

Nauki o jakości wobec oczekiwań przedsiębiorców i konsumentów

Wybrane problemy badawcze

Redakcja naukowa:

**Renata Salerno-Kochan
Stanisław Popek**

Kraków 2024

Nauki o jakości wobec oczekiwań przedsiębiorców i konsumentów

Wybrane problemy badawcze

Redakcja naukowa:

Renata Salerno-Kochan

Stanisław Popek

Kraków 2024

**Nauki o jakości wobec oczekiwań przedsiębiorców
i konsumentów
Wybrane problemy badawcze**

Redakcja naukowa:
Renata Salerno-Kochan, Stanisław Popek

Wszystkie teksty zostały poddane recenzji przed opublikowaniem

Monografia pod patronatem:



Instytutu Nauk o Jakości i Zarządzania Produktem
Uniwersytetu Ekonomicznego w Krakowie



Polskiego Towarzystwa Towaroznawczego

ISBN: 978-83-7789-769-0

Projekt okładki: Iwona Nitek

Opracowanie wydawnicze: Iwona Nitek, Karol Alichnowicz



Łukasiewicz – Instytut Technologii Eksploatacji
Wydawnictwo Naukowe

ul. K. Pułaskiego 6/10, 26-600 Radom, tel. (48) 364-42-41

e-mail: instytut@itee.lukasiewicz.gov.pl <http://www.itee.lukasiewicz.gov.pl>

Spis treści

Przedmowa	5
-----------------	---

Jakość i bezpieczeństwo produktu – zagadnienia ogólne.. 7

Polska nagroda jakości – kryteria i zasady Joanna PTASIŃSKA-MARCINKIEWICZ.....	8
---	---

Rola konsumentów w kształtowaniu i ocenie jakości produktów 15

Marki luksusowe a segment odzieży fast fashion – perspektywa konsumentów Magdalena ANKIEL, Eliza BUKOWSKA, Michał KUCIA	16
--	----

Postrzeganie, akceptacja i prognozowanie smaku gorzkiego dla czekolad Dariusz KIKUT-LIGAJ	28
--	----

Jakość i działanie preparatów antycellulitowych wzbogaconych w wybrane składniki naturalne w ocenie konsumentów Aleksandra FRITZKOWSKA, Katarzyna WYBIERALSKA	42
--	----

Zainteresowanie mieszkańców województwa podkarpackiego spożywaniem niszowych mlecznych napojów fermentowanych Jolanta BARAN, Małgorzata ŹRÓDŁO-LODA	63
--	----

Innowacje produktowe i procesowe..... 81

Wpływ procesu produkcyjnego i warunków przechowywania na świeżość i profil kwasów tłuszczowych oliwy z oliwek z pierwszego tłoczenia Ewa PYRZYŃSKA, Maciej PUKROP	82
--	----

Wpływ temperatury ogrzewania oleju arganowego na jego stabilność oksydacyjną Lidia OSTASZ, Elżbieta KONDRATOWICZ-PIETRUSZKA	95
Antioxidant activity of selected breakfast flakes available on the polish market Justyna KIEWLICZ	104
Dynamika oksydacji emulsji tłuszczowej przechowywanej w opakowaniach z politereftalanu etylenu i polilaktydu Elżbieta KONDRATOWICZ-PIETRUSZKA, Lidia OSTASZ	115
Zastosowanie technologii druku 3D w optymalizacji procesów logistycznych Artur JACHIMOWSKI	126
The potential of printed sensors in intelligent packaging for food supply chain Mariusz TICHONIUK	139
Zrównoważony rozwój w naukach o jakości.....	154
Wspólna polityka rolna Unii Europejskiej i narzędzia jej realizacji a zrównoważony rozwój w gospodarstwie rolnym Joanna PTASIŃSKA-MARCINKIEWICZ	155
Fruit and vegetable waste management: reusing and recycling strategies Katarzyna CZERNIEWICZ, Katarzyna MARCHWIŃSKA, Daniela GWIAZDOWSKA, Krzysztof JUŚ, Aleksandra OLEJNICZAK	169
Biometalurgiczne metody recyklingu metali z elektroodpadów – świadomość użytkowników sprzętu elektronicznego Jakub JASIŃSKI, Anna CIESZYŃSKA	195

Przedmowa

„Zmiana jest prawem życia.
Ci, którzy patrzą tylko w przeszłość lub teraźniejszość,
z pewnością przegapią przyszłość”

John F. Kennedy

Z ogromną satysfakcją przekazujemy w Państwa ręce monografię pt. *Nauki o jakości wobec oczekiwań przedsiębiorców i konsumentów. Wybrane problemy badawcze*, będącą owocem dorobku naukowego prezentowanego w ramach cyklicznej konferencji pt. *Nauki o zarządzaniu i jakości w badaniach i praktyce*. Tegoroczna edycja konferencji ma szczególne znaczenie, gdyż zbiegła się z Jubileuszem 100-lecia utworzenia Instytutu Towaroznawczego, protoplasty Uniwersytetu Ekonomicznego w Krakowie, który nieprzerwanie od stu lat kształtuje i rozwija nauki o jakości w Polsce. Jako prekursor w tej dziedzinie, Instytut Towaroznawczy miał kluczowy wpływ na rozwój badań nad jakością, nie tylko w kontekście towaroznawstwa, ale również w szerokim zakresie nauk o zarządzaniu, innowacjach oraz praktyce gospodarczej.

Monografia ta składa się z 14 artykułów prezentujących wyniki badań naukowych dotyczących aktualnych problemów i wyzwań w zakresie nauk o jakości, autorstwa znanych ekspertów reprezentujących ten szeroko pojęty obszar merytoryczny. Współczesne trendy w nauce o jakości coraz częściej koncentrują się na innowacjach, zrównoważonym rozwoju oraz odpowiedzialności społecznej, co znajduje swoje odzwierciedlenie w artykułach zawartych w tej monografii. Przedstawione prace ukazują interdyscyplinarny charakter współczesnych badań nad jakością, łącząc perspektywy ekonomiczne, technologiczne, środowiskowe i społeczne.

Jubileusz 100-lecia powstania Instytutu Towaroznawczego, obecnie reprezentowanego przez Instytut Nauk o Jakości i Zarządzania Produktem Uniwersytetu Ekonomicznego w Krakowie, to również doskonała okazja, aby podkreślić rolę nauk o jakości w kontekście zmieniającego się otoczenia gospodarczego i technologicznego. Z perspektywy zarówno akademickiej, jak i praktycznej jakość jest dziś kluczowym czynnikiem determinującym sukces organizacji, a nowe wyzwania związane z digitalizacją, globalizacją i zrównoważonym rozwojem wymagają ciągłego doskonalenia i adaptacji metod stanowiących arsenał naukowy nauk o jakości.

Dziękujemy wszystkim autorom i uczestnikom konferencji za ich wkład w rozwój tego interdyscyplinarnego obszaru wiedzy. Mamy nadzieję, że przedstawione w monografii opracowania będą inspiracją do dalszych badań oraz staną się cennym źródłem wiedzy dla naukowców, praktyków i studentów zainteresowanych problematyką jakości.

Renata Salerno-Kochan i Stanisław Popek

**Jakość
i bezpieczeństwo produktu
– zagadnienia ogólne**

Polska nagroda jakości – kryteria i zasady

Polish quality award – criteria and principles

Joanna PTASIŃSKA-MARCINKIEWICZ

Uniwersytet Ekonomiczny w Krakowie, Kraków;

ptasinsj@uek.krakow.pl; identyfikator ORCID: 0000-0003-4211-8085

Korespondencja: ptasinsj@uek.krakow.pl; tel.: +48 12 2937 811

Słowa kluczowe: Polska Nagroda Jakości, EFQM, zarządzanie jakością, TQM.

Streszczenie: TQM, czyli Kompleksowe Zarządzanie Jakością to filozofia zarządzania organizacją, gdyż znaczy więcej niż tylko zapewnienie produktom czy usługom wysokiej jakości. Jest sposobem zarządzania procesami, tak by zapewnić pełną satysfakcję wszystkich klientów organizacji, zarówno zewnętrznych, jak i wewnętrznych. Polska Nagroda Jakości (PNJ) przyznawana za wdrażanie filozofii TQM wzorowana jest na Modelu Doskonałości EFQM (European Foundation for Quality Management), który stanowi podstawę do opracowania kryteriów oceny organizacji uczestniczących w konkursie. Kryteria te mogą być wykorzystywane przez przedsiębiorstwa do przeprowadzenia samooceny, analizy bieżącej sytuacji organizacji i określenia działań koniecznych do realizacji strategii ciągłego doskonalenia i budowania przewagi konkurencyjnej, a więc zasad TQM. Celem artykułu jest przedstawienie aktualnych informacji na temat Polskiej Nagrody Jakości.

Keywords: Polish Quality Award, EFQM, quality management, TQM.

Abstract: Total Quality Management (TQM) is a philosophy of managing an organization, because it means more than just ensuring high-quality of products or services. It is a way of managing processes to ensure full satisfaction of all customers of the organization, both external and internal. The Polish Quality Award (PNJ) awarded for implementing the TQM philosophy is modeled on the EFQM Excellence Model (European Foundation for Quality Management), which is the basis for developing evaluation criteria for organizations participating in the competition. These criteria can be used by enterprises to conduct self-assessment, analyze the current situation of the organization and determine the actions necessary to implement the strategy of continuous improvement and build competitive advantage, i.e. the principles of TQM. The aim of this article is to present current information about the Polish Quality Award.

Wprowadzenie

TQM, czyli Kompleksowe Zarządzanie Jakością (Total Quality Management) określane jest filozofią zarządzania przez jakość, która angażuje wszystkich pracowników. Zakłada, że podstawą sukcesu organizacji jest szeroko pojęta jakość i jej ciągłe doskonalenie w celu zadowolenia klientów oraz członków organizacji i społeczeństwa (Wawak, 2015). Oznacza to, że organizacja powinna wytwarzać produkty i świadczyć usługi wysokiej

jakości, a więc takie, które w jak najwyższym stopniu spełniają oczekiwania klientów, oczywiście z uwzględnieniem kosztów, a więc w sposób ekonomiczny (Wawak, 2011). Ponieważ wymagania klientów zmieniają się nieustannie, każde przedsiębiorstwo musi ciągle dostosowywać swoje produkty i usługi do tych zmieniających się wymagań.

Założenia zarządzania przez jakość zostały opracowane m.in. przez W.E. Deminga, J. Jurata i P. Crosby'ego. Proces wdrażania filozofii TQM opisywany jest jako ciągłe doskonalenie, ciągłe dążenie do określonego ideału (Wawak, Gromczak, 2024.04.24). Opracowane przez twórców zasady TQM są jednak bardzo ogólne i na ich podstawie trudno jest ocenić, czy i w jakim stopniu zasady te, a zatem filozofia TQM, zostały wprowadzone w organizacji. Pomocne w tym zakresie wydają się być różne modele doskonałości biznesowej, tzw. Business Excellence, gdyż podstawą dążenia do doskonałości jest ciągłe poszukiwanie zmian możliwych do wprowadzania w procesach. Modele doskonałości biznesowej pozwalają zwiększyć efektywność ekonomiczną i konkurencyjność organizacji poprzez wskazanie kierunku możliwych zmian oraz ocenę mocnych i słabych stron. Wiele opracowanych modeli stanowi podstawę przyznawanych nagród jakości. Jednym z najpopularniejszych w Europie modeli jest model EFQM, który wykorzystuje Polska Nagroda Jakości (Brajer-Marczak, 2016).

Celem artykułu jest przedstawienie aktualnych informacji dotyczących Polskiej Nagrody Jakości, jej kryteriów i zasad.

Polska Nagroda Jakości

Polska Nagroda Jakości (PNJ) to najstarsze, przyznawane od 1995 roku wyróżnienie dla organizacji i osób, które „wyróżnia urzeczywistnianie filozofii jakości”, filozofii TQM (PNJ, 2024.07.12). Nagroda ta została ustanowiona przez Krajową Izbę Gospodarczą, Polskie Centrum Badań oraz Fundację Teraz Polska. Od 2022 roku partnerami nagrody są: Krajowa Izba Gospodarcza, Naczelna Organizacja Techniczna, Klub Polskie Forum ISO 9000, Polskie Stowarzyszenie Jakości Zarządzania POLISOLAB, Fundacja Rozwoju Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu (KIG, 2024.04.24). Członkiem Klubu Polskie Forum ISO 9000 jest m.in. Katedra Zarządzania Jakością Uniwersytetu Ekonomicznego w Krakowie (PF ISO 9000, 2024.07.12). Nowym organizatorem konkursu została Fundacja Qualitas. Od początku istnienia nagrody bardzo ważna była misja edukacyjna, promująca jakość, procesowe podejście i zarządzanie przez jakość (KIG, 2024.04.24).

PNJ wzoruje się na Modelu Doskonałości EFQM (European Foundation for Quality Management – Europejska Fundacja Zarządzania

Jakością), który stanowi podstawę do opracowania kryteriów oceny organizacji uczestniczących w konkursie (Wawak, Gromczak, 2024.04.24). Kryteria te stanowią jednolity standard i mogą być wykorzystywane przez przedsiębiorstwa do prowadzenia procesu samooceny, analizy bieżącej sytuacji organizacji i określenia działań koniecznych do realizacji strategii ciągłego doskonalenia i budowania przewagi konkurencyjnej. W 2019 roku zmianie uległ Model Doskonałości EFQM, a ponieważ PNJ nadal wzoruje się na tym modelu, w konsekwencji zmianie uległy także kryteria oceny PNJ (Roszak, 2024.04.24).

Nowy model oceny to siedem, a nie jak dotychczas dziewięć, kryteriów stanowiących podstawy dla skutecznego zarządzania przedsiębiorstwem, tworzące trzy grupy: kierunek, wykonanie, rezultaty (PNJ, 2024.04.25; Nenadál, 2020). W tabeli 1 przedstawiono stare i nowe kryteria oceny.

Tabela 1. Zestawienie starych i nowych kryteriów oceny PNJ

Dotychczasowe kryteria		Nowe kryteria	
Potencjał	Przywództwo	Kultura organizacyjna i przywództwo	Kierunek
	Strategia i polityka	Cel, wizja, strategia	
	Zarządzanie ludźmi	Angażowanie interesariuszy	Wykonanie
	Zasoby	Tworzenie trwałej wartości	
	Procesy	Zarządzanie bieżącą działalnością i transformacją	
Rezultaty	Satysfakcja klientów	Postrzeganie przez interesariuszy	Rezultaty
	Satysfakcja zatrudnionych		
	Współpraca z otoczeniem	Wyniki strategiczne i operacyjne	
	Efekt końcowy		

Źródło: opracowanie własne na podstawie: Brajer-Marczak R., 2016; Roszak M., 2024.04.24, Wawak S., Gromczak H., 2024.04.24.

W konkursie PNJ można ubiegać się o nagrodę na jednym z 5 poziomów: brązowy, srebrny, złoty, diamentowy i platynowy. W zależności od poziomu przedsiębiorstwo oceniane jest w zakresie: 1 z 2 kryteriów do wyboru z obszaru Kierunek (medal brązowy) lub 2 kryteriów do wyboru z 2 obszarów: Kierunek i Wykonanie (medal srebrny) lub 3 kryteriów do wyboru z każdego obszaru (medal złoty) lub 5 wybranych kryteriów ze wszystkich obszarów (statuetka diamentowa) lub wszystkich kryteriów (statuetka platynowa). Ocenę uczestników przeprowadza się dwuetapowo.

Pierwszy etap to ocena na podstawie wypełnionego dedykowanego dla danego uczestnika kwestionariusza samooceny. Opis spełnienia wymagań powinien być wzorowany na kole Deminga, a uczestnicy odpowiadają na pytania: co jest realizowane w organizacji w zakresie danego wymagania, jak stosowane rozwiązania są wdrożone w organizacji, w jaki sposób wdrożone rozwiązania są oceniane oraz w jaki sposób zaimplementowane w organizacji rozwiązania są doskonalone. Drugi etap to ocena przeprowadzana w przedsiębiorstwie. Oceny dokonuje się na podstawie 4 kryteriów: wdrożonego w organizacji podejścia, zastosowania wdrożonego podejścia, oceny zaimplementowanych rozwiązań, a także ich doskonalenia (Roszak, 2024.04.24).

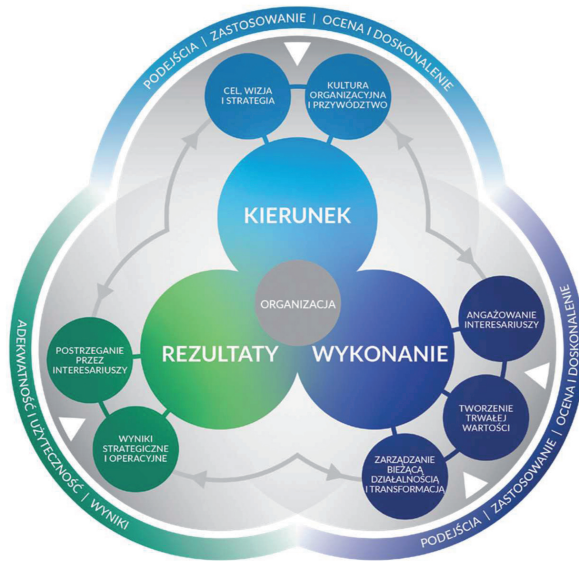
Zestawy kryteriów pozwalają za pomocą pytań i przyznawanych punktów określić, w jakim stopniu zostały wdrożone zasady TQM. Warto zauważyć, że na poziomie szczegółowym model EFQM oraz Polska Nagroda Jakości (PNJ) wykraczają znacznie poza ramy wymagań norm ISO 9000 (Wawak, Gromczak, 2024.04.24).

Nowy Model Doskonałości EFQM

Model EFQM jest najczęściej stosowanym modelem zarządzania, który powstał ponad 30 lat temu. W ciągu tych lat model był kilkakrotnie aktualizowany. W 2019 roku miała miejsce ostatnia z wprowadzanych zmian, której zadaniem było dostosowanie modelu do bieżących wyzwań związanych ze zmianami, transformacją, postępem technologicznym i przemianami kulturowymi. Nowy model EFQM w mniejszym stopniu koncentruje się na ocenie organizacji, a bardziej wskazuje, w jaki sposób organizacja może wyznaczać cele i realizować w sposób zrównoważony i etyczny swoje obietnice. To narzędzie, którego podstawą jest analiza danych (Model EFQM, 2024.04.29). Służy ono do samooceny przedsiębiorstwa, na podstawie której określone są obszary do dalszego doskonalenia. Samoocena to skuteczna metoda, aby ustalić poziom dojrzałości organizacji, zaawansowania w wykorzystaniu nowych technologii oraz poziom osiągniętych rezultatów. Pozwala określić, co należy jeszcze zrobić, aby osiągnąć sukces (Kałużny, 2024.04.29).

Jak przyznają twórcy nowej wersji modelu, podstawowe zasady pozostają niezmiennie. Nadal kluczowe znaczenie ma klient, organizacja w długiej perspektywie musi być zorientowana na interesariuszy oraz kluczowe jest zrozumienie związków przyczynowo-skutkowych między wyznaczonym kierunkiem działania, sposobem realizacji i osiągniętymi wynikami (Model EFQM, 2024.04.29). Niezmiennie pozostaje także to, że model może być stosowany w każdej organizacji niezależnie od typu, wielkości, branży

czy też sektora gospodarki (Ulewicz i Rosak-Szyrocka, 2017). Stosują go zarówno przedsiębiorstwa produkcyjne, banki i instytucje finansowe, firmy zarządcze i doradcze, jak i jednostki sektora administracji czy edukacji (Wierzbic i Martusewicz, 2019).



Rys. 1. Nowy Model EFQM

Źródło: Model EFQM, 2024.04.29.

W najnowszej wersji organizacja znajduje się w samym centrum, co wyraźnie wskazuje jej znaczenie i podkreśla, że przez pryzmat dobra organizacji należy rozpatrywać wszelkie działania wynikające z Modelu (Wierzbic i Martusewicz, 2019).

Struktura Modelu EFQM to zadawane w logicznej kolejności trzy pytania:

1. „Dlaczego” – dlaczego organizacja istnieje? Jaki cel spełnia? Dlaczego wybrano daną strategię? (Kierunek);
2. „Jak” – jak organizacja zamierza zrealizować swój cel i strategię? (Wykonanie);
3. „Co” – co organizacja dotychczas osiągnęła, co zamierza osiągnąć w przyszłości? (Rezultaty).

Najważniejszy jest związek między celem i strategią organizacji a sposobem tworzenia trwałej wartości dla jej najważniejszych interesariuszy oraz osiągnięcia wybitnych rezultatów (Model EFQM, 2024.04.29). Kluczową zmianą wydaje się przypisanie większej roli ocenie tego, jak tworzyć strategię i cele oraz jak je osiągać. Warto zauważyć, że w nowym

modelu to organizacja decyduje, którzy interesariusze są kluczowi dla jej funkcjonowania i jakie jest ich znaczenie. Ponadto obok przywództwa pojawiła się kultura organizacyjna, co podkreśla jej znaczenie dla funkcjonowania organizacji. Nowością jest także to, że na grafice kryteria połączone są strzałkami, których główki wskazują w dwóch kierunkach, co symbolizuje dwustronną relację pomiędzy kryteriami (Wierzbic i Martusewicz, 2019).

Podsumowanie

W 2025 roku obchodzone będzie 30-lecie Polskiej Nagrody Jakości. Nagroda ta z roku na rok zyskuje na prestiżu i staje się coraz bardziej znana wśród organizacji różnych branż. Swoją sukces zawdzięcza temu, że jej kryteria, przedstawione w niniejszym artykule, wzorowane na Modelu EFQM, mogą być wykorzystywane przez przedsiębiorstwa do prowadzenia procesu samooceny. Nowe kryteria wydają się być bardziej przystępne i logicznie ułożone, nawiązując w swej strukturze do koncepcji ciągłego doskonalenia i koła Deminga.

Liczne badania prowadzone w Polsce i za granicą dowodzą, że przedsiębiorstwa, które stosują Model EFQM, w szczególności zdobywcy nagród jakości, uzyskują znacznie lepsze rezultaty w krótkiej i długiej perspektywie, odnotowują większy wzrost wartości akcji, większy średni wzrost sprzedaży, redukcję kosztów i wzrost przychodów operacyjnych oraz poziom zwrotu z inwestycji niż ich konkurenci (Wierzbic i Martusewicz, 2019).

„Publikacja została sfinansowana ze środków subwencji przyznanej Uniwersytetowi Ekonomicznemu w Krakowie”.

Bibliografia

1. Brajer-Marczak R. (2016). Model doskonałości EFQM z perspektywy doskonalenia procesów. *Przedsiębiorczość i Zarządzanie*. Społeczna Akademia Nauk, 17, 4/1, s. 9–25.
2. Kałużny M. (2024.04.29). Dostępne online: <https://qualitymagazyn.eu/nowy-model-doskonalosci/>.
3. Krajowa Izba Gospodarcza. (2024.04.24). Dostępne online: <https://kig.pl/polska-nagrada-jakosci-startuje-nowe-otwarcie/>.
4. Model EFQM (2024.04.29). Pobrane z: <http://fundacja.ue.wroc.pl/>.
5. Nenadál J. (2020). *The New EFQM Model: What is Really New and Could Be Considered as a Suitable Tool with Respect to Quality 4.0 Concept?* Quality Innovation Prosperity, 24.17.10.12776/qip.v24i1.1415.

