evaluation of their flavonoid composition. *Fitoterapia*, 78(6), 426–429.
- Canclon P.F., Xu Y. (2002). Changes in organic acid composition of citrus juices during the 2000–2001 season. *Proceedings of the Florida State Horticultural Society*, 115, 37–41.
- Cornelia M., Vanessa V., Mastuti T.S., Kurniawan R. (2023). Characteristics of fruit wine from several types of banana with various types of yeast. [In:] W.Q.D. Utama (Ed.): *Proceedings of the 7th International Conference on Food, Agriculture, and Natural Resources (IC-FANRES 2022)*, *Advances in Biological Sciences Research*, 35, 39–47.
- Cortes C., Esteve M.J., Frigola A. (2008). Color of orange juice treated by high intensity pulsed electric fields during refrigerated storage and comparison with pasteurized juice. *Food Control*, 19(2), 151–158.
- Crandall P.G., Chen C.S., Davis K.C. (1987). Preparation and storage of 72° Brix orange juice concentrate. *Journal of Food Science*, 52(2), 381–383.
- Dahham S.S., Agha M.T., Tabana Y.M., Majid A.M.S.A. (2015). Antioxidant activities and anti-cancer screening of extracts from banana fruit (*Musa sapientum*). *Academic Journal of Cancer Research*, 8(2), 28–34.
- Deyhim F., Garica K., Lopez E., Gonzalez J., Ino S., Garcia M., Patil B.S. (2006). Citrus juice modulates bone strength in male senescent rat model of osteoporosis. *Nutrition*, 22(5), 559–563.

- Galovičová L., Borotová P., Vukovic N.L., Vukic M., Kunová S., Hanus P., Kowalczewski P.Ł., Bakay L., Kačániová M. (2022). The potential use of *Citrus aurantifolia* L. essential oils for decay control, quality preservation of agricultural products, and anti-insect activity. *Agronomy*, 12(3), 735.
- Habimana J.D.D., Ituze Kubana M.C., Ineza C., Karangwa E. (2017). Comparative study of physicochemical and bacteriological characteristics of banana wines produced by conventional and modern techniques in Southern province of Rwanda. *American Journal of Food Science and Technology*, 5(5), 192–198.
- Hamdan M., Jaradat N., Al-Maharik N., Ismail S., Qadi M. (2024). Chemical composition, cytotoxic effects and antimicrobial activity of combined essential oils from *Citrus meyeri*, *Citrus paradise*, and *Citrus sinensis* leaves. *Industrial Crops and Products*, 210, 118096.
- Idise E. (2011). Studies on wine production from orange (*Citrus sinensis*). *Nigerian Journal of Science and Environment*, 10(3), 91–95.
- Ilame S.A., Singh S.V. (2018). Physico-chemical properties of ultrafiltered kinnow (mandarin) fruit juice. *Journal of Food Science and Technology*, 55(6), 2189–2196.
- Indriyani N.N., Al Anshori J., Permadi N., Nurjanah S., Julaeha E. (2023). Bioactive components and their activities from different parts of *Citrus aurantifolia* (Christm.) Swingle for food development. *Foods*, 12(10), 2036.
- Jain S., Arora P., Popli H. (2020). A comprehensive review on *Citrus aurantifolia* essential oil: its phytochemistry and pharmacological aspects. *Brazilian Journal of Natural Sciences*, 3(2), 354.
- Jiang C.-H., Sun T.-L., Xiang D.-X., Wei S.-S., & Li W.-Q. (2018). Anticancer activity and mechanism of xanthohumol: A prenylated flavonoid from hops (*Humulus lupulus* L.). *Frontiers in Pharmacology*, 9, Article 530.
- Jorge N., Teixeira A.R., Matos C.C., Lucas M.S., Peres J.A. (2021). Combination of coagulation–flocculation–decantation and ozonation processes for winery wastewater treatment. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18(16), 8882.
- Kandaswami C., Perkins E., Soloniuk D.S., Drzewiecki G., Middleton E. Jr (1991). Antiproliferative effects of citrus flavonoids on a human squamous cell carcinoma *in vitro*. *Cancer Letters*, 56(2), 147–152.
- Kelebek H., Selli S. (2014). Identification of phenolic compositions and the antioxidant capacity of mandarin juices and wines. *Journal of Food Science and Technology*, 51(6), 1094–1101.
- Kumar D., Ladaniya M.S., Gurjar M., Mendke S., Kumar S. (2019). Osmotic membrane distillation for retention of antioxidant potential in Nagpur mandarin (*Citrus reticulata* Blanco) fruit juice concentrate. *Journal of Food Process Engineering*, 42, e13096.
- Kyamuhangire W., Myhre H., Sørensen H.T., Pehrson R. (2002). Yield, characteristics and composition of banana juice extracted by the enzymatic and mechanical methods. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 82(4), 478–482.
- Lassoudière A. (2007). *Le bananier et sa culture*. Editions Quae, Versailles CEDEX, France, 1–383.
- Lee W.C., Yusof S., Hamid N., Baharin B.S. (2007). Effect of fining treatment and storage temperature on the quality of clarified banana juice. *LWT – Food Science and Technology*, 40(10), 1755–1764.
- Li Z., Qin C., He X., Chen B., Tang J., Liu G., Li L., Yang Y., Ye D., Li J., Ling D., Li C., Khoo H.E., & Sun J. (2023). Development of green banana fruit wines: Chemical compositions and *in vitro* antioxidative activities. *Antioxidants*, 12(1), 93.
- Lim T.K. (2012). *Edible Medicinal and Non-Medicinal Plants*. Volume 4: Fruits. Springer, Dordrecht.
- Lin L.-Y., Chuang C.-H., Chen H.-C., Yang K.-M. (2019). Lime (*Citrus aurantifolia* (Christm.) Swingle) Essential Oils: Volatile Compounds, Antioxidant Capacity, and Hypolipidemic Effect. *Foods*, 8(9), 398.

- Lv Z., Liu H., Yang W., Zhang Q., Chen D., Jiao Z., Liu J. (2024). Comprehensive analysis of physicochemical properties and volatile compounds in different strawberry wines under various pre-treatments. *Molecules*, 29(9), 2045.
- Maharramov M. (2021). Investigation of thermal conductivity of orange and tangerine juices in non-stationary state. *E3S Web of Conferences*, 254, 07015.
- Morton J.F. (1987). Orange. In: *Fruits of Warm Climates*. Julia F. Morton, Miami, FL, 134–142.
- Murakami A., Song M., Katsumata S.-I., Uehara M., Suzuki K., Ohigashi H. (2007). Citrus nobil-
letin suppresses bone loss in ovariectomized ddY mice and collagen-induced arthritis in DBA/1J
mice: possible involvement of receptor activator of NF- κ B ligand (RANKL)-induced osteoclas-
togenesis regulation. *BioFactors*, 30(3), 179–192.
- Musara C., Aladejana E.B., Mudyiyiwa S.M. (2020). Review of the nutritional composition, medicinal,
phytochemical and pharmacological properties of *Citrus reticulata* Blanco (*Rutaceae*). *F1000Research*,
9(1387), 1–11.
- Narang N., Jiraungkoorskul W. (2016). Anticancer activity of key lime, *Citrus aurantifolia*. *Phar-
macognosy Reviews*, 10(20), 123–130.
- O'Bryan C.A., Crandall P.G., Chalova V.I., Ricke S.C. (2008). Orange essential oils antimicrobial
activities against *Salmonella* spp. *Journal of Food Science*, 73(6), 264–267.
- Odriozola-Serrano I., Bellí G., Puigpinós J., Herrero E., Martín-Belloso O. (2022). Screening the
antioxidant activity of thermal or non-thermally treated fruit juices by *in vitro* and *in vivo* assays.
Beverages, 8(2), 36.
- Ogo O., Hembafan N., Amokaha R., Jeremiah O., Inalegwu B. (2024). Characterization and antiox-
idant activity of peel extracts from three varieties of *Citrus sinensis*. *Heliyon*, 10(7), e14876.
- Olivia N. (2022). Analysis of the addition of soda and lime juice towards the antioxidant activity,
pH, Brix, color, and sensorial property of sparkling butterfly pea beverage (Unpublished under-
graduate internship thesis). Indonesia International Institute for Life Sciences.
- Osarumwense P.O., Okunrobo L.O., Imafidon K.E. (2011). Phytochemical composition of *Citrus
sinensis* (L.) Osbeck and its larvicidal and antimicrobial activities. *Continental Journal of
Pharmaceutical Sciences*, 5, 15–19.
- Panchal D., Ansari A., Pawar A., Patkar S., Rodrigues C., Patil S., Stewart M., Chakraborty A.,
Chakraborty P. (2025). In-vitro antioxidant and cytotoxic potential of banana wine. *Journal
of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences*, e10391.
- Parmar H.S., Kar A. (2008). Antiperoxidative, antithyroidal, antihyperglycemic and cardioprotective
role of *Citrus sinensis* peel extract in male mice. *Phytotherapy Research*, 22(6), 791–795.
- Patharkar S.R., Shendge S.N., Khapre A.P. (2017). Study of physico-chemical parameters of orange
(*Citrus reticulata* Blanco) for the development of orange wine. *Journal of Applied and Natural
Science*, 9(4), 2305–2308.
- Re R., Pellegrini N., Proteggente A., Pannala A., Yang M., Rice-Evans C. (1999). Antioxidant activity
applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free Radical Biology and Medi-
cine*, 26(9–10), 1231–1237.
- Sabancı S., Icier F. (2022). Evaluation of an ohmic assisted vacuum evaporation process for orange
juice pulp. *Food and Bioproducts Processing*, 131, 156–163.
- Saini R.K., Ranjit A., Sharma K., Prasad P., Shang X., Gowda K.G.M., Keum Y.-S. (2022). Bioactive
compounds of citrus fruits: A review of composition and health benefits of carotenoids, flavo-
noids, limonoids, and terpenes. *Antioxidants*, 11(2), 239.
- Sandoval-Montemayor N.E., García A., Elizondo-Treviño E., Garza-González E., Alvarez L., Rayo
Camacho-Corona M. del (2012). Chemical composition of hexane extract of *Citrus aurantifolia*
and anti-*Mycobacterium tuberculosis* activity of some of its constituents. *Molecules*, 17(9),
11173–11184.

- Schneider V., Müller J., Schmidt D. (2016). Oxygen consumption by postfermentation wine yeast lees: Factors affecting its rate and extent under oenological conditions. *Food Technology and Biotechnology*, 54(4), 395–402.
- Singh B., Singh J.P., Kaur A., Singh N. (2016). Bioactive compounds in banana and their associated health benefits – a review. *Food Chemistry*, 206(2), 1–11.
- Singleton V.L., Orthofer R., Lamuela-Raventós R.M. (1999). Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of Folin-Ciocalteu reagent. *Methods in Enzymology*, 299, 152–178.
- Thaipong K., Boonprakob U., Crosby K., Cisneros-Zevallos L., & Byrne, D.H. (2006). Comparison of ABTS, DPPH, FRAP, and ORAC assays for estimating antioxidant activity from guava fruit extracts. *Journal of Food Composition and Analysis*, 19(6–7), 669–675.
- Verdum (n.d.). Banany – właściwości lecznicze i zdrowotne. Verdum. <https://verdum.pl/banany-wlasciwosci-lecznicze-zdrowotne/> (dostęp: 5.05.2025).
- Vijayakumar S., Presannakumar G., Vijayalakshmi N.R. (2008). Antioxidant activity of banana flavonoids. *Fitoterapia*, 79(4), 279–282.
- [www1] <https://www.medicalnewstoday.com/articles/322652> (dostęp: 25.06.2025).
- Yen G.-C., Chen H.-Y. (1995). Antioxidant activity of various tea extracts in relation to their anti-mutagenicity. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 43(1), 27–32.
- Zylstra S. (2005). Assessments of seven refractometers for evaluating wildland fire retardants (Rep. No. TE52P13—WFCS Technical Services). USDA Forest Service, Technology and Development Program.

New horizons in winemaking: the use of hopping in the creation of tropical fruit wines

Abstract: The article discusses the innovative use of cold hopping in the production of wines made from tropical fruits: banana, tangerine, orange and lime. The goal was to increase polyphenol content and antioxidant properties by adding Magnum and Enigma hops in two doses. The study showed that hopping – especially with the Enigma variety – improved the antioxidant and sensory properties of tangerine and orange-lime wines, while it worsened the appearance and clarity in banana wines. The effects depended on the type of fruit, dosage and variety of hops. The results indicate that hopping can be an effective way to enrich fruit wines with bioactive compounds and improve their sensory properties, making it a promising proposition in the functional beverage market.

Monika Tomczyk^{1,*}, Karolina Ożóg², Anna Pasternakiewicz¹, Michał Miłek¹

WYKORZYSTANIE PRODUKTÓW UBOCZNYCH Z PRODUKCJI SOKÓW Z CZARNEJ PORZECZKI JAKO SKŁADNIKA FUNKCJONALNEGO CIASTEK KRUCHYCH

Streszczenie: Wytloki z czarnej porzeczki, pomimo iż stanowią produkt uboczny przemysłu przetwórczego, wykazują istotny potencjał jako surowiec funkcjonalny ze względu na wysoką zawartość związków bioaktywnych, w tym polifenoli. Celem niniejszej pracy było opracowanie receptur ciastek kruchych, wzbogaconych sproszkowanymi wytløkami z czarnej porzeczki poddanyymi suszeniu konwekcyjnemu i liofilizacji, oraz ocena ich właściwości przeciwutleniających, zawartości związków fenolowych i parametrów tekstury. Zastosowanie ekstrakcji wspomagananej ultradźwiękami pozwoliło na skuteczniejszy odzysk substancji antyoksydacyjnych niż tradycyjne wytrząsanie. Liofilizowane wyltoki wykazywały wyraźnie wyższy poziom polifenoli i zdolności antyoksydacyjnej (o 21–46%) w porównaniu do suszonych konwekcyjnie. Dodatek proszku z wyltøków, niezależnie od zastosowanej metody suszenia, istotnie zwiększał właściwości przeciwutleniające otrzymanych produktów. Ciastka zawierające wyltoki liofilizowane cchowała ponadto wyższą twardość oraz gumistość, co może być związane z odmienną strukturą materiału po liofilizacji.

Wprowadzenie

W ostatnich latach obserwuje się dynamiczny rozwój przemysłu spożywczego ukierunkowanego na zrównoważony rozwój, innowacyjność oraz wykorzystanie surowców wtórnych zgodnie z założeniami gospodarki o obiegu zamkniętym (circular economy). Zrównoważona produkcja żywności zgodna z polityką zrównoważonego rozwoju Unii Europejskiej [European Commission 2020] nabiera szczególnego znaczenia w kontekście globalnych wyzwań, takich jak zmiany klimatyczne, zmniejszające się zasoby naturalne oraz rosnąca ilość odpadów przemysłowych i konsumenckich. Produkty uboczne powstałe w wyniku przetwarzania żywności coraz częściej są postrzegane nie jako niepotrzebny balast, lecz jako cenne źródło składników bioaktywnych, które można ponownie wykorzystać w produkcji żywności funkcjonalnej [Shahidi i in. 2019, Hrelia i in. 2025].

¹ Katedra Chemii i Toksykologii Żywności, Wydział Technologiczno-Przyrodniczy, Uniwersytet Rzeszowski, ul. Ćwiklińskiej 1a, 35-959 Rzeszów.

² Studentka kierunku Technologia Żywności i Żywnienie Człowieka, Wydział Technologiczno-Przyrodniczy, Uniwersytet Rzeszowski, ul. Żelwerowicza 4, 35-601 Rzeszów.

* mwesolowska@ur.edu.pl

Produkty uboczne pochodzące z przetwórstwa owoców, zwłaszcza wytloki powstające podczas produkcji soków, zwracają szczególną uwagę nie tylko producentów żywności, ale też naukowców. Ich ponowne wykorzystanie może przyczynić się zarówno do ograniczenia strat surowcowych, jak i do poprawy wartości odżywczej finalnych produktów spożywczych [Kawecka i Galus 2021]. Czarna porzeczka (*Ribes nigrum* L.) to owoc o wysokim potencjale prozdrowotnym ceniony ze względu na dużą zawartość witaminy C, antocyjanów oraz innych przeciwutleniaczy [Jurgiel-Małecka i Buchwał 2016, Oczkowski 2021]. Jest szeroko wykorzystywana w przemyśle sokowniczym, a powstające w procesie produkcyjnym wytloki zawierające resztki miąższu, skórki i pestki stanowią potencjalnie wartościowy surowiec wtórny. Badania wskazują, że wytloki z czarnej porzeczki są bogatym źródłem naturalnych związków bioaktywnych takich jak polifenole, flawonoidy, witaminy, błonnik pokarmowy oraz naturalne barwniki, które zachowują właściwości antyoksydacyjne nawet po procesie suszenia [Michalska i in. 2017, Toscano Martinez i in. 2021].

Wzrost zainteresowania żywnością funkcjonalną i tzw. „clean label” sprawił, że coraz większą uwagę przykładą się do wzbogacania klasycznych prostych produktów spożywczych składnikami naturalnego pochodzenia, które wspierają zdrowie konsumentów. Dodatek suszonych wytlóków owocowych do produktów piekarniczych może nie tylko poprawić ich wartość odżywczą, ale również wpłynąć korzystnie na teksturę, barwę oraz stabilność oksydacyjną [Martins i in. 2017, Gómez i Martinez 2018, Melini i in. 2020].

Celem niniejszej pracy była ocena możliwości zastosowania suszu z wytlóków czarnej porzeczki jako dodatku funkcjonalnego w produkcji ciastek kruchych. W szczególności skoncentrowano się na analizie właściwości antyoksydacyjnych produktów końcowych oraz ocenie ich parametrów teksturalnych i sensorycznych.

Materiał i metody

Materiał badany

Surowcem do wytworzenia materiału badanego były wytloki z owoców czarnej porzeczki (*Ribes nigrum* L.) powstałe jako produkt uboczny podczas produkcji soku. Owoce zebrano w pełni dojrzałości (ocena na podstawie zabarwienia – mocno granatowe przechodzące w czerń) w lipcu 2024 r. na plantacji własnej, w rejonie Sokołowa Młp. (woj. podkarpackie).

Otrzymywanie wytlóków

W celu uzyskania wytlóków porzeczkowych owoce z wodą w stosunku 1:1 gotowano na wolnym ogniu pod przykryciem przez około 30 min. Po tym czasie całość przecedzono przez sito kuchenne, a powstałą pulpę poddano dalszym zabiegom w dwóch wariantach:

- I. Pulpę poddano tłoczeniu za pomocą prasy ręcznej do owoców, a uzyskane wytloki suszono w suszarce laboratoryjnej w temp. 60°C do stałej masy (przez 8 godzin). Następnie materiał zmielono w młynku laboratoryjnym, a uzyskany proszek wykorzystano do wypieku ciastek.
- II. Pulpę poddano mrożeniu (-65°C) w niskich plastikowych pojemnikach przez 48 h. Następnie suszono próżniowo za pomocą liofilizatora przez 26 h (Alpha 1–2 LD plus, Martin Christ). Powstały susz zmielono w młynku laboratoryjnym i tak uzyskany proszek wykorzystano do wypieku ciastek.

Wypiek ciastek

Recepturę ciasta na ciastka kruche opracowano na podstawie przepisu opisanego przez Siemianowską i współpracowników [2016]. Składniki odważano zgodnie z danymi przedstawionymi w tabeli 1. Przygotowano wariant podstawowy jako próbę kontrolną (0) oraz próby badane, zastępując 10%, 20% oraz 30% mąki pszennej proszkiem z wytlóków z czarnej porzeczki. Wszystkie składniki połączono w naczyniu, a następnie wyrobiono ręcznie do uzyskania jednolitej konsystencji. Ciasto rozwałkowano na grubość ok 6 ± 2 mm, wykrojono ciastka za pomocą foremki i pieczono przez 15 min w temperaturze 180°C. Po upieczeniu ciastka pozostawiono do ostygnięcia na kratce. Tak przygotowane poddano dalszym analizom. Wykonano dwa warianty ciastek: I – z dodatkiem wytlóków suszonych konwekcyjnie (rysunek 1), II – z dodatkiem wytlóków liofilizowanych (rysunek 2).

Tabela 1. Skład ciastek kruchych z dodatkiem wytlóków z czarnej porzeczki

Dodatek wytlóków z czarnej porzeczki [%]	Skład surowcowy [g]				
	Mąka pszenna typ 450	Wytloki	Margaryna	Cukier puder	Żółtko
0	150	0	100	50	20
10	135	15	100	50	20
20	120	30	100	50	20
30	105	45	100	50	20



Rysunek 1. Ciastka z dodatkiem wytlóków suszonych konwekcyjnie



Rysunek 2. Ciastka z dodatkiem wytlóków liofilizowanych

K – próba kontrolna, 1 – ciastka z dodatkiem 10% wytlóków, 2 – ciastka z dodatkiem 20% wytlóków, 3 – ciastka z dodatkiem 30% wytlóków

Źródło: opracowanie własne

Przygotowanie ekstraktów do oznaczeń

Do czterech kolb stożkowych o pojemności 100 cm³ odważono po 1 g wytlóków porzeczkowych. Następnie do dwóch kolb dodano po 20 ml wody destylowanej, a do pozostałych dwóch po 20 ml 60% roztworu etanolu. Jedną próbkę z wodą i jedną z etanolem umieszczono w wyrzäsarce na 15 minut/300 obr. Po zostało kolby poddano ekstrakcji w łaźni ultradźwiękowej (Polsonic 10) o częstotliwości 40 kHz przez 20 minut. Po zakończeniu procesu ekstrakcji próbki przesączo przez bibułę filtracyjną i wykorzystano do dalszych analiz.

Ekstrakty z ciastek przygotowano w analogiczny sposób, ale wykorzystując 8 g ciastek (dla każdego wariantu) uprzednio rozdrobnionych w moździerz.

Oznaczenie aktywności przeciwutleniającej i związków polifenolowych ogółem

Aktywność przeciwutleniająca

Analizę ciastek oraz wytlóków przeprowadzono zgodnie z procedurą zaproponowaną przez Ou i współpracowników [2005], z własnymi niewielkimi modyfikacjami, w następujący sposób, do 20 µl próbki dodano 180 µl odczynnika DPPH (0,1 mM). Po 30 minutach inkubacji w temperaturze pokojowej mierzono absorbancję prób badanych i próby ślepej względem metanolu za pomocą spektrofotometru Biotek EPOCH 2 przy długości fali 517 nm. Aktywność antyoksydacyjną wyrażono jako % inhibicji rodnika DPPH.

FRAP (*ferric reducing antioxidant power*) – zdolność do redukcji jonów żelaza

Analizę ciastek oraz wytlóków przeprowadzono zgodnie z procedurą zaproponowaną przez Firuzi i współpracowników [2005], z własnymi niewielkimi modyfikacjami, w następujący sposób, do 20 µl próbki dodano 180 µl odczynnika FRAP (2,5 ml 10 mM TPTZ w 40 mM HCl; 2,5 ml 20 mM FeCl₃ i 25 ml 0,3 M buforu octanowego o pH 3,6). Po 10 min inkubacji w temp. 37°C mierzono absorbancję względem próby ślepej przy długości fali 593 nm. Wyniki wyrażone w mmol troloksu na 100 g próbki (mmol TE/100 g próbki) obliczono na podstawie krzywej wzorcowej dla troloksu o wykresie funkcji $y = 0,0262x$.

TPC (*total phenolic content*) – całkowita zawartość polifenoli

Analizę ciastek oraz wytlóków przeprowadzono zgodnie z procedurą zaproponowaną przez Agbora i współpracowników [2014], z własnymi niewielkimi modyfikacjami, w następujący sposób, do 20 µl próbki, dodano 100 µl 10-krotnie rozcieńczonego odczynnika Folina i 80 µl 7,5% w/v roztworu Na₂CO₃. Po 60 min inkubacji w temperaturze pokojowej mierzono absorbancję względem próby ślepej przy długości fali 760 nm. Wyniki wyrażone w mg kwasu galusowego na 100 g próbki (g GAE/100 g próbki) obliczono na podstawie krzywej wzorcowej dla kwasu galusowego o wykresie funkcji $y = 0,0556x$.

Ocena tekstury ciastek

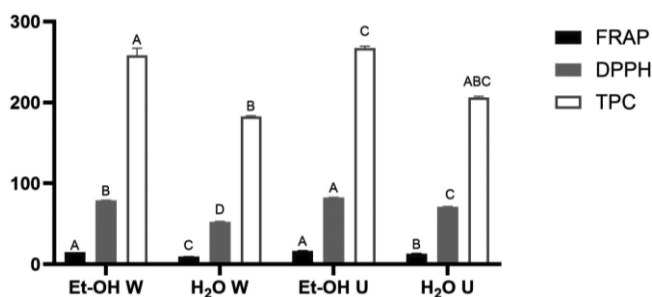
Analizę profilu teksturalnego (TPA – *Texture Profile Analysis*) ciastek wykonano za pomocą tekstuometru MECMESIN MultiTest 2.5i, stosując test podwójnego ściskania, który przeprowadzono przy użyciu głowicy o średnicy 30 mm z prędkością przesuwu 60 mm/min. do 70% odkształcenia próbek przy sile nacisku 0,2 N. Przy zastosowaniu testu TPA wyznaczono następujące parametry: sprężystość (N/mm), twardość (N), adhezyjność (N·mm), kohezyjność (Ratio), gumiałość (N). Testy przeprowadzono na trzech niezależnych ciastkach z każdego rodzaju po 24 godzinach od wypieku.

Analiza statystyczna wyników

Wszystkie oznaczenia wykonano w trzech powtórzeniach, a wyniki przedstawiono jako średnie arytmetyczne oraz odchylenia standardowe. W celu oceny wpływu procentowego dodatku wyłoków do ciastek na wyniki parametrów tekstury wykorzystano jednoczynnikową analizę wariancji ANOVA z zastosowaniem testu post-hoc Tukeya, uwzględniając poziom istotności $p < 0,05$. W celu sprawdzenia różnic pomiędzy wynikami tych samych wariantów ciastek w zależności od sposobu odwadniania wyłoków zastosowano test t-Studenta dla grup zależnych z uwzględnieniem poziomu istotności $p < 0,05$. Obliczenia wykonano w programie Statistica 13.1.

Wyniki i dyskusja

Aktywność przeciwutleniająca pulpy owocowej



Rysunek 3. Aktywność antyoksydacyjna (FRAP mm TE/100g s.m.), przeciwrodnikowa (DPPH % inhibicji) i całkowita zawartość związków fenolowych (mg GAE/100g s.m.) w pulpie owocowej

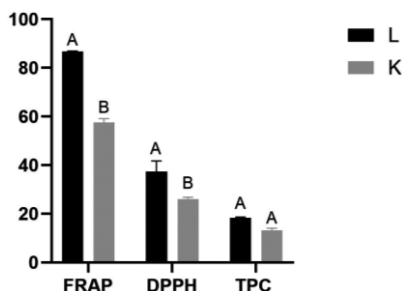
Et-OH W – ekstrakt etanolowy wspomagany wytrząsaniem, H₂O W – ekstrakt wodny wspomagany wytrząsaniem, Et-OH U – ekstrakt etanolowy wspomagany ultradźwiękami, H₂O U – ekstrakt wodny wspomagany ultradźwiękami. A, B, C, D – słupki oznaczone różnymi symbolami różnią się istotnie statystycznie ($p < 0,05$) w obrębie tego samego parametru (FRAP, DPPH, TPC)

Źródło: opracowanie własne

W celu optymalizacji ekstrakcji związków przeciwutleniających przygotowano cztery warianty ekstraktów z pulpy czarnej porzeczki: wodne i etanolowe (60%), wspomagane metodą klasycznego wytrząsania lub ultradźwiękami. Następnie oznaczono aktywność przeciwrodnikową (DPPH), antyoksydacyjną (FRAP) oraz całkowitą zawartość związków fenolowych (TPC), a wyniki przedstawiono na rysunku 3.

Przeprowadzone badania wykazały, że ekstrakty etanolowe charakteryzowały się istotnie ($p < 0,05$) wyższymi wartościami analizowanych parametrów w porównaniu do ekstraktów wodnych niezależnie od zastosowanej metody, co wskazuje na wyższą efektywność etanolu w izolowaniu związków biologicznie czynnych z badanego materiału. W konsekwencji w dalszych etapach eksperymentu stosowano 60% roztwór etanolu jako standardowy rozpuszczalnik do przygotowania ekstraktów. Według Blejan i współpracowników [2024] oraz Cacace i Mazzy [2003] ekstrakcja związków fenolowych z wyłoków czarnej porzeczki była najefektywniejsza przy użyciu 60% etanolu, dalszy wzrost jego stężenia do 80% obniżał skuteczność procesu. Uzyskane wyniki potwierdzają, że 60% roztwór etanolu to optymalny rozpuszczalnik przewyższający zarówno wodę, jak i etanol o wyższym stężeniu.

W dalszym etapie oceniono aktywność antyoksydacyjną (FRAP, DPPH) oraz zawartość polifenoli (TPC) w proszkach z wyłoków suszonych konwekcyjnie i liofilizowanych. Próbkki liofilizowane wykazały istotnie wyższe wartości wszystkich analizowanych parametrów (rysunek 4).



Rysunek 4. Aktywność antyoksydacyjna (FRAP mm TE/100g s.m.), przeciwrodnikowa (DPPH % inhibicji) i całkowita zawartość związków fenolowych (g GAE/100g s.m.) w suszach z wyłoków porzeczkowych uzyskanych na drodze liofilizacji (L) i suszenia konwekcyjnego (K)

A, B – słupki oznaczone różnymi symbolami różnią się istotnie statystycznie ($p < 0,05$) w obrębie tego samego parametru (L vs K)

Źródło: opracowanie własne

W próbkach liofilizowanych (L) potencjał redukcyjny oznaczony metodą FRAP wzrósł o 32%, natomiast zdolność do neutralizowania wolnych rodników mierzona testem DPPH była o 30% wyższa względem próbek suszonych konwekcyjnie (K), różnice te były statystycznie istotne ($p < 0,05$). Z kolei całkowita zawartość związków polifenolowych w próbkach L była o 21% wyższa i osiągnęła

wartość 18,40 g GAE/100 g s.m., jednak różnica ta nie była statystycznie istotna ($p > 0,05$). Uzyskane wyniki są porównywalne z danymi literaturowymi z badań przeprowadzonych przez Tańską i współpracowników [2016], którzy oznaczyli zawartość związków fenolowych w wyłokach z czarnej porzeczki na poziomie $20,35 \pm 0,15$ g GAE/100 g s.m.

Aktywność przeciwutleniająca ciastek z dodatkiem wyłoków

Wyniki aktywności przeciwutleniającej ciastek z dodatkiem wyłoków (DPPH, FRAP) oraz całkowitej zawartości związków fenolowych (TPC) przedstawiono w tabeli 2.

Tabela 2. Wyniki aktywności antyoksydacyjnej (DPPH i FPAP) i całkowitej zawartości polifenoli (TPC) w ciastach kruchych z dodatkiem wyłoków liofilizowanych i suszonych

Próbka	DPPH [% AA]	TPC [g GAE /100 g]	FRAP [mmol TE/100 g]
Ciastka z wyłokami liofilizowanymi (L)			
Kontrola U	$8,01 \pm 1,37^a$	$0,25 \pm 0,01^a$	$0,30 \pm 0,02^a$
10% U	$33,07 \pm 0,96^{*b}$	$1,01 \pm 0,08^{*b}$	$2,18 \pm 0,12^{*b}$
20% U	$47,16 \pm 0,96^{*c}$	$1,34 \pm 0,02^{*c}$	$5,40 \pm 0,09^{*c}$
30% U	$60,57 \pm 0,96^{*d}$	$1,46 \pm 0,04^{*d}$	$5,91 \pm 0,19^{*c}$
Kontrola W	$3,30 \pm 0,80^a$	$0,23 \pm 0,01^a$	$0,26 \pm 0,01^a$
10% W	$27,22 \pm 0,72^{*b}$	$0,71 \pm 0,05^{*b}$	$2,15 \pm 0,16^{*b}$
20% W	$39,72 \pm 2,49^{*c}$	$1,21 \pm 0,03^{*c}$	$4,76 \pm 0,12^{*c}$
30% W	$49,15 \pm 0,08^{*c}$	$1,31 \pm 0,02^{*c}$	$5,07 \pm 0,06^{*c}$
Ciastka z wyłokami suszonymi konwekcyjnie (K)			
Kontrola U	$2,21 \pm 1,28^a$	$0,24 \pm 0,01^a$	$0,27 \pm 0,07^a$
10% U	$22,11 \pm 1,42^{*b}$	$0,85 \pm 0,03^{*b}$	$2,09 \pm 0,06^{*b}$
20% U	$33,22 \pm 0,50^{*c}$	$1,02 \pm 0,07^{*c}$	$5,07 \pm 0,05^{*c}$
30% U	$36,98 \pm 0,28^{*c}$	$1,20 \pm 0,06^{*d}$	$5,58 \pm 0,13^{*c}$
Kontrola W	$1,61 \pm 0,14^a$	$0,194 \pm 0,01^a$	$0,18 \pm 0,01^a$
10% W	$17,79 \pm 0,99^{*b}$	$0,52 \pm 0,05^{*b}$	$2,08 \pm 0,05^{*b}$
20% W	$26,43 \pm 0,28^{*c}$	$0,81 \pm 0,08^{*c}$	$4,13 \pm 0,16^{*c}$
30% W	$34,22 \pm 0,64^{*c}$	$0,92 \pm 0,03^{*d}$	$4,95 \pm 0,37^{*c}$

* – próbki różnią się pomiędzy sobą istotnie statystycznie ($p < 0,05$) w obrębie tych samych wariantów ciastek w zależności od sposobu suszenia wyłoków (L:K); a, b, c, d – próbki oznaczone różnymi literami różnią się istotnie statystycznie ($p < 0,05$) w obrębie tego samego parametru (FRAP, DPPH, TPC)

U – ekstrakcja wspomagana ultradźwiękami, W – ekstrakcja wspomagana wytrząsaniem, 10–30% – udział wyłoków

Źródło: opracowanie własne

Wyniki analizy DPPH, TPC i FRAP potwierdziły istotny wpływ rodzaju i ilości dodatku proszku z wyłoków z czarnej porzeczki oraz metody ekstrakcji na właściwości prozdrowotne ciastek. Najwyższe wartości mierzonych parametrów odnotowano

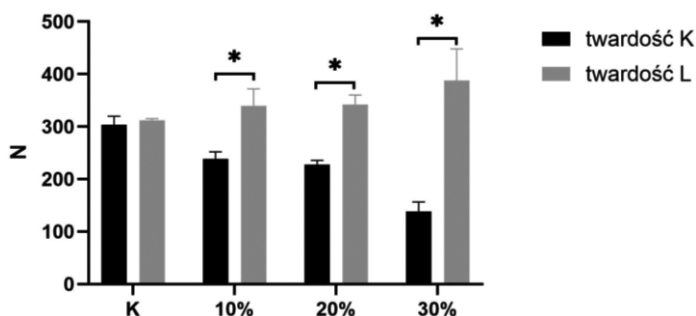
w próbkach z liofilizowanymi wytlókami poddanych ekstrakcji ultradźwiękowej (U). Już 10% dodatek liofilizatu zwiększał aktywność antyoksydacyjną ponad czterokrotnie, a 30% – ponad siedmiokrotnie. Podobny wzrost obserwowano dla TPC i FRAP, które osiągnęły maksimum przy 30% udziale liofilizatu (1,46 g GAE/100 g i 5,91 mmol TE/100 g). Podobne wyniki uzyskali Tańska i współpracownicy [2016], którzy odnotowali czterokrotny wzrost aktywności antyoksydacyjnej ciastek z dodatkiem wytlóków. Raczkowska i współpracownicy [2024] wykazali, że zwiększenie udziału wytlóków podnosi zawartość polifenoli i zdolność antyoksydacyjną (ABTS i ORAC) i wskazali na silną korelację tych parametrów. Jakobek i współpracownicy [2007] podkreślają, że antocyjaniny mogą stanowić nawet 56% polifenoli w czarnej porzeczce, co znacząco wpływa na jej potencjał antyoksydacyjny.

Ciastka z wytlókami suszonymi konwekcyjnie wykazywały wyższe wartości parametrów bioaktywnych niż próby kontrolne, lecz niższe niż te z dodatkiem liofilizatu, co sugeruje lepsze zachowanie związków fenolowych po liofilizacji. We wszystkich grupach wyższą skuteczność wykazywała ekstrakcja ultradźwiękowa w porównaniu do klasycznego wytrząsania (W), co potwierdza jej efektywność w uwalnianiu związków biologicznie czynnych.

Ocena tekstury

Ciastka z dodatkiem sproszkowanych wytlóków z czarnej porzeczki poddano również analizie tekstury metodą podwójnego zgniatania (TPA). Dodatek wytlóków suszonych konwekcyjnie obniżał twardość próbek z 303 N w próbie kontrolnej do $137,97 \pm 18,51$ N przy 30% udziale proszku. Odwrotną tendencję wykazywały próbki z dodatkiem suszu liofilizowanego, których twardość wzrastała wraz z udziałem surowca z 312 N (kontrola), osiągając wartość $387,62 \pm 60,50$ N przy 30% udziale proszku (rysunek 5). Dla porównania twardość ciastek z dodatkiem różnych tłuszczów według Żbikowskiej i współpracowników [2012] wynosiła 9–13 N, co wskazuje na znacznie mniej zwartą strukturę. Uzyskane wyniki potwierdzają, że dodatek liofilizowanych wytlóków powodował wyraźny wzrost twardości próbek, co może wynikać z ich bardziej porowatej struktury, lepszej zdolności do absorpcji wody oraz mniejszego stopnia degradacji składników strukturotwórczych w porównaniu z suszeniem konwekcyjnym [Akcicek i in. 2023]. Adhezyjność ciastek wzrastała wraz z dodatkiem wytlóków suszonych, natomiast w próbkach z proszkiem liofilizowanym utrzymywała się na stałym poziomie ($0,03$ N·mm). Kohezyjność we wszystkich próbach była porównywalna (średnio $0,04$). Sprężystość ciastek malała wraz z dodatkiem wytlóków z $0,77$ mm (próba kontrolna) do $0,73$ mm (suszone konwekcyjnie) i $0,53$ mm (liofilizowane). Dodatek 30% wytlóków suszonych obniżał gumistość z $11/12$ N do $4,80 \pm 1,56$ N, natomiast ten sam udział proszku liofilizowanego zwiększał ją czterokrotnie do $20,20 \pm 13,42$ N (rysunek 6). Może to sugerować większe przesuszenie struktury wewnętrznej i trudniejszy powrót próbki do pierwotnego kształtu po deformacji.

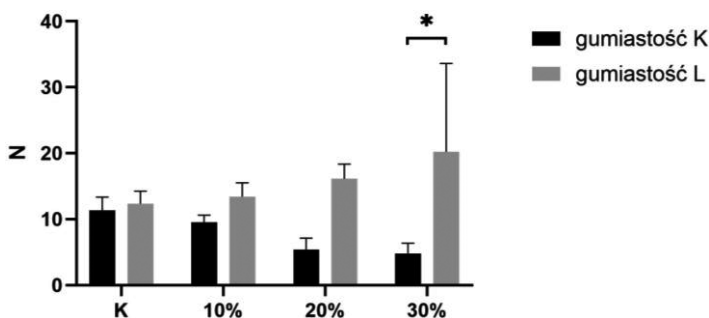
Takie wyniki są zgodne z danymi literaturowymi [Blanco Canalis i in. 2017], gdzie dodatki błonnikowe często pogarszały elastyczność wyrobów piekarniczych. Największe istotne różnice ($p < 0,05$) zaobserwowano w gumistości i twardości (odpowiednio o 76% i 64% wyższe w przypadku ciastek z liofilizatem). Mogą one wynikać z metod suszenia, które wpływają na strukturę i zawartość błonnika pokarmowego lub utratę części włókien strukturalnych i związków pektynowych podczas suszenia w wysokiej temperaturze, co osłabia zdolność ciasta do tworzenia trwałej sieci [Rabetafika i in. 2014].



Rysunek 5. Zmiany twardości ciastek w zależności od udziału dodatku proszku z wyłoków z czarnej porzeczki uzyskanego na drodze liofilizacji (L) i suszenia konwekcyjnego (K).

* próbki różnią się pomiędzy sobą istotnie statystycznie ($p < 0,05$) w zależności od sposobu suszenia wyłoków (K vs L)

Źródło: opracowanie własne



Rysunek 6. Zmiany gumistości ciastek w zależności od udziału dodatku proszku z wyłoków z czarnej porzeczki uzyskanego na drodze liofilizacji (L) i suszenia konwekcyjnego (K)

* – próbki różnią się pomiędzy sobą istotnie statystycznie ($p < 0,05$) w zależności od sposobu suszenia wyłoków (K vs L)

Źródło: opracowanie własne

Przeprowadzone badania mają na celu nie tylko ocenę praktycznego zastosowania wyłoków porzeczkowych w produkcji żywności, ale także wpisują się w nurt gospodarki o obiegu zamkniętym i przeciwdziałanie marnowaniu

żywności. Wprowadzenie takich rozwiązań może przyczynić się do wzrostu innowacyjności w sektorze spożywczym oraz promocji żywności o podwyższonej wartości odżywczej.

Wnioski

Przeprowadzone badania pozwoliły opracować recepturę ciastek kruchych wzbogaconych proszkiem z wytlóków czarnej porzeczki suszonych konwekcyjnie oraz liofilizowanych. Liofilizacja wytlóków zapewniła wyższą zawartość w nich polifenoli i silniejszą aktywność przeciwutleniającą w porównaniu z suszeniem konwekcyjnym. Dodatek proszku, niezależnie od metody suszenia, istotnie ($p < 0,05$) zwiększał zawartość związków fenolowych i zdolność antyoksydacyjną ciastek. Zwiększenie udziału proszku liofilizowanego powodowało wzrost twardości i gumistości produktu końcowego, natomiast proszek suszony konwekcyjnie obniżał te parametry. Ciastka z dodatkiem proszku liofilizowanego charakteryzowały się korzystniejszą teksturą i smakiem oraz uzyskały najwyższe oceny sensoryczne.

Bibliografia

- Agbor G., Vinson J., Donnelly P. (2014). Folin-Ciocalteu reagent for polyphenolic assay. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 3, 801.
- Akcicek A., Avcı E., Tekin Ç.Z., Kasapoglu M., Sagdic O., Karasu S. (2023). Influence of Different Drying Techniques on the Drying Kinetics, Total Bioactive Compounds, Anthocyanin Profile, Color, and Microstructural Properties of Blueberry Fruit. *ACS Omega*, 8 (44), 41603–41611.
- Blanco Canalis M.S., Steffolani M.E., León A.E., Ribotta P.D. (2017). Effect of different fibers on dough properties and biscuit quality. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 97 (5), 1607–1615.
- Blejan A., Nour V., Corbu A., Popescu S. (2024). Recovery of phenolic compounds from wild bilberry, blackcurrant and blackberry pomaces by maceration and ultrasound-assisted extraction. *Studia Universitatis Babeş-Bolyai Chemia*, 69, 201–218.
- Cacace J.E., Mazza G. (2003). Optimization of Extraction of Anthocyanins from Black Currants with Aqueous Ethanol. *Journal of Food Science*, 68, 240–248.
- European Commission. (2020). A new Circular Economy Action Plan. Brussels.
- Firuzi O., Lacanna A., Petrucci R. (2005). Evaluation of the antioxidant activity of flavonoids by „ferric reducing antioxidant power” assay and cyclic voltammetry. *Biochimica et Biophysica Acta*, 1721, 174–184.
- Gómez M., Martínez M.M. (2018). Fruit and vegetable by-products as novel ingredients to improve the nutritional quality of baked goods. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 58, 2119–2135.
- Hrelia S., Barbalace M.C., Angelon C. (2025). Agri-Food Wastes as Natural Source of Bioactive Antioxidants—Third Edition. *Antioxidants*, 14, 198.
- Jakobek L., Šeruga M., Medvidović-Kosanović M., Novak I. (2007). Anthocyanin content and antioxidant activity of various red fruit juices. *Deutsche Lebensmittel-Rundschau: Zeitschrift für Lebensmittelkunde und Lebensmittelrecht*, 103, 58–64.