6. PF ISO 9000 (2024.07.12). Dostępne online: <https://pfigo9000.pl/klub/certyfikaty-czlonkowskie/>.
7. Polska Nagroda Jakości (2024.07.12). Dostępne online: <https://fundacjaqualitas.pl/aktualnoscipolska-nagroda-jakosci/>.
8. Polska Nagroda Jakości (2024.04.25). Dostępne online: <https://fundacjaqualitas.pl/pnj/>.
9. Roszak M. (2024.04.24). Dostępne online: <https://fundacjaqualitas.pl/aktualnoscinowe-kryteria-oceny-polskiej-nagrody-jakosci/>.
10. Ulewicz R., Rosak-Szyrocka J. (2017). Rola modelu EFQM w postrzeganiu jakości w polskich przedsiębiorstwach. *Przegląd Organizacji*, 5 (928), s. 10–16
11. Wawak S. (2011). Zarządzanie jakością — podstawy, systemy i narzędzia, Wydawnictwo Onepress.
12. Wawak S. (2015). *TQM – miękka koncepcja zarządzania*, Materiały z 6. Sympozjum profesorów dyscypliny nauk o zarządzaniu, zorganizowanego 21 maja 2015 r. w Warszawie, (2024.07.12). Dostępne online: https://tadeusz.wawak.pl/sites/default/files/2019-11/tqm_-_miękka_koncepcja_zarządzania.pdf.
13. Wawak S., Gromczak H. (2024.04.24). Dostępne online: https://mfiles.pl/pl/index.php/Polska_Nagroda_Jako%C5%Bci.
14. Wierzbic A., Martusewicz J. (2019). The Evolution of the EFQM Model in the Context of Contemporary Challenges for Organizations, In: *Vision 2025: Education Excellence and Management of Innovations through Sustainable Economic Competitive Advantage*. Proceedings of the 34th International Business Information Management Association Conference (IBIMA) / Soliman Khalid S. (eds.), International Business Information Management Association, ISBN 9780999855133, s. 11200–11209.

Rola konsumentów w kształtowaniu i ocenie jakości produktów

Marki luksusowe a segment odzieży fast fashion – perspektywa konsumentów

Magdalena ANKIEL^{1*}, Eliza BUKOWSKA², Michał KUCIA⁵

¹ Uniwersytet Ekonomiczny w Poznaniu, Instytut Marketingu, Katedra Marketingu Produktu; magdalena.ankiel@ue.poznan.pl; ORCID 0000-0003-2594-1600

² Uniwersytet Ekonomiczny w Poznaniu; 75707@student.ue.poznan.pl

⁵ Uniwersytet Ekonomiczny w Katowicach, Wydział Zarządzania, Katedra Zarządzania Międzynarodowego; mkucia@ue.katowice.pl; ORCID 0000-0001-9112-7805

* Korespondencja: magdalena.ankiel@ue.poznan.pl; Tel.: 505-488-569

Słowa kluczowe: fast fashion, marki luksusowe, postawy konsumentów, rynek odzieżowy.

Streszczenie: Przemysł modowy rozwija się już od wielu wieków. W ostatnich latach jednak rozwój ten stał się znacznie bardziej dynamiczny. Współcześnie przemysł ten jest jednym z największych obecnych na rynku. Tworzony jest przez wiele przedsiębiorstw, obecne są w nim zarówno marki luksusowe, jak i podmioty zajmujące się fast fashion. Szybka moda to odnoszący sukcesy i coraz bardziej rozpowszechniony model biznesowy, w którym sprzedawcy mody oferują tanie, często jednorazowego użytku produkty, wyprodukowane przy zredukowanych kosztach, a ich sprzedaż dzieli się na wiele sezonów zamiast tradycyjnych dwóch kolekcji rocznie. Z kolei w ujęciu ekonomicznym luksus to termin definiujący produkty, zjawiska, rzeczy, ale także usługi, które posiadają najwyższe standardy w ramach danej kategorii. W artykule przedstawiono wyniki badania zrealizowanego techniką CAWI (Computer-Assisted Web Interview), którego celem była ocena postrzegania przez konsumentki marek luksusowych i marek fast fashion. Wyniki badania wskazały, że konsumenci w większości utrzymują stanowisko, że rynek fast fashion czerpie inspirację z wybiegów marek luksusowych. Moda luksusowa stanowi swego rodzaju „muzę” dla marek szybkiej mody. Marki luksusowe poprzez swoje projekty i oferowane produkty inspirują i wpływają w znacznym stopniu na kształtowanie się i ciągły rozwój fast fashion, która dociera do większej liczby odbiorców poprzez niskie ceny i wysoką dostępność.

Keywords: fast fashion, luxury brands, consumer attitudes, clothing market.

Abstract: The fashion industry has been developing for centuries. However, in recent years, this development has become much more dynamic. Today, this industry is one of the largest on the market. It is created by many companies and includes both luxury brands and fast fashion entities. Fast fashion is a successful and increasingly widespread business model in which fashion sellers offer cheap, often disposable products, manufactured at reduced costs, and their sales are divided into many seasons instead of the traditional two collections per year. In turn, in economic terms, luxury is a term defining products, phenomena, things, but also services that have the highest standards within a given category. This article presents the results of a survey carried out using the CAWI (Computer-Assisted Web Interview) technique, which aimed to assess female consumers' perceptions of luxury and fast fashion brands. The results of the study indicated that consumers mostly maintain the position that the fast fashion market draws inspiration from the catwalks of luxury brands. Luxury fashion is a kind of „muse” for fast fashion brands. Luxury brands, through their designs and products offered, inspire and significantly influence the formation and continuous development of fast fashion, which reaches a larger number of recipients through low prices and high availability

Wprowadzanie

Moda to autokreowanie, zróżnicowane kształtowanie wizerunku, która uważana jest za tymczasowe zjawisko cykliczne przyjmowane przez konsumentów na określony czas. Na modzie i jej mechanizmach opiera się *fast fashion*. Szybka moda to odnoszący sukcesy i coraz bardziej rozpowszechniony model biznesowy, w którym sprzedawcy mody oferują tanie, często jednorazowego użytku produkty, wyprodukowane przy zredukowanych kosztach, a ich sprzedaż dzieli się na wiele sezonów zamiast tradycyjnych dwóch kolekcji rocznie (Vehmas i in., 2018). Zjawisko to odzwierciedla więc aktualne i pojawiające się trendy szybko i skutecznie w postaci aktualnego asortymentu towarów (Choi i in., 2010). Istotną cechą *fast fashion* jest również kreowanie projektów, które naśladują aktualne trendy w modzie luksusowej (Xydia, 2019). Rynek szybkiej mody jest bardzo konkurencyjny. Ciągła potrzeba wprowadzania nowego asortymentu sprawia, że detaliści dokładają kolejne sezony w ciągu kalendarza modowego (Bhardwaj i Fairhurst, 2010). Opierając się na zasadach działania Quick Response, branża odzieżowa przechodzi od prognozowania przyszłych trendów do wykorzystywania danych w czasie rzeczywistym (z ang. *real time data*) w celu zrozumienia potrzeb i pragnień konsumentów (Bhardwaj i Fairhurst, 2010). Obecnie rynek *fast fashion* zmienił trendy w przemyśle włókienniczym. Każdego roku produkowanych jest 100 miliardów sztuk odzieży, a sprzedanych zostaje około 58 milionów ton, co odzwierciedla ogromne zapotrzebowanie konsumentów na ten trend (Guru i in., 2022). Do sklepów sieciowych trafiają nawet 52 mikrokolekcje rocznie, co czyni jedną nową kolekcję co tydzień (Muthu, 2019). Rozwija się indywidualizm – dla konsumentów *fast fashion* jest sposobem na wyrażenie siebie, swoich zdolności finansowych, statusu społecznego (Jiang, 2020). Warto jednak zwrócić uwagę na fakt, iż branża *fast fashion* zaliczana jest do jednych z większych i najbardziej zanieczyszczających na rynku ogólnoswiatowym (Miotto i Vilajoana-Alejandre, 2019). Znajduje się na drugim co do wielkości miejscu zaraz po przemyśle naftowym i gazowym. Średnio w ciągu roku do środowiska wpływają 92 miliony ton odpadów i zostaje zużyte 1,5 biliona litrów wody (Guru i in., 2022). Fabryki, w których produkowane są ubrania, znajdują się w krajach tzw. Trzeciego Świata – w krajach ubogich, rozwijających się. Przedsiębiorstwa odzieżowe lokują tam swoje produkcje, gdyż siła robocza jest tania, obowiązują ulgi podatkowe oraz łagodne przepisy i regulacje prawne (Linden, 2016). Marki *fast fashion* osiągają nieracjonalnie niskie ceny kosztem szkód środowiskowych i społecznych, głównie w krajach rozwijających się, gdzie znajduje się większość fabryk. Ponadto przedsiębiorstwa, by obniżyć ceny produkcji

odzieży, używają tanich barwników i innych niebezpiecznych substancji chemicznych, które bezpośrednio wpływają na zdrowie i życie człowieka, powodując poważne choroby, takie jak nowotwory, alergie skórne (Guru i in., 2022).

Z kolei luksus to termin definiujący produkty, zjawiska, rzeczy, ale także usługi, które posiadają najwyższe standardy w ramach danej kategorii (Shukla, 2011; Sjostrom i in., 2016). Kolejna definicja opisuje luksus jako część kontinuum, kiedy konsumenci decydują, gdzie kończy się zwyczajność, a zaczyna prestiż (Sjostrom i in., 2016; Tynan i in., 2010). Luksus jest bardzo pożądanym, ale dostępnym tylko dla nielicznych. Często opisywany jako coś doskonałej jakości, co równoznaczne jest z tym, że składniki lub komponenty produktu luksusowego są wyjątkowe i lepsze od tego, co można znaleźć w zwykłej produkcie (Knag, 2012). Determinantami kwalifikującymi produkt jako luksusowy są czynniki społeczne, takie jak: przekonania konsumentów oraz czynniki ekonomiczne – dochody. Produkt może zostać uznany za luksusowy w zależności od rynku, np. w niektórych miejscach samo posiadanie samochodu uznawane jest za wyższy poziom życia (Rybowska, 2013). Przemysł odzieży luksusowej uważany jest za najbardziej dochodowy i atrakcyjny spośród pozostałych branż na świecie (Codignola i Rancati, 2016). Na rysunku 1 zaprezentowano konglomeraty marek luksusowych, jakie znajdują się bądź znajdowały się dotąd na rynku mody. Konglomerat to połączenie wielu działających podmiotów gospodarczych lub jednostek biznesowych, które całkowicie różnią się lub są ze sobą powiązane w ramach jednej grupy przedsiębiorstw (Verma i in., 2022). Największym i najbardziej dochodowym z nich jest LVMH, powstały w 1987 roku. Nastąpiła wtedy fuzja Louis Vuitton z Moët-Hennessy (producentem i sprzedawcą win, napojów spirytusowych i zapachów), w efekcie której powstał Louis Vuitton-Moët Hennessy (LVMH), który ma w swojej ofercie marki takie jak Louis Vuitton, Dior czy Givenchy (Cavender i Kincade, 2014). Głównym konkurentem LVMH na rynku mody jest Kering założony we Francji w 1992 roku, w którego skład wchodzi m.in. Balenciaga, Gucci czy Saint Laurent (Fujioka i Donzé, 2018). LVMH posiada w swoim portfolio produkty takie jak odzież i akcesoria, alkohole, perfumy i kosmetyki, zegarki i biżuteria, z kolei Kering specjalizuje się w sprzedaży mody luksusowej.

Jak podaje raport firmy badawczej Kantar i holdingu reklamowego WPP, wartość dziesięciu największych marek luksusowych w roku 2022 wyniosła 344,4 mld dolarów amerykańskich. Do listy tej zaliczono luksusowe marki odzieżowe: Louis Vuitton (124,3 mld \$), Hermès (80,3 mld \$), Chanel (53 mld \$), Gucci (37,9 mld \$), Dior (10,5 mld \$), Saint Laurent (6,8 mld \$) oraz Prada (5,6 mld \$) (Walter, 2022).



Rys. 1. Konglomeraty marek luksusowych obecne na rynku mody

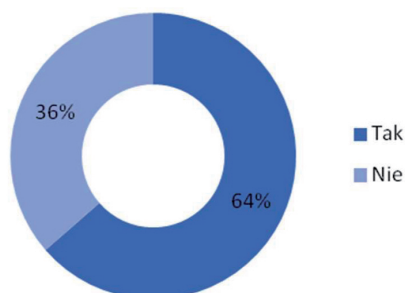
Źródło: Segura, 2019.

Metodyka badania

Zarówno marki luksusowe, jak i fast fashion są obecne na rynku mody. Konsumentom mają duży wybór odnośnie do podejmowanych decyzji zakupowych w tym segmencie. Aby zrealizować cel badań, jakim była ocena postrzegania przez konsumentki marek luksusowych i marek fast fashion, przeprowadzono badanie w formie ankiety internetowej za pomocą platformy Google Forms w terminie od grudnia 2022 do stycznia 2023. Badanie zostało podzielone na część teoretyczną oraz socjodemograficzną. Pytania skonstruowane zostały zarówno w formie jednokrotnego wyboru, jak i wielokrotnego oraz w formie tabelarycznej jednokrotnego wyboru. W części teoretycznej znalazło się czternaście pytań, natomiast w metryczce umieszczono ich pięć. Dotyczyły one wieku, wykształcenia, miejsca zamieszkania, statusu zawodowego oraz sytuacji ekonomicznej gospodarstwa domowego badanych. W metryczce nie zawarto pytania o płeć, ponieważ badanie kierowane było do kobiet. Zakresem przestrzennym badania było miasto Poznań. W badaniu wzięło udział 217 respondentów. Najwięcej badanych należy do grupy wiekowej 21–30 lat, osiągając liczbę 72 wyników. Drugą co do liczby odpowiedzi był przedział 31–40 lat (takich odpowiedzi było 49). Pokolenie generacji Z (w tym badaniu do 20 lat) liczyło 39 odpowiedzi, podobnie grupa 41–50 z liczbą odpowiedzi wynoszącą 36. Najmniej liczną grupą byli respondenci 50+, których w badaniu wzięło udział 21.

Wyniki badania

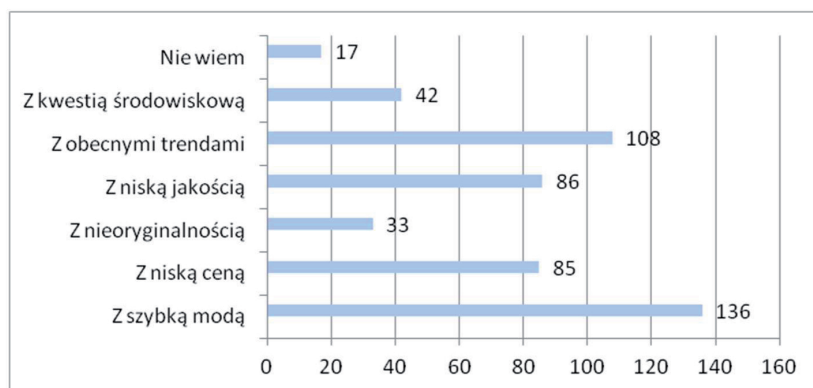
Pierwsze zasadnicze pytanie zawarte w badaniu miało na celu zdiagnozować znajomość pojęcia fast fashion wśród ankietowanych.



Rys. 2. Rozkład odpowiedzi na pytanie dotyczące znajomości pojęcia fast fashion

Źródło: badanie własne.

Z danych zaprezentowanych na rysunku 2 wynika, że niemal co trzeciemu badanemu nie jest znane pojęcie fast fashion. 64% ankietowanych odpowiedziało pozytywnie na to pytanie. Z kolei wyniki badania przeprowadzonego w 2020 roku na próbie 2800 Amerykanów wykazały, że jedynie 38% konsumentów wie, co oznacza szybka moda, nie znając wcześniej definicji (Avocado Green Mattress, 2020). Natomiast wyniki badania z 2019 roku na próbie 115 obywateli Słowacji wskazują, że 62% uczestniczących w nim zna koncepcję fast fashion (Knošková & Garasová, 2019). Ponadto należy zaznaczyć, że 37 ankietowanych w wieku do 20 lat i 21–30 lat zaznaczyło, że nie jest znajome z pojęciem fast fashion, które



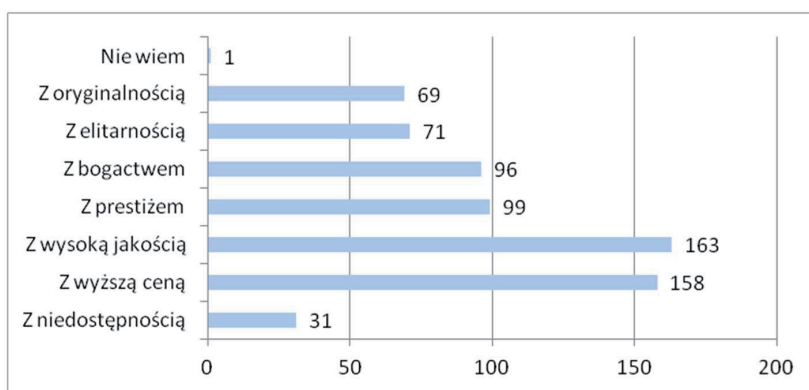
Rys. 3. Rozkład odpowiedzi na pytanie: z czym kojarzy się Pani pojęcie fast fashion?

Źródło: badanie własne.

powszechnie uznawane jest za stosunkowo nowy termin (Goudeau, 2014). Młodzi konsumenci (głównie przedstawiciele generacji Z) mają styczność z mediami społecznościowymi na co dzień, poprzez które marki reklamują się i prezentują najnowsze trendy (Desfiandi, 2020).

Celem drugiego pytania była ocena, z czym ankietowanym kojarzy się pojęcie fast fashion. Pytanie skonstruowano w formie wielokrotnego wyboru. Uzyskane wyniki zaprezentowano na rysunku 3. Najwięcej badanych zaznaczyło odpowiedź „Z szybką modą”. Prawie połowa respondentów odpowiedziała na to pytanie wybierając „Z obecnymi trendami”. Na trzecim miejscu znalazła się odpowiedź „Z niską jakością” z wynikiem 39,6%. Podobny wynik osiągnęła odpowiedź „Z niską ceną”. Rzadziej wybierane były „Z kwestią środowiskową”, „Z nieoryginalnością”.

Kolejna część badania dotyczyła marek luksusowych. Pytanie w formie wielokrotnego wyboru miało na celu ocenić, z czym kojarzy się pojęcie luksus dla badanych; wyniki prezentuje rysunek 4.

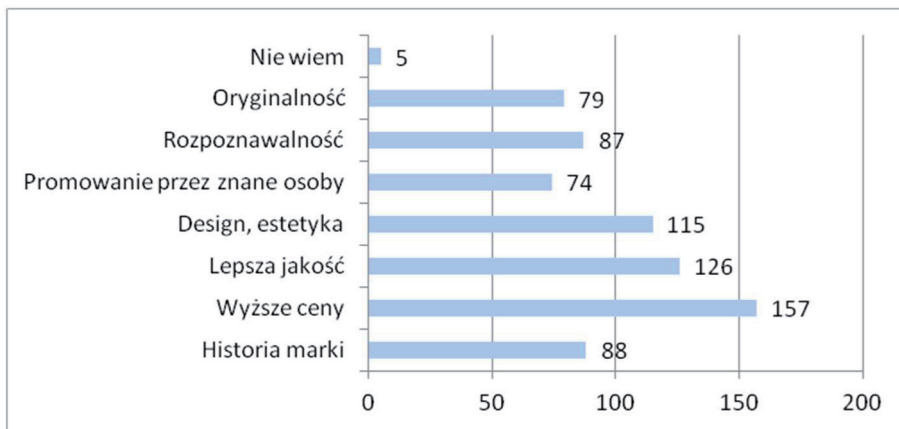


Rys. 4. Rozkład odpowiedzi na pytanie: z czym kojarzy się Pani pojęcie luksus?

Źródło: badanie własne.

Najwięcej respondentów wybrało odpowiedź „Z wysoką jakością” – 163, na drugim miejscu była wybierana wyższa cena – 158. Podobne wyniki uzyskały określenia prestiż i bogactwo, odpowiednio 99 i 96. Najmniej kojarzona z luksusem była odpowiedź „Z niedostępnością” (31 respondentów). Wielu autorów, badając pojęcie luksusu, wskazuje m.in. wysoką cenę, wysoką jakość, oryginalność, także reputację (Sjostrom i in., 2016). Wyniki badania Stachowiak-Krzyżan (2017) z 2015 roku wykazały, że ankietowani biorący w nim udział wskazują na wysoki status społeczny oraz dostatnie życie jako skojarzenia z dobrami luksusowymi.

Kolejne pytanie w formie jednokrotnego wyboru miało na celu ocenić jakie są wyznaczniki wyróżniające produkty od marek luksusowych spośród artykułów z sieciowych sklepów odzieżowych. Wyniki zaprezentowano na rysunku 5.

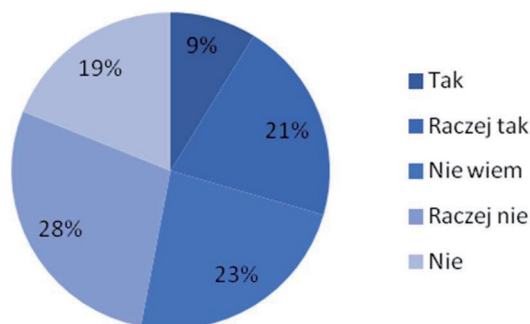


Rys. 5. Rozkład odpowiedzi na pytanie: co Pani zdaniem wyróżnia produkty marek luksusowych na tle produktów ze sklepów odzieżowych, tzw. sieciówek?

Źródło: badanie własne.

Badani najczęściej wybierali „Wyższe ceny” – 157 odpowiedzi oraz „Lepsza jakość” – 126 odpowiedzi. Ponad połowa ankietowanych wybierała również „Design, estetyka” jako wyróżniki produktów luksusowych. Według wyników badań z 2015 roku najbardziej istotną cechą wpływającą na zakup dobra luksusowego jest design, ale także skład surowcowy oraz unikatowość (oryginalność) (Stachowiak-Krzyżan, 2017).

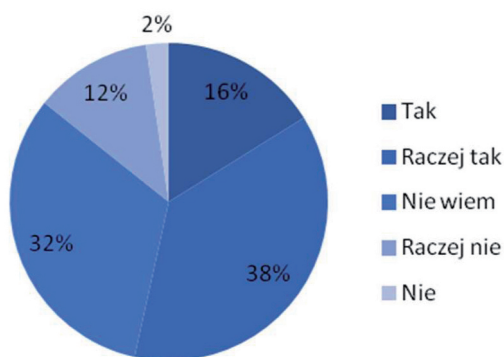
Kolejne pytanie miało za zadanie zweryfikować, czy konsumenci są w stanie zakupić produkt imitujący produkt luksusowy w swoim wyglądzie bądź funkcjach, jakie posiada. Jak wynika z danych zaprezentowanych na rysunku 6 jedynie 9% ankietowanych odpowiedziało „Tak”, natomiast „Nie” zaznaczył prawie co piąty respondent. 28% badanych nie znało odpowiedzi na to pytanie. Ze 120 osób, które zaznaczyły, że ich sytuacja ekonomiczna w gospodarstwie domowym jest bardzo dobra lub dobra, 23 na pewno nie zdecyduje się na zakup artykułu, który imituje wyglądem bądź funkcją artykuł luksusowy. Natomiast z tych samych 120 osób 114 zadeklarowało zakupy („Zdarzyło mi się kupić” oraz „Często kupuję”) w sklepie sieciowym oferującym fast fashion – H&M, który oferuje produkty imitujące produkty luksusowe po niższej cenie. Elisabeth Vulaj (2020) w swoim artykule zaznacza, że konsumenci nie dbają lub nie są świadomi tego, że kupują i noszą artykuły inspirowane lub kopiujące produkty marek luksusowych.