- Jurgiel-Malecka G., Buchwał A. (2016). Charakterystyka składu chemicznego owoców porzeczki uprawianej w regionie Pomorza Zachodniego. *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość*, 6 (109), 90–101.
- Kawecka L., Galus S. (2021). Wytłoki owocowe – charakterystyka i możliwości zagospodarowania. *Postępy Techniki Przetwórstwa Spożywczego*, 1/2021, 156–167.
- Martins Z., Pinho O., Ferreira I. (2017). Food industry by-products used as functional ingredients of bakery products. *Trends in Food Science & Technology*, 67, 106–128.
- Melini V., Melini F., Luziatelli F., Ruzzi M. (2020). Functional Ingredients from Agri-Food Waste: Effect of Inclusion Thereof on Phenolic Compound Content and Bioaccessibility in Bakery Products. *Antioxidants*, 9, 1216.
- Michalska A., Wojdyło A., Lech K., Łysiak G.P., Figiel A. (2017). Effect of different drying techniques on physical properties, total polyphenols and antioxidant capacity of blackcurrant pomace powders. *LWT – Food Science and Technology*, 78, 114–121.
- Oczkowski M. (2021). Health-promoting effects of bioactive compounds in blackcurrant (*Ribes nigrum* L.) berries. *Roczniki Państwowego Zakładu Higieny*, 72 (3), 229–238.
- Ou B., Prior R.L., Huang D. (2005). The chemistry behind dietary antioxidant capacity assays. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 53, 1841–1856.
- Rabetafika H.N., Bchir B., Aguedo M., Paquot M., Blecker C. (2014). Effects of Processing on the Compositions and Physicochemical Properties of Fibre Concentrate from Cooked Fruit Pomaces. *Food and Bioprocess Technology*, 7, 749–760.
- Raczkowska E., Wojdyło A., Nowicka P. (2024). The use of blackcurrant pomace and erythritol to optimise the functional properties of shortbread cookies. *Sci. Rep.*, 15;14(1), 3788.
- Shahidi F., Varatharajan V., Oh W.Y., Peng H. (2019). Phenolic compounds in agri-food by-products, their bioavailability and health effects. *Journal of Food Bioactives*, 5, 57–119.
- Siemianowska E., Radzymińska M., Aljewicz M., Tyburski J., Wesołowski A., Barszcz A. (2016). Wytłoki owocowe jako dodatek do kruchych ciastek. *Przemysł Spożywczy*, 70 (10), 41–45.
- Tańska M., Roszkowska B., Czaplicki S., Borowska E.J., Bojarska J., Dąbrowska A. (2016). Effect of Fruit Pomace Addition on Shortbread Cookies to Improve Their Physical and Nutritional Values. *Plant Foods in Human Nutrition*, 71, 307–313.
- Toscano Martinez H., Gagneten M., Diaz-Calderon P., Enrione J., Salvatori D., Schebor C., Leiva G. (2021). Natural food colorant from blackcurrant spray-dried powder obtained by enzymatic treatment: Characterisation and acceptability. *Journal of Food Processing and Preservation*, 45(1), e15011.
- Żbikowska A., Kowalska M., Rutkowska J. (2012). Zawartość fazy stałej jakoś i przydatność technologiczna szorteningów do produkcji ciast kruchych. *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość*, 2012, 2 (81), 173–185.

The use of waste from blackcurrant juice production as a functional ingredient in shortbread cookies

Abstract: Blackcurrant pomace, although a by-product of the processing industry, has significant potential as a functional raw material due to its high content of bioactive compounds, including polyphenols. The aim of this work was to develop recipes for shortbread cookies enriched with powdered blackcurrant pomace, subjected to convective drying and freeze-drying, and to assess their antioxidant properties, phenolic compound content and texture parameters. The use of ultrasound-assisted extraction allowed for more effective determination of antioxidant activity than traditional shaking. Freeze-dried pomace showed a significantly higher level of polyphenols and antioxidant capacity (by 21–46%) compared to convectively dried pomace. The addition of pomace powder, regardless of the drying method used, significantly increased the antioxidant properties of the obtained products. Cookies containing freeze-dried pomace also showed higher hardness and gumminess, which may be related to the different structure of the material after freeze-drying.

Aleksandra Kucharz¹, Dorota Grabek-Lejko^{2,*}

MIKROORGANIZMY W MIĘSIE ZWIERZYNY ŁOWNEJ

Streszczenie: Rosnące zainteresowanie konsumentów zdrową, nieprzetworzoną żywnością objawia się również rosnącą popularnością dziczyzny jako alternatywy dla mięsa hodowlanego. Atutem mięsa dzikich zwierząt jest jego korzystny profil żywieniowy w porównaniu do mięsa zwierząt hodowlanych. Ponadto dieta dzikich zwierząt pozbawiona jest antybiotyków, hormonów i sztucznych pasz. Jednakże mięso to może być źródłem bakterii powodujących choroby odzwierzęce człowieka. W artykule omówiono najważniejsze bakterie patogenne, oportunistyczne oraz saprofityczne występujące w mięsie dzikich zwierząt. Przedstawiono również możliwości zastosowania mikroorganizmów do obróbki i przetwórstwa dziczyzny w celu polepszenia jej walorów organoleptycznych.

Wprowadzenie

Mięso jest jednym z podstawowych składników diety człowieka, a jego jakość mikrobiologiczna ma kluczowe znaczenie zarówno dla bezpieczeństwa konsumentów, jak i technologicznych możliwości przetwórstwa. Wśród jego dostępnych rodzajów wyróżniamy mięso pochodzące z hodowli oraz dziczyznę (dzik, jelen, sarna). Każde z nich charakteryzuje się odmiennym profilem mikrobiologicznym wynikającym z warunków środowiskowych, sposobu pozyskiwania oraz obróbki. Mięso hodowlane (głównie wieprzowina, wołowina, drób oraz dziczyzna pochodząca z hodowli: dzik, daniel, jelen) powstaje w kontrolowanych warunkach fermowych, gdzie stosuje się określone normy sanitarne i weterynaryjne. Dzik, natomiast pochodzi od zwierząt żyjących na wolności, co wpływa na jej skład mikrobiologiczny i stawia wyzwania w zakresie higieny oraz trwałości. Różnice te mają istotne znaczenie technologiczne, ponieważ determinują metody przechowywania, obróbki i bezpieczeństwa gotowych produktów mięsnych.

Spożycie mięsa w Polsce pozostaje na wysokim poziomie (75–80 kg na osobę rocznie), przy czym dominującą rolę odgrywa mięso hodowlane (głównie

¹ Studentka kierunku Technologia Żywności i Żywnienie Człowieka, Wydział Technologiczno-Przyrodniczy, Uniwersytet Rzeszowski, ul. Zelwerowicza 4, 35-601 Rzeszów.

² Katedra Bioenergetyki, Analizy Żywności i Mikrobiologii, Wydział Technologiczno-Przyrodniczy, Uniwersytet Rzeszowski, ul. Zelwerowicza 4, 35-601 Rzeszów.

* dgrabek@ur.edu.pl

wieprzowina i drób). Dzikizna stanowi zaledwie około 0,5–1% całkowitej konsumpcji mięsa (ok. 0,08 kg/osobę), pomimo tego że Polska jest jednym z głównych producentów i eksporterów zwierząt łownych w Europie. Niskie spożycie dzikizny może wynikać z ograniczonej jej dostępności i wyższej ceny w porównaniu do mięsa hodowlanego [Kwiecińska i in. 2018, Wach i in. 2023].

W ostatnich latach obserwuje się rosnącą popularność dzikizny jako alternatywy dla mięsa pochodzącego z hodowli przemysłowej [Reitznerová i in. 2023]. Jednym z kluczowych jej atutów jest korzystny profil żywieniowy. W porównaniu do mięsa hodowlanego zawiera mniej tłuszczu oraz charakteryzuje się obniżoną zawartością cholesterolu. Ponadto dzikizna jest bogatym źródłem pełnowartościowego białka, aminokwasów egzogennych, nienasyconych kwasów tłuszczowych, witamin z grupy B oraz soli mineralnych (Fe, Zn, Se) [Flis 2016, Zin i Mroczek 2016]. Istotne jest również jej naturalne pochodzenie. Zwierzęta łowne żyją w środowisku wolnym od antybiotyków, hormonów i sztucznych pasz, co zwiększa atrakcyjność tego mięsa jako produktu ekologicznego [Kniżewska i in. 2016].

Mikrobiota mięsa dzikich zwierząt odgrywa kluczową rolę zarówno w aspekcie bezpieczeństwa żywności, jak i technologicznych właściwości surowca. Skład mikrobiologiczny dzikizny jest wynikiem wielu czynników, takich jak środowisko naturalne, dieta zwierząt, sposób pozyskania mięsa oraz warunki przechowywania i przetwórstwa. Znaczenie mikrobioty w dzikiznie można rozpatrywać w kilku aspektach. Po pierwsze, wpływa ona na bezpieczeństwo zdrowotne konsumentów, gdyż niektóre drobnoustroje mogą stanowić zagrożenie dla zdrowia człowieka. Po drugie, mikrobiota oddziałuje na trwałość mięsa oraz procesy jego psucia, co ma znaczenie w logistyce i dystrybucji produktów mięsnych [Rozporządzenie Komisji (WE) nr 1441/2007]. Ponadto niektóre mikroorganizmy uczestniczą w procesach fermentacyjnych i dojrzewania, wpływając na walory smakowe i teksturę produktów z dzikizny.

Bakterie w mięsie zwierząt łownych

W artykułach naukowych opublikowanych na przestrzeni lat 2000–2022 opisano ponad 40 rodzajów bakterii wykrytych w próbkach dzikiego mięsa. Ponad 30% z nich ma potencjał zoonotyczny i może wywołać choroby odzwierzęce u człowieka. Pozostałe to bakterie środowiskowe lub tzw. oportunistyczne, czyli niestanowiące zagrożenia dla ludzi zdrowych, mogące jednak stać się patogenne dla osób z osłabionym układem odpornościowym [Moloney i in. 2023]. W przewodzie pokarmowym dzikich zwierząt znajduje się mikrobiota saprofityczna pełniąca istotne funkcje w prawidłowym funkcjonowaniu zwierząt. Bakterie wyizolowane z mięsa dzikich zwierząt przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Bakterie wyizolowane z próbek mięsa dzikich zwierząt

Bakterie zoonotyczne	Pozostałe bakterie		
<i>Bacillus</i>	<i>Acinetobacter</i>	<i>Macrococcus</i>	<i>Providencia</i>
<i>Brucella</i>	<i>Aeromonas</i>	<i>Micrococcus</i>	<i>Pseudomonas</i>
<i>Campylobacter</i>	<i>Carnobacterium</i>	<i>Moellerella</i>	<i>Ralstonia</i>
<i>Coxiella</i>	<i>Cetobacterium</i>	<i>Morganella</i>	<i>Serratia</i>
<i>Enterococcus Erysi-</i>	<i>Citrobacter</i>	<i>Mycoplasma</i>	<i>Staphylococcus</i>
<i>pelothrinx</i>	<i>Clostridium</i>	<i>Myroides</i>	<i>Streptococcus</i>
<i>Escherichia</i>	<i>Enterobacter</i>	<i>Paeniclostridium</i>	<i>Treponema</i>
<i>Leptospira</i>	<i>Klebsiella</i>	<i>Pantoea</i>	<i>Wohlfahrtiimonas</i>
<i>Listeria Mycobacte-</i>	<i>Lactococcus</i>	<i>Peptostreptococcus</i>	
<i>rium</i>	<i>Lysinibacillus</i>	<i>Proteus</i>	
<i>Salmonella</i>			
<i>Yersinia</i>			

Źródło: Moloney i in. 2023

Drobnoustroje patogenne

Dzikie zwierzęta są potencjalnym rezerwuarem patogenów odzwierzęcych, które odpowiadają za 75% wszystkich ludzkich patogenów, z czego 70% ma związek z dzikimi zwierzętami [Floris i in. 2024]. Zarządzanie mięsem zwierzyny łownej opiera się na analizie związanej z patogenami, ich rozpowszechnianiem się i poziomem skażenia, a szczegółowe zasady higieny żywności pochodzenia zwierzęcego, w tym również szkoleń myśliwych w zakresie zdrowia i postępowania z dużą zwierzyną łowną, określone są w Rozporządzeniu (WE) nr 853/2004 Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 29 kwietnia 2004 r.

Organizmy patogenne spotykane w mięsie zwierząt łownych są takie same jak w mięsie zwierząt hodowlanych, a ryzyko zakażenia związane jest z bezpośrednim kontaktem z płynami ustrojowymi zwierząt podczas obróbki tuszy oraz spożyciem surowego, niedogotowanego lub zepsutego mięsa [Soto i in. 2025]. Do najważniejszych gatunków patogenów obecnych w dziczyźnie można zaliczyć: *Campylobacter* spp, *Clostridium perfringens*, *Salmonella enterica*, *Escherichia coli* wytwarzająca toksynę Shiga (STEC), *Yersinia enterocolitica*, *Listeria monocytogenes*, *Staphylococcus aureus* [Floris i in. 2024]. Spożycie mięsa zanieczyszczonego tymi bakteriami stanowi poważne zagrożenie dla zdrowia konsumentów. *Salmonella* spp. to Gram-ujemna, względnie beztlenowa pałeczka należąca do rodziny *Enterobacteriaceae*. Zakażenie nią może prowadzić do salmonellozy objawiającej się relaksacją, gorączką i skurczami brzucha. W cięższych przypadkach może dojść do odwodnienia, a u osób z osłabionym układem odpornościowym infekcja może rozprzestrzenić się poza przewód pokarmowy i stanowić zagrożenie dla życia. Salmonelloza to druga najczęściej zgłaszana choroba odzwierzęca w 2021 r. [Altissimi i in. 2023]. Bakterie z rodzaju *Campylobacter* (*C. jejuni* i *C. coli*)

są jedną z głównych przyczyn bakteryjnych zakażeń przewodu pokarmowego – kampylobakteriozy. Objawy zakażenia są podobne jak przy salmonellozie. W niektórych przypadkach infekcja może prowadzić do powikłań, takich jak zespół Guillaina-Barrégo, który powoduje uszkodzenie nerwów, co może skutkować paraliżem. W 2021 r. liczba przypadków kampylobakteriozy była najwyższa spośród chorób zoonotycznych w UE, a czwarta z chorób przenoszonych drogą pokarmową [Altissimi i in. 2023].

Y. enterocolitica to również bakteria należąca do rodziny *Enterobacteriaceae*, która może wywołać ostre zapalenie jelit, biegunkę, śmiertelne martwicze zapalenie jelit i posocznice.

Zakażenie *L. monocytogenes* prowadzi do listeriozy, szczególnie niebezpiecznej dla kobiet w ciąży, noworodków, osób starszych oraz z osłabioną odpornością. U kobiet w ciąży listerioza może skutkować poronieniem, przedwczesnym porodem lub urodzeniem martwego dziecka. U innych może prowadzić do zapalenia opon mózgowych i posocznicy [Abel i in. 2020].

E. coli to Gram-ujemna pałeczka, która naturalnie występuje w środowisku, żywności oraz układzie pokarmowym ludzi i zwierząt. *E. coli* wytwarzająca toksynę Shiga może powodować poważne choroby u ludzi (biegunka krwotoczna, zespół hemolityczno-mocznicowy – HUS). Zakażenie *E. coli* u dzikich zwierząt może przebiegać bezobjawowo, dlatego też mogą być one naturalnym rezerwuarem tych patogenów [Espinosa i in. 2018].

Drobnoustroje saprofityczne

W przewodzie pokarmowym dzikich zwierząt bytują liczne mikroorganizmy, które odgrywają kluczową rolę w procesach trawienia i utrzymaniu homeostazy organizmu. Skład tej mikrobioty jest kształtowany przez czynniki takie jak dieta, środowisko życia oraz stan zdrowia zwierzęcia. Wśród bakterii naturalnie występujących w przewodzie pokarmowym dzikich zwierząt można wymienić:

Lactobacillus spp. – to istotne składniki mikrobioty jelitowej znane z produkcji kwasu mlekowego, który obniża pH w jelitach, hamując rozwój patogenów [Mrkonjic Fuka i in. 2020].

Enterococcus spp. – enterokoki, takie jak *Enterococcus faecium*, są naturalnymi mikroorganizmami zasiedlającymi przewód pokarmowy zwierząt łownych. Niektóre szczepy mogą działać probiotycznie, produkując kwasy organiczne i pomagając w utrzymaniu niskiego pH w jelitach. Ponadto, *E. faecium* może pobudzać funkcjonowanie układu odpornościowego [Guerrero-Ramos i in. 2016].

Escherichia coli – jest bakterią powszechnie występującą w jelitach zwierząt. Większość szczepów pełni funkcje komensalne, wspierając procesy trawienne i syntezę niektórych witamin [Espinosa i in. 2018].

Wpływ ekosystemu na mikrobiotę

Różnorodność środowisk, takich jak lasy, pola czy mokradła, wpływa na specyficzny skład mikrobioty zwierząt poprzez bezpośredni kontakt z glebą, wodą oraz roślinnością charakterystyczną dla danego ekosystemu.

Zwierzęta zamieszkujące lasy są narażone na mikroorganizmy obecne w ściółce leśnej, na powierzchni roślin czy w wodach leśnych strumieni, m.in. *Firmicutes* spp., które są niezbędne przy trawieniu błonnika. Są zdolne do fermentacji złożonych węglowodanów jak celuloza, co pozwala zwierzętom efektywnie wykorzystywać energię z diety bogatej w roślinność. Na drodze fermentacji produkują krótkołańcuchowe kwasy tłuszczowe (SCFA), które są ważnym źródłem energii dla komórek jelitowych i biorą udział w modulacji odpowiedzi immunologicznej [Sun i in. 2020]. Bakterie z typu *Proteobacteria* metabolizują białka i tłuszcze w przewodzie pokarmowym zwierząt mięsożernych. Niektóre szczepy mogą działać jako oportunistyczne patogeny. Zwiększona liczebność *Proteobacteria* spp. została powiązana z dysbiozą i stanami zapalnymi przewodu pokarmowego [Moon i in. 2018].

Z kolei gatunki bytujące na terenach podmokłych mają kontakt z mikrobiotą typową dla środowisk wodno-błotnych, m.in. z bakteriami z rodzaju *Clostridium* spp., które uczestniczą w fermentacji beztlenowej, wpływając na procesy trawienne u zwierząt [Membré i in. 2011].

Dieta a skład mikrobioty przewodu pokarmowego

Dieta bogata w różnorodne składniki odżywcze sprzyja rozwojowi mikrobioty, co może mieć pozytywny wpływ na zdrowie zwierząt. Natomiast monotonna dieta może prowadzić do zmniejszenia heterogeniczności mikroorganizmów w przewodzie jelitowym. Zwierzęta żywiące się głównie pokarmem roślinnym, takim jak liście, kora czy owoce, dostarczają do swojego układu pokarmowego dużą ilość błonnika, który nie ulega trawieniu i stanowi pożywkę dla korzystnych bakterii jelitowych. Fermentacja błonnika przez mikroorganizmy jelitowe prowadzi do produkcji krótkołańcuchowych kwasów tłuszczowych wspomagających zdrowie jelit. Bakterie z rodzaju *Ruminococcus*, występujące u jeleni czy żubrów, odgrywają kluczową rolę w rozkładzie błonnika. Podobnie *Fibrobacter*, które specjalizują się w degradacji włókien roślinnych, wspierając procesy fermentacyjne w jelitach roślinożerców [Toribio-Mateas i in. 2021].

Natomiast skład mikrobioty jelitowej zwierząt spożywających pokarm bogaty w tłuszcze i białko zwierzęce, takie jak mięso innych zwierząt, może różnić się od mikrobioty roślinożerców. Badania wykazują, że dieta wysokotłuszczowa może prowadzić do wzrostu liczebności mikroorganizmów tolerujących żółć, prawdopodobnie ze względu na zwiększone wydzielanie kwasów żółciowych w wyniku

wysokiego spożycia tłuszczów. *Clostridium* spp. występujące u drapieżników uczestniczą w rozkładzie białek i tłuszczów zwierzęcych. Niektóre gatunki *Clostridium* są jednak potencjalnie patogenne, co może mieć znaczenie dla bezpieczeństwa mięsa dzikich zwierząt [Zhang i in. 2010].