Rys. 6. Rozkład odpowiedzi na pytanie: czy niższa cena za artykuł imitujący wyglądem bądź funkcjonalnością produkt luksusowy przekona Panią do zakupu?

Źródło: badanie własne.

W badaniu zdiagnozowano również opinię konsumentów na temat wpływu marek luksusowych na segment odzieży fast fashion. Respondenci mieli odpowiedzieć, czy marki fast fashion odwzorowują projekty z wybiegów, czyli czy marki luksusowe inspirowały je do tworzenia swoich produktów.

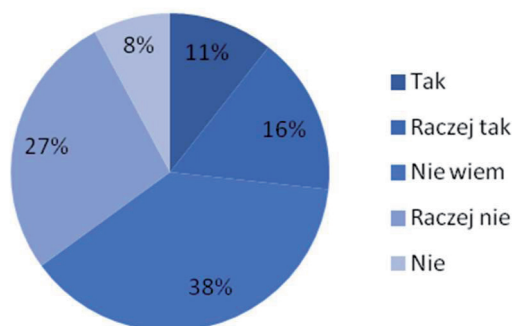


Rys. 7. Rozkład odpowiedzi na pytanie: czy według Pani marki fast fashion odwzorowują projekty z wybiegów?

Źródło: badanie własne.

Odpowiedzi „Tak” i „Raczej tak” stanowiły ponad 50% wszystkich wypełnionych formularzy (rys. 7). Z kolei zsumowane odpowiedzi „Nie” oraz „Raczej nie” to 14% całości. Prawie co trzeci ankietowany nie wiedział, jak odpowiedzieć na to pytanie. Pytanie zostało stworzone na podstawie wielu źródeł, w których autorzy utrzymują, że fast fashion odtwarza projekty marek luksusowych (Bick i in., 2018; Joy i in., 2012; Kim i in., 2013; Kowalski i Salerno-Kochan, 2018; Leclair, 2017; Rønholt i Overgaard, 2020).

W kolejnym pytaniu respondenci mieli odpowiedzieć, czy według nich marki luksusowe powinny walczyć z rynkiem produktów inspirowanych się nimi, jaki stanowią marki fast fashion (rys. 8). Tylko 11% badanych uważa, że tak, a 16% sądzi, że raczej tak. Natomiast na „Nie” zagłosowało zaledwie 8%, a „Raczej nie” wybrało 27% badanych. Najwięcej odpowiedzi było „Nie wiem” (38%).



Rys. 8. Rozkład odpowiedzi na pytanie: czy uważa Pani, że marki luksusowe powinny walczyć z rynkiem produktów inspirowanych?

Źródło: badanie własne.

Do tej pory na rynku modowym miały miejsce sprawy sądowe wnoszone przez marki luksusowe przeciwko producentom fast fashion. Vulaj (2020) przedstawia przykłady takich pozwów; opisuje sprawę sądową Gucci i Forever 21, w której włoski dom mody wygrał, pozywając sprzedawcę fast fashion o wykorzystanie jego znaków towarowych (charakterystycznych pasów niebiesko-czerwono-niebieskich i zielono-czerwono-zielonych). Vulaj (2020) przytacza również dziewięcioletnią sprawę o znak towarowy pomiędzy Gucci i Guess, która ostatecznie została zakończona na korzyść marki luksusowej Gucci. Podaje również, że jednym ze sposobów, w jaki sprzedawcy fast fashion mogą uniknąć oskarżeń o kopiowanie, jest projektowanie wzorów podobnych do tych z wybiegów, ale różniących się na tyle, by nie zaliczyć ich jako repliki. Przykładem jest kolekcja Zary z 2014 roku inspirowana projektami Prady z sezonu wiosna/lato 2014. Dom mody Prada nie mógł wnieść pozwu o naruszenie praw autorskich, ponieważ modele prac zostały zmienione i nie uprawniały do wnoszenia roszczeń (Vulaj, 2020).

Wnioski i rekomendacje

Wyniki przeprowadzonego badania wskazują, że ponad 1/3 badanych nie jest znane pojęcie fast fashion, a jednak niemal wszyscy badani kupują

w sieciowych sklepach odzieżowych, których sprzedaż opiera się na tym zjawisku. Badanym konsumentom w większości fast fashion kojarzy się z szybką modą oraz z obecnymi trendami. Natomiast mało wyników uzyskała kwestia środowiskowa – prawdopodobnie jest to związane z niewystarczającą edukacją na ten temat i brakiem świadomości wśród konsumentów na temat zagrożeń, jakie niesie fast fashion.

Z kolei luksus najbardziej kojarzy się badanym z wyższą jakością oraz wyższą ceną. Ankietowani twierdzą również, że to wysoka cena najbardziej wyróżnia produkty luksusowe spośród produktów oferowanych przez sieciowe sklepy odzieżowe. Można wnioskować więc, że cena determinuje zakupy w przypadku artykułów fast fashion, jak również produktów luksusowych, z tym, że w przypadku szybkiej mody jest ona atrakcyjnie niska, natomiast na przykładzie produktów z „wyższej półki” – znacznie wyższa. Konsumenty są świadomi obecności większości marek luksusowych na rynku mody biorących udział w badaniu, jednak prawie 50% ankietowanych nie dokonuje zakupu ich produktów. Jedynie 10% badanych utrzymuje, że niższa cena za artykuł, który imituje produkt luksusowy wyglądem bądź funkcjonalnością, przekona ich do zakupu. Zdecydowana większość respondentów (215 na 217) zadeklarowała kupowanie artykułów oferowanych przez sieciowe marki fast fashion, które odwzorowują projekty luksusowe. Być może konsumenci nie są świadomi, że kupują produkty inspirowane dobrami luksusowymi. Istnieje również prawdopodobieństwo, że konsumenci nie będą chcieli zapłacić za produkt marki luksusowej, jeśli mogą go kupić w znacznie niższej cenie i w wyższej dostępności (rozmiarów, kolorów, materiałów). Ponadto ponad połowa ankietowanych konsumentów twierdzi, że marki szybkiej mody inspirowane są projektami z wybiegów marek luksusowych.

Bibliografia

1. Avocado Green Mattress (2020). *Fast Fashion and Eco-friendly Shopping Habits*. Dostępne online: <https://swnsdigital.com/us/2020/12/most-americans-are-opposed-to-fast-fashion-and-think-it-is-going-out-of-style/>.
2. Bhardwaj, V. i Fairhurst, A. (2010). Fast fashion: Response to changes in the fashion industry. *The International Review of Retail, Distribution and Consumer Research* 20(1), 165–173. <https://doi.org/10.1080/09593960903498300>.
3. Bick, R., Halsey, E., Ekenga, C. C. (2018). The global environmental injustice of fast fashion. *Environmental Health*, 17(92). <https://doi.org/10.1186/s12940-018-0433-7>.
4. Cavender, R., Kincade, D.H. (2014). Management of a luxury brand: Dimensions and sub-variables from a case study of LVMH. *Journal of Fashion Marketing and Management*, 18(2), 231–248. <https://doi.org/10.1108/JFMM-03-2013-0041>.

5. Choi, T., Liu, N., Liu, S., Mak, J., i To, Y. (2010). Fast fashion brand extensions: An empirical study of consumer preferences. *Journal of Brand Management*, 17(7), 472–487. <https://doi.org/10.1057/bm.2010.8>.
6. Codignola, F., Rancati, E. (2016). The Blending of Luxury Fashion Brands and Contemporary Art. W: Vecchi, A. i Buckley, Ch. (red.), *Handbook of Research on Global Fashion Management and Merchandising*, (s. 50–76). IGI Global. <https://doi.org/10.4018/978-1-5225-0110-7.ch003>.
7. Desfiandi, A. (2020). Factors of Preference for International Fast Fashion Brands: A Study on Generation Z. *Talent Development&Excellence*, 12 (1s), 1–30.
8. Fujioaka, R., Donzé, P.-Y. (red.). (2018). *Global Luxury. Organizational Change and Emerging Markets since the 1970s*. Palgrave. <https://doi.org/10.1007/978-981-10-5236-1>.
9. Goudeau, C.V. (2014). *Ready to tear? A study on fashion and consumer disposal behavior*. Oklahoma State University. https://shareok.org/bitstream/handle/11244/14854/Goudeau_okstate_0664D_13487.pdf?sequence=1.
10. Guru, R., Grewal, D., Thennarasu, P. (2022). Explores the role of fast fashion in sustainability: Stylish killer for the environment. *Journal of Textile Engineering & Fashion Technology*, 8(3), 59–63. <https://doi.org/10.15406/jteft.2022.08.00302>
11. Jiang, S. (2020). A Comparative Analysis of Chinese and British Consumers' Consumption Behaviours and Attitudes Toward Fast-Fashion Brand as Zara and H&M. *Asian Journal of Social Science Studies*, 5(2), 17–39. <https://doi.org/10.20849/ajsss.v5i2.773>.
12. Joy, A., Sherry, J.F., Venkatesh, A., Wang, J., Chan, R. (2012). Fast Fashion, Sustainability, and the Ethical Appeal of Luxury Brands. *Fashion Theory*, 16(3), 273–295. <https://doi.org/10.2752/175174112X13340749707123>.
13. Kim, H., Choo, H.J., Yoon, N. (2013). The motivational drivers of fast fashion avoidance. *Journal of Fashion Marketing and Management*, 17(2), 243–260. <https://doi.org/10.1108/JFMM-10-2011-0070>.
14. Knag, S.M. (2012). *Luxury Brands. A study of consumers' motivation to purchase luxury brands*. Norges Handelshøyskole. https://www.academia.edu/34890835/Luxury_Brands_A_study_of_consumers_motivation_to_purchase_luxury_brands.
15. Knošková, L., Garasová, P. (2019). The Economic Impact of Consumer Purchases in Fast Fashion Stores. *Studia Commercialia Bratislavensia*, 12(41), 58–70. <https://doi.org/10.2478/stcb-2019-0006>.
16. Kowalski, M., Salerno-Kochan, R. (2018). Społeczno-ekonomiczne aspekty rozwoju produktów zrównoważonych branży tekstylno-odzieżowej. *Zeszyty Naukowe Uniwersytet Ekonomiczny w Krakowie*, 5(977), 79–95. <https://doi.org/10.15678/ZNUEK.2018.0977.0505>.
17. Leclair, M. (2017). “Dior and I”: understanding the combination of creativity and economy in fashion industry. *Society and Business Review*, 12(3), 274–284. <https://doi.org/10.1108/SBR-11-2016-0066>.
18. Linden, A.R. (2016). *An Analysis of the Fast Fashion Industry*. Bard College. https://digitalcommons.bard.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1033&context=senproj_f2016.

19. Miotto, G., Vilajoana-Alejandre, S. (2019). Gender equality: A tool for legitimacy in the fast fashion industry. *Harvard Deusto Business Research*, 8(2), 134–147. <https://doi.org/10.3926/hdbr.244>.
20. Muthu, S. S. (red.). (2019). *Fast Fashion, Fashion Brands and Sustainable Consumption*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-981-13-1268-7>.
21. Rønholt, N. I Overgaard, M. (2020). *An Exploratory Study: The Fast Fashion Paradox*. https://www.researchgate.net/publication/342049195_An_Exploratory_Study_The_Fast_Fashion_Paradox.
22. Rybowska, A. (2013). Produkty luksusowe w opinii młodych mieszkańców Trójmiasta. *Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Szczecińskiego. Problemy Zarządzania, Finansów i Marketingu*, 32, 519–528.
23. Shukla, P. (2011). Impact of interpersonal influences, brand origin and brand image on luxury purchase intentions: Measuring interfunctional interactions and a cross-national comparison. *Journal of World Business*, 46(2), 242–252. <https://doi.org/10.1016/j.jwb.2010.11.002>.
24. Shukla, P. (2011). Impact of interpersonal influences, brand origin and brand image on luxury purchase intentions: Measuring interfunctional interactions and a cross-national comparison. *Journal of World Business*, 46(2), 242–252. <https://doi.org/10.1016/j.jwb.2010.11.002>.
25. Sjostrom, T., Corsi, A. M., Lockshin, L. (2016). What characterises luxury products? A study across three product categories. *International Journal of Wine Business Research*, 28(1), 76–95. <https://doi.org/10.1108/IJWBR-05-2015-0017>.
26. Stachowiak-Krzyżan, M. (2017). Zachowania konsumentów na rynku luksusowej odzieży i akcesoriów. *Handel Wewnętrzny*, 1(366), 340–353.
27. Vehmas, K., Raudaskoski, A., Heikkilä, P., Harlin, A., Mensonen, A. (2018). Consumer attitudes and communication in circular fashion. *Journal of Fashion Marketing and Management*, 22(3), 286–300. <https://doi.org/10.1108/JFMM-08-2017-0079>.
28. Verma, P., Sharma, R.R.K., Kumar, V., Hsu, S.C., & Lai, K.-K. (2022). Identifying organizational variables to the implementation of horizontal strategy in conglomerates. *Benchmarking: An International Journal*, 29(5), 1703–1733. <https://doi.org/10.1108/BIJ-01-2020-0002>.
29. Vulaj, E. (2020). Will Fast Fashion Go Out Of Style Soon? How Couture Designers, Celebrities, And Luxury Brands Fighting Back May Change The Future Legal Landscape For Mass Affordable Retailers. *Santa Clara High Technology Law Journal*, 36(2), 197–221.
30. Xydia, N. (2019). *Sustainably-conscious consumers' perceptions, attitudes and behaviours towards the fast fashion industry: A Case of Primark*. University of Leicester. https://www.academia.edu/43822736/Sustainably_conscious_consumers_perceptions_attitudes_and_behaviours_towards_the_fast_fashion_industry_A_Case_of_Primark.

Postrzeganie, akceptacja i prognozowanie smaku gorzkiego dla czekolad

Perception, acceptance and prediction of bitter taste for chocolate products

Dariusz KIKUT-LIGAJ

Katedra Przyrodniczych Podstaw Jakości, Instytut Nauk o Jakości,
Uniwersytet Ekonomiczny w Poznaniu, al. Niepodległości 10, 61-875 Poznań;
dariusz.kikut@ue.poznan.pl; <https://orcid.org/0000-0002-0116-4723>

Słowa kluczowe: jakość produktów, czekolada, metody farmakoforowe, prosty model farmakoforowy (PMF), analiza sensoryczna.

Streszczenie: Smak gorzki ma ogromny wpływ na postrzeganie cech jakościowych produktów spożywczych przez konsumenta i jest podstawowym modulatorem niepożądanych cech sensorycznych żywności. Powiązanie składu jakościowego produktów spożywczych z jego wpływem na kompozycję smakową jest niezwykle istotne dla jakości produktu finalnego, umożliwia to przede wszystkim określenie indywidualnego udziału gorzkiego składnika w kształtowaniu jakości organoleptycznej produktu, a w konsekwencji opracowanie odpowiedniej strategii utrzymania tej jakości.

Przewidywanie cech organoleptycznych produktu, takich jak smak gorzki, może odbywać się z wykorzystaniem modeli farmakoforowych. Modelowanie farmakoforowe aktywności smakowej pozwala stwierdzić, jakie gorzkie składniki i w jakim stopniu kształtują kompozycję smakową produktu. Autorską techniką zastosowaną do prognozowania smaku gorzkiego był tzw. prosty model farmakoforowy (PMF). Stosując ten model prognozowania ustalono poziomy intensywności smakowej głównych gorzkich komponentów miazgi kakaowej, tj. kofeiny, teobrominy i epikatechniny. Przeprowadzone badania wykazały, że wszystkie te składniki miazgi kakaowej należą do bardzo silnie gorzkich substancji przyczyniającymi się do awersji i nieakceptacji smakowej produktów. Uwzględniając powyższe dane, przeprowadzono badania konsumenckie akceptacji smaku gorzkiego czekolad z różną zawartością miazgi kakaowej. Badania konsumenckie potwierdzają, że produkty o wysokiej zawartości miazgi kakaowej są najmniej akceptowane przez konsumentów. Górny próg akceptacji testowanych czekolad ustalono na poziomie 60% zawartości miazgi kakaowej. Istotnym problemem jest niska jakość czekolad zawierających 70 i 90% miazgi kakaowej. Wskazuje to na potrzebę maskowania smaku gorzkiego w czekoladach o wysokiej zawartości miazgi kakaowej ze wskazaniem technik ograniczających kontakt substancji gorzkich z receptorami smakowymi.

Keywords: products quality, chocolate, pharmacophore methods, simple pharmacophore model (SPM), sensory analysis.

Abstract: Bitter taste has a huge impact on the consumer's perception of the quality characteristics of food products and is the primary modulator of undesirable sensory attributes of foods. Relating the qualitative composition of food products to its influence on taste composition is extremely important for the quality of the final product.

It makes it possible, above all, to determine the individual contribution of a bitter ingredient to shaping the organoleptic quality of a product and consequently, to develop an appropriate strategy for maintaining this quality. Prediction of organoleptic characteristics of a product, such as bitter taste, can be done using pharmacophore models. Pharmacophore

modelling of flavour activity makes it possible to determine which bitter product components and to what extent they shape the flavour composition of the product. The author's technique used to predict bitter taste was the so-called simple pharmacophore model (SPM). Using this prediction model, the taste intensity levels of the main bitter components of cocoa pulp, i.e. caffeine, theobromine and epicatechins, were determined. The research carried out showed that all of these cocoa pulp components are among the very strong bitter substances contributing to aversion and taste disapproval of the products.

Taking the above data into account, consumer studies were carried out on the acceptance of the bitter taste of chocolates with different cocoa mass contents. The consumer research confirms that products with a high cocoa mass content are the least accepted by consumers. The upper threshold for acceptance of the chocolates tested was set at 60% cocoa solids content. A significant problem is the low quality of chocolates containing 70 and 90% cocoa solids. This points to the need to mask the bitter taste in chocolates with high cocoa solids content, indicating techniques that limit the contact of bitter substances with taste receptors.

Wstęp

Percepcja gorzkich wrażeń smakowych jest bardzo złożona (Kikut-Ligaj, 2015a). Wynika to przede wszystkim z szerokiej gamy substancji gorzkich zawartych w pożywieniu i specyficznych grup receptorów smaku gorzkiego dostrojonych indywidualnie do identyfikacji tych substancji (Behrens i in., 2014; Meyerhof i in., 2010).

Smak dostarcza konsumentom podstawowych informacji m.in. o zawartych w pożywieniu węglowodanach i innych substancjach słodzących, substancjach goryczkowych, cierpkich, kwaśnych, białkach i tłuszczach (Zhong i in., 2021). Specyfika działania zmysłu percepcji smakowej polega m.in. na:

- uniwersalności i elastyczności w rozpoznawaniu złożonych kompozycji smakowych,
- jednoczesnym pomiarze wielu bodźców smakowych,
- integracji pokrewnych i separacji odmiennych grup jakości smakowych,
- filtracji kompozycji smakowych z jednoczesnym wzmacnianiem wybranych wrażeń,
- ultraczułości w rejestrowaniu wrażeń sensorycznych pochodzących od skrajnie niskich stężeń substancji smakowych (Kikut-Ligaj, 2015a).

Ogół informacji pozyskiwanych za pomocą zmysłu smaku i innych współdziałających z nim zmysłów organoleptycznych tworzy jednolity profil jakości sensorycznej (Matuszewska i in., 1998) produktu spożywczego. Profile sensoryczne umożliwiają konsumentom sprecyzowanie dysproporcji pomiędzy wysoce preferowanymi i akceptowanymi produktami a produktami ocenianymi.

W przypadku produktów z udziałem smaku gorzkiego można wyróżnić trzy rodzaje profili sensorycznych: mniejszościowy, współdominujący i dominujący (Kikut-Ligaj, 2019a).

Rodzaj profilu sensorycznego żywności z udziałem smaku gorzkiego determinuje jakość produktu postrzeganą przez konsumenta. Najbardziej niekorzystny dla cech jakościowych czekolad jest profil dominujący.

Smak gorzki odgrywa bardzo istotną rolę w jakości produktów spożywczych. Pierwsza podstawowa funkcja smaku gorzkiego to funkcja sygnałowa, polegająca na ochronie organizmu człowieka przed potencjalnie niebezpiecznymi składnikami pożywienia. Funkcja ta jest ściśle skorelowana z toksycznością poszczególnych składników pożywienia (Liu i in., 2013; Jiao i in., 2021), sygnalizowaną po przekroczeniu progu czułości receptorów TAS2R. Druga niemniej istotna funkcja polega na zapewnieniu niezbędnej ilości naturalnych leków, metabolitów, neuro- i psychostymulantów i innych substancji bioaktywnych w ilości bioniezbędnych, czyli poniżej progów rozpoznania smakowego lub w ich pobliżu (Bai i in. 2014). Negatywny wpływ smaku gorzkiego na jakość wielu produktów to istotny problem przemysłu spożywczego, kosmetycznego, a także farmaceutycznego. Problem ten jest również istotny ze względu na konieczność zachowania substancji bioaktywnych w produkcie w odpowiedniej formie.

Gorzkie składniki produktowe identyfikowane są przez specyficzne białka receptorowe z rodziny TAS2R (Jeruzal-Świątecka i in., 2020; Kikut-Ligaj, 2015b) które informują konsumenta wyłącznie (Valente i in., 2018) o zmiennym natężeniu goryczy w pożywieniu.

Cechą specyficzną receptorów smaku gorzkiego jest ich ultraczułość, czyli zdolność identyfikacji substancji goryczkowych już w nanoilościach. Odczuwany smak gorzki kompozycji smakowej pożywienia jest wypadkową aktywności smakowej i stężenia poszczególnych jej składników goryczkowych. Dlatego gorzkie komponenty zawarte w żywności w stosunkowo niewielkich ilościach, ale posiadające wysoką zdolność do aktywacji receptorów gorzkich najsilniej wpływają na percepcję smaku gorzkiego.

Ze względów praktycznych jest to o tyle ważne, że unieczynnienie lub eliminacja silnie i ultragorzkich komponentów pożywienia skutecznie redukuje ich nadmierną goryczkę.

Najczęściej stosowanymi technikami maskowania smaku gorzkiego w produktach (Gaudette i Pickering, 2013; Gala i Chauhan, 2014; Andrews i in., 2020) jest domieszkowanie substancjami słodzącymi, zakwaszającymi lub aromatyzującymi. Wskazanie odpowiedniej metody redukcji smaku gorzkiego jest często niełatwe z uwagi na brak wiedzy, w jakim stopniu poszczególne składniki goryczkowe produktu kształtują percepcję smaku gorzkiego w produkcie.

Pozyskanie informacji w tym zakresie umożliwia analiza farmakoforowa (np. Prosty Model Farmakoforowy – PMF).

Metody wirtualne są szczególnie przydatne do wspomagania procesu decyzyjnego dotyczącego wyboru odpowiednich technik redukcji lub eliminacji negatywnych własności smakowych (smaku gorzkiego) cechujących różne grupy produktów i surowców (Kikut-Ligaj, D., 2019b). Techniki farmakoforowe umożliwiają dogłębną analizę interakcji ligandów (np. związków smakowych zawartych w żywności) z potencjalnymi celami molekularnymi (np. receptorami smakowymi) (Seidel i in. 2017). Model PMF umożliwia selekcję i usystematyzowanie poszczególnych składników produktów pod względem intensywności smaku gorzkiego (ISG_p) lub braku tej cechy organoleptycznej.

PMF to technika kompilująca cechy powinowactwa grup obiektów takich jak cząsteczki związków chemicznych i transponująca je w odpowiednie równania matematyczne rozstrzygające pod względem ilościowym i jakościowym wystąpienie gorzkiej aktywności smakowej. Modele typu PMF systematyzują grupy gorzkich komponentów produktów (gorzkich składników pożywienia) pod względem intensywności smakowej i zarazem weryfikują, które z nich wykazują smak gorzki (Kikut-Ligaj, 2015a).

Formalnie technika PMF polega na:

- identyfikacji regionów aktywnych (funkcji farmakoforowych) gorzkich cząsteczek odpowiedzialnych za stymulację smakową,
- rozpoznaniu trójcentrowych reprezentacji farmakoforowych niezbędnych do pobudzenia receptorów smaku gorzkiego (TAS2R),
- przekształceniu funkcji i reprezentacji farmakoforowych w równania aktywności smakowej, wyrażające przewidywaną wartość gorzkiej intensywności smakowej (ISG_p) badanych gorzkich komponentów produktu lub surowca (Kikut-Ligaj, 2019a).

Perspektywa wirtualnego zarządzania jakością smakową produktów spożywczych za pomocą technik farmakoforowych (np. PMF) jest bardzo szeroka, ponieważ umożliwia ukierunkowanie procesu sterowania składem niepożądanych składników produktów, szczególnie na etapie wyboru metody minimalizacji niepożądanych jakości smakowych.

Innowacyjność proponowanych rozwiązań przekłada się bezpośrednio na polepszanie jakości profili sensorycznych wszystkich asortymentów produktów, szybką identyfikację naturalnych i nienaturalnych przyczyn ich niepożądanego smaku, oszczędności w zakresie stosowanych technologii minimalizacji niepożądanych jakości smakowych oraz możliwość sterowania jakością produktów od momentu ich projektowania do przechowywania produktu spożywczego.

Metody

Metodologia prognozowania zdolności aktywacji receptorów smaku gorzkiego przez gorzkie składniki miazgi kakaowej

Struktury trzech głównych gorzkich komponentów miazgi kakaowej: kofeiny, teobrominy i epikatechniny, zostały zoptymalizowane metodą funkcjonau gęstości DFT (ang. Density Functional Theory) z funkcjonalem B3LYP i bazą 6-31G (2d, p)) (Townsend i Grayson, 2020; Chiacchio i Legnani, 2024). Obecność wody jako rozpuszczalnika stymulowano modelem CPCM (ang. Conducting Polarized Continuum Model) (Chen i in. 2010). Pozyskane reprezentatywne konformacje RC (ang. Representative Conformations) badanych ligandów wykorzystano do analizy farmakoforowej za pomocą tzw. prostego modelu farmakoforowego PMF (ang. Simple Pharmacophore Model) (Kikut-Ligaj, 2019a). Analizę farmakoforową prowadzono za pomocą programu LigandScout.

Uwzględniony model farmakoforowy (PMF) kwalifikuje trójcentrowe stymulacje receptorowe jako układy stymulujące pobudzenie receptorów smaku gorzkiego. Powyższy model predykcyjny uwzględnia liczbę punktowych interakcji (LPI), tzw. funkcji farmakoforowych, oraz liczbę interaktywnych stymulacji (LIS), tzw. reprezentacji farmakoforowych. Pozyskane przy użyciu modelu PMF wyróżniki jakości smakowej przekształcono za pomocą równania

$$ISG_p = (\sum LPI + \sum LIS) \times k$$

w prognozowaną wartość intensywności smaku gorzkiego (ISG_p), gdzie k jest stałą proporcjonalności (Kikut-Ligaj, 2019a).

Metodologia prowadzenia ocen sensorycznych

W celu określenia stopnia akceptacji smaku gorzkiego w produktach wybrano ogólnie dostępne na rynku czekolady o zmiennej zawartości miazgi kakaowej.

Próbkę badawczą (testową) dobrano losowo, a jedynym kryterium doboru była zmienna zawartość miazgi kakaowej. Ocenie sensorycznej poddano pięć rodzajów czekolad bez dodatków w formie stałej. W skład serii badawczej wchodziły następujące czekolady: Reylands, Cametti, Goplana i dwie firmy Wawel zawierające odpowiednio 45, 50, 60, 70 i 90% miazgi kakaowej. Ocenę sensoryczną wszystkich badanych wyróżników jakościowych przeprowadził 20-osobowy zespół testerów o sprawdzonej wrażliwości sensorycznej w oparciu o skalę pięciopunktową, gdzie 5 pkt. oznacza jakość bardzo dobrą, a 1 jakość złą.

Skale tego typu są konglomeratem werbalnych ocen intensywności smakowej (kategorii) i skali estymacji wrażeń (liczbowej). Zaletą skali hybrydowych jest szybsze tempo postrzegania zamian intensywności smakowej, a przede wszystkim smaku gorzkiego. Ocenie zostały poddane takie wyróżniki czekolad jak: barwa, połysk, rozpuszczalność, akceptacja smaku gorzkiego oraz słodkiego.

W interpretacji wyników ocen sensorycznych użyto skali punktowej o następujących zakresach jakości (pożądalności):

- 1 – 1,50 – jakość zła;
- 1,51 – 2,50 – jakość niedostateczna;
- 2,51 – 3,50 – jakość dostateczna;
- 3,51 – 4,50 – jakość dobra;
- 4,51 – 5,00 – jakość bardzo dobra.

Jakość ogólną wyrażono jako wartość średnią ze wszystkich ocenianych wyróżników jakościowych.

Werbalne wartości przypisane skali liczbowej dla poszczególnych wyróżników jakościowych zawarto w tabeli 1.

Tabela 1. Wyróżniki jakościowe zastosowane w ocenie badanych czekolad wg skali hybrydowej

Wyróżnik jakościowy	Ocena – 1	Ocena – 2	Ocena – 3	Ocena – 4	Ocena – 5
Barwa	Jasnobrazowa, niejednorodna	Słabo intensywna brązowa	Średnio intensywna, brązowa,	Brązowa, intensywna	Ciemnobrazowa, bardzo intensywna
Przełom	Lekko błyszczący, porowaty	Słabo matowy, z uszkodzeniami	Średnio matowy, z lekkimi uszkodzeniami	Matowy, jednolity, bez uszkodzeń	Bardzo matowy, jednolity, bez uszkodzeń
Połysk	brak	niedostateczny	średni	dobry	wysoki
Rozpuszczalność (w ustach)	Bardzo słabo rozpuszczalna	Słabo rozpuszczalna	Średnio rozpuszczalna	Dobrze rozpuszczalna	Bardzo szybko się rozpuszcza,
Posmak gorzki	Bardzo intensywny, cierpki, pozostający na języku	Intensywny, pozostający przez jakiś czas na języku	Średnio intensywny, pozostający krótko na języku	Wyczuwalny, słabo intensywny, nie pozostający na języku	Delikatny, przyjemny, lekko wyczuwalny, nie pozostaje na języku
Posmak słodki	Niewyczuwalny bądź zbyt słodki	Silnie intensywny lub o słabej intensywności	Średnio intensywny	Słodki silnie intensywny lub o słabej intensywności	Bardzo silnie intensywny bądź średnio, przyjemny

Źródło: opracowanie własne.

Wyniki i dyskusja

Badanie zdolności aktywacji receptorów smaku gorzkiego przez gorzkie składniki miazgi kakaowej

Zastosowana analiza farmakoforowa (model PMF) opierała się na identyfikacji regionów (funkcji farmakoforowych) cząsteczek gorzkich komponentów miazgi kakaowej (kofeiny, teobrominy i epikatechniny), odpowiedzialnych za stymulację smakową. Regiony te pogrupowano w trójcentrowe reprezentacje farmakoforowe niezbędne do pobudzenia receptorów smaku gorzkiego. Funkcje i reprezentacje farmakoforowe zostały przekształcone w równania aktywności smakowej, wyrażające przewidywaną wartość gorzkiej intensywności smakowej (ISG_p) gorzkich komponentów miazgi kakaowej.

Wyniki prognozowania intensywności smakowej gorzkich komponentów miazgi kakaowej przedstawiono w tabeli 2.

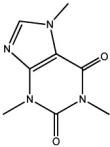
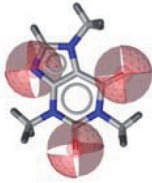
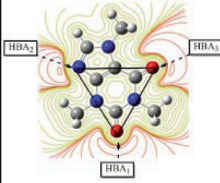
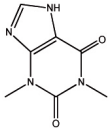
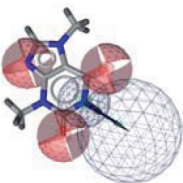
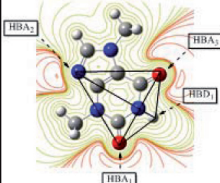
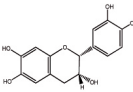
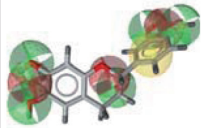
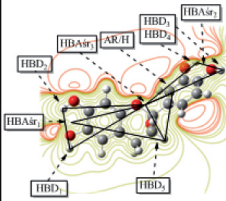
Skład goryczkowy czekolad, a w zasadzie miazgi kakaowej, charakteryzują dwa typy substancji gorzkich. Do pierwszego zalicza kofeinę i teobrominę należące do alkaloidów metyloksantynowych, a do drugiego epikatechinę, należącą do związków katechinowych. Przeprowadzona analiza farmakoforowa dowiodła, że wszystkie badane składniki miazgi kakaowej (kofeina, teobromina i epikatechina) należą do bardzo silnie gorzkich substancji. Badane ligandy charakteryzują się zarówno dużą liczbą funkcji farmakoforowych, jak i reprezentacji zdolnych do aktywacji receptorów smaku gorzkiego. Potwierdzeniem silnej gorzkości tych substancji są prognozowane intensywności smaku gorzkiego (ISG_p), które dla tej grupy mieszczą się w zakresie 90–130 gorzkiej intensywności smakowej.

Z badania metodą PMF wynika, że wysoka wartość goryczki składników miazgi kakaowej będzie powodem awersji i nieakceptacji smakowej produktów z nadmiarem goryczy metyloksantynowych i katechinowych. Fakt ten jest bardzo istotny dla jakości produktów zawierających miazgę kakaową, ponieważ determinuje strategię tłumienia ich goryczki. Surowce o silnej gorzkości powinny być stosowane w produktach w umiarkowanych ilościach albo powinny być tłumione w fazie produkcyjnej za pomocą metod maskowania (np. sacharozą), lub też tłumione poprzez zastosowanie tzw. modulatorów smaku gorzkiego, które blokują ich interakcje z receptorami smakowymi.

Wyróżniki jakościowe, jakie poddano ocenie sensorycznej, zaliczały się do wizualnych (barwa, połysk i przełom) i smakowych (rozpuszczalność, poziom akceptacji smaku słodkiego i gorzkiego). Zadaniem zespołu oceniającego była ocena badanego wyróżnika jakościowego w oparciu

o własne preferencje smakowe oraz poziom akceptacji danej cechy organoleptycznej. Uzyskane wyniki dla poszczególnych wyróżników jakościowych przedstawiono w tabeli 3.

Tabela 2. Identyfikacja funkcji i reprezentacji farmakoforowych dla gorzkich składników miazgi kakaowej

Nazwa/ nr struktury	Lokalizacja funkcji farmakoforowych (AR/H – żółty; HBA – czerwony; HBD – zielony lub niebieski)	Trójcentrowe reprezentacje farmakoforowe wraz z lokalizacją potencjału elektrostatycznego	Rodzaje rozpoznanych trójcentrowych reprezentacji farmakoforowych	Prognozowana wartość ISG _P (ISG _P = (∑LPI + ∑LIS) x k)
Kofeina /1 			HBA ₁ -HBA ₂ -HBA ₃ HBA ₃ -HBA ₁ -HBA ₂ HBA ₂ -HBA ₃ -HBA ₁ HBA ₁ -HBA ₃ -HBA ₂ HBA ₂ -HBA ₁ -HBA ₃ HBA ₃ -HBA ₂ -HBA ₁	(3 + 6) x 10 = 90
Teobromina /2 			HBA ₁ -HBA ₂ -HBA ₃ HBA ₃ -HBA ₁ -HBA ₂ HBA ₂ -HBA ₃ -HBA ₁ HBA ₁ -HBA ₃ -HBA ₂ HBA ₂ -HBA ₁ -HBA ₃ HBA ₃ -HBA ₂ -HBA ₁ HBA ₂ -HBA ₃ -HBD ₂ HBA ₁ -HBA ₂ -HBD ₂	(4 + 8) x 10 = 120
Epikatechina /3 			HBD ₁ -HBD ₂ - HBA _{5r} HBD ₅ -HBA _{5r} HBA _{5r} HBD ₅ -HBA _{5r} -AR/H HBA _{5r} HBD ₅ -HBA _{5r} -HBD ₃ - HBD ₄	(9 + 4) x 10 = 130

Źródło: opracowanie własne.

Badania sensoryczne preferencji i akceptacji smaku gorzkiego czekolad z różną zawartością miazgi kakaowej

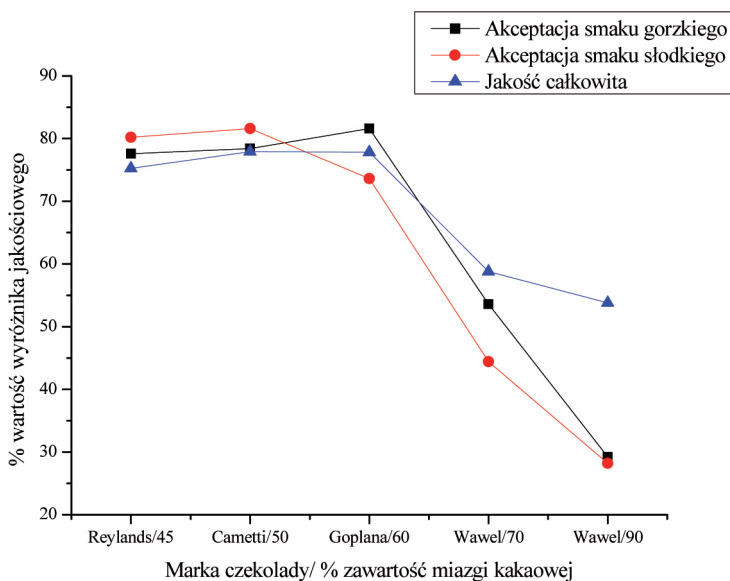
Analizując akceptację smaku gorzkiego i słodkiego przez zespół o sprawdzonej wrażliwości sensorycznej stwierdzono, że do zawartości 60% miazgi kakaowej w badanych produktach utrzymuje się ona na podobnym poziomie i jest oceniana jako dobra (rys. 1). Powyżej 60% zawartości miazgi kakaowej (dla czekolad o zawartości 70% i 90% miazgi kakaowej) następuje drastyczne obniżenie poziomu akceptacji badanych

Tabela 3. Zestawienie ocen konsumenckich dla badanych czekolad wg skali estymacji (od 1 do 5) i procentowej

Wyóżnik jakościowy	Oceny dla czekolady Reylands (45%)		Oceny dla czekolady Cametti (50%)		Oceny dla czekolady Goplana (60%)		Oceny dla czekolady Wawel (70%)		Oceny dla czekolady Wawel (90%)	
	Skala estymacji	[%]	Skala estymacji	[%]	Skala estymacji	[%]	Skala estymacji	[%]	Skala estymacji	[%]
Barwa	3,66	73,2	3,87	77,4	4,12	82,4	3,60	72,0	4,13	82,6
Połysek	3,54	70,8	3,81	76,2	3,86	77,2	3,32	66,4	3,99	79,8
Przełom	3,72	77,4	3,97	79,4	3,87	77,4	3,83	76,6	3,88	77,6
Rozpuszczalność	3,72	74,4	3,80	76,0	3,72	74,4	2,88	57,6	2,46	49,2
Akceptacja smaku gorzkiego	3,88	77,6	3,92	78,4	4,08	81,6	2,68	53,6	1,46	29,2
Akceptacja smaku słodkiego	4,01	80,2	4,08	81,6	3,68	73,6	2,22	44,4	1,41	28,2
Średnia wyróżników wizualnych	3,64	72,8	3,88	77,6	3,95	79,0	3,58	71,6	4	80,0
Średnia wyróżników smakowych	3,87	77,4	3,93	78,6	3,83	76,6	2,60	52,0	1,78	35,6
Jakość całkowita – średnia wartość wszystkich wyróżników jakościowych	3,76	75,2	3,90	77,9	3,89	77,8	2,94	58,8	2,69	53,8
Jakość smakowa – średnia wartość wyróżników gorzki/słodki	3,95	78,9	4,00	80,0	3,88	77,6	2,45	49,0	2,05	41,0

Źródło: opracowanie własne.

produktów do stopnia nieodpowiedniego. Reakcja sensoryczna na smak gorzki jest tak silna, że obserwujemy również wyraźny spadek jakości całkowitej do wartości dostatecznej.

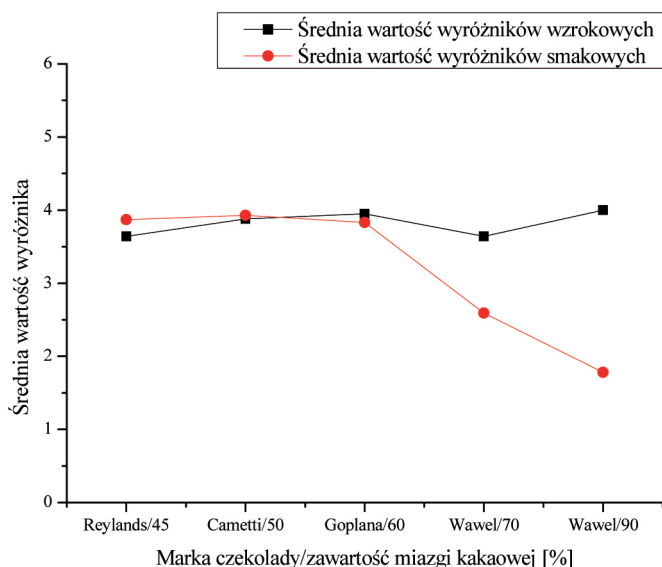


Rys. 1. Akceptacja smaku gorzkiego i słodkiego oraz jakość ogólna (wartość średnia z wszystkich wyróżników jakościowych) badanych czekolad

Źródło: opracowanie własne.

Percepcja cech określanych wizualnie może znacząco różnić się od tych określanych za pomocą aparatu smakowego. Tak jest też w przypadku badanej grupy czekolad. Średnia ocen wyróżników takich jak: barwa, połysk i przełom została określona przez oceniających na poziomie wartości 4, oznaczającym dobrą jakość (rys. 2). Z kolei średnia wartość cech smakowych (rozpuszczalności, akceptacji smaku słodkiego i gorzkiego) oceniana była jako dobra do zawartości 60% miazgi kakaowej w badanych produktach, a dla czekolad o zawartości 70 i 90% miazgi kakaowej spadła do wartości 2,6 (dostatecznej) i 1,78 (niedostatecznej) (rys. 2).

Akceptacja smaku gorzkiego jest ściśle skorelowana z akceptacją smaku słodkiego i w mniejszym stopniu z wartością pozostałych wyróżników jakościowych czekolad. Ocena akceptacji smaku gorzkiego produktów takich jak czekolady jest zatem ściśle związana z zawartością w nich cukrów maskujących gorzkie wrażenia smakowe.



Rys. 2. Zależność pomiędzy średnią dla wskaźników wzrokowych i smakowych dla badanych marek czekolad

Źródło: opracowanie własne.

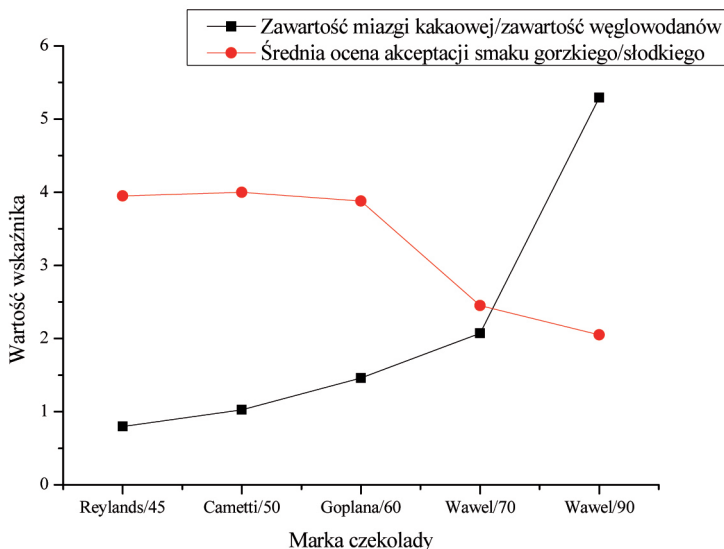
W przedstawionej tabeli 4 zamieszczono zawartość węglowodanów w stosunku do zawartości miazgi kakaowej w badanych czekoladach. Tabela 4 zawiera również wskaźnik proporcji zawartości miazgi kakaowej do zawartości węglowodanów (wskaźnik 1) oraz wskaźnik proporcji średniej oceny akceptacji smaku gorzkiego do średniej oceny akceptacji smaku słodkiego (wskaźnik 2).

Tabela 4. Porównanie zawartości węglowodanów i zawartości miazgi kakaowej oraz średnich ocen akceptacji smaku słodkiego do średnich ocen akceptacji gorzkiego

Marka czekolady/zawartość miazgi kakaowej [%]	Zawartość węglowodanów deklarowana przez producenta [g/100g]	Zawartość miazgi kakaowej [g/100g]	Wskaźnik 1 – zawartość miazgi kakaowej/zawartość węglowodanów	Wskaźnik 2 – średnia ocena akceptacji smaku gorzkiego/słodkiego
Reylands/45	56,40	45	0,798	3,95
Cametti/50	48,80	50	1,025	4,00
Goplana/60	41,10	60	1,460	3,88
Wawel/70	33,80	70	2,071	2,45
Wawel/90	17,00	90	5,294	2,05

Źródło: opracowanie własne.

Na podstawie danych zawartych w tabeli 4 porównano wartości wskaźników 1 i 2 dla badanych marek czekolad (rys. 3).



Rys. 3. Wartości proporcji miazgi kakaowej do węglowodanów (wskaźnik 1) i proporcji akceptacji smaku gorzkiego do akceptacji smaku słodkiego (wskaźnik 2) dla badanych marek czekolad

Źródło: opracowanie własne.