Zagrożenia związane z nieprawidłowym transportem, magazynowaniem i obróbką tusz

Transport i przechowywanie mięsa w nieodpowiednich warunkach temperatury i higienicznych sprzyja namnażaniu się mikroorganizmów psychrotrofowych, w tym bakterii z rodzaju *Pseudomonas*, które są główną przyczyną psucia się mięsa. Ponadto obecność bakterii przetrwalnikujących, takich jak *Clostridium perfringens*, może prowadzić do psucia się mięsa w warunkach beztlenowych oraz stanowić zagrożenie zdrowotne [Zhu i in. 2022]. Dodatkowo grzyby z rodzajów *Aspergillus* i *Penicillium* mogą pojawiać się w przypadku niewłaściwego przechowywania mięsa, zwłaszcza przy podwyższonej wilgotności [Altissimi i in. 2023]. Temperatura otoczenia powyżej 7°C podczas polowań również istotnie wpływa na liczbę drobnoustrojów [Peruzy i in. 2022]. Po odstrzale zwierzyny istotne jest jak najszybsze schłodzenie tusz do temperatury nieprzekraczającej +4°C, co ogranicza rozwój mikroorganizmów. Transport do zakładu przetwórczego powinien odbywać się w warunkach chłodniczych, by zapewnić utrzymanie tej temperatury. Należy unikać układania zwierząt na stos, aby zapobiec mechanicznemu uszkodzeniu tusz i potencjalnym zakażeniom krzyżowym [Rozporządzenie (WE) nr 853/2004]. Niewłaściwa obróbka oraz spożywanie surowego mięsa może być również przyczyną zakażeń pokarmowych. Zapewnienie bezpieczeństwa dziczyzny wymaga systematycznego podejścia do identyfikacji zagrożeń i kontroli w całym łańcuchu dostaw poczynając od pozyskania, obróbki aż po przetwarzanie i spożycie [Soto i in. 2025].

Wpływ mikroorganizmów na walory organoleptyczne

Jednocześnie mikroorganizmy odgrywają kluczową rolę w procesie dojrzewania mięsa dzikich zwierząt, wpływają na jego jakość, teksturę oraz profil smakowy. Ich działanie enzymatyczne prowadzi do przemian biochemicznych, które intensyfikują walory sensoryczne dziczyzny, czyniąc ją bardziej atrakcyjną dla konsumentów. Bakterie kwasu mlekowego (*Lactobacillus* spp., *Pediococcus pentosaceus*) uczestniczą w proteolizie białek, prowadząc do powstawania wolnych aminokwasów i peptydów pogłębiających smak *umami* oraz wpływają na kruchość mięsa. Dodatkowo bakterie te wytwarzają kwas mlekowy, który, obniżając pH mięsa, hamuje rozwój niepożądanych mikroorganizmów i sprzyja stabilności mikrobiologicznej

produktu [Liu i in. 2025]. Drożdże, takie jak *Debaryomyces hansenii*, wykazują aktywność proteolityczną i lipolityczną, przyczyniając się do rozkładu białek i tłuszczów. Efektem tych procesów jest uwalnianie wolnych kwasów tłuszczowych oraz aminokwasów, które są prekursorami związków aromatycznych nadających mięsu smak i zapach [Oh i in. 2019]. Pleśnie z rodzaju *Mucor* i *Penicillium* rozwijają się na powierzchni dojrzewającego mięsa, tworząc charakterystyczną „skórkę”. Wydzielają one enzymy, takie jak proteazy i lipazy, penetrujące w głąb tkanki mięśniowej i potęgujące procesy proteolizy i lipolizy. W rezultacie dochodzi do powstania związków lotnych, takich jak aldehydy, ketony i estry, które nadają mięsu profil smakowo-zapachowy [Przybylski i in. 2024].

Zastosowanie biostarterów w procesie dojrzewania mięsa dzikich zwierząt stanowi nowoczesne podejście mające na celu poprawę jakości, bezpieczeństwa oraz powtarzalności produktów z dziczyzny. Biostartery to specjalnie wyselekcjonowane kultury mikroorganizmów wspomagające przemiany biochemiczne zachodzące w mięsie podczas dojrzewania, co przekłada się na intensyfikację walorów sensorycznych (smak, aromat i tekstura) mięs hodowlanych [Przybylski i in. 2024]. W przypadku dziczyzny biostartery mogą być stosowane zarówno w dojrzewaniu całych tusz, jak i w produkcji wędlin dojrzewających. Bakterie fermentacji mlekowej wykorzystywane są w procesach fermentacji kielbas dojrzewających z udźca jelenia [Fuka i in. 2020]. Zastosowanie kultur starterowych bakterii, np. *Lyocorni* SHI 59 (mieszanina *Staphylococcus xylosus*, *Lactobacillus plantarum*, *P. pentosaceus*), w produkcji kielbas dojrzewających z dziczyzny pozwoliłoby na kontrolowany przebieg fermentacji i uzyskanie wyrobów o wysokiej jakości i pożądanych cechach sensorycznych. Takie podejście wymaga dalszych badań i jest wyzwaniem dla naukowców.

Podsumowanie

Mięso dzikich zwierząt stanowi doskonałą alternatywę dla mięsa zwierząt hodowlanych, ale należy pamiętać, że może ono być również rezerwuarem wielu bakterii patogennych, oportunistycznych czy saprofitycznych. Ponadto przyszłościowe wydaje się podejście zastosowania kultur starterowych mikroorganizmów do kontrolowanej i powtarzalnej produkcji wyrobów z dziczyzny.

Bibliografia

- Abel T., Boulaaba A., Lis K., Abdulmawjood A., Plötz M., Becker A. (2020). Inactivation of *Listeria monocytogenes* in game meat applying sous vide cooking conditions. *Meat Science*, 167, 108164.
- Altissimi C., Noé-Nordberg C., Ranucci D., Paulsen P. (2023). Presence of foodborne bacteria in wild boar and wild boar meat – A Literature survey for the period 2012–2022. *Foods*, 12, 8, 1689.

- Espinosa L., Gray A., Duffy G., Fanning S., McMahon B.J. (2018). A scoping review on the prevalence of Shiga-toxigenic *Escherichia coli* in wild animal species. *Zoonoses and Public Health*, 65, 911–920.
- Flis M. (2016). Dzikizna jako źródło żywności, prawno-ekonomiczne aspekty wprowadzenia na rynek. *Przegląd Hodowlany*, 6, 29–31.
- Floris I., Vannuccini A., Ligotti C., Musolino N., Romano A., Viani A., Bianchi D.M., Robetto S., Decastelli L. (2024). Detection and characterization of zoonotic pathogens in game meat hunted in Northwestern Italy. *Animals*, 14, 562.
- Fuka M.M., Tanuwidjaja I., Maksimovic A.Z., Zunabovic-Pichler M., Kublik S., Hulak N., Konrad J., Domig K., Schlöter M. (2020). Bacterial diversity of naturally fermented game meat sausages: Sources of new starter cultures. *LWT*, 118, 108782.
- Guerrero-Ramos E., Cordero J., Molina-González D., Poeta P., Igrejas G., Alonso-Calleja C., Capita R. (2016). Antimicrobial resistance and virulence genes in enterococci from wild game meat in Spain. *International Journal of Food Microbiology*, 53, B, 156–164.
- Kniżewska K., Batorska M., Więcek J., Rekiel A., Sońta M. (2016). Dzikizna w ocenie polskich konsumentów. *Roczniki Naukowe Zootechniki*, 43, 2, 285–291.
- Kwiecińska K., Kosicka-Gębska M., Gębski J. (2018). Dostępność dzikizny na polskim rynku w kontekście potrzeb konsumentów. *Zeszyty Naukowe SGGW. Ekonomika i Organizacja Gospodarki Żywnościowej*, 121, 83–91.
- Liu Y., Gao X., Zang M., Sun B., Zhang S., Xie P., Liu X. (2025). Insights into microbial community and its enzymatic profiles in commercial dry-aged beef. *Foods*, 14, 3, 529.
- Membré J.M., Laroche M., Magras C. (2011). Assessment of levels of bacterial contamination of large wild game meat in Europe. *Food Microbiology*, 28, 5, 1072–1079.
- Moloney G.K., Gaubert P., Gryseels S., Verheyen E., Chaber A-L. (2023). Investigating infectious organisms of public health concern associated with wild meat. *Transboundary and Emerging Diseases*, 5901974.
- Moon C.D., Young W., Maclean P.H., Cookson A.L., Bermingham E.N. (2018). Metagenomic insights into the roles of Proteobacteria in the gastrointestinal microbiomes of healthy dogs and cats. *Microbiologyopen*, 7, 5, e00677.
- Mrkonjic Fuka M., Tanuwidjaja I., Zgomba Maksimovic A., Zunabovic-Pichler M., Kublik S., Hulak N., Domig K.J., Schlöter M. (2020). Bacterial diversity of naturally fermented game meat sausages: sources of new starter cultures. *LWT Food Science and Technology*, 118, 108782.
- Oh H., Lee H.J., Lee J., Jo C., Yoon Y. (2019). Identification of microorganisms associated with the quality improvement of dry-aged beef through microbiome analysis and DNA sequencing, and evaluation of their effects on beef quality. *Journal of Food Science*, 84, 10, 2944–2954.
- Peruzy F., Murru N., Smaldone N.G., Proroga Y.T.R., Cristiano D., Fioretti A.A., Anastasio A. (2022). Hygiene evaluation and microbiological hazards of hunter wild boar carcasses. *Food Control*, 135, 108782.
- Przybylski W., Jaworska D., Kresa P., Ostrowski G., Płecha M., Korsak D., Derewiaka D., Adamczak L., Siekierko U., Pawłowska J. (2024). Fungal biostarter and bacterial occurrence of dry-aged beef: The sensory quality and volatile aroma compounds after 21 days of aging. *Applied Sciences*, 14, 19, 9053.
- Reitznerová A., Semjon B., Bartkovský M., Šuleková M., Nagy J., Klempová T., Marcinčák S. (2023). Comparison of lipid profile and oxidative stability of vacuum-packed and longtime frozen fallow deer, wild boar, and pig meat. *Applied Sciences*, 13, 6, 4059.
- Rozporządzenie (WE) nr 853/2004 Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 29 kwietnia 2004 r. ustanawiające szczególne przepisy dotyczące higieny w odniesieniu do żywności pochodzenia zwierzęcego. *Dz.U. L 139 z 30.4.2004*, 55–205.

- Rozporządzenie Komisji (WE) nr 1441/2007 z dnia 5 grudnia 2007 r. zmieniające rozporządzenie (WE) nr 2073/2005 w sprawie kryteriów mikrobiologicznych dotyczących środków spożywczych. Dz.U. L 322 z 7.12.2007, 12–29.
- Soto S.M., Castellsagués L., Ballén V., Gabasa Y., Mayor P., Brull G.R., Funk S.M., Fa J.E. (2025). Prevalence of bacterial contamination on wild meat processing and cooking surfaces in rural Cameroon. *One Health*, 20, 101028.
- Sun Y., Sun Y., Shi Z., Liu Z., Zhao C., Lu T., Gao H., Zhu F., Chen R., Zhang J., Pan R., Li B., Teng L., Guo S. (2020). Gut microbiota of wild and captive alpine musk deer (*Moschus chrysogaster*). *Frontiers in Microbiology*, 10, 3156.
- Toribio-Mateas M.A., Bester A., Klimenko N. (2021). Impact of plant-based meat alternatives on the gut microbiota of consumers: A real-world study. *Foods*, 10, 2040.
- Wach J., Komosa M., Serwańska-Leja K., Babiński B., Nowicki W. (2023). Comparison of the nutritional value of meat from farm-raised and wild fallow deer (*Dama dama*). *Animal Science and Genetics*, 19, 4, 81–90.
- Zhang C., Zhang M., Wang S., Han R., Cao Y., Hua W., Mao Y., Zhang X., Pang X., Wei C., Zhao G., Chen Y., Zhao L. (2010). Interactions between gut microbiota, host genetics and diet relevant to development of metabolic syndromes in mice. *The ISME Journal*, 4, 232–2241.
- Zhu Y., Wang W., Li M., Zhang J., Ji L., Zhao Z., Zhang R., Cai D., Chen L. (2022) Microbial diversity of meat products under spoilage and its controlling approaches. *Nutrition and Food Science Technology*, 9, 1078201.
- Zin M., Mroczek J.R. (2016). Dzikizyna – jako źródło zdrowej żywności (część I). *Gospodarka Mięsna*, 3, 54–56.

Microorganisms in game meat

Abstract: The growing interest of consumers in healthy, unprocessed food is also reflected in the growing popularity of game as an alternative to meat from industrial farming. The advantage of wild animal meat is its favorable nutritional profile compared to meat from farmed animals. In addition, the diet of game is free of antibiotics, hormones and artificial feed. However, this meat may be a source of bacteria that cause human zoonoses. The article discusses the most important pathogenic, opportunistic and saprophytic bacteria found in the meat of wild animals. The possibilities of using microorganisms for game processing in order to improve its organoleptic properties were also presented.

Oliwia Pieczykolan¹, Anna Augustyńska-Prejsnar^{2,*}, Małgorzata Ormian²

WPŁYW MARYNOWANIA MIĘSA DROBIOWEGO Z WYKORZYSTANIEM OLEJU Z PESTEK DYNI I SOKU Z CYTRYN NA JAKOŚĆ GOTOWEGO PRODUKTU

Streszczenie: Celem badań była ocena wykorzystania oleju z pestek z dyni i soku z cytryn jako marynaty do mięsa drobiowego. Oceniono parametry jakościowe produktów marynowanych pod względem cech fizycznych (wchłanianie marynaty, pH, barwa, siła ścinająca), bezpieczeństwa mikrobiologicznego, wydajności produktu oraz cech sensorycznych. Badanie wykazało, że mieszanina oleju z pestek dyni i soku z cytryn może być stosowana jako kwasowa marynata do mięsa drobiowego pozwalająca na uzyskanie bezpiecznego produktu. Powoduje ona poprawę kruchości zarówno surowego marynowanego mięsa, jak i produktu po obróbce termicznej. W ocenie organoleptycznej gotowe produkty niezależnie od grupy badawczej uzyskały akceptację zespołu oceniającego. Najwyższe noty za smak, natężenie zapachu i wygląd ogólny uzyskały produkty marynowane w marynacie o 70% udziale oleju z pestek dyni i 20% zawartości soku z cytryn. Mieszanina tłoczonego oleju z pestek dyni i soku z cytryn jako marynata do mięsa z piersi kurcząt brojlerów może spełniać oczekiwania konsumentów dotyczące wykorzystania naturalnych dodatków do żywności.

Wprowadzenie

Na przestrzeni lat nastąpiła zmiana świadomości żywieniowej konsumentów [Granato i in. 2020]. Wzrosła liczba osób poszukujących żywności o wysokiej jakości, naturalnym charakterze, która spełnia jednocześnie wymagania żywności wygodnej [Augustyńska-Prejsnar i in. 2023, Ursachi i in. 2020]. Żywność wygodna pochodzenia drobiowego stała się coraz bardziej konkurencyjna w stosunku do tradycyjnie spożywanego mięsa, a produkty marynowane stanowią jeden z jej segmentów [Dymiński i in. 2021]. W przypadku mięsa kurcząt brojlerów proces marynowania ma duże znaczenie, bowiem podkreśla jego neutralny smak, zapach, barwę, przyczynia się do poprawy soczystości i właściwości technologicznych gotowego produktu [Rahman i in. 2023, Kalahrodi i in. 2021, Dilek i in. 2023, Gómez i in. 2020,

¹ Studentka Technologii Żywności i Żywienia Człowieka, Wydział Technologiczno-Przyrodniczy, Uniwersytet Rzeszowski, ul. Zelwerowicza 4, 35-601 Rzeszów.

² Zakład Produkcji Zwierzęcej i Oceny Produktów Drobiarskich, Wydział Technologiczno-Przyrodniczy, Uniwersytet Rzeszowski, ul. Zelwerowicza 4, 35-601 Rzeszów.

* aaugustynska@ur.edu.pl

Serdaroğlu i in. 2023, Shtonda i Semeniuk 2021, Sokołowicz i Augustyńska-Prejsnar 2016]. Ponadto, w zależności od zastosowanych dodatków, marynaty mogą również wykazywać właściwości przeciwutleniające i przeciwdrobnoustrojowe [Meneses i Teixeira 2022, Ůnal i in. 2022, Serdaroğlu i in. 2024].

Marynowanie mięsa to technika kulinarna, która od wieków cieszy się dużą popularnością w różnych kulturach na całym świecie [Dykiel i in. 2024] i jest powszechnie stosowana zarówno w kuchniach domowych, jak i w przemyśle spożywczym. W wielu zakładach produkcyjnych marynowanie stanowi kluczowy etap obróbki, który wpływa na jakość finalnego produktu. Dzięki nowoczesnym technologiom proces ten jest efektywny i dostosowany do potrzeb rynku [Khan i in. 2021]. Istotnym jego elementem jest zwiększenie wydajności produktu, co przynosi korzyści zarówno dla producentów, jak i konsumentów [Serdaroğlu i in. 2024]. Asortyment stosowanych marynat jest bardzo szeroki, najczęściej obejmuje marynaty zasadowe, np. z dodatkiem fosforanów [Rahman i in. 2023, Sokołowicz i Augustyńska-Prejsnar 2016, Serdaroğlu i in. 2023], i kwaśne, np. z dodatkiem kwasów organicznych [Kaewthong i in. 2021, Ůnal i in. 2020, Serdaroğlu i in. 2023]. Dobór składników do marynat jest stale udoskonalany, tak aby uzyskany produkt spełniał oczekiwania konsumentów [Serdaroğlu i in. 2023]. Koncepcja doboru składników do marynat najczęściej rozwija się w kierunku wykorzystania naturalnych dodatków w celu poprawy właściwości zdrowotnych i funkcjonalnych produktu oraz wytworzenia nowych, atrakcyjnych żywieniowo [Rahman i in. 2023]. Najnowsze badania [Augustyńska-Prejsnar i in. 2023, Dilek i in. 2023, Gómez i in. 2020, Kiprotich i in. 2021, Patriani i in. 2021, Rahman i in. 2023, Serdaroğlu i in. 2023, Serdaroğlu i in. 2024, Shtonda i Semeniuk 2021, Ůnal i in. 2022] donoszą, że skład naturalnych marynat używanych do mięsa drobiowego jest różny. Są to zioła, ekstrakty, przyprawy, miody, fermentowane produkty przemysłu mleczarskiego, wina, owoce, oleje, soki warzywne i owocowe. Wykorzystanie naturalnych marynat lub naturalnych dodatków do nich decyduje zarówno o oryginalności potrawy [Augustyńska-Prejsnar i in. 2023], jak również o pożądanym przez konsumenta profilu smakowo-zapachowym, a także może oddziaływać pozytywnie na jego zdrowie [Gök i Bor 2016, Rupasinghe i in. 2022, Hafid i in. 2021].

Sok z cytryn (*Citrus limon*) jest częstym składnikiem marynat mięsnych, stosowany jest jako środek poprawiający cechy sensoryczne [Kumar i in. 2017, Kiprotich i in. 2021, Augustyńska-Prejsnar i in. 2023]. Jest bogatym źródłem kwasu L-askorbinowego (0,51–0,53 mg/100 g), a także witamin z grupy B, betakarotenu, makro- i mikroelementów. Zawiera także kwas cytrynowy (5–10%), błonnik (3%), cukry (2–3%), białka (1%) i flawonoidy cytrusowe [Abad-García i in. 2012]. Sok z cytryn jest często wykorzystywany w celu obniżenia pH, poprawy wodochłonności, tekstury i smaku marynowanego mięsa drobiowego [Ůnal i in. 2022, Serdaroğlu i in. 2024].

Nasiona dyni, zwane inaczej pestkami, stanowią cenne źródło składników odżywczych. Badania przeprowadzone przez Karanję i współpracowników [2013] wykazały, że nasiona dyni (*Cucurbita* spp.) w swoim składzie zawierają 37,8–45,4% tłuszczu,

25,2–37% białka, 11% węglowodanów i 6% błonnika pokarmowego. Jak wynika z przeprowadzonych przez Visana i współpracowników [2021] badań, oleje tłoczone na zimno, w tym olej z pestek z dyni, wzbogacają mięso w aromat i smak, a także korzystnie wpływają na teksturę mięsa głównie kruchość i soczystość, zwłaszcza po dłuższym czasie marynowania. Badania przeprowadzone przez Shtonę i Sementiuk [2021] potwierdzają korzystny wpływ stosowania olejów roślinnych w marynatkach na cechy organoleptyczne mięsa.

Celem badań była ocena możliwości wykorzystania mieszaniny oleju z pestek dyni i soku z cytryn do marynowania mięsa z piersi kurcząt brojlerów. Analizowano wpływ marynowania marynatą na bazie świeżo tłoczonego oleju z pestek dyni i soku z cytryn na cechy technologiczne i sensoryczne oraz bezpieczeństwo mikrobiologiczne produktu surowego i po obróbce termicznej.

Materiał i metody badań

Surowcem do badań było mięso drobiowe (mięśnie piersiowe kurcząt brojlerów), które w ilości 8 kg zakupiono jednorazowo w sklepie mięsnym w Rzeszowie. Aby ograniczyć zróżnicowanie surowca, mięso pochodziło od tego samego producenta. Zapakowane hermetycznie filety piersiowe przewieziono w lodówce przenośnej ($4 \pm 1^{\circ}\text{C}$) do laboratorium ZPZiOPD Uniwersytetu Rzeszowskiego, zachowując łańcuch chłodniczy. Ekologiczne pestki z dyni i cytryny BIO zostały kupione w sklepie ze zdrową żywnością. Według deklaracji producenta pestki z dyni firmy BioPlanet certyfikowano numerem PL-EKO-07. Wykorzystane dodatki i pozostałe składniki, jak sól naturalna niejodowana i cukier trzcinowy, zakupiono w sklepie ze zdrową żywnością.

Marynatę przygotowano zgodnie z autorską recepturą, która obejmowała świeżo wyciśnięty olej z pestek dyni, sok z cytryn, cukier trzcinowy oraz sól (tabela 1). Olej wytłoczono metodą na zimno w prasie Golden Press Oil. Świeży sok z cytryn uzyskano poprzez sparzenie owoców we wrzącej wodzie, ręczne wyciskanie oraz filtrację. Zmierzono kwasowość czynną soku. Przygotowano trzy marynaty różniące się ilością soku z cytryn (tabela 1), które następnie zemulgowano w szklanych pojemnikach.