Deklarowana przez producenta zawartość węglowodanów zmniejsza się wraz ze zwiększeniem zawartości miazgi kakaowej (wskaźnik 1) w badanych czekoladach. Równocześnie obserwuje się spadek akceptacji smaku gorzkiego w stosunku do akceptacji smaku słodkiego w badanych próbkach czekolad. Rozbieżność akceptacji smakowej smak gorzki/smak słodki uwydatnia się dla czekolad posiadających 70 i 90% miazgi kakaowej.

Podsumowanie

Zastosowana procedura badawcza z użyciem prostego modelu farmakoforowego (PMF) pozwoliła na wyznaczenie prognozowanej intensywności smakowej (ISG_p) gorzkich komponentów miazgi kakaowej, tj. kofeiny, teobrominy i epikatechniny. Wyniki tych badań wykazały, że składniki te należą do bardzo silnie gorzkich substancji powodujących awersję i w efekcie nieakceptację smakową produktów. Nieakceptację smakową produktów o wysokiej zawartości gorzkich komponentów potwierdzają badania sensoryczne serii czekolad o różnym udziale miazgi kakaowej.

Wysoka jakość badanych czekolad utrzymuje się do 60% zawartości miazgi kakaowej, a powyżej tej wartości następuje znaczący spadek jakości badanych produktów. Istotnym problemem jest niedostateczna jakość czekolad zawierających 70 i 90% miazgi kakaowej. Rozwiązaniem może być strategia celowana na zablokowanie funkcji smakowych kofeiny, teobrominy i epikatechniny ze wskazaniem technik ograniczających kontakt substancji gorzkich z receptorami smakowymi.

Bibliografia

1. Andrews, D., Salunke, S., Cram, A., Bennett, J., Ives, R.S., Basit, A.W., Tuleu, C. (2020). Bitter-blockers as a taste masking strategy: A systematic review towards their utility in pharmaceuticals. *European Journal of Pharmaceutics and Biopharmaceutics*, 158, s. 35–51. doi: 10.1016/j.ejpb.2020.10.017.
2. Bai, W., Wang, C., Ren, C. (2014). Intakes of total and individual flavonoids by US adults. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 65(1), s. 9–20. doi: 10.3109/09637486.2013.832170.
3. Behrens, M., Korsching, S.I., Meyerhof, W. (2014). Tuning properties of avian and frog bitter taste receptors dynamically fit gene repertoire sizes. *Molecular Biology and Evolution*, 31(12), s. 3216–3227. doi: 10.1093/molbev/msu254.
4. Chen, Z., Baker, N. A., Wei, G.W. (2010). Differential geometry based solvation model I: Eulerian formulation. *Journal of Computational Physics*, 229(22), s. 8231–8258.
5. Chiacchio, M.A., Legnani, L. (2024). Density Functional Theory Calculations: A Useful Tool to Investigate Mechanisms of 1,3-Dipolar Cycloaddition Reactions. *International Journal of Molecular Sciences*, 25(2), s. 1298. doi: 10.3390/ijms25021298.
6. Gala, U., Chauhan, H. (2014). Taste Masking Techniques in the Pharmaceutical Industry. *American Pharmaceutical Review*, 17(4), Pub. Online.
7. Gaudette, N.J., Pickering, G.J. (2013). Modifying bitterness in functional food systems. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 53(5), s. 464–481. doi: 10.1080/10408398.2010.542511.
8. Jeruzal-Świątecka, J., Fendler, W., Pietruszewska, W. (2020). Clinical Role of Extraoral Bitter Taste Receptors. *International Journal of Molecular Sciences*, 21(14), s. 5156. doi: 10.3390/ijms21145156.
9. Jiao, H., Wang, Q., Wang, B.J., Li, K., Lövy, M., Nevo, E., Li, Q., Su, W., Jiang, P., Zhao, H. (2021). Local Adaptation of Bitter Taste and Ecological Speciation in a Wild Mammal. *Molecular Biology and Evolution*, 38(10), s. 4562–4572. doi: 10.1093/molbev/msab205.
10. Kikut-Ligaj, D. (2015a). *Smak gorzki w kształtowaniu jakości żywności*. Poznań: Wydawnictwo Uniwersytetu Ekonomicznego.
11. Kikut-Ligaj, D. (2019a). Perspectives of the Control of the Taste Quality of Products Based on the Simple Pharmacophore Model (SPM). D. Gwiazdowska i K. Juś (Red.), *Current Trends in Quality Science – Product and Technology Innovations* (s. 171–184). Poznań: Wydawnictwo Naukowe: Sieć Badawcza Łukasiewicz – Instytut Technologii Eksplantacji.

12. Kikut-Ligaj, D. (2019b). Identification of the bitter aftertaste of synthetic sweeteners by used of multipoint pharmacophore model (MPM). *Journal of Research and Applications in Agricultural Engineering*, 4/2019, s. 20–24.
13. Kikut-Ligaj, D., Trzecielińska-Lorych, J. (2015b). How taste works – cells, receptors and perception of the taste. *Cellular & Molecular Biology Letters*, 20(5), s. 669–716.
14. Liu, Q., Zhang, D., Zhang, F., Zhao, Y., Hsia, K.J., Wang, P. (2013). Biosensor recording of extracellular potentials in the taste epithelium for bitter detection. *Sensors & Actuators B: Chemical*, 176, s. 497–504. doi: 10.1016/j.snb.2012.08.074.
15. Matuszewska, I., Szczecińska, A., Baryłko-Pikielna, N. (1998). Przydatność sensorycznej metody profilowej w interpretacji preferencji konsumenckich wybranych produktów. *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość*, 1(14), s. 5–21.
16. Meyerhof, W., Batram, C., Kuhn, C., Brockhoff, A., Chudoba, E., Bufe, B., Appendino, G., Behrens, M. (2010). The molecular receptive ranges of human TAS2R bitter taste receptors. *Chemical Senses*, 35(2), s. 157–170. doi: 10.1093/chemse/bjp092.
17. Seidel, T., Bryant, S.D., Ibis, G., Poli, G., Langer, T. (2017). 3D Pharmacophore Modeling Techniques in Computer-Aided Molecular Design Using LigandScout. *Tutorials in Chemoinformatics* (s. 279–309). John Wiley & Sons. doi: 10.1002/9781119161110.ch20
18. Townsend, P.A., Grayson, M.N. (2020). Density Functional Theory in the Prediction of Mutagenicity: A Perspective. *Chemical Research in Toxicology*, 34(2), s. 179–188. doi: 10.1021/acs.chemrestox.0c00113.
19. Valente, C., Alvarez, L., Marques, P.I., Gusmão, L., Amorim, A., Seixas, S., João, Prata, M. (2018). Genes from the TAS1R and TAS2R Families of Taste Receptors: Looking for Signatures of Their Adaptive Role in Human Evolution. *Genome Biology and Evolution*, 10(4), s. 1139–1152. doi: 10.1093/gbe/evy071.
20. Zhong, H., Huang, J., Shang, S., Yuan, B. (2021). Evolutionary insights into umami, sweet, and bitter taste receptors in amphibians. *Ecology and Evolution*, 11(24), s. 18011–025. doi: 10.1002/ece3.8398.

Jakość i działanie preparatów antycellulitowych wzbogaconych w wybrane składniki naturalne w ocenie konsumentów

Quality and effect of anti-cellulite preparations enriched with selected natural ingredients as assessed by consumers

Aleksandra FRITZKOWSKA, Katarzyna WYBIERALSKA

Katedra Technologii i Analizy Instrumentalnej, Instytut Nauk o Jakości,

Uniwersytet Ekonomiczny w Poznaniu, e-mail:Katarzyna.Wybialaska@ue.poznan.pl

Słowa kluczowe: cellulit, lipodystrofia, kremy antycellulitowe i ich jakość.

Streszczenie: Celem przeprowadzonych badań było wskazanie dostępnych zabiegów antycellulitowych oraz analiza składników preparatów kosmetycznych dających najkorzystniejsze rezultaty w walce z cellulitem. W części literaturowej pracy zostały omówione najważniejsze zagadnienia związane z lipodystrofią i składniki kosmetyków wpływające na jej niwelowanie. W części badawczej zaproponowano przepis na domowy krem antycellulitowy; porównano jego właściwości fizykochemiczne oraz skuteczność stosowania z dwoma popularnymi preparatami dostępnymi na rynku.

Keywords: cellulite, lipodystrophy, anti-cellulite creams and their quality.

Abstract: The aim of this study is to indicate anti-cellulite treatments, and analyze the cosmetic ingredients that yield the most favorable results in the fight against cellulite. The literature review section of the study discusses the most important issues related to lipodystrophy, cosmetic ingredients that affect its reduction, and selected anti-cellulite treatments. The research section proposes a recipe for a homemade anti-cellulite cream, compares its physicochemical properties and effectiveness with two popular products available on the market.

Wprowadzenie

Nieprawidłowe rozmieszczenie tkanki tłuszczowej, zwane cellulitem, jest jedną z najszybciej rozwijających się dolegliwości XXI wieku. Szacuje się, że problem ten dotyka aż 85% kobiet po 20. roku życia, a w okresie pokwitania może zmagać się z nim do 98% kobiet (Gałązka, Gałęba, Nurein, 2014; Friedmann, Vick, Mishra, 2017; Avram, 2005). U zdrowych mężczyzn cellulit występuje rzadko, ale może pojawić się z powodu schorzeń objawiających się niedoborem androgenów lub wymagających terapii estrogenowej (Avram, 2005). Pogarsza on w znaczący sposób samoocenę i jakość życia osób, które się z nim zmagają. Cellulit można uznać za jedną z chorób cywilizacyjnych związanych ze współczesnym stylem życia

i sposobem żywienia. Dostępne obecnie metody leczenia są żmudne, często kosztowne i nie zawsze skuteczne. Brakuje wczesnej, obiektywnej, ilościowej i spersonalizowanej diagnozy różnych stadiów cellulitu, co utrudnia profilaktykę lub wczesną interwencję terapeutyczną.

Wbrew powszechnym przekonaniom zmiany cellulitowe mogą dotyczyć osoby o szczupłej budowie ciała w takim samym stopniu jak osoby otyłej. W związku z panującym w dzisiejszych czasach kultem szczupłej, wyidealizowanej sylwetki problem ten stanowi szczególne wyzwanie dla współczesnej kosmetologii i dermatologii estetycznej. Poza nieestetycznym wyglądem należy zwrócić uwagę także na zaburzenia krążenia krwi i limfy w zmienionych chorobowo obszarach (Marwicka, Niemyska, Cieślicka, 2015). Ma to szczególne znaczenie w funkcjonowaniu gospodarki hormonalnej, ze względu na jej ścisłe powiązania z tkanką tłuszczową (Demissie, Milewicz, 2003).

Głównym objawem cellulitu jest pojawienie się zagłębień i wyniosłości na powierzchni skóry. Zgrubienia pojawiają się w miejscach, gdzie tkanka tłuszczowa odkłada się w największym stopniu – na udach, pośladkach, brzuchu czy ramionach (Gałązka, Gałęba, Nurein, 2014). Kolejnymi objawami lipodystrofii jest występowanie rozszerzonych porów i nabrzmiałego naskórka (Misbah, Rao, Sadick, 2011).

Potrzeba niwelowania lipodystrofii doprowadziła do powstania na rynku kosmetycznym szerokiej oferty zabiegów i preparatów antycellulitowych. Jednak nie wszystkie z nich charakteryzują się wysoką skutecznością działania.

Cellulit – charakterystyka

Cellulit wyglądem przypomina „skórkę pomarańczy” i jest wieloczynnikowym zaburzeniem dermatologicznym, stanowiącym jeden z najczęstszych problemów estetycznych we współczesnym świecie. Ma on charakter obrzękowo-włókniejący, który objawia się nierównomiernym ukształtowaniem skóry i nieprawidłowym rozmieszczeniem tkanki tłuszczowej. Cellulit może zajmować pojedyncze obszary skóry lub większe skupiska, które prowadzą do ogólnego pomarszczonego wyglądu (Smalls, Lee, Whitestone, 2005).

Pojawia się on najczęściej w okolicach bioder, brzucha, ud czy pośladków – w typowych obszarach, w których lipogeneza zachodzi najintensywniej, a tkanka tłuszczowa odkłada się w największym stopniu.

Analizując konsystencję skóry, można wyróżnić cztery główne rodzaje lipodystrofii:

- postać twarda (wodna) – ten rodzaj cellulitu występuje najczęściej u młodych i szczupłych kobiet, przeważnie aktywnych fizycznie. Nierównomierne zgrubienia pojawiają się przy uchwyceniu fałdu skór nego,
- postać wiotka (tłuszczowa) – pojawia się u kobiet nieaktywnych ruchowo, często po nagłej redukcji masy ciała. Objawia się zmniejszoną jędrnością i napięciem skóry oraz występowaniem zagłębień w tkance. Może pojawić się po niewłaściwie leczonej postaci twardej cellulitu,
- postać obrzękowa – stanowi najcięższą postać lipodystrofii; pojawia się u osób ze skłonnościami do obrzęków i zaburzeniami krążenia obwodowego krwi i limfy. Skóra osoby zmagającej się z postacią obrzękową jest cienka i blada, a po jej ściśnięciu pojawia się utrzymujące się zagłębienie,
- postać mieszana – łączy cechy postaci twardej i miękkiej (Marwicka, Niemyska, Cieślicka, 2015).

Rodzaj występującego cellulitu uwarunkowany jest podłożem, na którym się kształtuje, stylem życia danej osoby i jej skłonnościami do występowania zaburzeń krążenia.

W celu klinicznej oceny stopnia zaawansowania cellulitu można zastosować IV-stopniową skalę makroskopową. Pozwala to na rozpoznanie stopnia nasilenia choroby i umożliwia odpowiednie dopasowanie środków terapeutycznych.

Stopień I – stan skóry na pierwszy rzut oka wygląda całkowicie normalnie, jest elastyczna i gładka, a zmiany cellulitowe są widoczne dopiero po ujęciu fałdu skór nego. Zmiany są praktycznie niezauważalne, a tkanka tłuszczowa jest prawidłowo rozmieszczona. Naczynia włosowate wykazują natomiast niedostateczną przepuszczalność, co skutkuje zaburzonym przepływem limfy.

Stopień II – skóra traci swoją elastyczność; w tym stadium często pojawiają się zaburzenia mikrokrążenia. Uwypuklenia pojawiają się po ujęciu skóry w fałd, po napięciu mięśni oraz w pozycji stojącej. Zmiany nie są widoczne po przyjęciu pozycji leżącej.

Stopień III – skóra znacząco traci swoją elastyczność i gładkość. W tym stadium mogą pojawić się obrzęki oraz ból zmienionych chorobowo tkanek. Zmiany cellulitowe widoczne są w każdej pozycji ciała – leżącej, siedzącej i stojącej. Na powierzchni skóry wyczuwalne są nierówności i grudki.

Stopień IV – skóra charakteryzuje się grudkami i uwypukleniami, widocznymi w każdej przyjętej pozycji. Stopień ten określa najwyższe zaawansowanie choroby; na tym etapie często niezbędna jest konsultacja lekarska (Marwicka, Niemyska, Cieślicka, 2015).

Składniki kosmetyków antycellulitowych usprawniające mikrokrążenie i aktywujące układ limfatyczny

Grupą związków, które w znaczący sposób poprawiają mikrokrążenie krwi i limfy, są polifenole, do których zaliczamy saponiny i flawonoidy. Powodują one uszczelnianie naczyń krwionośnych oraz ich wzmocnienie, co stanowi równoczesną profilaktykę przeciwbrzękową (Bojarowicz, Rucińska, Krysiński, 2015). Wiąże się to bezpośrednio z zarówno lepszym dotlenieniem i odżywieniem komórek, jak i sprawniejszym odprowadzeniem ich metabolitów.

Jedną z najbardziej znanych roślin zawierających wspomniane związki jest bluszcz pospolity (*Hedera Helix*). Jest to roślina ceniona od wieków zarówno za swoje walory dekoracyjne, jak i lecznicze. W ostatnich latach coraz większe zainteresowanie budzi jego potencjalne działanie antycellulitowe. W kosmetykach antycellulitowych bluszcz pospolity jest ceniony właśnie ze względu na zawarte w nim saponiny – hederageninę i hederynę. Stosowany jest on najczęściej w formie wyciągu z liści lub jako olejek eteryczny. Wykazuje wiele zalet w działaniu miejscowym na skórze – poprawia jej krążenie, elastyczność i jędrność. Wpływa także na odprowadzanie toksyn z organizmu i nadmiaru wody gromadzącej się w tkankach, przez co ogranicza rozwój lipodystrofii (Tybur, Piotrowska, 2018). Ponadto udowodniono, że bluszcz pospolity powoduje przyspieszenie spalania tkanki tłuszczowej. Zawarta w nim hederyna działa także przeciwzapalnie i przeciwbólowo.

Znaczącą ilość saponin i flawonoidów można znaleźć także w ziele wąkroty azjatyckiej (*Centella asiatica*), które również jest wykorzystywane przy tworzeniu produktów redukujących cellulit. Wąkrota, nazywana także ziele tygrysa, charakteryzuje się bogactwem składników aktywnych, takich jak witaminy (A, C, E i K), garbniki czy fitosterole (Bojarowicz, Rucińska, Krysiński, 2015). Substancje te wykazują działanie przeciwzapalne, przeciwutleniające i przeciwbakteryjne, co sprawia, że jest ona skuteczna w leczeniu różnych schorzeń skórnych. Jej wielokierunkowe działanie spowodowane jest także obecnością związków triterpenowych, pochodnych ursanu i oleananu (Karłowicz-Bodalska i in., 2013). Zawarte w niej triterpeny stymulują produkcję kolagenu i innych białek tkanki łącznej poprzez działanie na fibroblasty obecne w ścianach naczyń, co, w konsekwencji, wpływa na poprawę ich elastyczności i napięcia oraz działa przeciwbrzękowo. Zapobiega to tworzeniu się zmian cellulitowych, które, według krążeniowej teorii powstawania cellulitu, zaczynają się od dysfunkcji w obrębie krążenia krwi i limfy (Gałązka, Gałęba, 2014).

W preparatach antycellulitowych również często można znaleźć algi (*Algae*), stanowiące bogate źródło surowców o korzystnym działaniu dla skóry. W ich skład wchodzi zarówno węglowodany, lipidy, jak i składniki mineralne czy witaminy, takie jak: C, D, E, witaminy z grupy B oraz karotenoidy (Bojarowicz, Rucińska, Krysiński, 2015). W ich składzie można wyróżnić także kwas alginowy, regulujący metabolizm i usuwający złogi tłuszczu oraz kwas hialuronowy, odpowiadający za nawilżenie skóry. Ponadto algi regulują procesy lipolizy oraz poprawiają ukrwienie tkanek, dzięki czemu ograniczają rozwój cellulitu (Bojarowicz, Rucińska, Krysiński, 2015). W szeregu ich korzystnych właściwości można wyróżnić także działanie wzmacniające barierę lipidową naskórka oraz zdolność do łagodzenia stanów zapalnych. Algi wpływają również na rozjaśnianie cery, dzięki czemu wygląda ona zdrowiej i korzystniej (Kucia, 2017).

Inną algą również często wykorzystywaną jest spirulina (*Spirulina platensis*). Wykazuje ona działanie nawilżające i wygładzające skórę. Dodatkowo korzystnie oddziałuje na jej odżywienie i regenerację oraz odpowiednie napięcie (Kucia, 2017).

Analizując składniki usprawniające mikrokrążenie i aktywujące układ limfatyczny, nie można zapomnieć o miłorzębie japońskim (*Ginkgo bilboa*), którego dobroczynne działanie, podyktowane obecnością licznych substancji bioaktywnych, wpłynęło na jego szerokie wykorzystywanie zarówno w kosmetyce, jak i medycynie. Liście i nasiona tej rośliny mogą stanowić jeden z najpowszechniejszych produktów fitofarmaceutycznych w Stanach Zjednoczonych i Europie. Niezwykłe efekty farmakologiczne przypisuje się działaniu przeciwapoptotycznemu, antyoksydacyjnemu i przeciwzapalnemu (Noor-E-Tabassum, Rajib Das i in., 2022).

Kolejnym często spotykanym składnikiem preparatów antycellulitowych jest skrzyp polny (*Equisetum arvense* L.). Roślina ta jest szeroko stosowana w medycynie ludowej ze względu na swoje właściwości lecznicze, a także w kosmetyce jako składnik produktów przeznaczonych do pielęgnacji skóry. Roślina ta stanowi także bogate źródło krzemu, który stanowi niezbędny element procesów syntezy kolagenu w skórze, który jest jej głównym białkiem budulcowym (Grzyb, Grzyb, 2021). Odpowiada on m.in. za odpowiednie nawilżenie skóry i utrzymanie jej prawidłowej elastyczności, co jest istotnym czynnikiem w profilaktyce antycellulitowej.

Analizując składniki aktywne preparatów zapobiegających rozwojowi lipodystrofii, warto zwrócić uwagę na szerokie działanie arniki górskiej. W kosmetykach arnika góraska jest stosowana ze względu na jej zdolność do poprawy krążenia krwi. Jest również uważana za skuteczny środek na opuchliznę i obrzęki oraz na zaczerwienienia skóry. Dzięki tym właściwościom może pomóc w zmniejszeniu tych dolegliwości oraz

poprawić przepływ limfy, co przyczynia się do lepszego wyglądu skóry (Klimowicz i in., 2015). Arnika górską jest również bogata w składniki odżywcze, takie jak karotenoidy, flawonoidy i saponiny, które wspierają odbudowę i regenerację tkanek, co pomaga w poprawie wyglądu skóry dotkniętej cellulitem. Ponadto problem lipodystrofii jest często związany z zapaleniem tkanek, a arnika górską pomaga w zmniejszeniu stanów zapalnych, co przyczynia się do poprawy kondycji skóry (Klimowicz i in., 2015).

W terapii antycellulitowej często wykorzystywane są także preparaty zawierające wyciąg z kasztanowca. Zawiera on bogatą gamę substancji o działaniu przeciwzapalnym i przeciwutleniającym, co może przyczynić się do poprawy stanu skóry. Saponiny zawarte w kasztanowcu mogą również wspomagać usuwanie nadmiaru wody z organizmu, co może mieć korzystny wpływ na wygląd skóry (Grynkiewicz, Gruza, Jatzak, 2015). Ekstrakt z kasztanowca jest szeroko stosowany w leczeniu chorób skóry, takich jak trądzik, łuszczyca, egzema i inne schorzenia zapalne. Wykazuje działanie antybakteryjne i antyoksydacyjne. Pozwala to na skuteczną walkę z wolnymi rodnikami i oznakami starzenia się skóry, co stanowi atut w terapiach antycellulitowych.

W kosmetyce coraz większym zainteresowaniem cieszy się kwas glikolowy, który znalazł zastosowanie także w preparatach antycellulitowych. Jego działanie opiera się na rozjaśnieniu i wygładzeniu skóry oraz zwiększeniu jej nawilżenia (Sadowska, Kamm, 2022). Ma również działanie przeciwzapalne i przeciwutleniające, co pozwala na ochronę skóry przed szkodliwym wpływem czynników zewnętrznych. Może być on stosowany zarówno na twarz, jak i na ciało, jednak najczęściej jest stosowany w preparatach antycellulitowych w celu zmniejszenia widoczności cellulitu na udach, pośladkach i brzuchu.

Składniki kosmetyków antycellulitowych regulujące metabolizm lipidów

Jednym z najczęściej spotykanych składników aktywnych w preparatach antycellulitowych jest kofeina (*Caffeine*). Stanowi ona często czołowy składnik wielu preparatów kosmetycznych. Istnieje jednak ograniczona liczba bezpośrednich dowodów potwierdzających jej rolę w redukcji cellulitu. Szereg jej właściwości, w tym antycellulitowych, opiera się na założeniu, że kofeina uwalniana jest w naskórku, a następnie przechodzi do skóry właściwej i tkanki podskórnej, zapobiegając gromadzeniu się tłuszczu w komórkach (Herman, Herman, 2013).

Kofeina nie tylko potencjalnie wpływa na zahamowanie niekorzystnych zmian cellulitowych, ale redukuje także już obecne grudki i nierówności widoczne na skórze. Powszechność stosowania kofeiny w tego typu kosmetykach uzasadniona jest jej wielokierunkowym działaniem – poprawia ona mikrokrążenie i wpływa na metabolizm komórek tłuszczowych (Bojarowicz, Rucińska, Krysiński, 2015). Wykazuje ona właściwości rozszerzające naczynia krwionośne, dzięki czemu usprawnia procesy krążenia krwi i limfy, przez co skóra jest lepiej dotleniona i odżywiona. Ponadto dociera bezpośrednio do komórek tłuszczowych ze względu na jej wysoką zdolność do penetracji skóry właściwej. Jej działanie antycellulitowe opiera się także na aktywacji procesu lipolizy i uwalniania nadmiaru tłuszczu z adipocytów, zmniejszając tym samym ich wielkość (Herman, Herman, 2013). Działanie to polega na zahamowaniu aktywności enzymu fosfodiesterazy, co stymuluje procesy lipolizy i zmniejsza gromadzenie tłuszczu w komórkach. Oprócz tego kofeina pobudza produkcję katecholamin, a także zwiększa ich aktywność metaboliczną, dzięki czemu skóra wygląda korzystniej (Klimowicz i in., 2015).

Lukrecja gładka (*Glycyrrhiza glabra*) należy do rodziny bobowatych i jest wykorzystywana do celów leczniczych już od czasów starożytnych. Roślina ta zawiera różne fitozwiązki, takie jak glicyryzynę (z której powstaje kwas 18- β -glicyretynowy), glabrynę oraz izoflawony, które wykazują różne działania farmakologiczne. W jej składzie można wyróżnić także flawonoidy, triterpeny, saponiny oraz olejki eteryczne. Badania wykazały, że zmniejsza ona gromadzenie się lipidów w dojrzewających komórkach i pobudza procesy uwalniania glicerolu z dojrzałych komórek tłuszczowych. Ponadto poprawia wygląd skóry przez jej działanie nawilżające ze względu na zdolność do wiązania wody (Tybur, Piotrowska, 2018).

Kolejnymi substancjami regulującymi metabolizm lipidów są olejki eteryczne. Zapach jest integralną częścią produktów kosmetycznych i często jest uważany za nadrzędny czynnik przy wyborze kosmetyków wśród konsumentów. W produktach antycellulitowych mają one szczególne znaczenie ze względu na swoje wielokierunkowe działanie – przeciwbakteryjne, przeciwwirusowe oraz przeciwzapalne. Do tego typu kosmetyków często dodawane są olejki pomarańczowe, grejpfrutowe, cyprysowe, cytrynowe i geraniowe, ponieważ poprawiają mikrokrążenie krwi i limfy. Polepszają także napięcie skóry i jej elastyczność, działając stymulująco na odnowę elastyny i kolagenu (Marwicka, Niemyska, Podraza, 2015). Olejki eteryczne wykazują także korzystne działanie na gospodarkę wodno-lipidową i zapobiegają obrzękom (Bojarowicz, Rucińska, Krysiński, 2015). W profilaktyce antycellulitowej olejki eteryczne mogą być stosowane w różnych formach – zarówno jako składnik odpowiednich kosmetyków,

jak i jako dodatek do masażu aromaterapeutycznego lub zabiegów parowych (Marwicka, Niemyska, Podraza, 2015).

Kolejnym istotnym składnikiem wpływającym na metabolizm lipidów jest L-karnityna. Jest ona organicznym związkiem chemicznym, naturalnie występującym w organizmie człowieka. L-karnityna powstaje z dwóch aminokwasów – lizyny i metioniny, które są niezbędne do prawidłowego funkcjonowania organizmu. Jej synteza odbywa się w wątrobie i nerkach. Pełni ona istotną funkcję w metabolizmie lipidów, ponieważ transportuje kwasy tłuszczowe do mitochondriów, gdzie ulegają utlenianiu w celu uzyskania energii. Dzięki nasileniu procesów spalania przyczynia się ona bezpośrednio do redukcji tkanki tłuszczowej, wykazując działanie antycellulitowe (Bojarowicz, Rucińska, Krysiński, 2015). W ostatnich latach L-karnityna zyskała popularność w kosmetykach oraz jako suplement diety wspomagający redukcję tkanki tłuszczowej i cellulitu.

Na metabolizm adipocytów wpływają także niektóre witaminy, dlatego producenci często dodają je do oferowanych przez siebie produktów. Jedną z najczęściej spotykanych w tego typu preparatach witamin, jest witamina A. Jest ceniona ze względu na wysoką aktywność biologiczną, dlatego wraz z innymi retinoidami znalazła szerokie zastosowanie w kosmetyce (Bernat, Matysek-Nawrocka, Cioczek, 2016).

Liczne badania dowodzą, że stosowanie retinolu zwiększa napięcie i jędrność skóry oraz wygładza jej powierzchnię, zmniejszając objawy cellulitu (Piérard-Franchimont, Piérard, Henry, Vroome Cauwenbergh, 2012). Retinol wpływa także na zahamowanie rozrostu tkanki tłuszczowej dzięki ograniczeniu różnicowania preadipocytów. Ponadto wykazuje on także działanie antyoksydacyjne i wpływa regenerująco na skórę. Najczęściej spotykanymi pochodnymi retinolu jest palmitynian lub octan retinyli. Wykazują one korzystne działanie w procesie keratynizacji i wspomagają odnowę naskórka (Bojarowicz, Rucińska, Krysiński, 2015).

Stosowanie preparatów zawierających witaminę A stanowi profilaktykę przeciwko wysuszeniu się skóry i dostawaniu się do niej drobnoustrojów chorobotwórczych ze względu na jej rolę w utrzymywaniu ciągłości naskórka. Wspomaga ona wytwarzanie odpowiedniej warstwy ochronnej, która zapobiega procesom jego rogowacenia (Sionkowska, 2019).

W produktach przeznaczonych do walki z cellulitem również często spotykana jest witamina C, znana z szeregu swoich korzyści prozdrowotnych. Wpływa na poprawę krążenia krwi i limfy dzięki zdolnościom uszczelniania naczyń krwionośnych. Zwiększa także wytrzymałość mechaniczną naczyń włosowatych, co również wywiera korzystny wpływ na mikrokrążenie (Sionkowska, 2019).

Witamina C jest ważnym przeciwutleniaczem, przez co wpływa na procesy starzenia się skóry. Nawilża ją i wygładza oraz poprawia jej koloryt, powodując, że nabiera blasku. Jej szerokie spektrum korzystnych właściwości sprawia, że jest wykorzystywana w różnego rodzaju dermokosmetykach, w tym antycellulitowych (Sionkowska, 2019).

Kolejną istotną witaminą dodawaną do produktów antycellulitowych jest witamina E. Jest ceniona ze względu na swoje zdolności do regulowania gospodarki lipidowej. Stanowi najważniejszy inhibitor łańcuchowej peroksydacji lipidów. Ponadto hamuje ona utlenianie tłuszczów, obniżając poziom blaszki miażdżycowej. Jej korzystne działanie obejmuje także układ krwionośny poprzez obniżanie zdolności do agregacji płytek krwi i wzmacnianie ścian naczyń krwionośnych. Wykazuje także działanie przeciwzapalne i przeciwobrzękowe, co stanowi niewątpliwy atut w terapii antycellulitowej. Witamina E wykazuje wysoką lipofilność, dzięki której może wnikać w głąb skóry. Cechuje ją zdolność do wbudowywania się w błony komórkowe naskórka i przestrzeń międzykomórkową, przez co skóra pozostaje jędrna i napięta. W kosmetykach antycellulitowych wykorzystywana jest także ze względu na swoje działanie nawilżające, które wspomaga walkę z lipodystrofią. Często spotykane jest jej połączenie z witaminą C ze względu na wykazujący razem synergizm. Stosowanie ich razem wzmacnia korzystne działanie dla układu krwionośnego (Bajcer i in., 2016).

Innym ważnym składnikiem aktywnym preparatów antycellulitowych jest koenzym A (CoA). Jest to organiczny związek chemiczny, który pełni ważną funkcję w wielu procesach metabolicznych w organizmie. Jest używany jako składnik wielu kosmetyków, ponieważ wykazuje silne działanie przeciwzapalne i przeciwutleniające oraz może pomóc w zmniejszeniu widocznych objawów cellulitu (Nasrollahi i in., 2015). Stosowany jest często w kosmetykach przeznaczonych dla cery dojrzałej ze względu na wykazywane właściwości redukujące zmarszczki. Kosmetyki zawierające ten składnik aktywny poprawiają jędrność i elastyczność skóry ze względu na jej lepsze dotlenienie i odżywienie, co stanowi istotny czynnik w terapii antycellulitowej. CoA może również wspomagać produkcję kolagenu, co przyczynia się do lepszej jakości i korzystniejszego wyglądu skóry.

Część badawcza

Celem badań było porównanie wybranych parametrów analizowanych kremów o działaniu antycellulitowym. Do badań wybrano trzy kremy, jeden przygotowany w laboratorium i dwa produkty gotowe, wymieniane w rankingach jako jedne z najbardziej popularnych tego typu preparatów

– Slim Extreme 4D od Eveline Cosmetics i dermo body cellulite; nocny turbo-krem antycellulitowy od Tołpa.

Domowy krem antycellulitowy – receptura

Wszystkie produkty zostały zakupione w sklepie internetowym „zrob-sobiekrem”. Skład domowego kremu antycellulitowego był następujący:

- Faza A (olejowa):
 - olej kokosowy frakcjonowany – 180 g
 - воск pszczeli – 60 g
 - alkohol cetylowy – 36 g
- Faza B (wodna):
 - kofeina – 24 g
 - ekstrakt z miłorzębu japońskiego (proszek rozpuszczany w wodzie) – 24 g
 - wyciąg wodno-glicerynowy z bluszczu (*hedera helix*) – 18 g
 - macerat olejowy z morskoczynu pęcherzykowatego – 90 g
 - D-Panthenol – 24 g
 - gliceryna – 36 g
 - woda – 105 ml
- Faza C (dodatki):
 - olejek pomarańczowy – 1 ml
 - olejek grejpfrutowy – 1 ml
 - konserwant np. DHA+BA (Dehydroacetic Acid, Benzyl Alcohol) – 3 g

Fazy podgrzewano oddzielnie i łączono w wymienionej kolejności na ciepło.

Skład analizowanych produktów

Krem własny

Skład (INCI): Cocos Nucifera Oil, Fucus Vesiculosus (Bladderwrack) Extract, Aqua, Glycerin, Cera Alba, Cetyl Alcohol, Caffeine, Panthenol, Ginkgo Biloba Leaf Extract, Hedera Helix (Ivy) Extract, Citrus Aurantium Dulcis (Orange) Peel Oil, Citrus Grandis (Grapefruit) Peel Oil, Dehydroacetic Acid, Benzyl Alcohol.

Slim Extreme 4D od Eveline Cosmetics

Skład (INCI): Aqua (Water), C12-15 Alkyl Benzoate, Glycerin, Ethylhexyl Stearate, Glyceryl Stearates, Isopropyl Myristate, Triolein, Glyceryl Stearate, PEG-100 Stearate, Alcohol Denat., Cetyl Alcohol, Betaine, Centella Asiatica Leaf Extract, Menthol, Hedera Helix Leaf Extract, Laminaria Hyperborea Extract, Tocopheryl Acetate, Triticum Vulgare Germ Oil, Maris

Sal, Urea, Caesine, Tocopherol, Fisetin, Cholesterol, Plankton Extract, Sodium Deoxycholate, Raspberry Ketone, Triglyceride, Carnitine HCL, Phosphatidylcholine, Glyceryl Dioleate, Propylene Glycol, Butylene Glycol, Dimethicone, Hydroxyethyl Acrylate/Sodium Acryloyldimethyl Taurate Copolymer, Hydrogenated Vegetable Oil, Ozokerite, DMDM Hydantoin, Olus Oil, Cera Alba, Hydrogenated Palm Acid, Stearyl Stearate, Synthetic Fluorophogopite, Polysorbate 60, Sorbitan Isostearate, Caprylic/Capric Propanediol, Potassium Sorbate, Sodium Benzoate, Sodium Citrate, Citric Acid, Sodium Sulfate, Sorbic Acid, Parfum (Fragrance), Phenoxyethanol, Methylparaben, Propylparaben, Butylparaben, Ethylparaben, Benzyl Alcohol, Dehydroacetic Acid, Xanthan Gum, Disodium EDTA, CI 19140, CI 77891, CI 42090 (dane producenta).

Dermo body cellulite; nocny turbo-krem antycellulitowy od Tołpa

Skład (INCI): Aqua, Glycerin, C12-15 Alkyl Benzoate, Butyrospermum Parkii (Shea Butter), Peat Extract, Glyceryl Stearate Citrate, Aluminium Starch Octenylsuccinate, Euglena Gracillis Extract, Parfum, Caffeine, Glaucium Flavum (Leaf) Extract, Tocopherol, Sodium Polyacrylate, Acrylates/ C10-30 Alkyl Acrylate Crosspolymer, Disodium EDTA, Sodium Hydroxide, Alcohol, Phenoxyethanol, Caprylyl Glycol, Sodium Benzoate, Potassium Sorbate (dane producenta).

Metody i wyniki badań

Metodyka badań

1. Ocena organoleptyczna
Oceniano poszczególne kosmetyki z wykorzystaniem zmysłów węchu i wzroku; ocenie poddano barwę, zapach i konsystencję.
2. Badanie pH
Przygotowano 2% roztwory emulsji wodnej badanych preparatów, a następnie mierzono pH każdego z nich przy pomocy pH-metru.
3. Oznaczanie gęstości
Zważono na wadze analitycznej piknometr pusty, następnie napełniony wodą destylowaną oraz piknometr wypełniony kolejno każdym kremem. Gęstość kremów obliczono przy pomocy wzoru:
$$\text{gęstość} = (\text{masa piknometru z kremem} - \text{masa piknometru pustego}) / (\text{masa piknometru z wodą destylowaną} - \text{masa piknometru pustego}).$$
4. Badanie lepkości
Umieszczono analizowane kremy w zlewkach i przeprowadzono badania lepkości przy pomocy lepkościomierza Brookfield Viscometer DV2T extra.

5. Badanie stopnia nawilżenia i wielkości przelnaskórkowej utraty wody (TEWL)

Zmierzono przy pomocy sondy korneometru i tewametru (aparat: system wielosondowy MPA) wartości stopnia nawilżenia i przelnaskórkowej utraty wody. Najpierw dokonano pomiaru na suchej skórze. Następnie nałożono trzy kremy na powierzchnię skóry i powtarzano pomiary bezpośrednio po nałożeniu kremów oraz po upływie 15, 30 i 45 minut.

Wszystkie ww. badania przeprowadzono w temperaturze pokojowej. Dane przedstawione w tabelach 2–5 to wartości średnie z 3 pomiarów.

Analiza właściwości użytkowych

Ocena organoleptyczna

Tabela 1. Wyniki oceny organoleptycznej

Krem	Barwa	Zapach	Konsystencja
Krem własny	Brazowa	Intensywny, lekko drażniący	Niejednorodna
SLIM EXTREME 4D od Eveline Cosmetics	Jasnozielona	Intensywny, przyjemny	Jednorodna
dermo body cellulite od Tołpa	Jasnobrazowa	Delikatny, przyjemny	Jednorodna

Źródło: opracowanie własne.

Porównując ocenę organoleptyczną trzech kremów (tabela 1), można zauważyć, że każdy z nich miał inną barwę i zapach. Krem własny miał brązową barwę, intensywny, lekko drażniący zapach i niestabilną konsystencję. Slim Extreme 4D od Eveline Cosmetics odznaczał się jasnozieloną barwą, intensywnym, przyjemnym zapachem i jednorodną konsystencją. Dermo body cellulite od Tołpa miał jasnobrazową barwę, delikatny, przyjemny zapach i jednorodną konsystencję. Barwa wszystkich badanych kremów była akceptowalna.

Lekko drażniący zapach kremu własnego mógł być spowodowany intensywną wonią zastosowanych składników aktywnych i niewielką ilością olejków eterycznych. Natomiast jego niestabilna konsystencja najprawdopodobniej wynikała ze zbyt wysokiej temperatury otoczenia podczas otrzymywania kremu (30°C) i, co bardziej możliwe, z niedostatecznie dobrze dobranego składu. Otrzymana emulsja była stabilna i jednorodna podczas przechowywania w lodówce w temperaturze 3°C.

Badanie pH

Tabela 2. Średnia wartości pH

Krem	Wartość pH
Krem własny	4,8
SLIM EXTREME 4D od Eveline Cosmetics	6,8
dermo body cellulite od Tołpa	7

Źródło: opracowanie własne.

pH wszystkich analizowanych kremów mieściło się w zakresie normy (pH 4,5–7), co prezentuje tabela 2. Na podstawie wyników pomiarów pH można stwierdzić, że krem własny miał kwaśne pH (4,8), podczas gdy Slim Extreme 4D i Tołpa charakteryzowały się pH lekko kwaśnym i obojętnym (odpowiednio 6,8 i 7). Wartość pH kremu własnego była najbardziej zbliżona do naturalnego pH skóry, które oscyluje w zakresie od 4,5 do 5,5. Różnica w pH kremów może mieć wpływ na skórę i jej naturalne pH, co przyczynia się do efektów stosowania danego kosmetyku i jego odbioru przez konsumenta. Zmiana naturalnego pH skóry może prowadzić do zaburzeń homeostazy i stanów zapalnych, dlatego krem o pH zbliżonym do naturalnego może zapewnić jej optymalną ochronę i wsparcie.

Oznaczanie gęstości

Można zauważyć (tab. 3), że gęstość kremu Slim Extreme 4D jest nieznacznie mniejsza niż pozostałych kremów. Pozostałe kremy mają podobne wartości gęstości.

Tabela 3. Średnia masa piknometrów, gęstość kremów

	Masa [g]
Piknometr pusty	30,107
Piknometr z wodą destylowaną	53,538
Piknometr z kremem własnym	51,724
Piknometr z kremem Slim Extreme 4D od Eveline Cosmetics	50,180
Piknometr z kremem dermo body cellulite od Tołpa	51,623
Krem	Gęstość [g/cm ³]
Krem własny	1,143
Slim Extreme 4D	1,103
Tołpa	1,139

Źródło: opracowanie własne.

Badanie lepkości

Tabela 4. Odczyt lepkościomierza

Krem	Wartość [mPa*s]
Krem własny	1820
Slim Extreme 4D	1330
Tołpa	1040

Źródło: opracowanie własne.

W badaniach lepkości zastosowano wrzeciono w rozmiarze 6. Na podstawie otrzymanych wyników (tab. 4) można stwierdzić, że krem własny ma najwyższą lepkość. Wysoka lepkość kremu może wpłynąć na jego konsystencję, trudność w aplikacji i wchłanianiu przez skórę. Niższa lepkość może oznaczać lepszą rozprowadzalność i wchłanianie kremu, ale zbyt niska lepkość może spowodować, że krem będzie zbyt rzadki i trudny w aplikacji.

Badanie stopnia nawilżenia i wielkości przesnaskórkowej utraty wody

Uzyskane wyniki (tab. 5) sugerują konieczność częstej reaplikacji kremu od Tołpa ze względu na jego krótkotrwałą zdolność do zatrzymywania wilgoci. Wskazania korneometru dla kremu własnego utrzymywały się na stałym poziomie podczas całego badania, co ukazuje stabilność i długotrwałe działanie tego kosmetyku.

W przypadku kremu Slim Extreme 4D zaobserwowano tendencję spadkową wartości wskazanej przez korneometr nawet bezpośrednio po nałożeniu go na skórę, co sugeruje, że ten kosmetyk nie tylko nie nawilża skóry, ale może ją nawet przesuszać.

Biorąc pod uwagę analizę stopnia nawilżenia i wielkości przesnaskórkowej utraty wody, mierzonej za pomocą tewametru, można stwierdzić, że najlepsze wyniki uzyskano dla kremu własnego, który zwiększał nawilżenie skóry zarówno bezpośrednio po nałożeniu, jak i po upływie czasu. Krem od Tołpa również wpływał pozytywnie na skórę, jednak jego działanie było krótkotrwałe. W badaniach najsłabsze działanie zaobserwowano dla kremu Slim Extreme 4D. Może być to spowodowane jego długim i skomplikowanym składem, który może wpływać na podrażnienie, a nawet przesuszenie skóry. Najprawdopodobniej wpływa na to także duża ilość alkoholu denaturowanego w kremie, który może wpływać na uszkodzenie naturalnej bariery skóry i tym samym pozbawiać jej wilgoci. W skład kremu Slim Extreme 4D wchodzi również kwas cytrynowy i siarczan sodu, które również mogą pogłębiać negatywny efekt na skórze.

Tabela 5. Zmiana stopnia nawilżenia i wielkości przelnaskórkowej utraty wody

Skóra/krem	TEWL [g/h*m ²]	Stopień nawilżenia
Sucha skóra	19,2	70,14
Bezpośrednio po nałożeniu kremu		
Krem własny	26,9	78,86
Slim Extreme 4D	31,5	67,18
Tołpa	49,5	75,10
Po upływie 15 minut		
Krem własny	21,3	74,64
Slim Extreme 4D	16,7	46,76
Tołpa	15,2	57,62
Po upływie 30 minut		
Krem własny	16,8	72,98
Slim Extreme 4D	15,0	44,60
Tołpa	14,2	57,18
Po upływie 45 minut		
Krem własny	16,7	71,62
Slim Extreme 4D	14,9	43,34
Tołpa	12,3	56,32
Po upływie 60 minut		
Krem własny	16,6	70,02
Slim Extreme 4D	14,6	37,50
Tołpa	13,6	41,96

Źródło: opracowanie własne.

Badanie jakości i działania kremów antycellulitowych

Propozycja zastosowania prostego w przygotowaniu domowego kremu, zawierającego odpowiednie składniki aktywne, stanowi atrakcyjną alternatywę dla dotychczas stosowanych metod. Założenie to opiera się także na rozwijającym się trendzie DIY (ang. „do it yourself” – zrób to sam) oraz wstydlivości/problematyczności związanej z występowaniem cellulitu, przez co zaproponowana forma terapii jest uniezależniona od osób trzecich.

Przedmiotem badań, które zostały przeprowadzone, była analiza zjawiska występowania cellulitu oraz ocena wpływu stosowania preparatów antycellulitowych przez osoby zmagające się z tym problemem. Dwa zastosowane kosmetyki to popularne produkty dostępne na rynku, a jeden był wykonany własnoręcznie, wzbogacony o substancje czynne niwelujące cellulit.

Mając na uwadze powyższy przedmiot badawczy, można było sformułować cel badań, którym była ocena preferencji stosowania preparatów antycellulitowych. W pracy rozważano następujący problem badawczy:

- Jaką skutecznością leczenia charakteryzują się preparaty antycellulitowe dostępne na polskim rynku kosmetycznym?