Tabela 1. Skład recepturowy marynat [%]

Surowce	Grupa B	Grupa C	Grupa D
Olej z pestek dyni	80,00	75,00	70,00
Sok z cytryn	10,00	15,00	20,00
Cukier trzcinowy nierafinowany	9,00	9,00	9,00
Sól niejodowana	1,00	1,00	1,00

Objaśnienia: grupa B – marynata I (olej z pestek dyni 80%, sok z cytryn 10%), grupa C – marynata II (olej z pestek dyni 75%, sok z cytryn 15%), grupa D – marynata III (olej z pestek dyni 70%, sok z cytryn 20%)

Źródło: opracowanie własne

Proces marynowania rozpoczęto od przygotowania surowca mięsnego. Mięśnie piersiowe umyto i pokrojono wzdłuż włókienek mięśniowych w 2-centymetrowe plastry o średniej masie $90\text{g} \pm 10\text{g}$ ($n = 80$). Próbkę podzielono na cztery grupy: grupa A ($n = 20$) – mięso niepoddane procesowi marynowania, grupa B ($n = 20$) – mięso w marynacie I (olej z pestek dyni 80%, sok z cytryn 10%), grupa C ($n = 20$) – mięso w marynacie II (olej z pestek dyni 75%, sok z cytryn 15%), grupa D ($n = 20$) – mięso w marynacie III (olej z pestek dyni 70%, sok z cytryn 20%). Każdą próbkę przed marynowaniem zważono z dokładnością do $0,01\text{g}$ (waga laboratoryjna Axis, Polska) i oznaczono poprzez wbicie wyparzonej metalowej wykałaczki z opisem. Proces marynowania zanurzeniowego polegał na umieszczeniu elementów mięsnych w wyparzonych szklanych naczyniach, które następnie zalano marynatą w proporcji 1:1. Próbkę umieszczono w lodówce na 24 godziny ($4^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$). Po zakończeniu marynowania próbkę ponownie zważono.

Po upływie przyjętego czasu marynowania na losowo wybranych 10 elementach z każdej grupy badawczej i kontrolnej wykonano pomiary: pH, barwy, siły cięcia oraz ocenę jakości mikrobiologicznej. Absorpcję marynaty oceniono poprzez zważenie (waga laboratoryjna Axis, Polska) elementów mięsnych przed zanurzeniem w marynacie oraz tuż po wyjęciu z marynaty, z dokładnością do $0,01\text{g}$. Pobór marynaty przez mięso obliczono wg wzoru: $(W_2 - W_1) / W_1 \times 100$, gdzie: W_1 – masa próbek przed marynowaniem, W_2 – masa próbek poddanych procesowi marynowania [Dymiński i in. 2021]. Pomiar kwasowości czynnej pH wykonano za pomocą pehametru HI 99163 z elektrodą FC2323 (Hanna Foodcare, Rumunia). Przed pomiarami pehametr wzorcowano metodą dwupunktową wobec buforów wzorcowych pH 4,01 i pH 7,01 (Hanna Instrument, Rumunia). Pomiar wykonano poprzez wbicie ostrza elektrody pod kątem 45° w połowie grubości próbki. Barwę oceniono w skali L^*a^*b . Pomiaru dokonano za pomocą kolorymetru Konica Minolta, model CR-400 (Chroma Meter, Konica Minolta Japonia), przykładając głowicę przyrządu do powierzchni badanego surowca i na przekroju. Wyniki otrzymanych pomiarów odczytano z cyfrowego wyświetlacza. Kruchość produktów marynowanych oceniono na podstawie maksymalnej siły cięcia (N). Do badań wykorzystano maszynę wytrzymałościową Zwick/Roell BT1 FR1.OTH.D14 (Zwick-CmbH & Co.KG. Niemcy). Test cięcia przeprowadzano na próbkach o wymiarach $10 \times 10 \times 50\text{ mm}$ wyciętych wzdłuż włókienek mięśniowych. Cięcie wykonano układem jednołożowym Warnera-Bratzlera przy prędkości głowicy 100 mm/min^{-1} i sile wstępnej na poziomie $0,2\text{N}$. Badania mikrobiologiczne obejmowały oznaczenie ogólnej liczby drobnoustrojów tlenowych mezofilnych. Próbkę do badań mikrobiologicznych pobierano w utrzymaniu temperatury chłodniczej próbek ($4^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}$). Jałowym skalpelem pobrano po 10 g produktu z każdej grupy badawczej i przeniesiono na jałowe szalki, które przechowywano w warunkach chłodniczych 4°C . Próbkę homogenizowano w 45 ml sterylnej soli fizjologicznej ($0,9\%$ NaCl) w homogenizatorze laboratoryjnym BagMixer® (stomacher) i wykonano rozcieńczenia 10^{-3} i 10^{-4} . Następnie zrobiono posiewy na podłożu Trypticasein

Soy Lab-Agar TSA (Biocorp) i inkubowano w temperaturze 37°C przez 24 godziny. W próbkach określono liczbę mezofilnych drobnoustrojów tlenowych (jednostki tworzące kolonie – JTK). JTK obliczono ze wzoru:

$$x = \frac{(a \times b)}{v},$$

gdzie: x – liczebność wyrażona w CFU, a – średnia liczba kolonii na jednej płytce, b – przelicznik rozcieńczenia, v – objętość zawiesiny pobranej do wysiewu [Augustyńska-Prejsnar i in. 2021].

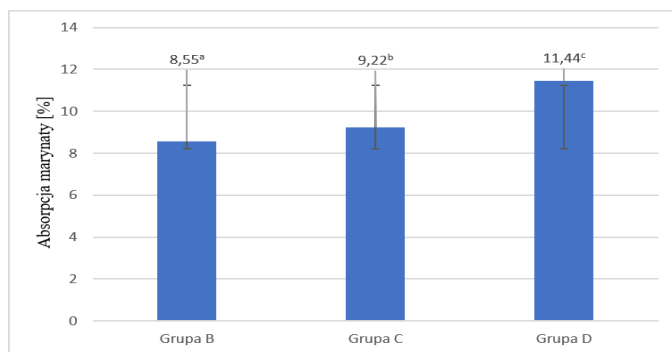
Obróbkę termiczną marynowanych elementów prowadzono w piekarniku konwekcyjno-parowym (AEG, model BSK792320M, Niemcy) w temperaturze 180°C aż do osiągnięcia wewnątrz elementów temperatury 76°C ± 1°C. Temperaturę monitorowano za pomocą termometru cyfrowego z zewnętrzną sondą typu K (Therma Plus, England).

W ocenie jakości produktów marynowanych po obróbce termicznej w każdej grupie badawczej uwzględniono: wydajność produktów po obróbce termicznej, pomiar pH, ocenę barwy, siły cięcia, jakości mikrobiologicznej i cech sensorycznych. Wydajność produktów wyliczono na podstawie masy elementów marynowanych po obróbce termicznej i schłodzeniu do temperatury pokojowej do masy elementów marynowanych przed obróbką razy 100. Pomiar pH, ocenę barwy, siły cięcia oraz ocenę mikrobiologiczną marynowanych produktów po obróbce termicznej wykonano tymi samymi metodami z zachowaniem takich samych procedur w przygotowywaniu próbek jak w przypadku surowych marynowanych elementów mięsnych. Ocenę organoleptyczną marynowanych i poddanych pieczeniu produktów mięsnych i próby kontrolnej wykonał 8-osobowy zespół oceniający, w którego skład wchodziłi studenci i pracownicy Instytutu Technologii Żywności i Żywienia UR. Przed przystąpieniem do oceny zespół oceniający zapoznał się z kartami ocen, a następnie dokonał oceny: natężenia zapachu, natężenia smaku, pożądalności zapachu, pożądalności smaku, soczystości, kruchości i ogólnej pożądalności. Zastosowano skalę 5-punktową, w której 5 punktów oznaczało największą pożądalność cechy, a 1 punkt najmniejszą pożądalność. Badania zostały przeprowadzone w odpowiednio przygotowanym pomieszczeniu, które było wolne od obcych zapachów oraz posiadało odpowiednie oświetlenie. Do oceny organoleptycznej przygotowano próbki w kształcie kostek o wymiarach 1,5 x 1,5 cm. Podawano je w kolejności losowej w osobnych białych pojemnikach. Ocenę przeprowadzono w temperaturze pokojowej (20 ± 2°C).

Uzyskane wyniki badań poddano analizie statystycznej metodą analizy wariancji ANOVA przy użyciu pakietu oprogramowania Statistica 13.6. W programie komputerowym Excel wyliczono średnią arytmetyczną ($\bar{x}$) i odchylenie standardowe (SD). Aby wykazać istotność różnic między średnimi w grupach, zastosowano test Tukeya przy poziomie istotności ($p \leq 0,05$).

Wyniki i dyskusja

Stopień wchłaniania marynaty może zależeć od wielu czynników, takich jak gęstość marynaty, jej pH oraz ciśnienie osmotyczne, jakie roztwory wywierają na marynowany produkt [Kumar i in. 2017, Dymiński i in. 2021]. W badaniach własnych wykazano istotne różnice ($p \leq 0,05$) w absorpcji marynaty przez produkty marynowane. Wraz ze zwiększeniem ilości soku z cytryny w marynacie poziom absorpcji marynaty wzrastał (rysunek 1). Uzyskane rezultaty można wyjaśnić pęcznieniem białek miofibrylarnych determinowanym wzrostem siły jonowej i spadkiem pH [Serdaroğlu i in. 2023, Augustyńska-Prejsnar i in. 2021]. Űnal i współpracownicy [2022] wykazali, że mięśnie piersiowe kurcząt marynowane w soku z cytryn cechowały się wyższą absorpcją marynaty w porównaniu do produktów marynowanych w soku grejpfrutowym i kwasie cytrynowym. W badaniach Kumar i współpracowników [2017] również odnotowano różnice w absorpcji marynaty przez produkty marynowane z wykorzystaniem soku z cytryn i imbiru. Badania Dymińskiego i współpracowników [2021] wskazały na wyższą wchłaniania marynaty przez mięśnie piersiowe kurcząt brojlerów marynowane z dodatkiem soku z cytryn i soku z jabłek.



Rysunek 1. Wyniki absorpcji marynaty [%]

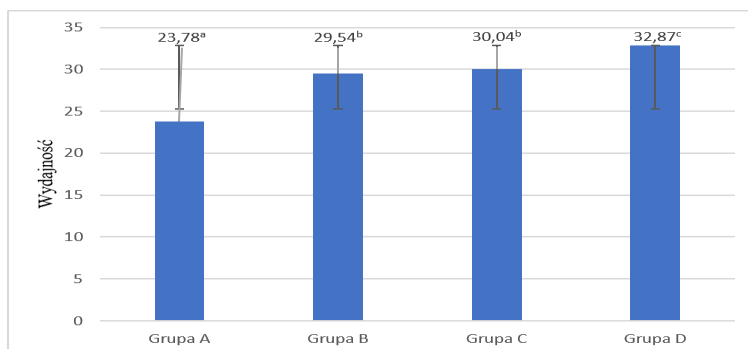
Objaśnienia: Grupa B – marynata I (olej z pestek dyni 80%, sok z cytryn 10%), grupa C – marynata II (olej z pestek dyni 75%, sok z cytryn 15%), grupa D – marynata III (olej z pestek dyni 70%, sok z cytryn 20%). Wartości średnie oznaczone różnymi literami w wierszach różnią się statystycznie istotnie przy $p \leq 0,05$

Źródło: opracowanie własne

Proces marynowania jest stosowany w przemyśle drobiarskim m.in. w celu zwiększenia zdolności zatrzymywania wody i wydajności produktu [Rahman i in. 2023]. Wydajność po obróbce termicznej ma duże znaczenie przetwórcze [Zhang i in. 2024]. W jej trakcie w mięsie drobiowym zachodzi szereg procesów chemicznych i fizycznych, w tym denaturacja białek, reakcje Maillarda między aminokwasami a cukrami redukującymi oraz utrata wody. Procesy te prowadzą do zmiany profilu smakowo-zapachowego, zmian teksturalnych oraz wartości

odżywczej [Dykiel i in. 2024]. W badaniach własnych wykazano korzystny wpływ procesu marynowania w oleju z pestek z dyni i soku z cytryn na wydajność produktu po obróbce termicznej (rysunek 2). Zauważono istotne ($p \leq 0,05$) różnice w wydajności grup marynowanych w porównaniu do grupy kontrolnej. Najwyższą wydajność osiągnęły próbki z grupy D (marynowane w oleju z pestek dyni 70%, soku z cytryn 20%). W badaniach przeprowadzonych przez Kim i współpracowników [2014] również wykazano pozytywny wpływ procesu marynowania na wydajność i zdolność zatrzymywania wody w mięsie drobiowym.

Marynaty, które zawierają składniki kwaśne, są przede wszystkim wykorzystywane do poprawy właściwości technologicznych mięsa [Kaewthong i in. 2021, Ünal i in. 2020]. Stopień zakwaszenia produktu mięsnego jest ważny, ponieważ wpływa na jego trwałość i czas przechowywania [Lytou i in. 2018]. Jak podaje Serdaroğlu i współpracownicy [2023] kwasowość czynna produktu marynowanego jest związana z kwasowością marynaty, co potwierdzono w przeprowadzonych badaniach (tabela 3 i tabela 4). Wykazano, że proces marynowania istotnie ($p \leq 0,05$) wpłynął na obniżenie pH surowego marynowanego mięsa i gotowego produktu po obróbce termicznej. Kwasowość surowego mięsa zmniejszała się wraz z dodatkiem soku z cytryn do marynaty. Podobne rezultaty odnotowano w badaniach Kumar i współpracowników [2017], Kaewthong i współpracowników [2021] i Ünal i współpracowników [2020], Gök i Bor [2016], gdzie kwasowość marynowanego mięsa była uzależniona od pH marynaty. Wyniki przeprowadzonych badań Augustyńskiej-Prejsnar i współpracowników [2021, 2019], Kumar i współpracowników [2017] wykazały, że marynowanie z dodatkiem soku z cytryny obniżyło pH produktu marynowanego, a obniżenie kwasowości produktów marynowanych mogło mieć wpływ na poprawę kruchości.



Rysunek 2. Wyniki wydajności [%] marynowanego produktu drobiowego

Objaśnienia: Grupa A – mięśnie piersiowe niepoddane procesowi marynowania, grupa B – marynata I (olej z pestek dyni 80%, sok z cytryn 10%), grupa C – marynata II (olej z pestek dyni 75%, sok z cytryn 15%), grupa D – marynata III (olej z pestek dyni 70%, sok z cytryn 20%). Wartości średnie oznaczone różnymi literami w wierszach różnią się statystycznie istotnie przy $p \leq 0,05$

Źródło: opracowanie własne

W badaniach własnych wykazano, że surowe marynowane mięśnie piersiowe posiadały ciemniejszą barwę powierzchni (niższy wskaźnik jasności L^* i wysycenia barwy czerwonej a^* oraz większy udział barwy żółtej) w porównaniu do mięsa niepoddanego procesowi marynowania (tabela 2). Ciemne zabarwienie oleju z pestek dyni miało znaczący wpływ na barwę marynowanych surowych mięśni piersiowych. Antoniewska i współpracownicy [2017] w swojej pracy podają wartości opisujące barwę oleju z nasion dyni odmiany *Cucurbita maxima* w systemie L^* , a^* , b^* , gdzie wartość parametru L^* wyniosła $44,8 \pm 0,32$. Sirol i współpracownicy [2020] wykazali, że dodanie do roztworu marynaty olejków eterycznych miało istotny wpływ na udział barwy żółtej (b^*) próbek mięsa, podczas gdy jasność (L^*) i udział barwy czerwonej (a^*) nie były naruszone. W badaniach własnych wyższe wartości b^* przyznane dla próbek marynowanych były prawdopodobnie spowodowane obecnością związków barwiących w samym roztworze (tj. oleju z pierwszego tłoczenia), które mogły zwiększyć zażółcenie próbek. Jednak odnotowano, że wartość parametru L^* surowych marynowanych mięśni piersiowych wzrastała wraz z rosnącą zawartością soku z cytryn w marynacie i obniżeniem pH (tabela 2). Również badania Augustyńskiej-Prejsnar i współpracowników [2019] wykazały wpływ marynowania w zalewie wodnej z dodatkiem soku z cytryn na rozjaśnienie surowych marynowanych mięśni piersiowych kurcząt.

W badaniach własnych dowiedziono, że marynowany produkt drobiowy (po obróbce termicznej) odznaczał się jaśniejszą barwą w porównaniu do próbek kontrolnych (tabela 3). Uzyskane rezultaty badań dotyczyły zarówno barwy powierzchni, jak również barwy przekroju. W obrębie badanych grup wykazano różnice zmiany zabarwienia pomiędzy produktami z grupy B z 10-procentowym dodatkiem soku z cytryn w odniesieniu do grup C i D z 15- i 20-procentowym dodatkiem soku z cytryn. Odnotowano rozjaśnienie barwy (wzrost parametru jasności L^* i udziału barwy żółtej b^*) oraz spadek barwy czerwonej a^* . Podobną tendencję zmiany barwy zaobserwowali Ünal i współpracownicy [2022] oraz Serdaroğlu i współpracownicy [2023] podczas przeprowadzania badań na mięsie kurcząt i indyka marynowanym w sokach z cytryny i grejpfruta. Natomiast Andrzejewski [2023] w swoich badaniach nie wykazał istotnych różnic dla średnich wartości parametrów jasności (L^*), udziału barwy czerwonej (a^*) i żółtej (b^*), między próbką kontrolną i próbkami poddanymi procesowi marynowania w marynacie kwaśnej na bazie cydru. Zmiany barwy produktów marynowanych po obróbce termicznej, które zaobserwowano w badaniach własnych, mogły być powiązane z ich pH, ponieważ parametr ten odgrywa kluczową rolę w kształtowaniu koloru mięsa [Zhuang i Bowker 2016]. Jedną z możliwych przyczyn zwiększonej wartości L^* jest pęczniecie białek mięśniowych i zmiana odbicia światła przy niskim pH i sile jonowej [Ünal i in. 2022].

Z wielu badań [Kumar i in. 2017, Rostamani i in. 2021, Dykiel i in. 2024, Serdaroğlu i in. 2023] wynika, że stosowanie soków owocowych jako marynaty do mięsa może korzystnie wpłynąć na poprawę cech teksturalnych produktów

mięsnych. Kruchość mięsa jest jedną z najważniejszych cech teksturalnych warunkujących jakość i akceptację produktu przez konsumentów. Badania własne wskazały na istotną ($p < 0,05$) zmianę właściwości mechanicznych produktów marynowanych, zarówno surowych, jak i pieczonych, w porównaniu z surowcem niepoddanym procesowi marynowania (tabela 2 i tabela 3). Kruchość surowego mięsa marynowanego była na zbliżonym poziomie we wszystkich grupach badawczych. W badaniach Augustyńskiej-Prejsnar i współpracowników [2019] marynowanie mięśni piersiowych kurcząt brojlerów z wykorzystaniem soku z cytryn istotnie ($p \leq 0,05$) zmniejszyło wartość siły ścinającej w porównaniu do mięsa z grupy kontrolnej. Visan i współpracownicy [2021] przeprowadzili badania nad wpływem marynowania aromatycznymi ziołami i olejami tłoczonymi na zimno na mięso wołowe. Stwierdzili, że zarówno aromatyczne zioła, jak i oleje tłoczone na zimno korzystnie wpływają na teksturę wołowiny, głównie kruchość, ale również wzbogacają mięso w aromat i smak, a także zwiększają jego soczystość. Według badań Dykiel i współpracowników [2024] poprawa kruchości i parametrów teksturalnych mięsa wieprzowego była związana ze wzrostem stopnia zakwaszenia marynat zależnego od wykorzystania fermentowanych niepasteryzowanych octów. Tekstura mięsa jest jedną z najważniejszych jego cech, często decydującą o jego akceptacji przez konsumentów [Kurp i in. 2022, Dykiel i in. 2024]. Mięso wymagające mniejszej siły do instrumentalnego przecięcia próbki będzie bardziej akceptowalne przez konsumenta [Andrzejewski 2023]. Wśród grup marynowanych po obróbce termicznej istotną ($p \leq 0,05$) różnicę zauważono w grupie B ($16,35 \pm 0,15$) oraz w grupach C i D ($18,35 \pm 0,1$; $18,65 \pm 0,10$). Uzyskane rezultaty badań są zgodne z wynikami Khan i współpracowników [2016], którzy również uzyskali niższe wartości siły cięcia marynowanego mięsa z kaczki, które zależne były od pH marynaty. Gómez i współpracownicy [2020] stwierdzili, że im wyższe jest stężenie kwasu użytego do marynaty, tym większa kruchość produktu mięsnego mierzonego cięciem noża Warnera-Bratzlera i większy spadek pH mięsa.

Kluczowe znaczenie dla oceny bezpieczeństwa i jakości produktu marynowanego, zwłaszcza pochodzenia naturalnego, ma ocena mikrobiologiczna [Meneses i Teixeira 2022, Ůnal i in. 2022]. W badanych próbkach surowego marynowanego mięsa z piersi kurcząt brojlerów ogólna liczba drobnoustrojów tlenowych mezofilnych wynosiła od 2,52 do 2,65 log cfu.g⁻¹. W surowym mięsie niepoddanym procesowi marynowania kształtowała się na poziomie 2,82 log cfu.g⁻¹. Liczba mezofilnych mikroorganizmów tlenowych w marynowanych pieczonych próbkach wahała się od 0,00 do 0,28 log cfu.g⁻¹. W badaniu Augustyńskiej-Prejsnar i współpracowników [2019] wykazano, że stosowane kwaśne marynaty, w tym sok z cytryn, skutecznie hamowały wzrost liczby mezofilowych bakterii tlenowych w surowym mięsie drobiowym. Także Mantzourani i współpracownicy [2023] oraz Cho i współpracownicy [2021] wykazali wpływ soków owocowych na zmniejszenie liczby drobnoustrojów w marynowanej wieprzowinie.

Tabela 2. Wyniki oceny cech fizycznych i jakości mikrobiologicznej surowego marynowanego mięsa z piersi kurcząt brojlerów ($\bar{x} \pm S$)

Wyszczególnienie	Mięśnie piersiowe			
	Grupa A n = 10	Grupa B n = 10	Grupa C n = 10	Grupa D n = 10
pH	6,08 ^a ± 0,04	5,84 ^b ± 0,07	5,74 ^{bc} ± 0,04	5,68 ^c ± 0,05
Barwa zewnętrzna				
L*	60,94 ^a ± 0,13	55,42 ^b ± 0,52	56,73 ^b ± 0,22	58,36 ^c ± 0,28
a*	1,78 ^a ± 0,36	1,56 ^b ± 0,85	0,82 ^c ± 0,42	0,79 ^c ± 0,35
b*	5,17 ^a ± 0,90	6,66 ^a ± 1,15	8,72 ^b ± 1,16	8,99 ^b ± 0,70
Siła cięcia [N]	13,50 ^a ± 1,05	10,34 ^b ± 1,13	10,52 ^b ± 1,52	10,49 ^b ± 1,13
Ogólna liczba bakterii tlenowych [log jtk/g]	2,82 ± 0,26	2,65 ± 0,32	2,52 ± 0,21	2,60 ± 0,32

Objaśnienia: grupa A – mięśnie piersiowe niepoddane procesowi marynowania, grupa B – marynata I (olej z pestek dyni 80%, sok z cytryn 10%), grupa C – marynata II (olej z pestek dyni 75%, sok z cytryn 15%), grupa D – marynata III (olej z pestek dyni 70%, sok z cytryn 20%). Wartości średnie oznaczone różnymi literami w wierszach różnią się statystycznie istotnie przy $p \leq 0,05$

Źródło: opracowanie własne

Tabela 3. Wyniki oceny cech fizycznych i jakości mikrobiologicznej marynowanego i poddanego pieczeniu produktu drobiowego ($\bar{x} \pm S$)

Wyszczególnienie	Mięśnie piersiowe			
	Grupa A n = 10	Grupa B n = 10	Grupa C n = 10	Grupa D n = 10
pH	6,20 ^a ± 0,06	6,11 ^b ± 0,09	6,09 ^b ± 0,04	5,94 ^c ± 0,05
Barwa zewnętrzna				
L*	75,66 ^a ± 2,30	77,91 ^b ± 2,35	79,02 ^c ± 1,93	79,65 ^c ± 0,92
a*	2,09 ^a ± 0,57	3,29 ^b ± 0,61	2,31 ^a ± 0,36	1,22 ^b ± 0,13
b*	16,37 ^a ± 0,57	18,91 ^b ± 0,53	19,62 ^c ± 0,39	20,80 ^c ± 2,17
Barwa przekroju				
L*	80,72 ^a ± 3,95	82,35 ^b ± 1,77	84,83 ^c ± 0,44	84,88 ^c ± 1,05
a*	2,36 ^a ± 0,80	3,30 ^b ± 0,44	2,45 ^a ± 0,32	1,80 ^c ± 0,32
b*	10,82 ^a ± 0,75	11,97 ^b ± 0,28	12,19 ^{ab} ± 0,65	12,90 ^b ± 1,16
Siłę cięcia [N]	25,75 ^a ± 0,55	16,35 ^b ± 0,15	18,35 ^c ± 0,10	18,65 ^c ± 0,10
Ogólna liczba bakterii tlenowych [log jtk/g]	0,30 ± 0,22	0,28 ± 0,06	nd	nd

Objaśnienia: grupa A – mięśnie piersiowe niepoddane procesowi marynowania, grupa B – marynata I (olej z pestek dyni 80%, sok z cytryn 10%), grupa C – marynata II (olej z pestek dyni 75%, sok z cytryn 15%), grupa D – marynata III (olej z pestek dyni 70%, sok z cytryn 20%). Wartości średnie oznaczone różnymi literami w wierszach różnią się statystycznie istotnie przy $p \leq 0,05$

Źródło: opracowanie własne

Proces marynowania nie tylko wydłuża trwałość produktów, ale także wzbogaca ich cechy sensoryczne [Sokołowicz i Augustyńska-Prejsnar 2016, Żochowska-Kujawska i in. 2017, Dykiel i in. 2024]. Cechy sensoryczne stanowią kluczowe wskaźniki jakości i są odbierane za pomocą zmysłów. Ocena ta jest subiektywna i zależy od wrażliwości zmysłów konsumenta. W badaniach wykazano istotny wpływ ($p \leq 0,05$) marynowania w oleju z pestek dyni i soku z cytryn na natężenie smaku i zapachu, a także znaczną poprawę pożądalności smaku, soczystości oraz kruchości w porównaniu do grupy kontrolnej (tabela 4). Visan i współpracownicy [2021] potwierdzili, że proces marynowania poprawia cechy sensoryczne. Chociaż w badaniach własnych nie stwierdzono istotnych różnic w pożądalności zapachu między grupami badanymi, zauważono poprawę w porównaniu do grupy kontrolnej. Ogólna pożądalność marynowanych produktów znacząco ($p \leq 0,05$) wzrastała wraz z dodatkiem soku z cytryn. Najwyższe oceny za smak, natężenie zapachu i ogólną pożądalność otrzymał produkt w marynacie z 60% oleju z pestek dyni i 20% soku z cytryn. Kumar i współpracownicy [2017] wskazali, że organiczne kwaśne marynaty poprawiają kruchość i soczystość mięsa drobiowego. Shtonda i Semeniuk [2021] potwierdzili pozytywny wpływ oleju w marynacie na cechy sensoryczne mięsa wołowego i wieprzowego, które charakteryzowało się delikatną, soczystą konsystencją oraz przyjemnym smakiem i aromatem.

Tabela 4. Ocena cech sensorycznych marynowanych i poddanych obróbce termicznej produktów drobiowych ($\bar{x} \pm S$)

Cechy sensoryczne	Mięśnie piersiowe			
	Grupa A	Grupa B	Grupa C	Grupa D
Natężenie zapachu	3,25 ^a ± 0,43	4,00 ^b ± 0,50	4,25 ^b ± 0,66	4,75 ^c ± 0,43
Natężenie smaku	3,38 ^a ± 0,48	4,00 ^b ± 0,50	4,50 ^{ab} ± 0,50	4,88 ^c ± 0,33
Pożądalność zapachu	3,50 ^a ± 0,50	4,25 ^b ± 0,66	4,25 ^b ± 0,66	4,50 ^b ± 0,50
Pożądalność smaku	3,50 ^a ± 0,50	4,00 ^b ± 0,50	4,50 ^b ± 0,50	4,88 ^c ± 0,33
Soczystość	3,00 ^a ± 0,50	3,88 ^a ± 0,33	4,63 ^b ± 0,48	4,75 ^b ± 0,43
Kruchość	3,25 ^a ± 0,66	4,00 ^a ± 0,50	4,50 ^{ab} ± 0,50	4,75 ^b ± 0,43
Ogólna pożądalność	3,34 ± 0,17	3,98 ± 0,12	4,52 ± 0,19	4,82 ± 0,09

Objaśnienia: grupa A – mięśnie piersiowe niepoddane procesowi marynowania, grupa B – marynata I (olej z pestek dyni 80%, sok z cytryn 10%), grupa C – marynata II (olej z pestek dyni 75%, sok z cytryn 15%), grupa D – marynata III (olej z pestek dyni 70%, sok z cytryn 20%). Wartości średnie oznaczone różnymi literami w wierszach różnią się statystycznie istotnie przy $p \leq 0,05$

Źródło: opracowanie własne

Podsumowanie

Przeprowadzone badania wykazały korzystny wpływ marynowania mięsa z piersi kurcząt brojlerów w marynacie z oleju z pestek dyni i soku z cytryn na cechy jakościowe zarówno surowego mięsa, jak i poddanego obróbce cieplnej.

W surowym mięsie procesowi marynowania towarzyszyło obniżenie kwasowości mięsa, które było zróżnicowane ilością soku z cytryn w marynacie. W ocenie barwy wykazano pociemnienie barwy zewnętrznej (niższy wskaźnik jasności L^* oraz wzrost udziału barwy żółtej b^*) wynikające z zielonej barwy oleju z pestek dyni. Proces marynowania przyczynił się do poprawy kruchości surowego mięsa marynowanego, co wykazano spadkiem siły cięcia.

Po przeprowadzeniu obróbki termicznej marynowane produkty drobiowe niezależnie od grupy badawczej charakteryzowały się lepszą kruchością i jaśniejszą barwą. Na podstawie przeprowadzonej oceny organoleptycznej marynowanego produktu drobiowego wykazano, że największą akceptację zespołu oceniającego za smak, natężenie zapachu i wygląd ogólny uzyskały produkty marynowane w marynacie o najwyższej – 20% zawartości soku z cytryn i 70% udziale oleju z pestek dyni.

Uzyskane rezultaty badań wskazują, że olej z pestek dyni w połączeniu z sokiem z cytryn może zostać wykorzystany jako naturalna marynata do mięsa drobiowego, co skutkuje uzyskaniem produktu o wysokiej jakości sensorycznej oraz bezpiecznego mikrobiologicznie.

Bibliografia

- Abad-García B., Garmón-Lobato S., Berrueta L.A., Gallo B., Vicente F. (2012). On line characterization of 58 phenolic compounds in Citrus fruit juices from Spanish cultivars by high-performance liquid chromatography with photodiode-array detection coupled to electrospray ionization triple quadrupole mass spectrometry. *Talanta*, 99, 213–224.
- Andrzejewski S. (2023). Wpływ procesu marynowania na jakość potraw z mięsa kaczki. Międzynarodowe Seminarium Kół Naukowych w Olsztynie „Przepływ informacji gwarancją rozwoju nauki”. T. 1, Aktualne problemy badawcze: Nauki biomedyczne i techniczne. Wydawnictwo Naukowe FNCE, 8–18.
- Antoniewska A., Adamska A., Rutkowska J., Zielińska M. (2017). Olej z nasion dyni jako źródło cennych składników w diecie człowieka. *Problemy Higieny i Epidemiologii*, 98(1), 17–22.
- Augustyńska-Prejsnar A., Hanus P., Sokołowicz Z., Kačániová M. (2021). Assessment of technological characteristics and microbiological quality of marinated turkey meat with the use of dairy products and lemon juice. *Animal Bioscience*, 34(12), 2003–2011.
- Augustyńska-Prejsnar A., Kačániová M., Ormian M., Topczewska J., Sokołowicz Z. (2023). Quality and Microbiological Safety of Poultry Meat Marinated with the Use of Apple and Lemon Juice. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 20(5), 3850.
- Augustyńska-Prejsnar A., Ormian M., Sokołowicz Z., Rogowska A. (2019). Effect of marinating broiler chicken meat with acid whey on product quality and consumer acceptance. *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość*, 26, 1(118), 125–136.

- Cho J., Kim H.J., Kwon J.S., Kim H.J., Jang A. (2021). Effect of marination with black currant juice on the formation of biogenic amines in pork belly during refrigerated storage. *Food Science of Animal Resources*, 41(5), 763.
- Dilek N.M., Babaoğlu A.S., Unal K., Ozbek C., Pirlak L., Karakaya M. (2023). Marination with aronia, grape and hawthorn vinegars affects the technological, textural, microstructural and sensory properties of spent chicken meat. *British Poultry Science*, 64(3), 1–7.
- Dykiel M., Uram-Dudek A., Wajs I. (2024). Wpływ marynowania mięsa wieprzowego z wykorzystaniem fermentowanych niepasteryzowanych octów na jego właściwości reologiczne. *Herbalism*, 10, 1, 40–53.
- Dymiński M., Augustyńska-Prejsnar A., Sokołowicz Z. (2021). Wpływ marynowania sokiem owocowym na cechy jakościowe mięśni piersiowych kurcząt brojlerów. [W:] C. Puchalski, G. Gajdek (red.): *Potencjał biologiczny żywności*. Wydawnictwo UR, 7–17.
- Hafid H., Patriani P., Sepriadi S., Ananda S.H. (2021). Organoleptic properties of Free-range chicken meat with the pineapple fruit juice marination. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 782, 2, 022078.
- Rahman S.M.E., Islam S., Pan J., Kong D., Xi Q., Du Q., Yang Y., Wang J., Oh D.H., Han R. (2023). Marination ingredients on meat quality and safety-a review. *Food Quality and Safety*, 7, 1–17.
- Gök V., Bor Y. (2016). Effect of marination with fruit and vegetable juice on the some quality characteristics of turkey breast meat. *Brazilian Journal of Poultry Science*, 18 (3), 481–488.
- Gómez I., Janardhanan R., Ibanez F.C., Beriain M. (2020). The effects of processing and preservation technologies on meat quality: sensory and nutritional aspects. *Foods*, 9(10) 1416.
- Grabowski T., Kijowski L. (2018). *Mięso i przetwory drobiowe*. Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa.
- Granato D., Barba F.J., Kovačević D.B., Lorenzo J.M., Cruz A.G., Putnik P. (2020). Functional foods: product development, technological trends, efficacy testing, and safety. *Annual Review of Food Science and Technology*, 11, 93–118.
- Kaewthong P., Wattanachant C., Wattanachant S. (2021). Improving the quality of barbecued culled-dairy-goat meat by marination with plant juices and sodium bicarbonate. *Journal of Food Science and Technology*, 58(5), 333–342.
- Kalahrodi M.M., Baghaei H., Emadzadeh B. (2021). The combined effect of asparagus juice and balsamic vinegar on the tenderness, physicochemical and structural attributes of beefsteak. *Journal of Food Science and Technology*, 58(8), 3143–3153.
- Karanja J.K., Mugendi B.J., Khamis F.M., Muchugi A.N. (2013). Nutritional composition of the pumpkin (*cucurbita* spp.) Seed cultivated from selected regions in kenya. *Journal of Horticulture Letters*, 3(1), 17–22.
- Khan M.I., Lee H.J., Kim H.J., Young H.I., Lee H., Jo C. (2016). Marination and physicochemical characteristics of vacuum-aged duck breast meat. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 29, 1639.
- Khan M.R., Busquets R., Azam M. (2021). Blueberry, raspberry, and strawberry extracts reduce the formation of carcinogenic heterocyclic amines in fried camel, beef and chicken meats. *Food Control*, 123(5), 107852.
- Kim H.W., Hwang K.E., Song D.H., Kim Y.J., Lim Y.B., Choi J.H., Kim H.Y., Kim C.J. (2014). Effects of soy sauce on physicochemical and textural properties of tumbled chicken breast. *Poultry Science*, 93, 680–686.
- Kim H.J., Kim H.J., Jeon J.J., Nam K.C., Shim K.S., Jung J.H., Kim K.S., Choi Y., Kim S.H., Jang A. (2020). Comparison of the quality characteristics of chicken breast meat from conventional and animal welfare farms under refrigerated storage. *Poultry Science*, 99, 1788–1796.
- Kiprotich S., Mendonça A., Dickson J., Shaw A., Thomas-Popo E., White S., Moutiq R., Ibrahim S.A. (2021). Thyme oil enhances the inactivation of *Salmonella enterica* on raw chicken breast meat during marination in lemon juice with added *Yucca schidigera* extract. *Frontiers in Nutrition*, 7(2), 619023.

- Kumar Y., Singh P., Pandey A., Kumar Tanwar V., Kumar R.R. (2017). Augmentation of meat quality attributes of spent hen breast muscle (Pectoralis Major) by marination with lemon juice vis-a-vis ginger extract. *Journal of Animal Research*, 7(3), 523–529.
- Kurp L., Danowska-Oziewicz M., Kłebukowska L. (2022). Sousvide cooking effects on physico-chemical, microbiological and sensory characteristics of pork loin. *Applied Sciences*, 12, 2365.
- Lytou A.E., Nychas G.J.E., Panagou Z. (2018). Effect of pomegranate-based marinades on the microbiological, chemical and sensory quality of chicken meat: A metabolomics approach. *International Journal of Food Microbiology*, 267, 42–53.
- Mantzourani I., Daoutidou M., Nikolaou A., Kourkoutas Y., Alexopoulos A., Tzavellas I., Dasenaki M., Thomaidis N., Plessas S. (2023). Microbiological stability and sensorial valorization of thyme and oregano essential oils alone or combined with ethanolic pomegranate extracts in wine marinated pork meat. *International Journal of Food Microbiology*, 386, 2, 110022.
- Meneses R., Teixeira P. (2022). Marination as a Hurdle to Microbial Pathogens and Spoilers in Poultry Meat Products: A Brief Review. *Applied Sciences*, 12(22), 11774.
- Ormian M., Topczewska J., Krupa W., Augustyńska-Prejsnar A., Lechowska J. (2021). Wykorzystanie soku z cytryn i dodatków ziołowych w procesie marynowania mięsa indyków. [W:] C. Puchalski, G. Gajdek (red.): *Potencjał biologiczny żywności*. Wydawnictwo UR, 57–66.
- Patriani P., Hafid H., Sepriadi S. (2021). The effect of marination using sweet basil (*Ocimum basilicum*) spices on the physical quality of local chicken meat. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 782(2), 022075.
- Rahman S. M.E., Islam S., Pan J., Kong D., Xi Q., Du Q., Yang Y., Wang J., Oh D.H., Han R. (2023). Marination ingredients on meat quality and safety: a review. *Food Quality and Safety*, 7, 1–17.
- Ramírez N., Vega-Castro O., Simpson R., Ramírez Nuñez H. (2021). Effect of pulsed vacuum and laser microporations on the potential acceleration of chicken meat marination. *Journal of Food Process Engineering*, 44(3), 3627.
- Rostamani M., Baghaei H., Bolandi M. (2021). Prediction of top round beef meat tenderness as a function of marinating time based on commonly evaluated parameters and regression equations. *Food Science & Nutrition*, 9(9), 5006–5015.
- Rupasinghe R.A., Alahakoon A.U., Alakolanga A.W., Jayasena D.D. (2022). Oxidative stability of vacuum-packed chicken wings marinated with fruit juices during frozen storage. *Food Science and Animal Resources*, 42(1), 61.
- Serdaroğlu M., Yüncü-Boyacı Ö., Karaman M. (2024). Enhancing meat quality through marination: principle, ingredients and effects. *Food Science and Applied Biotechnology*, 7(2), 162–181.
- Serdaroğlu M., Yüncü-Boyacı Ö., Karaman M., Kavuşan H.S. (2023). Investigating the influence of rosehip tea marination on lipid oxidation in turkey breast meat. *Meat Technology*, 64(2), 344–349.
- Shtonda O., Semeniuk K. (2021). Aspects of the influence of vegetable-oil-based marinade on organoleptic and physicochemical indicators of the quality of semi-finished natural marinated meat products. *Slovak Journal of Food Sciences*, 15, 513–520.
- Siroli L., Baldi G., Soglia F., Bukvicki D., Patrignani F., Petracci M., Lanciotti R. (2020). Use of essential oils to increase the safety and the quality of marinated pork loin. *Foods*, 9, 987.
- Sokołowicz Z., Augustyńska-Prejsnar A. (2016). Wpływ marynowania na jakość mięśni piersiowych kurcząt brojlerów. *Wiadomości Zootechniczne*, 1, 44–52.
- Ünal K., Alagöz E., Cabi A., Sarıçoban C. (2020). Determination of the effect of some acidic solutions on the tenderness and quality properties of chicken breast meat. *Selcuk Journal of Agriculture and Food Sciences*, 34(1), 19–23.
- Ünal K., Alagöz E., Çelik İ., Sarıçoban C. (2022). Marination with citric acid, lemon, and grapefruit affects the sensory, textural, and microstructure characteristics of poultry meat. *British Poultry Science*, 63(1), 31–38.
- Ursachi C.S., Perta-Crisan S., Munteanu F.D. (2020). Strategies to improve 5 meat products' quality. *Foods*, 9, 1883.

- Visan V.G., Chis M.S., Păucean A., Muresan V., Puscas A., Stan L., Vodnar D.C., Dulf F.V., Tibulcă D., Vlaic B.A., Rusu I.E., Kadar C.B., Vlaic, A. (2021). Influence of Marination with Aromatic Herbs and Cold Pressed Oils on Black Angus Beef Meat. *Foods*, 10, 2012.
- Zhang J., Bowker B., Pang B., Yang Y., Yu X., Zhuang H. (2024). Changes in meat compositions in marinated broiler *Pectoralis major* with the woody breast condition. *LWT – Food Science and Technology*, 197, 115884.
- Zhuang H., Bowker B. (2016). Effect of marination on lightness of broiler breast fillets varies with raw meat color attributes. *LWT – Food Science and Technology*, 69, 233–235.
- Żochowska-Kujawska J., Kotowicz M., Lachowicz K., Sobczak M. (2017). Influence of marinades on shear force, structure and sensory properties of home-style Jerky. *Acta Scientiarum Polonorum*, 413–420.

The effect of marinating with pumpkin seed oil and lemon juice on the quality of poultry products

Abstract: The aim of the study was to assess the use of pumpkin seed oil and lemon juice as a marinade for poultry meat. The quality parameters of marinated products were assessed in terms of physical characteristics (marinade absorption, pH, colour, shear force), microbiological safety, product efficiency and sensory characteristics. The study showed that a mixture of pumpkin seed oil and lemon juice can be used as an acidic marinade for poultry meat, allowing for obtaining a safe product. It improves the tenderness of both raw marinated meat and the product after heat treatment. In the organoleptic assessment, the finished products were accepted by the evaluation team regardless of the research group. The highest scores for taste, intensity of smell and general appearance were obtained by products marinated in a marinade with a 70% share of pumpkin seed oil and 20% of lemon juice. A mixture of pressed pumpkin seed oil and lemon juice as a marinade for broiler chicken breast meat may meet consumer expectations regarding the use of natural food additives.