Badaniu poddano 20 kobiet, które testowały na sobie otrzymany domowy krem oraz dwa popularne kremy antycellulitowe – Slim Extreme 4D od Eveline Cosmetics i dermo body cellulite (nocny turbo-krem antycellulitowy od marki Tołpa). Testujący nie byli jednak poinformowani, jakie kremy stosują, a otrzymane próbki były oznaczone odpowiednio symbolami X (krem własny), Y (Slim Extreme 4D) i Z (Tołpa).

Charakterystyka grupy badawczej

W przeprowadzonym badaniu wzięło udział 20 kobiet wybranych losowo. Zdecydowana większość badanych zmaga się z problemem cellulitu (90%), tylko jedna respondentka stosowała analizowane produkty prewencyjnie. Obszary zajęte chorobowo obejmowały głównie uda i pośladki (90% w obu przypadkach), jedna osoba posiadała cellulit również na brzuchu. Kobiety stosowały badane preparaty na wybranej przez siebie części ciała, jednak w różnych jej obszarach.

Rozkład wiekowy badanych nie jest równomierny. 50% ankietowanych stanowiły kobiety w wieku 18–25 lat, a 20% badanych było w wieku 26–34 lata. Grupa wiekowa 50–60 stanowiła równo 30% badanych. Wyniki badań zebrano za pomocą autorskiego formularza ankietowego.

Wyniki badań

Wyniki badań (% odpowiedzi) zebranych na podstawie kwestionariusza ankiety przedstawiono w tabeli 6. Ocena 1 to ocena najgorsza (bardzo nieprzyjemny, zły), 5 najlepsza (bardzo przyjemny, bardzo dobre).

Ostatnim pytaniem, na które odpowiedzieli badani, było wskazanie preparatu wykazującego ogólnie najlepsze działanie antycellulitowe. Odpowiedzi na nie były niejednoznaczne, co świadczy o różnorodnych preferencjach osób testujących otrzymane kremy. Po 30% respondentów wskazało odpowiednio odpowiedzi „nie wiem” i „krem Z”. Kremy X i Y wybrało po 20% pozostałych ankietowanych.

Tabela 6. Ocena parametrów analizowanych kremów

Krem/ ocena	1	2	3	4	5
Wygląd ogólny (%)					
X	10	60	60	10	-
Y	-	20	10	50	20
Z	-	10	50	10	30
Konsystencja (%)					
X	10	20	40	30	-
Y	-	-	20	40	40
Z	-	10	20	50	20
Zapach (%)					
X	10	30	20	40	-
Y	-	10	30	40	20
Z	-	-	20	40	40
Rozsmarowywanie (%)					
X	-	20	-	80	-
Y	-	-	-	80	20
Z	-	-	20	50	30
Wchłanianie					
X	-	10	40	50	-
Y	-	10	20	50	20
Z	-	-	20	50	30
Nawilżenie (%)					
X	-	-	30	50	20
Y	-	30	10	30	30
Z	-	20	40	20	20
Wygładzenie (%)					
X	-	30	30	30	20
Y	-	30	50	10	10
Z	-	10	60	30	-
Antycellulitowa skuteczność (%)					
X	10	30	30	10	20
Y	30	30	20	20	-
Z	10	40	10	20	20

Źródło: opracowanie własne.

Podsumowanie

W pracy porównano właściwości otrzymanego kremu antycellulitowego z kremami Slim Extreme 4D od Eveline Cosmetics oraz nocnym turbo-kremem antycellulitowym od Tołpa. Emulsje oznaczono odpowiednio symbolami X, Y i Z oraz dostarczono 20 kobietom w celu przetestowania i porównania skuteczności ich działania. Osoby badane zostały także poproszone o wypełnienie odpowiedniego kwestionariusza ankiety.

Zdecydowana większość kobiet testujących otrzymane preparaty zmagająca się z problemem cellulitu (90%). Tak odsetek ankietowanych upoważnia do wskazania potrzeby działań mających na celu poprawę stanu skóry i redukcji objawów cellulitu. Ponadto problem ten występował w większości na tych samych obszarach ciała (uda i pośladki) i to głównie na nich testowano kremy antycellulitowe.

Przeprowadzono analizę cech fizykochemicznych wybranych preparatów. Ich ocena organoleptyczna wykazała, że proponowany krem własny powinien zostać przechowywany w lodówce, ponieważ powstała emulsja uległa rozwarstwieniu w temperaturze 30°C. Fakt ten wpłynął na negatywny odbiór wyglądu kremu przez część osób badanych. Takich destabilizacji nie zaobserwowano dla pozostałych kremów, przez co ich ogólny wygląd oraz konsystencja cieszyły się lepszym odbiorem. Ponadto otrzymany krem charakteryzował się intensywnym zapachem, który odpowiadał części respondentów, a dla niektórych był on nieprzyjemny. Zapach kremu Slim Extreme 4D został w większości odebrany jako przyjemny, a kremu Tołpa – bardzo przyjemny. Wyniki te sugerują, że w produkcji kremu własnego należałoby wykorzystać dodatkowe substancje zapachowe, aby uzyskać bardziej uniwersalną woń produktu, atrakcyjną dla większości użytkowników.

Wyznaczone wartości pH wszystkich kremów mieściło się w zakresie normy, jednak pH kremu własnego było najbardziej zbliżone do naturalnego pH skóry, co pozwala na odpowiednie utrzymanie równowagi kwasowo-zasadowej na powierzchni skóry. Fakt ten sugeruje, że otrzymany preparat może stanowić najbardziej optymalne rozwiązanie dla alergików lub osób o skórze wrażliwej. Biorąc pod uwagę wyniki badania gęstości, można zauważyć, że gęstość kremu Slim Extreme 4D była trochę mniejsza niż innych kremów, a pozostałe kremy miały podobne wartości tego parametru. Natomiast wyniki pomiarów lepkości wykazały, że krem własny odznaczał się najwyższą lepkością, krem Tołpa – najniższą. Wysoka lepkość kremu własnego wpłynęła na jego dłuższe wchłanianie w powierzchnię skóry w porównaniu z pozostałymi kremami. Przeprowadzone badania laboratoryjne wykazały, że stosowanie kremów od Tołpy oraz własnego kremu

miało pozytywny wpływ na nawilżenie skóry. Natomiast Slim Extreme 4D obniżał stopień nawilżenia skóry i został on pod tym względem najgorzej oceniony przez respondentów. Najlepszym odbiorem cieszył się krem własny, który odznaczał się także dużą zdolnością do zatrzymywania wody w skórze.

Jednym z ważniejszych parametrów działania na skórę jest zdolność do jej wygładzania. Z tego powodu wspomniane preparaty powinny być wzbogacone w składniki aktywne, które pomagają poprawić wygląd i kondycję skóry, aby zredukować widoczność nieestetycznych grudek. Dzięki zwiększeniu elastyczności skóry zmniejsza się także napięcie na tkankach podskórnych, co sprzyja redukcji cellulitu. Respondenci zostali poproszeni o ocenę tego parametru – najbardziej obiecujące wyniki zaobserwowano w przypadku kremu własnego. Krem Slim Extreme 4D został najgorzej oceniony w tym aspekcie spośród analizowanych preparatów.

Probandki oceniały także stopień zniwelowania cellulitu po stosowaniu otrzymanych kremów. Wyniki były niejednoznaczne w przypadku kremu własnego i kremu Tołpa, natomiast redukcja cellulitu po użyciu preparatu Slim Extreme 4D została oceniona przez większość respondentów negatywnie. Dużą popularnością cieszył się także krem własny. Pod względem wygładzania skóry połowa ankietowanych wybrała krem Slim Extreme 4D jako najlepszy, a na drugim miejscu znajdował się krem od Tołpa. Co ciekawe, odpowiedzi te nie pokrywają się z indywidualną oceną poszczególnych kremów, gdzie najlepsze wyniki zaobserwowano dla kremu własnego.

Biorąc pod uwagę wszystkie uzyskane wyniki, można stwierdzić, że krem własny wpływał pozytywnie na nawilżenie i jędrność skóry, przez co przyczyniał się do redukcji cellulitu. W produkcji kremu należałoby jednak zwrócić większą uwagę na jego zapach i walory estetyczne, które wpływają na jego odbiór przez konsumentów. Otrzymany preparat należy przechowywać w warunkach chłodniczych lub dobrać inny emulgator, aby polepszyć stabilność powstałej emulsji.

Niejednoznaczne zdanie respondentów w kwestii stopnia zniwelowania cellulitu po zastosowaniu kremu własnego sugeruje konieczność przeprowadzenia próby na większą skalę. Przeprowadzona analiza stanowi jednak wartościowy punkt wyjścia do dalszych badań.

Otrzymane dane z badań laboratoryjnych kremu własnego sugerują, że preparat ten może być przydatny w domowej terapii antycellulitowej, a jego regularne stosowanie może przyczynić się do zmniejszenia widoczności cellulitu. Mimo dobrych wyników ważne jest przeprowadzenie dalszych badań, aby udoskonalić otrzymany preparat i zoptymalizować jego skład, a także potwierdzić jego skuteczność na większej próbie osób zmagających

się z omawianym problemem. W ten sposób można byłoby zapewnić większą skuteczność i bezpieczeństwo stosowania preparatu w dłuższej perspektywie.

Bibliografia

1. Avram, M.M. (2005), *Cellulite: a review of its physiology and treatment*, Journal of Cosmetic & Laser Therapy, nr 6, s. 181–185. <https://doi.org/10.1080/14764170410003057>.
2. Bajcer, M., Cwil, P., Kania, B., Maślanka, E., (2016), *Wpływ witamin antyoksydacyjnych na skórę i ich znaczenie w kosmetologii*, Wyższa Szkoła Inżynierii i Zdrowia w Warszawie, Studenckie zeszyty naukowe, Kosmetologia, nr 1(1), s. 28–46.
3. Bernat, M., Matysek-Nawrocka, M., Cioczek, W. (2016), *Składniki aktywne w kosmetykach przeciwstarzeniowych*, Kosmetologia Estetyczna, nr 6, s. 575–579. Pobrano z: <http://aestheticcosmetology.com/wp-content/uploads/2019/02/ke2016.6-3.pdf> [27.03.2023].
4. Bojarowicz, H., Rucińska, M., Krysiński, J. (2016), *Kosmetyki redukujące cellulit/Anti-cellulite cosmetics*, Problemy Higieny i Epidemiologii, 97(4): 291–296. Pobrano z: <http://www.phie.pl/pdf/phe-2016/phe-2016-4-291.pdf> [1.02.2023].
5. Bojarska-Hurnik, S. (2019), *Lipodystrofia – przyczyny i możliwości terapeutyczne*, Kosmetologia Estetyczna, nr 5(8), s. 623–629. Pobrano z: <http://aestheticcosmetology.com/wp-content/uploads/2019/11/ke2019.5-7.pdf> [5.03.2023].
6. Demissie, M., Milewicz, A. (2003), *Zaburzenia hormonalne w otyłości*, Diabetologia Praktyczna, nr 4(3), s. 207–209. Pobrano z: https://journals.viamedica.pl/clinical_diabetology/article/viewFile/8737/7444 [25.04.2023].
7. DiBernardo, B., Sasaki G., Katz, B.E., Hunstad, J.P., Petti, C., Burns, A.J. (2013), *A multicenter study for a single, three-step laser treatment for cellulite using a 1440-nm Nd:YAG laser, a novel side-firing fiber, and a temperature-sensing cannula*, Aesthetic Surgery Journal, vol. 33(4), s. 576–584, <https://doi.org/10.1177/1090820X13480858>.
8. Domagalska, M. (2021), *Wpływ liposukcji ultradźwiękowej na redukcję cellulitu. Dieta jako element terapii.*, Aesthetic Cosmetology and Medicine, nr 10(3), s. 157–166. Pobrano z: <https://aestheticcosmetology.com/wp-content/uploads/2021/06/ACM-2021-03-vJ-Domagalska.pdf> [1.03.2023].
9. Friedmann, D.P., Vick, G.L., Mishra, V. (2017), *Cellulite: a review with a focus on subcision*, Clinical, Cosmetic and Investigational Dermatology nr 10, s. 17–23. <https://doi.org/10.2147/CCID.S95830>.
10. Gałązka, M., Gałęba, A., Nurein, H. (2014), *Cellulit jako problem medyczny i estetyczny – etiopatogeneza, objawy, diagnostyka i leczenie*, Hygeia Public Health, nr 49(3), s. 425–430. Pobrano z: <http://www.h-ph.pl/pdf/hyg-2014/hyg-2014-3-425.pdf> [1.03.2023].
11. Gemza, K., Surgiel-Gemza, A. (2018), *Wielokierunkowe działanie zabiegu karboksyterapii w walce z mechanizmami wywołującymi cellulit*, Kosmetologia Estetyczna, nr 3(7), s. 317–322. Pobrano z: <http://aestheticcosmetology.com/wp-content/uploads/2019/01/ke2018.3-7.pdf> [22.02.2023].
12. Grzeszczuk, M., Garasińska-Pryciak, E. (2016), *Subiektywna ocena stopnia zadowolenia klientów z efektów wybranych zabiegów antycellulitowych*, Kosmetologia

- Estetyczna, nr 1(5), s. 105–112. Pobrano z: <http://aestheticcosmetology.com/wp-content/uploads/2019/02/ke2016.1-6.pdf> [20.02.2023].
13. Karłowicz-Bodalska, K., Han, S., Han, T., Miranowicz, M., Bodalska, A. (2013), *Centella asiatica* (L.) Urban, syn. *Hydrocotyle asiatica* L. – wążkrota azjatycka – znana roślina lecznicza Dalekiego Wschodu, *Borgis – Postępy Fitoterapii*, nr 4, s. 225–235. Pobrano z: http://www.postepytoterapii.pl/wp-content/uploads/2014/11/pf_2013_225-235.pdf [23.01.2023].
 14. Klimowicz, A., Zielonka, J., Turek, M., Nowak, A. (2015), *Substancje pochodzenia naturalnego stosowane w terapii cellulitu*, *Postępy Fitoterapii*, nr (16)2, s. 96–101.
 15. Kucia, M. (2017), *Surowce kosmetyczne pochodzenia morskiego w talasoterapii*, *Kosmetologia Estetyczna*, nr 6, s. 571–578. Pobrano z: <http://aestheticcosmetology.com/wp-content/uploads/2019/01/ke2017.6-2.pdf> [14.02.2023].
 16. Kurpiewska, E., Sadzińska, E., Wedman, A. (2016), *Skuteczność masażu w redukcji cellulitu*, *Studenckie Zeszyty Naukowe Kosmetologia*, nr 1 (1)/2016, s. 119–136.
 17. Marwicka, J., Niemyska, K., Cieślicka, O. (2015), *Cellulit. Przegląd zabiegów kosmetycznych*, *Kosmetologia Estetyczna*, nr 3, vol. 4, s. 301–308. Pobrano z: <http://aestheticcosmetology.com/wp-content/uploads/2019/02/ke2015.3-4.pdf> [9.01.2023].
 18. Marwicka, J., Niemyska, K., Podraza, S. (2015), *Terapeutyczne właściwości aromaterapii* *Therapeutic properties of aromatherapy* *Kosmetologia Estetyczna*, nr 6(4), s. 525–530. Pobrano z: <http://aestheticcosmetology.com/wp-content/uploads/2019/02/ke2015.6-1.pdf> [2.02.2023].
 19. Misbah, H.K., Rao, B.K., Sadick, N.S. (2011), *Cellulit i podskórna tkanka tłuszczowa: różnice i podobieństwa*, *Elsevier Urban & Partner*, nr 3, s. 19–30.
 20. Nasrollahi, S.A., Hasanzadeh, H., Ajami, M., Ameri, S., Variji, Z., Komeili, A., Firooz, A., (2015), *Assessment of an anti-cellulite cream: A randomized, double-blind, placebo controlled, right-left comparison, clinical trial*, *Iranian Journal of Dermatology*, nr 4(18).
 21. Noor-E-Tabassum, Das, R., Lami, M.S., Chakraborty, A.J., Mitra, S., Tallei, T.E., Idroes, R., Abdel-Rahman Mohamed, A., Md. Jamal Hossain, Dharma, K., Mostafa-Hedeab, G., Emran, T.B. (2022), *Ginkgo biloba: A Treasure of Functional Phytochemicals with Multimedicinal Applications*, *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*, 8288818. <https://doi.org/10.1155/2022/8288818>.
 22. Piérard-Franchimont, C., Piérard, G.E., Henry, F., Vroome, V., Cauwenbergh, G., (2020), *A randomized, placebo-controlled trial of topical retinol in the treatment of cellulite*, *American Journal of Clinical Dermatology*, nr 1(6), s. 369–74, <https://doi.org/10.2165/00128071-200001060-00005>.
 23. Sionkowska, A., (2019), *Chemia kosmetyczna wybrane zagadnienia*, Wydawnictwo Naukowe Uniwersytetu Mikołaja Kopernika.
 24. Smalls, L.K., Lee, C.Y., Whitestone, J., (2005), *et al.*, *Quantitative model of cellulite: threedimensional skin surface topography, biophysical characterization, and relationship to human perception*, *Journal of Cosmetic Science*, nr 56(2), s. 105–120.
 25. Tybur, M., Piotrowska, A. (2018), *Antycellulitowe substancje pochodzenia roślinnego*, *Medyczne aspekty kosmetologii i dietetyki*, s. 79–90.

Zainteresowanie mieszkańców województwa podkarpackiego spożywaniem niszowych mlecznych napojów fermentowanych

The consumer curiosity in niche market fermented milk drinks in the area of the podkarpackie voivodeship

Jolanta BARAN*, Małgorzata ŹRÓDŁO-LODA

Państwowa Akademia Nauk Stosowanych w Krośnie, Instytut Zdrowia i Gospodarki, Zakład Inżynierii Jakości, Krosno; e-mail jolanta.baran@pans.krosno.pl; <https://orcid.org/0000-0002-2361-9151>

malgorzata.zrodlo-loda@pans.krosno.pl; <https://orcid.org/0000-0001-62613-7988>

* Korespondencja: e-mail jolanta.baran@pans.krosno.pl; tel.: +13-4375580

Słowa kluczowe: konsument, nisza rynkowa, mleczne napoje fermentowane, badania ankietowe.

Streszczenie: Celem wykonanych badań była identyfikacja mlecznych napojów fermentowanych pozostających na rynku niszowym oraz określenie, które segmenty konsumentów, mieszkańców województwa podkarpackiego, są w największym stopniu zainteresowane spożywaniem tych napojów. Dla realizacji postawionego celu wykonano sondaż w grupie 514 mieszkańców województwa podkarpackiego z wykorzystaniem autorskiego kwestionariusza. Analizę uzyskanych wyników wykonano w dwóch etapach. Pierwszy etap obejmował identyfikację niszowych napojów fermentowanych, w drugim etapie określono różnicowanie częstotliwości spożywania niszowych napojów fermentowanych w zależności od płci, wieku i poziomu wykształcenia. W województwie podkarpackim niszowy rynek mlecznych napojów fermentowanych tworzą konsumenci o zróżnicowanym profilu demograficznym. Jest to segment nabywający i spożywający innowacyjne napoje mleczne, pozytywnie nastawiony do tzw. produktów nowej generacji. Tworzy to realny, zauważalny przez producentów popyt. Ujęta w badaniach grupa niszowych napojów mlecznych spożywana jest bowiem systematycznie – raz w tygodniu lub kilka razy w tygodniu, sporadycznie – codziennie. Kobiety są w większym stopniu niż mężczyźni zainteresowane konsumpcją innowacyjnych jogurtów. Częstotliwość spożywania napojów mlecznych o dużym ładunku innowacyjności obniża się wraz z wiekiem, a częstość spożywania napojów, które kojarzą się z tradycyjną konsumpcją, wzrasta wraz z wiekiem. Zainteresowanie konsumpcją innowacyjnych prozdrowotnych napojów mlecznych wzrasta wraz ze wzrostem poziomu wykształcenia.

Keywords: consumer, niche market, fermented milk drinks, survey research.

Abstract: The aim of the research was to identify fermented milk drinks available on the niche market and to determine which consumer segments, among the residents of the Podkarpackie Voivodeship, are most interested in consuming these drinks. To achieve the set goal, a survey was conducted among a group of 514 residents of the Podkarpackie Voivodeship, with the use of an original questionnaire. The analysis of the obtained results was performed in two stages. The first stage included the identification of niche fermented drinks, in the second stage, differences in the frequency of consumption of niche fermented

drinks were determined depending on gender, age and level of education. In the Podkarpackie Voivodeship, the niche market of fermented milk drinks consists of consumers with a diverse demographic profile. This is a segment that purchases and consumes innovative milk drinks, with a positive attitude towards the so-called new generation products. This creates a real demand, which is recognised by producers. The group of niche milk drinks included in the research is consumed systematically – once a week or several times a week, occasionally – every day. Women are more interested in consuming innovative yogurts than men. The frequency of consuming milk drinks with a high innovative content decreases with age, and the frequency of consuming drinks that are associated with traditional consumption increases with age. Interest in consuming innovative health-promoting milk drinks increases with the increase of the level of education.

Wprowadzenie

Od szeregu lat rynek produktów mleczarskich to jeden z tych segmentów rynku żywnościowego w Polsce, na którym obserwuje się nie tylko wzrost wielkości produkcji, ale i poszerzanie oferty rynkowej o kolejne nowości. Obecnie konsument może zaspokajać swoje potrzeby zarówno przetworami tradycyjnymi, jak i produktami o wysokim stopniu innowacyjności. Wiele z tych innowacyjnych ofert świadczy o dostrzeganiu przez producentów elementów tzw. teorii 4C, która obejmuje: Custom value (wartość dla konsumenta), Cost (koszt), Convenience (wygoda nabywcy), Communication (komunikacja, dialog). Zgodnie z jej założeniami w strategii pozycjonowania produktu i marki na rynku najważniejszy jest konsument, jego potrzeby, preferencje, motywy wyboru i opinie. Rynkowy sukces może zapewnić np. kierowanie produktów do określonych grup konsumentów, obejmujących osoby nowoczesne, poszukujące innowacji (MH, 20.02.2024). Należy przy tym pamiętać, że zachowania i preferencje konsumentów na rynku produktów spożywczych ulegają dynamicznym zmianom (Mac i in., 2007). W ostatnich latach konsumenci zaczęli zmieniać swoje nawyki żywieniowe ze względu na konieczność utrzymania lub poprawy swojego zdrowia lub dobrego samopoczucia. Zwiększone zapotrzebowanie konsumentów na żywność funkcjonalną to szansa na rozwój sektora mlecznych napojów fermentowanych. Wśród napojów, które zyskały dużą popularność w ostatniej dekadzie, znajdują się produkty z dodatkiem szczepów probiotycznych, bez laktozy, produkty z dodatkami zbożowymi i/lub owocowymi, produkty wzbogacane w witaminy i składniki mineralne, a także roślinne analogi mlecznych napojów fermentowanych (Cichońska, 2022b; Farah i in., 2017; Wu i in., 2017; Kowalczyk i Szymański, 2017). Towarzyszy temu wzrost popularności diety śródziemnomorskiej, uznanej

za najzdrowszy model żywieniowy, który wspiera profilaktykę nadwagi, cukrzycy i chorób serca. Ważnym elementem tej diety są niskotłuszczowe produkty mleczne, stąd obecność na polskim rynku napojów mlecznych wytwarzanych z mleka odtłuszczonego (Szczërba, 2022).