Kinga Tworek¹, Małgorzata Ormian^{2,*}, Anna Augustyńska-Prejsnar²,
Jadwiga Topczewska²

WPŁYW DODATKU SUSZONYCH LIŚCI BYLICY POSPOLITEJ NA CECHY JAKOŚCIOWE DROBIOWEGO PRODUKTU MIĘSNEGO

Streszczenie: Celem badania była ocena wpływu dodatku suszonych liści bylicy pospolitej na wybrane cechy jakościowe i bezpieczeństwo mikrobiologiczne pulpetów drobiowych. Badano dwa warianty mielonych produktów drobiowych z udziałem suszonych liści bylicy pospolitej (grupa B₁ – 0,50% i grupa B₂ – 1%). Grupę kontrolną (K) stanowiły produkty bez udziału bylicy pospolitej. Ocenę jakości pulpetów przeprowadzono na podstawie pomiaru pH, barwy, siły cięcia, oceny organoleptycznej i mikrobiologicznej. Dodatek bylicy pospolitej spowodował wzrost kwasowości pulpetów, wpłynął na pociemnienie produktu (spadek parametru L*), zmniejszenie udziału barwy czerwonej (a*) i żółtej (b*). Ocena organoleptyczna wykazała, że dodatek 0,50% bylicy pospolitej do mielonych produktów drobiowych wpłynął korzystnie na natężenie i pożądalność smaku oraz ogólną pożądalność. Po przechowywaniu chłodniczym produkty wykazywały podobne tendencje zmian jakości i były bezpieczne mikrobiologicznie.

Wprowadzenie

Obecne trendy konsumpcyjne coraz bardziej koncentrują się na zdrowej żywności oraz zmianie dotychczasowych nawyków żywieniowych, co wynika ze wzrostu świadomości społeczeństwa na temat wpływu diety na zdrowie i jakość życia [Czernyszewicz i in. 2022]. Prawidłowe funkcjonowanie organizmu człowieka nie opiera się wyłącznie na aktywności fizycznej, ale musi uwzględniać również prawidłowe odżywianie [Gardocka-Jałowiec i Szalonka 2023]. Żywność postrzegana jest jako kluczowy czynnik wpływający na zapobieganie niektórym chorobom związanym z dietą. Obecnie trendy w przemyśle spożywczym zmierzają w kierunku poprawy walorów prozdrowotnych żywności [Hung i in. 2016]. Aby zwiększyć jej wartość odżywczą i jakość ogólną, stosuje się dodatki funkcjonalne. Uważa się, że głównym źródłem składników funkcjonalnych są przede wszystkim

¹ Studentka kierunku Technologia Żywności i Żywnienie Człowieka, Wydział Technologiczno-Przyrodniczy, Uniwersytet Rzeszowski, ul. Zelwerowicza 4, 35-601 Rzeszów.

² Zakład Produkcji Zwierzęcej i Oceny Produktów Drobiarskich, Wydział Technologiczno-Przyrodniczy, Uniwersytet Rzeszowski, ul. Zelwerowicza 4, 35-601 Rzeszów.

* mormian@ur.edu.pl

surowce pochodzenia roślinnego [Domínguez i in. 2021, Manessis i in. 2020, Efenberger-Szmechtyk i in. 2021, Munekata i in. 2020]. Produkcja żywności o większym wpływie na zdrowie opiera się na wzbogacaniu produktów składnikami prozdrowotnymi. Mięso i przetwory mięsne wydają się być dobrą matrycą do projektowania innowacyjnych artykułów [Pogorzelska-Nowicka i in. 2018]. Z tego też względu coraz większą popularnością wśród konsumentów cieszy się mięso drobiowe, które jest cennym składnikiem diety człowieka, a jego produkcja od kilku lat należy do najszybciej rozwijających się segmentów rynku mięsnego na świecie. W Polsce obserwuje się stały wzrost produkcji i spożycia mięsa drobiowego. Do jego wzrostu przyczyniają się wartość odżywcza i dietetyczna, atrakcyjna i przystępna cena, dostępność surowca oraz krótki czas przygotowania [Grzybowska-Brzezińska i in. 2023, Połtowicz i in. 2020]. Możliwość modyfikacji składu sprawia, że mięso drobiu może być dobrym surowcem do produkcji żywności o charakterze funkcjonalnym [Ismail i Joo 2017, Nusairat i in. 2022, Sokołowicz in. 2016].

Rosnącą popularnością cieszą się naturalne dodatki roślinne, które są w stanie skutecznie wzbogacić wartość odżywczą produktów mięsnych, a także wpływać pozytywnie na walory sensoryczne czy też poprawiać trwałość mięsa [Kyriakopoulou i in. 2021, Olvera-Aguirre i in. 2023, Aminzare i in. 2019, Zinchenko i Slyva 2022, Petcu i in. 2023, Zhou i in. 2023, Gantner i Stokowska 2015]. W ostatnim czasie szczególną popularność w tym zakresie zdobyła bylica pospolita, co jest spowodowane specyficznymi właściwościami, a także dostępnością tej rośliny [Zamorska 2021]. Warto również zaznaczyć, że bylica w wielu kulturach traktowana jest jako naturalna przyprawa nadająca daniom niepowtarzalny smak [Możdżeń i in. 2021].

Bylica pospolita (*Artemisa vulgaris* L.) jest gatunkiem należącym do rodziny astrowatych [Kim i in. 2008, Zamorska 2021]. W przemyśle spożywczym może być stosowana w całości, w postaci sproszkowanej czy w formie ekstraktu [Gawlik i in. 2016]. Sama bylica pospolita charakteryzuje się bardzo niską kalorycznością, która została ustalona na poziomie 46 kcal na 100 gram [Sarath i in. 2017]. Łącznie 79% suchej masy tej rośliny stanowią węglowodany, 12% białko, natomiast 9% to tłuszcze [Ryu i in. 2013]. Warto również wskazać, że wartość całkowitego błonnika pokarmowego w 100 gramach bylicy pospolitej ustalono na 7,8, co jest bardzo wysokim jego udziałem w tej roślinie. Ponadto zawiera ona w swoim składzie niezbędne aminokwasy (walina, fenyloalanina, izoleucyna, leucyna, treonina, histydyna) [Kim i in. 2015]. W kontekście wartości odżywczej bylica charakteryzuje się wysoką zawartością witamin A, K, C, E, witamin z grupy B oraz składników mineralnych (potas, wapń, fosfor, sód, żelazo, cynk, miedź i mangan) [Slimek i in. 2022].

W ostatnim czasie duże zainteresowanie zyskują wyroby garmażeryjne, a mięso drobiu jest częstym surowcem wykorzystywanym do ich produkcji. Są to artykuły zaliczane do żywności wygodnej, czyli wyrobów o różnym stopniu przetworzenia

i niewielkim czasie potrzebnym do przygotowania ich do spożycia [Maciejewski 2020]. Liczną grupę produktów garmażeryjnych stanowią wyroby z mięsa rozdrobnionego. Występują one w postaci uformowanych odpowiednio farszów mięsnych z dodatkami funkcjonalnymi i przyprawami nadającymi im odpowiednie walory sensoryczne [Kuchlewska 2018].

Celem badań była ocena wpływu dodatku suszonych liści bylicy pospolitej na cechy jakościowe pulpetów drobiowych.

Materiał i metody badań

Do produkcji pulpetów wykorzystano mięśnie piersiowe kurcząt brojlerów pochodzące z zakupu oraz liście bylicy pospolitej w proszku „Dary Natury” (Koryciny, Polska) posiadające certyfikat produktu ekologicznego. Pozostałe składniki zakupiono w sklepie ze zdrową żywnością.

Przed wykonaniem pulpetów surowe mięśnie piersiowe poddano ocenie jakościowej (pH, barwa, kruchość, wodochłonność). Oceny kwasowości badanych próbek dokonano za pomocą pH-metru Hanna HI 99163 (Hanna Instrument Company, Woonsocket, RI, USA) wyposażonego w elektrodę FC232 (Hanna Instrument Company, Woonsocket, USA). Parametry barwy w przestrzeni CIE $L^*a^*b^*$ (źródło światła D_{65} , obserwator standardowy 2°) oznaczono, wykorzystując kolorymetr CR-400 (Konica Minolta, Osaka, Japonia) w ścisłej zgodności z zalecaną przez producenta metodologią. Oceny barwy dokonano na świeżo pobranych próbkach mięsa ciętych wzdłuż włókien mięśniowych. W celu określenia kruchości zastosowano maszynę wytrzymałościową Zwick/Roell BT1-FR1.OTH.D14 (Zwick, CmbH&Co.KG., Ulm, Niemcy) z układem tnącym jednonożowym Warnera-Bratzlera przy prędkości głowicy $100 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$ i sile wstępnej 0,2 N. Próbkę mięsa miały kształt prostopadłościanów o wymiarach $10 \times 10 \times 50 \text{ mm}$, natomiast pulpetów $20 \times 20 \times 50 \text{ mm}$. Wodochłonność (WHC) próbek, rozumiana jako zdolność mięsa do zatrzymywania całości lub części własnej i dodanej wody, została określona na podstawie objętości wolnej wody wyciśniętej z próbki za pomocą bibuły filtracyjnej Whatman nr 2, metodą Grau’a-Hamma.

Przed rozpoczęciem przygotowania pulpetów schłodzone mięso z piersi ($2^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$) pokrojono w kostki o wymiarach 3–4 cm i zmielono dwukrotnie w maszynce do mięsa (Kenwood Limited, Havant, Wielka Brytania) o oczkach o średnicy 3 mm, a następnie zważono (waga laboratoryjna Axis, Polska) z dokładnością do 0,01 g i podzielono na 3 części. Grupę kontrolną (grupa K) stanowiły standardowe mielone produkty drobiowe w postaci pulpetów bez dodatku bylicy pospolitej. W badanych wariantach zastosowano dodatek sproszkowanych liści bylicy pospolitej, grupa B₁ – 0,50% i grupa B₂ – 1% (tabela 1). W każdej grupie wszystkie składniki wprowadzono do mechanicznej mieszarki do mięsa z mieszałem ze stali nierdzewnej (Kenwood Major Titanium, Kenwood Limited,

Havant, Wielka Brytania) i mieszano przez 5 min do równomiernego rozprowadzenia składników. Z przygotowanych mas mięsnych formowano pulpety o gramaturze 45 g.

Tabela 1. Skład mielonych produktów drobiowych (%)

Składniki	Grupa K	Grupa B ₁	Grupa B ₂
Mięso z mięśni piersiowych kurcząt brojlerów	79,50	79,00	78,50
Kasza manna	10,00	10,00	10,00
Masa jajowa	5,25	5,25	5,25
Cebula	3,50	3,50	3,50
Sól	1,50	1,50	1,50
Pieprz	0,15	0,15	0,15
Majeranek	0,10	0,10	0,10
Bylica pospolita (postać sproszkowana)	–	0,50	1,00

Źródło: opracowanie własne

Obróbka termiczna pulpetów z grupy kontrolnej (K) oraz grup z dodatkiem bylicy pospolitej (grupa B₁, B₂) polegała na pieczeniu w piekarniku elektrycznym (AEG, model BSK792320M, Niemcy) w temperaturze 180°C do osiągnięcia w centrum geometrycznym próbki temperatury 78°C ± 2°C mierzonej za pomocą cyfrowego termometru z zewnętrzną sondą typu K. Próbkę zważono (waga laboratoryjna Axis, Polska) przed i po procesie pieczenia z dokładnością do 0,01 g. Następnie wszystkie otrzymane warianty pulpetów schłodzono wstępnie do temperatury pokojowej (20°C ± 2°C), zapakowano w folię spożywczą i przechowywano w warunkach chłodniczych (FK v36/10 Liebherr, Niemcy) w temperaturze 4°C ± 2°C.

Ocenę jakości pulpetów drobiowych przeprowadzono na podstawie oceny cech fizycznych: pH, barwy, siły cięcia, oceny organoleptycznej i oceny mikrobiologicznej. Ocenę cech fizycznych i mikrobiologicznych przeprowadzano każdorazowo na 10 losowo wybranych próbkach z każdego wariantu, wykonując dwa powtórzenia. Badania cech fizycznych i organoleptycznych wykonano w pierwszym dniu przechowywania chłodniczego. Ocenę jakości mikrobiologicznej przeprowadzono po 24 godzinach przechowywania produktów. Wszystkie analizy powtórzono w trzecim dniu przechowywania chłodniczego. W celu oceny mikrobiologicznej za pomocą sterylnych skalpeli pobrano po 10 g z wnętrza pulpeta. Następnie przeniesiono je do sterylnego worka Stomacher zawierającego 45 ml 0,1% buforowanej wody peptonowej (BPW, pH 7,0, Basingstoke, Wielka Brytania) i homogenizowano przez 60 sekund w urządzeniu Stomacher w temperaturze 20°C ± 2°C. Dla każdej próbki wykonano odpowiednie seryjne rozcieńczenia dziesiętne w 0,1% roztworze BPW. Powierzchnię suchego podłoża pokryto

0,1 ml seryjnych rozcieńczeń przygotowanych próbek. Po dwóch dniach inkubacji w temperaturze 30°C zliczono ogólną liczbę bakterii tlenowych (jednostki tworzące kolonie – JTK), na agarze tryptonowo-sojowym (TSA, Oxoid, Wielka Brytania), a po 48–72 godzinach inkubacji w temperaturze 25°C zliczono liczbę rodzajów *Pseudomonas* na agarze *Pseudomonas* uzupełnionym o CFC/CN (PA, Oxoid, Wielka Brytania).

Ocenę organoleptyczną przeprowadził zespół składający się z 7 osób (studenti i pracownicy Zakładu Produkcji Zwierzęcej i Oceny Produktów Drobiarskich Uniwersytetu Rzeszowskiego). Schłodzone do temperatury 20°C ± 2°C próbki pieczonych pulpetów pokrojono na plastry o wymiarach 1×1×3 cm i oceniano metodą Baryłko-Pikielnej i Matuszewskiej [2009] według 5-punktowej skali hedonicznej. W ocenie uwzględniono następujące cechy: natężenie oraz pożądalność zapachu i smaku, barwę, kruchość i ogólną pożądalność. Ocenę przeprowadzono w pomieszczeniu, które było wolne od obcych zapachów, w warunkach temperatury pokojowej (20°C ± 2°C).

Otrzymane wyniki zostały poddane analizie statystycznej za pomocą programu Statistica 13.3. Wyniki przedstawiono w postaci średniej arytmetycznej ($\bar{x}$) oraz odchylenia standardowego (SD). Do wskazania istotności różnic ($p \leq 0,05$) pomiędzy średnimi w grupach wykorzystano test Tukeya.

Wyniki i dyskusja

Kwasowość mięśni wywiera wpływ na ich wodochłonność, barwę oraz kruchość [Mir i in. 2017, Augustyńska-Prejsnar i in. 2018]. Wraz ze zmniejszaniem się wartości parametru pH mięśni zwiększa się ich stabilność mikrobiologiczna i wartość przechowalnicza [Połtowicz i in. 2020, Beauclercq i in. 2020]. Surowe mięśnie piersiowe przeznaczone do produkcji pulpetów odznaczały się kwasowością na poziomie 5,82, co świadczy o dobrej jakości mięsa użytego do badań (tabela 2). W badaniach Sumague i współpracowników [2016] surowe mięśnie piersiowe kurcząt brojlerów odznaczały się kwasowością na poziomie 6,12, natomiast Hassanin i współpracownicy [2017] otrzymali wartość pH dla surowych mięśni piersiowych równą 5,81. Większe zakwaszenie mięśni piersiowych odnotował Mahdavi-Roshan i współpracownicy [2022].

Ważną cechą fizyczną, która informuje o świeżości i przydatności technologicznej mięsa, jest jego barwa. Kolor świeżego mięsa wynika głównie z fizycznej struktury mięśni oraz ilości i formy barwników mięśniowych [Orkusz 2015, Mir i in. 2017]. W badaniach własnych składowe barwy wyniosły dla L* (jasność) – 57,33, a* (udział barwy czerwonej) – 1,97 oraz b* (udział barwy żółtej) – 7,88 (tabela 2). W badaniach przeprowadzonych przez Gornowicz i współpracowników [2017] oraz Węglarz i współpracowników [2020] wartość składowych barwy L*a*b* była wyższa niż w badaniach własnych.

Kruchość mięsa odnosi się do jego struktury fizycznej i cechy sensorycznej, która określa stopień delikatności i łatwości rozbijania mięsa. To istotna cecha oceniana przez konsumentów wpływająca na doświadczenie smakowe [Orkus 2015]. Siła cięcia surowych mięśni piersiowych kurcząt brojlerów w badaniach własnych wyniosła 16,17 N (tabela 2). Mniejszą kruchość mięśni piersiowych kurcząt brojlerów uzyskali w badaniach Sokołowicz i Augustyńska-Prejsnar [2016] oraz Węglarz i współpracownicy [2020].

Tabela 2. Wyniki oceny cech fizykochemicznych surowych mięśni piersiowych kurcząt brojlerów ($\bar{x} \pm SD$)

Wyszczególnienie	Surowe mięśnie piersiowe
pH	5,82 $\pm$ 0,03
Barwa L* a* b*	57,33 $\pm$ 2,881,97 $\pm$ 0,567,88 $\pm$ 1,11
Siła cięcia (N)	16,17 $\pm$ 1,45
Wodochłonność (%)	32,38 $\pm$ 2,27

Źródło: opracowanie własne

Wodochłonność to zdolność mięsa do absorbowania wody. Ma istotny wpływ na teksturę, soczystość i inne cechy sensoryczne mięsa, a także na jego właściwości technologiczne podczas obróbki termicznej [Mir i in. 2017, Sumague i in. 2016]. Wyniki własne wykazały, że wodochłonność surowych mięśni piersiowych kurcząt brojlerów wyniosła 32,38% (tabela 2). Mniejszą wodochłonność mięśni piersiowych kurcząt brojlerów stwierdzili Tereszkievicz i współpracownicy [2018] oraz Gornowicz i współpracownicy [2017].

Badania wykazały, że dodatek sproszkowanych liści bylicy pospolitej miał istotny wpływ ($p \leq 0,05$) na wartość pH pulpetów. Wprowadzenie dodatku do produktu spowodowało zwiększenie jego kwasowości (tabela 3). Uzyskane rezultaty badań są zbieżne z wynikami Kim [2011] oraz Hwang i współpracowników [2011], którzy wykazali większą kwasowość emulgowanej kielbasy wieprzowej oraz nuggetsów drobiowych z udziałem bylicy pospolitej. Natomiast w badaniach przeprowadzonych przez Hwang i współpracowników [2015] dodatek bylicy do kielbasy drobiowej nie wpłynął na wartość pH wyrobu. W badaniach własnych wykazano, że w pulpetach przechowywanych chłodniczo niezależnie od zastosowanego dodatku miał miejsce wzrost pH (tabela 3). Kim [2011] stwierdził, że w miarę wydłużania się czasu przechowywania obecność bylicy powodowała obniżenie pH produktu. W badaniach Hwang i współpracowników [2014b] nie wykazano wpływu dodatku bylicy i kwasu askorbinowego na kwasowość kielbasy wieprzowej po 28 dniach przechowywania w warunkach chłodniczych.

Tabela 3. Ocena cech jakościowych pulpetów drobiowych

Badane cechy	Dzień przechowywania	Grupa K	Grupa B ₁	Grupa B ₂
pH	1	^B 6,05 ^b ± 0,03	^B 6,10 ^a ± 0,03	^B 6,09 ^a ± 0,01
	3	^A 6,16 ^b ± 0,02	^A 6,19 ^a ± 0,01	^A 6,20 ^a ± 0,01
Barwa zewnętrzna				
L*	1	^B 61,21 ^a ± 2,73	50,57 ^b ± 2,19	48,96 ^b ± 2,45
	3	^A 65,55 ^a ± 2,95	51,23 ^b ± 2,57	48,22 ^c ± 2,54
a*	1	5,78 ^a ± 1,01	3,29 ^b ± 1,03	2,90 ^b ± 0,98
	3	5,31 ^a ± 0,88	3,07 ^b ± 0,96	3,23 ^b ± 0,92
b*	1	^A 16,64 ^a ± 1,51	15,06 ^b ± 1,65	15,34 ^b ± 1,85
	3	^B 13,14 ^b ± 1,30	14,33 ^a ± 1,39	14,88 ^a ± 1,01
Barwa na przekroju				
L*	1	^B 67,93 ^a ± 2,71	^B 57,48 ^b ± 2,29	^B 56,86 ^b ± 2,79
	3	^A 72,03 ^a ± 2,89	^A 60,50 ^b ± 2,81	^A 58,89 ^b ± 2,67
a*	1	^B 4,58 ^a ± 1,08	^B 1,92 ^b ± 0,66	1,69 ^b ± 0,78
	3	^A 5,68 ^a ± 1,12	^A 2,40 ^b ± 0,96	2,00 ^b ± 0,89
b*	1	^B 5,41 ^b ± 1,06	^B 8,47 ^a ± 1,52	9,23 ^a ± 1,43
	3	^A 8,00 ^b ± 1,36	^A 10,59 ^a ± 1,14	9,71 ^a ± 1,68
Siła cięcia [N]	1	14,37 ^a ± 1,24	15,26 ^a ± 1,07	12,92 ^b ± 1,19
	3	13,54 ^a ± 1,53	14,39 ^a ± 1,27	11,96 ^b ± 1,48
Ogólna liczba bakterii tlenowych [log jtk/g]	1	^B 2,16 ^a ± 0,10	2,04 ^{ab} ± 0,19	nd
	3	^A 3,13 ^a ± 0,12	2,89 ^b ± 0,45	2,97 ^b ± 0,45
<i>Pseudomonas</i>	1	^B 2,44 ^a ± 0,13	^B 1,98 ^b ± 0,13	^B 1,90 ^b ± 0,29
	3	^A 3,07 ^a ± 0,19	^A 2,64 ^b ± 0,13	^A 2,05 ^c ± 0,27

Objaśnienie: grupa K – pulpety bez dodatku bylicy pospolitej (n = 10), grupa B₁ – pulpety z dodatkiem 0,50% bylicy pospolitej (n = 10), grupa B₂ – pulpety z dodatkiem 1% bylicy pospolitej (n = 10); a, b, c – średnie oznaczone różnymi literami w wierszach są istotne przy p ≤ 0,05, A, B – średnie oznaczone różnymi literami w kolumnach są istotne przy p ≤ 0,05

Źródło: opracowanie własne

Analizując wyniki własnych badań dotyczących oceny barwy zewnętrznej pulpetów, wykazano, że dodatek sproszkowanych liści bylicy pospolitej miał istotny wpływ (p ≤ 0,05) na jasność (parametr L*), udział barwy czerwonej (parametr a*) oraz udział barwy żółtej (parametr b*) pulpetów drobiowych (tabela 3). Wraz ze zwiększającą się ilością tego dodatku w pulpetach wartość parametru L* zmniejszała się. Uzyskane rezultaty badań korespondują z badaniami Kim [2011], gdzie zastosowano dodatek bylicy pospolitej do kiełbasy wieprzowej, oraz Hwang i współpracowników [2014a], którzy wzbogacili nią nuggetsy drobiowe. W badaniach własnych wprowadzenie do receptury dodatku bylicy spowodowało

zmniejszenie udziału barwy czerwonej (a^*) na powierzchni zewnętrznej pulpetów we wszystkich terminach oceny (tabela 3). Badania Hwang i współpracowników [2013] wykazały zwiększenie parametru a^* w smażonych nuggetsach drobiowych z dodatkiem bylicy. W przypadku barwy powierzchni pulpetów bezpośrednio po wytworzeniu stwierdzono mniejszy udział barwy żółtej (parametr b^*). Natomiast wraz z czasem przechowywania udział barwy żółtej wzrastał (tabela 3). W badaniach Kim [2011] również wykazano wpływ dodatku bylicy na udział tonu żółtego b^* w produkcie mięsnym przechowywanym chłodniczo.

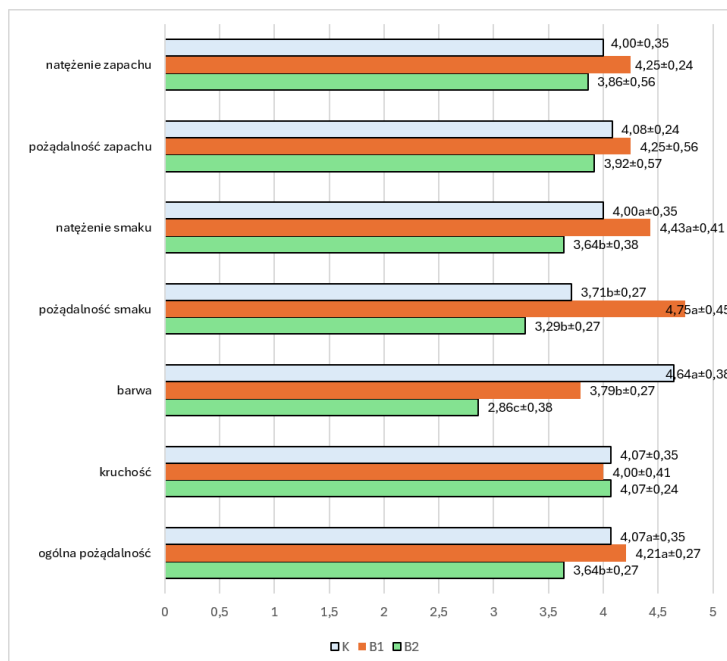
Wyniki własne w badaniach dotyczących oceny barwy na przekroju pulpetów w pierwszym terminie oceny oraz po przechowywaniu chłodniczym wykazały, że dodatek bylicy pospolitej wpłynął istotnie ($p \leq 0,05$) na jasność, udział barwy czerwonej oraz udział barwy żółtej pulpetów (tabela 3). Wraz z procentowym zwiększeniem ilości bylicy pospolitej barwa pulpetów ciemniała (spadek parametru L^* oraz a^*). Podobne wyniki uzyskał Kim [2011] w badaniach dotyczących emulgowanej kielbasy wieprzowej z dodatkiem bylicy. Również Hwang i współpracownicy [2014a] wykazali pociemnienie barwy (spadek parametru L^*) w nuggetsach wraz ze zwiększeniem udziału tego dodatku oraz w nuggetsach drobiowych smażonych na głębokim tłuszczu [Hwang i in. 2013]. W pulpetach z dodatkiem bylicy w obu terminach oceny stwierdzono wzrost wartości parametru b^* (tabela 3). Podobne wyniki uzyskał Hwang i współpracownicy [2014b] w badaniach dotyczących kielbasy wieprzowej, do której dodano bylicę i kwas askorbinowy.

Wyniki badań własnych wykazały, że dodatek sproszkowanych liści bylicy pospolitej wpłynął istotnie ($p \leq 0,05$) na pomiar siły cięcia pulpetów w obu terminach oceny. Mniejszą siłę cięcia stwierdzono w produktach z 1% udziałem tego dodatku (tabela 3). Natomiast nie wykazano istotnego wpływu czasu przechowywania ($p > 0,05$) na parametr siły cięcia niezależnie od badanego wariantu. W badaniach Kim [2011] odnotowano, że dodatek bylicy do emulgowanej kielbasy wieprzowej korzystnie wpłynął na jej kruchość. Hwang i współpracownicy [2014b] również wykazali, że w kielbasie wieprzowej z dodatkiem bylicy pospolitej i kwasu askorbinowego siła cięcia po 28 dniach przechowywania chłodniczego była mniejsza.

W przeprowadzonych badaniach stwierdzono, że wykorzystanie dodatku bylicy istotnie wpłynęło na zahamowanie ogólnej liczby drobnoustrojów i bakterii *Pseudomonas* (tabela 3). Bardziej odporne na wzrost drobnoustrojów w trzecim dniu przechowywania były próbki mielonych produktów drobiowych z udziałem bylicy (tabela 3). Można zatem przypuszczać, że obecność w roślinie związków wykazujących właściwości przeciwdrobnoustrojowe wpłynęła na zahamowanie wzrostu drobnoustrojów i zwiększenie trwałości podczas przechowywania. Zwiększenie trwałości przechowywalniczej produktów mięsnych z dodatkiem bylicy pospolitej wykazano w badaniach Hwang i współpracowników [2014a, 2015] oraz Kim [2011].

Cechy sensoryczne są istotne z punktu widzenia konsumentów nabywających produkty mięsne. Są one zależne zarówno od jakości surowca mięsnego oraz od zastosowanych dodatków [Grzybowska-Brzezińska i in. 2023]. W badaniach własnych

wykazano, że udział dodatku bylicy pospolitej miał istotny wpływ ($p \leq 0,05$) na uzyskane wyniki oceny organoleptycznej pulpetów drobiowych (rysunek 1). Wykazano, że w grupie badawczej najwyższym natężeniem i pożądanością smaku oraz ogólną pożądanością cechowały się pieczone pulpety z dodatkiem 0,50% bylicy pospolitej.



Rysunek 1. Wyniki oceny organoleptycznej pieczonych pulpetów drobiowych

Objaśnienie: grupa K – pulpety bez dodatku bylicy pospolitej ($n = 10$), grupa B1 – pulpety z dodatkiem 0,50% bylicy pospolitej ($n = 10$), grupa B2 – pulpety z dodatkiem 1% bylicy pospolitej ($n = 10$); a, b, c – średnie w obrębie cechy oznaczone różnymi literami są istotne przy $p \leq 0,05$

Źródło: opracowanie własne

Najniższe noty oceniających uzyskały mielone produkty drobiowe z dodatkiem 1% bylicy. Badania Hwang i współpracowników [2014a] dotyczące nuggetsów drobiowych z dodatkiem ekstraktu z bylicy pospolitej i witaminy C nie wykazały znaczącej różnicy w ocenie cech sensorycznych w żadnym z badanych wariantów.

Podsumowanie

Dodatek bylicy pospolitej spowodował wzrost kwasowości mielonych produktów drobiowych. Wprowadzenie dodatku roślinnego do pulpetów drobiowych spowodowało zmniejszenie jasności (parametr L^*) w barwie zewnętrznej, jak i na przekroju. Pulpety z dodatkiem 1% sproszkowanych liści bylicy cechowała większa

kruchosć. Mielone produkty drobiowe z dodatkiem bylicy pospolitej zostały zaakceptowane przez zespół oceniający, jednak wyższe noty pod względem natężenia i pożądalności smaku oraz ogólnej pożądalności uzyskały pulpety z 0,50% dodatkiem. Trzydniowe przechowywanie pulpetów w warunkach chłodniczych nie miało znaczącego wpływu na jakość wzbogaconych produktów. Uzyskano produkty bezpieczne mikrobiologicznie.

Przedstawione wyniki badań sugerują, że dodatek suszonych liści bylicy pospolitej w ilości 0,50% do mielonych produktów drobiowych korzystnie wpłynął na ocenę cech fizycznych i sensorycznych. Stanowi ciekawą propozycję naturalnego dodatku do żywności, który można wykorzystać w przetwórstwie mięsnym.

Bibliografia

- Aminzare M., Hashemi M., Ansarian E., Bimakr M., Hassanazad Azar H., Mehraşbi M.R., Daneshamooz S., Raeisi M., Afshari A. (2019). Using natural antioxidants in meat and meat products as preservatives: A review. *Advances in Animal and Veterinary Sciences*, 7(5), 417–426.
- Augustyńska-Prejsnar A., Ormian M., Sokołowicz Z. (2018). Cechy kształtujące jakość mięsa drobiowego. *Postępy Techniki Przetwórstwa Spożywczego*, 2, 90–96.
- Baryłko-Pikielna N., Matuszewska I. (2009). *Sensory Testing of Food. Basics-Methods-Application*; Polish Society of Food Technologists. Wrocław.
- Beauclercq S., Mignon-Grasteau S., Petit A., Berger Q., Lefèvre A., Métayer-Coustard S., Tesseraud S., Emond P., Berr C., Bihan-Duval E. (2020). A Divergent Selection of Breast Meat Ultimate pH, a Key Factor for Chicken Meat Quality, is Associated With Different Circulating Lipid Profiles. *Frontiers in Physiology*, 13, 935868.
- Czernyszewicz E., Komor A., Białoskurski S., Wróblewska W., Pawlak J., Goliszek A. (2022). Trendy konsumpcyjne na rynku żywności – wybrane zagadnienia. Instytut Naukowo-Wydawniczy „Spatium”. Radom.
- Domínguez R., Pateiro M., Munekata P.E., McClements D.J., Lorenzo J.M. (2021). Encapsulation of bioactive phytochemicals in plant-based matrices and application as additives in meat and meat products. *Molecules*, 26(13), 3984.
- Efenberger-Szmechtyk M., Nowak A., Czyżowska A. (2021). Plant extracts rich in polyphenols: Antibacterial agents and natural preservatives for meat and meat products. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 61(1), 149–178.
- Gantner M., Stokowska A. (2015). Nie tylko przyprawy przedłużają trwałość mięsa. *Postępy Techniki Przetwórstwa Spożywczego*, 1, 86–95.
- Gardocka-Jałowiec A., Szalotka K. (2023). Wybrane aspekty stylu życia w perspektywie odpowiedzialności za zdrowie. *Repozytorium Uniwersytetu Wrocławskiego*, 2, 14–22.
- Gawlik R., Grzanka A., Jawor B., Czecior E. (2016). Specific immunotherapy with mugwort pollen allergoid reduce bradykinin release into the nasal fluid. *Advances Dermatol Allergol*, 33(4), 269–275.
- Gornowicz E., Pietrzak M., Stanisławski D., Steppa R., Lewko L., Kryza A. (2017). Charakterystyka jakości mięsa kurcząt rzeźnych odchowywanych ekologicznie i intensywnie. *Roczniki Naukowe Polskiego Towarzystwa Zootechnicznego*, 13(3), 33–41.
- Grzybowska-Brzezińska M., Banach J.K., Grzywińska-Rapca M. (2023). Shaping poultry meat quality attributes in the context of consumer expectations and preferences – A case study of Poland. *Foods*, 12(14), 2694.
- Hassanin F.S., Hassan M.A., Shaltout F.A., Shawqy N.A., Abd – Elhameed G.A. (2017). Chemical criteria of chicken meat. *Benha Veterinary Medical Journal*, 33(2), 457–464.

- Hung Y., Kok T.M. de, Verbeke W. (2016). Consumer attitude and purchase intention towards processed meat products with natural compounds and a reduced level of nitrite. *Meat Science*, 121, 119–126.
- Hwang K.E., Choi Y.S., Choi J.H., Kim H.Y., Kim H.W., Lee M.A., Kim C.H.J. (2011). The Antioxidative Properties of Ganghwayakssuk (*Artemisia princeps* Pamp.) Extracts Added to Refrigerated Raw Chicken Nugget Batter against Lipid Oxidation. *Korean Journal Food Science of Animal Resources*, 31(2), 166–175.
- Hwang K.E., Choi Y.S., Choi S.M., Kim H.W., Choi J.H., Lee M.A., Kim C.J. (2013). Antioxidant action of ganghwayakssuk (*Artemisia princeps* Pamp.) in combination with ascorbic acid to increase the shelf life in raw and deep fried chicken nuggets. *Meat Science*, 95(3), 593–602.
- Hwang K.E., Kim H.W., Song D.H., Kim Y.J., Ham Y.K., Choi Y.S., Lee M.A., Kim C.J. (2014a). Enhanced Antioxidant Activity of Mugwort Herb and Vitamin C in Combination on Shelf-life of Chicken Nuggets. *Korean Journal Food Science of Animal Resources*, 34(5), 582–590.
- Hwang K.E., Kim H.W., Song D.H., Kim Y.J., Ham Y.K., Lee C.H., Choi Y.S., Kim C.J. (2014b). Application of Ganghwa Mugwort in Combination with Ascorbic Acid for the Reduction of Residual Nitrite in Pork Sausage during Refrigerated Storage. *Korean Journal Food Science of Animal Resources*, 34(2), 178–184.
- Hwang K., Choi Y., Kim H., Choi M. (2015). Combined Effects of Mugwort Herb and Vitamin C on Shelf-Life of Vacuum-Packed Seasoned Pork. *Korean Society for Food Science of Animal Resources*, 35(4), 421–430.
- Ismail I., Joo S.T. (2017). Poultry meat quality in relation to muscle growth and muscle fiber characteristics. *Korean Journal for Food Science of Animal Resources*, 37(6), 873–883.
- Kim Y.J. (2011). Effect of the Addition Method of Mugwort on Antioxidant Effect, Total Plate Counts, and Residual Nitrite Content of Emulsified Sausages during Cold Storage. *Food Science of Animal Resources*, 31(1), 122–128.
- Kim J.K., Shin E.C., Lim H.J., Choi S.J., Kim C.R., Suh S.H., Shin D.H. (2015). Characterization of nutritional composition, antioxidative capacity, and sensory attributes of Seomae mugwort, a native Korean variety of *Artemisia argyi* H. Lev. & Vaniot. *Journal of Analytical Methods in Chemistry*, 1, 916346.
- Kim M.J., Han J.M., Jin Y.Y. (2008). In vitro antioxidant and anti-inflammatory activities of jaceosidin from *Artemisia princeps* Pampanini cv. Sajabal. *Archives of Pharmacal Research*, 31(4), 429–437.
- Kuchlewska M. (2018). Mięso i jego przetwory jako żywność wygodna. *Ogólnopolski Informator Masarski*, 27, 12–32.
- Kyriakopoulou K., Keppler J.K., Der Goot A.J. van (2021). Functionality of ingredients and additives in plant-based meat analogues. *Foods*, 10(3), 600.
- Maciejewski G. (2020). Zaufanie konsumentów do nowych rodzajów żywności. [W:] Dąbrowska A. (red.): Bezpieczeństwo konsumentów na rynku żywności. Oficyna Wydawnicza SGH w Warszawie, 143–155.
- Manassis G., Kalogianni A.I., Lazou T., Moschovas M., Bossis I., Gelasakis A.I. (2020). Plant-derived natural antioxidants in meat and meat products. *Antioxidants*, 9(12), 1215.
- Mahdavi-Roshan M., Gheibi S., Pourfarzad A. (2022). Effect of propolis extract as a natural preservative on quality and shelf life of marinated chicken breast (chicken Kebab). *Food Science and Technology*, 155(1), 112942.
- Mir N.A., Rafiq A., Kumara F., Singh V., Shukla V. (2017). Determinants of broiler chicken meat quality and factors affecting them: a review. *Journal of Science and Technology*, 54(10), 1–13.
- Możdżeń K., Rzepka A., Barabaszy-Krasny B. (2021). Medicinal plants supporting therapy of stress, neuroses and depression. *Medycyna Ogólna i Nauki o Zdrowiu*, 27, 182–192.
- Munekata P.E.S., Rocchetti G., Pateiro M., Lucini L., Domínguez R., Lorenzo J. M. (2020). Addition of plant extracts to meat and meat products to extend shelf-life and health-promoting attributes: An overview. *Current Opinion in Food Science*, 31, 81–87.
- Nusairat B., Tellez-Isaias G., Qudsieh R. (2022). An overview of poultry meat quality and myopathies. *IntechOpen*.

- Olvera-Aguirre G., Piñeiro-Vázquez Á.T., Sanginés-García J.R., Zárate A.S., Ochoa-Flores A.A., Segura-Campos M.R., Chay-Canul A.J. (2023). Using plant-based compounds as preservatives for meat products: A review. *Heliyon*, 9(6), e17071.
- Orkusz A. (2015). Czynniki kształtujące jakość mięsa drobiu grzebiącego. *Nauki Inżynierskie i Technologiczne*, 1, 47–60.
- Petcu C.D., Mihai O.D., Tăpăloagă D., Gheorghe-Irimia R.A., Pogurschi E.N., Militaru M., Ghimpețeanu O.M. (2023). Effects of plant-based antioxidants in animal diets and meat products: A review. *Foods*, 12(6), 1334.
- Pogorzelska-Nowicka E., Atanasov A.G., Horbańczuk J., Wierzbicka A. (2018). Bioactive compounds in functional meat products. *Molecules*, 23(2), 307.
- Połowicz K., Nowak J., Sosnowka-Czajka E., Skomorucha I. (2020). Czynniki kształtujące jakość mięsa drobiowego. [W:] Kowalska D., Połowicz K. (red.): *Chów i hodowla zwierząt gospodarskich na przestrzeni 70 lat – problemy i wyzwania*. Zespół Wydawnictw i Poligrafii IZ PIB. Kraków.
- Ryu R., Jung U.J., Kim H.J. (2013). Anticoagulant and antiplatelet activities of artemisia princeps pampanini and its bioactive components. *Preventive Nutrition and Food Science*, 18(3), 181–187.
- Sarath V.J., So C.S., Young D.W., Gollapudi S. (2017). Artemisia princeps var orientalis induces apoptosis in human breast cancer MCF-7 cells. *Anticancer Research*, 27, 3891–3898.
- Slimek V., Kudelkova L., Zapletal D. (2022). The effects of dietary supplementation of common mugwort (*Artemisia vulgaris*) meal on growth and excreted Eimeria spp. oocysts incidence in Dwarf Lop rabbit kits. *Acta Fytotechnica et Zootechnica*, 25, 194–199.
- Sokołowicz Z., Augustyńska-Prejsnar A. (2016). Wpływ marynowania na jakość mięśni piersiowych kurcząt brojlerów. *Wiadomości Zootechniczne*, 1, 44–52.
- Sokołowicz Z., Krawczyk J., Świątkiewicz S. (2016). Quality of poultry meat from native chicken breeds-a review. *Annals of Animals Science*, 16, 2, 347–368.
- Sumague M.J.V., Del Rosario O.M., Tan W.T., Santiago D.M.O., Flores F.P., Algar A.F.C., Mopera L.E., Dia V.P., Collado L.S. (2016). Physico-Chemical Composition and Functional Properties of Native Chicken Meats. *Philippine Journal of Science*, 145(4), 357–363.
- Tereszkiewicz K., Pigoń M., Molenda P., Choroszy K. (2018). Wpływ warunków przechowywania zamrażalniczego na wybrane parametry jakościowe mięsa drobiowego i wieprzowego. *Autobusy. Technika, eksploatacja, systemy transportowe*, 6, 1137–1140.
- Węglarz A., Adres K., Wojtysiak D. (2020). Slaughter value and meat quality in two strains of polish crested cockerels. *Italian Journal of Animal Science*, 19(1), 813–821.
- Zamorska M. (2021). Bylica pospolita i ekspozycje roślinno-ludzkie. *Kultura Współczesna*, 1, 60–65.
- Zhou T., Wu J., Zhang M., Ke W., Shan K., Zhao D., Li C. (2023). Effect of natural plant extracts on the quality of meat products: A meta-analysis. *Food Materials Research*, 3, 15.
- Zinchenko R., Slyva Y. (2022). Analysis of the use of plant components in the production of meat products. *Animal Science and Food Technologies*, 13(4), 19–29.

Effect of the addition of dried mugwort leaves on the quality characteristics of poultry meat products

Abstract: The aim of this study was to evaluate the effect of the addition of dried mugwort leaves on selected quality characteristics and microbiological safety of poultry meatballs. Two variants of ground poultry products with the addition of dried mugwort leaves were studied (group B₁ – 0.50% and group B₂ – 1%). The control group (K) consisted of products without the participation of common mugwort. The quality of the meatballs was assessed based on pH, colour, shear force, organoleptic and microbiological evaluation. The addition of mugwort increased the acidity of the meatballs, affected the darkening of the product (L*), reduced their redness (a*) and yellowness (b*). Sensory evaluation showed that the addition of 0.50% mugwort to the ground poultry products had a positive effect on the intensity and desirability of the flavour and overall desirability. After refrigerated storage, the products showed similar trends in quality changes and were microbiologically safe.