Nasycanie rynku innowacyjnymi przetworami mlecznymi powoduje jednak, że większość z nich lokuje się w niszy rynkowej.

Nisze są od lat stałym elementem funkcjonowania rynku produktów żywnościowych. Są to wąsko zdefiniowane grupy klientów, którzy szukają ściśle określonych korzyści, którzy posiadają skonkretyzowane potrzeby, poszukują produktów o określonych, często niestandardowych cechach. Są oni w stanie zapłacić wyższą cenę w zamian za produkt spełniający ich preferencje. Ich potrzeby stymulują wprowadzenie na rynek towarów i usług dotąd niedostępnych lub trudno dostępnych, a nawet – uchwalenie nowego prawa czy otwarcie nowych rynków. Jest to więc sytuacja, określająca małą część rynku, podczas której istnieje zapotrzebowanie na dane dobro rynkowe przy jednoczesnym jego niedoborze (Sobczyk i Celoch, 2012).

Podkreślić należy, że marketing niszowy nie zaspokaja *więcej* potrzeb, ale spełnia *specyficzne* potrzeby. W obrębie produktów mlecznych przejawia się to poszukiwaniem produktów bio-, eko-, pozbawionych składników alergizujących, żywności tradycyjnej lub regionalnej (Raźniewski i in., 2010; Grzybowska-Brzezińska, Grzywińska-Rapca, 2018; Wang i in., 2023; Abdel, Wahab i in., 2024).

Celem wykonanych badań była identyfikacja mlecznych napojów fermentowanych pozostających na rynku niszowym oraz określenie, które segmenty konsumentów, mieszkańców województwa podkarpackiego, są w największym stopniu zainteresowane spożywaniem tych napojów.

Metody badań

Dla realizacji postawionego celu wykonano sondaż w grupie 514 mieszkańców województwa podkarpackiego z wykorzystaniem autorskiego kwestionariusza, składającego się z dwóch części:

- pytań o cechy demograficzne opisujące respondentów: płeć, wiek, poziom wykształcenia,
- pytań o częstość spożywania wskazanych rodzajów napojów fermentowanych (23 propozycje).

Pytania o częstotliwość spożywania oparto na 6-stopniowej skali werbalnej, a odpowiedzi wyrażano jako krotność/dzień, zgodnie z metodyką zalecaną przez zespół Komitetu Nauki o Żywieniu Człowieka (Jeżewska-Zychowicz i in., 2014) w sposób przedstawiony w tabeli 1.

Tabela 1. Częstość spożywania przyjęta w badaniach

częstość zdefiniowana w kwestionariuszu	krotność/dzień
Nigdy	0
1–3 razy w m-cu	0,06
Raz w tygodniu	0,16
Kilka razy w tygodniu	0,5
Raz dziennie	1,0
Kilka razy dziennie	2,0

Źródło: Jeżewska-Zychowicz i in., 2014.

Badana populacja nie stanowiła próby losowej. Sondaż przeprowadzono w czwartym kwartale 2021 roku na terenie województwa podkarpackiego.

Tabela 2 przedstawia liczebność i odsetek poszczególnych, wyróżnionych wg cech demograficznych, segmentów badanej grupy.

Tabela 2. Charakterystyka respondentów

Cecha	segment	n	%
Płeć	Mężczyzna	235	45,7
	Kobieta	279	54,3
Wiek [lata]	20–40	179	34,8
	40–60	228	44,4
	>60	107	20,8
Wykształcenie	Niższe od średniego	65	12,6
	Średnie	258	50,2
	Wyższe	191	37,2
Razem		514	100,0

Źródło: badania własne.

Analizę uzyskanych wyników wykonano w dwóch etapach:

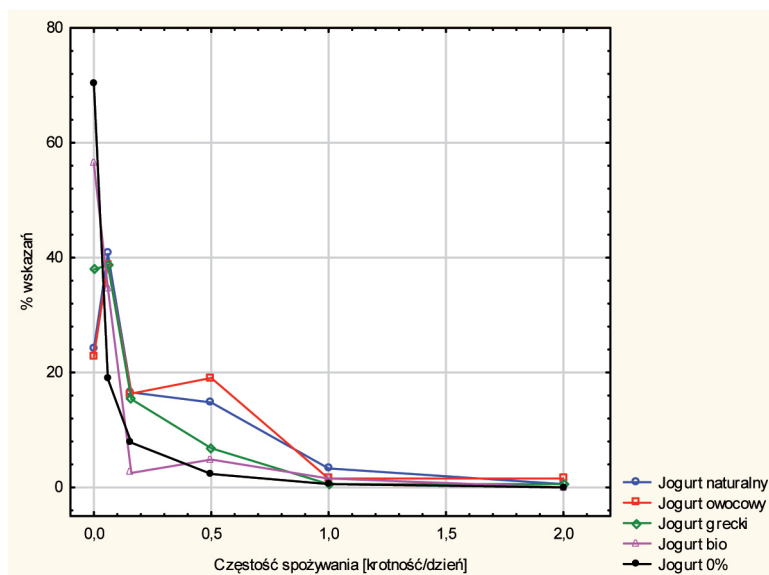
- identyfikacja niszowych napojów fermentowanych,
- zróżnicowanie częstości spożywania niszowych napojów fermentowanych w zależności od płci, wieku i poziomu wykształcenia.

W analizie wykorzystano odpowiednie metody statystyczne z pakietu Statistica 13.3 (Stanisz, 2006; Stanisz, 2007).

Podstawą identyfikacji tej niszy były rezultaty badania częstotliwości spożywania napojów zadeklarowanej przez respondentów. Zgodnie z istotą zaproponowanej skali przyjęto, że na spożywanie regularne (tworzące znaczący i powszechny popyt) składa się łączny odsetek tych konsumentów, którzy wskazują kategorie „Raz w tygodniu”, „Kilka razy

w tygodniu”, „Raz dziennie”, „Kilka razy dziennie”. Kategorię „1–3 razy w m-cu” uznano za konsumpcję przypadkową, okazjonalną.

Poszczególne napoje kwalifikowano do grupy produktów niszowych w oparciu o kształt krzywej, wyznaczonej przez częstość spożywania (oś X) i odsetek wskazań tej częstości (oś Y). Przykładem są krzywe na rys. 1.



Rys. 1. Rozkład odpowiedzi badanej populacji na pytanie o częstotliwość spożywania niektórych jogurtów

Źródło: badania własne.

Zastosowano metodę interpretacji, analogiczną do sposobu w teście osypiska (osuwiska) wykorzystywanym do ustalania liczby składowych głównych w analizie czynnikowej (Stanisz, 2007). Podobny sposób interpretacji zasad i praw rządzących handlem w Internecie zaproponował Anderson, nazywając ją koncepcją „długiego ogona” (Anderson, 2006). Jeżeli kształt krzywej był zbliżony do wykresu funkcji wykładniczej, kwalifikowano produkt do grupy niszowej. Oznaczało to bowiem, że znaczny odsetek (najczęściej przekraczał on próg 90%) konsumentów nie spożywa tego produktu (kategoria „nigdy”= 0) lub okazjonalnie („1–3 razy w m-cu”, czyli 0,06 krotności/dzień), a tylko nieliczna grupa respondentów spożywa go częściej (co najmniej raz w tygodniu), co tworzy realny popyt. Na rysunku 1 najbardziej zbliżony do wykresu funkcji wykładniczej ma kształt krzywa prezentująca częstotliwość spożywania jogurtu beztłuszczowego. Zdecydowanie inny jest kształt krzywych obrazujących częstość spożywania jogurtu naturalnego i jogurtu owocowego. Około 40% respondentów

zadeklarowało ich spożywanie z częstotliwością jeden lub kilka razy w tygodniu, nie można więc definiować tych produktów jako niszowych.

Wykonana w przedstawiony wyżej sposób procedura pozwoliła na ustalenie, że niszowymi fermentowanymi napojami mlecznymi są produkty wymienione w tabeli 3. Jeden raz w tygodniu lub częściej sięga po nie co najwyżej 10% ankietowanych. Nadto należy podkreślić, że większość tych napojów określa się mianem produktów nowej generacji. Potwierdzają to wyniki wykonane przed kilkunastu laty przez Nowaka i współautorów, którzy w swoim opracowaniu konkludują, że „szeroko reklamowane napoje nowej generacji kupowane były jedynie przez 19% respondentów, nie częściej niż 1–3 razy w tygodniu” (Nowak i in., 2007). Na uwagę zasługuje także fakt, że znikoma liczba respondentów spożywa wytypowane do analizy napoje raz dziennie, a żaden z nich nie zadeklarował kilkakrotnej w ciągu dnia konsumpcji

Tabela 3. Częstotliwość spożywania niszowych napojów fermentowanych (odsetek wskazań)

Częstotliwość [krotność/ dzień]	jogurt					inne						
	bio	0%	bez cukru	z dodatkiem zbóż	z musem	napoje bez laktozy	napoje eko	mleko zsiadłe	kefir 0%	kefir smakowy	z dodatkiem białka	maślanka owocowa
	%											
0	56,5	71,3	60,4	53,9	56,1	84,3	74,8	42,2	67,0	77,8	79,1	61,7
0,06	34,8	18,7	29,6	37,4	34,3	8,7	20,0	48,7	28,7	17,8	17,4	29,6
0,16	2,6	7,8	4,3	6,5	6,5	1,7	3,0	4,3	2,2	2,2	1,3	5,2
0,5	4,8	1,7	4,8	1,7	3,0	3,9	1,3	3,5	1,7	1,7	0,4	2,6
1,0	1,3	0,4	0,9	0,4	0	1,3	0,9	1,3	0,4	0,4	1,7	0,8
2,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Łącznie 0,16÷2,0	8,7	9,9	10,0	8,6	9,5	6,9	5,2	9,1	4,3	4,3	3,4	8,6

Źródło: badania własne.

W kolejnym etapie zweryfikowano hipotezy o wpływie cech demograficznych (płci, wieku i poziomu wykształcenia) na częstotliwość

spożywania wytypowanych niszowych napojów fermentowanych. Wykorzystano w tym celu dwie metody (Stanisz, 2006):

- test Manna-Whitneya, który pozwala na weryfikację istotności różnic pomiędzy dwiema niezależnymi próbami. Test ten wykorzystano do zbadania zróżnicowania częstości spożywania w zależności od płci;
- test Kruskala-Wallisa dla układu jednoczynnikowego. Test ten wykorzystano do zbadania zróżnicowania częstości spożywania w zależności od wieku i poziomu wykształcenia. Pozwala on bowiem na weryfikację istotności różnic pomiędzy więcej niż dwiema niezależnymi próbami. W przypadku odrzucenia hipotezy zerowej wykonano dodatkowo analizę post-hoc testem Dunna z poprawką Bonferroniego.

Interpretację kierunku zróżnicowania pomiędzy wyróżnionymi segmentami badanej populacji wykonano na podstawie wartości średniej rangi. Weryfikację wszystkich hipotez prowadzono przy poziomie istotności $\alpha = 0,05$ na podstawie wartości prawdopodobieństwa testowego „p”. Przyjęto, że $p \leq 0,05$ świadczy o istotnym zróżnicowaniu częstości spożywania w zależności od cechy demograficznej.

Wyniki badań i dyskusja

Rezultaty analizy wykonanej testem Manna-Whitney’a zestawiono w tabeli 4, natomiast tabela 5 przedstawia odsetek deklarowanej przez kobiety i mężczyźni częstości spożywania napojów.

Tabela 4. Zróżnicowanie częstotliwości spożywania niszowych fermentowanych napojów mlecznych w zależności od płci (wyniki testu Manna-Whitney’a)

Napój	kobiety	mężczyźni	p
	średnia ranga		
Jogurt bio	277,5	233,8	0,001
Jogurt 0%	273,1	238,9	0,009
Jogurt bez cukru	277,4	233,9	0,001
Jogurt z dodatkiem zbóż	282,9	227,4	0,000
Jogurt z musem	265,0	248,6	0,211
Napoje bez laktozy	266,3	247,0	0,142
Napoje eko	259,9	254,7	0,693
Mleko zsiadłe	260,0	254,5	0,678
Kefir 0%	260,0	254,5	0,672
Kefir smakowy	246,1	271,0	0,049
Napoje z dodatkiem białka	253,3	262,5	0,485
Maślanka owocowa	251,1	265,1	0,284

Źródło: badania własne.

Tabela 5. Odsetek wskazań kategorii częstotliwości spożywania napojów z uwzględnieniem płci

Napój	płeć	Deklarowana częstotliwość		
		raz w tygodniu	kilka razy w tygodniu	raz dziennie
Jogurt bio	Mężczyźni	2,13%	1,70%	1,28%
	Kobiety	2,87%	7,53%	1,79%
Jogurt 0%	Mężczyźni	5,11%	1,28%	0,00%
	Kobiety	10,04%	3,23%	1,08%
Jogurt bez cukru	Mężczyźni	5,11%	3,40%	0,00%
	Kobiety	4,66%	7,53%	1,79%
Jogurt z dodatk. zbóż	Mężczyźni	2,98%	1,70%	0,00%
	Kobiety	10,04%	1,43%	1,08%
Jogurt z musem	Mężczyźni	5,96%	3,40%	0,00%
	Kobiety	8,24%	2,87%	0,00%
Napoje bez laktozy	Mężczyźni	0,00%	2,55%	0,85%
	Kobiety	3,58%	5,73%	1,43%
Napoje eko	Mężczyźni	4,68%	0,00%	0,00%
	Kobiety	1,79%	2,87%	1,43%
Mleko zsiadłe	Mężczyźni	5,96%	2,98%	0,00%
	Kobiety	2,15%	3,58%	2,15%
Kefir 0%	Mężczyźni	2,13%	0,00%	0,85%
	Kobiety	2,51%	3,23%	0,00%
Kefir smakowy	Mężczyźni	2,55%	4,26%	0,00%
	Kobiety	1,43%	0,00%	1,08%
Napoje z dodatk. białka	Mężczyźni	2,13%	1,28%	2,55%
	Kobiety	1,08%	0,00%	1,79%
Maślanka owocowa	Mężczyźni	5,11%	2,13%	0,85%
	Kobiety	5,38%	2,87%	1,08%

Źródło: badania własne.

Wartości prawdopodobieństwa testowego $p < 0,05$ wskazują na istotne różnice pomiędzy częstością spożywania przez kobiety i mężczyzn następujących napojów: jogurtu bio, jogurtu beztłuszczowego, jogurtu bez cukru, jogurtu z dodatkiem zbóż oraz kefiru smakowego. Wartości średniej rangi świadczą o częstszym spożywaniu przez mężczyzn tylko kefiru smakowego, natomiast po pozostałe wymienione napoje częściej sięgają kobiety (tab. 4). W przypadku kefiru smakowego różnica w częstości spożywania polega na tym, że wyższy odsetek (o ponad 5 pp) mężczyzn

spożywa ten napój raz w tygodniu lub kilka razy w tygodniu. W przypadku jogurtów różnice wynikają stąd, że odsetek kobiet deklarujących ich konsumpcję co najmniej raz w tygodniu jest o 4 do 7 punktów procentowych wyższy niż odsetek mężczyzn (tab. 5).

Potwierdzają to doniesienia innych autorów, że jogurty mające cechy produktów funkcjonalnych (zawierające bakterie probiotyczne, beztłuszczowe czy bezcukrowe) znajdują nabywców przede wszystkim wśród kobiet. Kobiety należą również do konsumentów lubiących wypróbować innowacje na rynku przetworów mlecznych. Są one stosowane jako desery, dodatki do surówek, a także często stanowią pierwsze śniadanie lub kolację (Babicz-Zielińska i in., 2002; Cichońska, 2022a; Nieżurawski i Szczyńska, 2001; Szczepaniak i in., 2001; Szymandera-Buszka i Górecka, 2009).

Tabela 6 prezentuje wyniki analizy testem Kruskala-Wallisa dla zróżnicowania częstotliwości spożywania napojów w zależności od wieku respondentów. W tabeli 7 zestawiono wyniki w postaci deklarowanej częstotliwości spożywania.

Tabela 6. Zróżnicowanie częstotliwości spożywania niszowych fermentowanych napojów mlecznych w zależności od wieku (wyniki testu Kruskala-Wallisa)

Napój	20÷40 lat	40÷60 lat	powyżej 60 lat	p
	średnia ranga			
Jogurt bio	251,9ab	274,1b	231,5a	0,017
Jogurt 0%	281,1c	257,1b	235,6a	0,050
Jogurt bez cukru	252,6a	250,0a	288,1b	0,043
Jogurt z dodatkiem zbóż	263,5b	254,9b	210,5a	0,000
Jogurt z musem	287,7c	253,1b	216,4a	0,000
Napoje bez laktozy	281,8b	240,6a	233,6a	0,000
Napoje eko	259,2	256,1	257,6	0,963
Mleko zsiadłe	186,4a	285,0b	338,0c	0,000
Kefir 0%	240,7	252,9	248,9	0,328
Kefir smakowy	233,2	256,6	263,4	0,611
Napoje z dodatkiem białka	264,7	259,8	240,5	0,166
Maślanka owocowa	234,5a	246,9a	296,0b	0,010

Źródło: badania własne.

Dane ujęte w tabeli 6 wskazują, że częstotliwość spożywania większości ujętych w badaniach napojów niszowych zależy od wieku konsumenta. Cecha ta nie decyduje natomiast o częstotliwości spożywania napojów eko i napojów z dodatkiem białka oraz obu rodzajów kefiru ($p > 0,05$). Pozostałe asortymenty są spożywane z różną częstotliwością przez osoby poszczególnych

kategorii wiekowych ($p < 0,05$). Grupa osób najstarszych, w wieku powyżej 60 lat, odróżnia się od osób młodszych najniższą podatnością na konsumpcję jogurtów: bio, 0%, z dodatkiem zbóż, z musuem, a więc przetworów o wysokim stopniu innowacyjności. Częściej natomiast niż pozostali respondenci segment konsumentów najstarszych spożywa napoje kojarzące się z produktami tradycyjnymi, nawet jeśli obecne są w nich dodatki smakowe – zsiadłe mleko, maślanka owocowa. Wartości średniej rangi wskazują na wyróżnianie się kategorii respondentów najmłodszych – w wieku 20 do 40 lat – największym zainteresowaniem konsumpcją jogurtu beztłuszczowego, jogurtu z musuem oraz napojami bez laktozy. Respondenci w wieku do 40 lat rzadziej natomiast niż pozostali spożywają mleko zsiadłe. Segment osób w wieku 40÷60 lat to konsumenci w większym stopniu niż pozostali zainteresowani nabywaniem jogurtów bio.

O zróżnicowaniu częstotliwości spożywania napojów w zależności od wieku zadecydowały różnice w zadeklarowaniu kategorii „raz w tygodniu” oraz „kilka razy w tygodniu” (tab. 7). Odsetek wskazań tych kategorii potwierdza wyniki uzyskane testem Kruskala-Wallisa. W segmencie osób najstarszych wynosi on – w odniesieniu do jogurtów bio, beztłuszczowych z dodatkiem zbóż i z dodatkiem musu – od około 3% do około 6%, podczas gdy w gronie respondentów młodszych odsetek wskazań obu kategorii jest o 4 do 10 punktów procentowych wyższy. Konsumenci w wieku powyżej 60 lat preferują natomiast w największym stopniu regularne spożywanie mleka zsiadłego (około 15% wskazań) oraz maślanki owocowej (ponad 14% wskazań). Grupa respondentów najmłodszych wyróżnia się najwyższym zainteresowaniem konsumpcją jogurtów beztłuszczowych i z dodatkiem musu oraz napojów bez laktozy (odpowiednio: 14%, 16% i 13% wskazań), a także tym, że praktycznie nie zgłasza popytu na mleko zsiadłe. Jogurt bio jest spożywany częściej przez ankietowanych w wieku 40–60 (ponad 9% wskazań) niż przez pozostałe grupy (od 3 do 5% wskazań).

Podział respondentów na trzy kategorie wiekowe nie był przypadkowy, wyniki eksperymentu postanowiono bowiem skonfrontować z informacjami wielu dziedzin wiedzy na temat zachowań kolejnych pokoleń konsumentów wchodzących w różnych okresach na rynek. Są to generacje: *baby boomers* (obecnie osoby starsze niż 60 lat), X (obecnie w wieku od 40 do 60 lat) oraz Y (tzw. milenialsi – w wieku 20–40 lat) (Anonim, 18.03.2024). Polskie pokolenie *baby boomers* żyło przez 30÷50 lat w warunkach rynku, którego cechą był permanentny niedobór większości produktów. W sektorze mleczarskim przyjęto zasadę, że galanterię mleczną wytwarza się wyłącznie na rynek lokalny, a brak zaopatrzenia w dozwolone przepisami surowce

Tabela 7. Odsetek wskazań kategorii częstotliwości spożywania napojów z uwzględnieniem wieku

Napój	wiek	Deklarowana częstotliwość		
		raz w tygodniu	kilka razy w tygodniu	raz dziennie
Jogurt bio	20÷40 lat	2,23%	2,91%	1,35%
	40÷60 lat	5,07%	4,07%	0,00%
	Powyżej 60 lat	1,87%	1,28%	0,87%
Jogurt 0%	20÷40 lat	7,26%	5,03%	1,68%
	40÷60 lat	5,46%	2,00%	0,00%
	Powyżej 60 lat	3,35%	2,80%	0,00%
Jogurt bez cukru	20÷40 lat	3,91%	3,06%	0,00%
	40÷60 lat	4,39%	1,32%	0,00%
	Powyżej 60 lat	7,48%	7,48%	1,67%
Jogurt z dodatk. zbóż	20÷40 lat	5,03%	2,23%	0,00%
	40÷60 lat	7,46%	0,88%	1,32%
	Powyżej 60 lat	2,41%	1,87%	0,00%
Jogurt z musem	20÷40 lat	11,17%	4,35%	0,00%
	40÷60 lat	6,14%	2,19%	0,00%
	Powyżej 60 lat	2,80%	2,67%	0,00%
Napoje bez laktozy	20÷40 lat	2,23%	6,91%	3,35%
	40÷60 lat	1,32%	2,58%	0,00%
	Powyżej 60 lat	2,80%	0,00%	0,00%
Napoje eko	20÷40 lat	3,03%	1,12%	0,00%
	40÷60 lat	1,32%	1,32%	0,88%
	Powyżej 60 lat	3,74%	2,80%	1,87%
Mleko zsiadłe	20÷40 lat	0,00%	0,00%	1,12%
	40÷60 lat	4,39%	2,82%	1,75%
	Powyżej 60 lat	9,35%	5,61%	0,00%
Kefir 0%	20÷40 lat	2,79%	0,00%	1,12%
	40÷60 lat	1,75%	2,19%	0,00%
	Powyżej 60 lat	2,80%	3,74%	0,00%
Kefir smakowy	20÷40 lat	1,12%	1,12%	0,00%
	40÷60 lat	2,63%	2,19%	1,32%
	Powyżej 60 lat	1,87%	2,80%	0,00%
Napoje z dodatk. białka	20÷40 lat	3,35%	0,00%	3,35%
	40÷60 lat	0,00%	1,32%	2,19%
	Powyżej 60 lat	1,87%	0,00%	0,00%
Maślanka owo-cowa	20÷40 lat	2,82%	1,12%	0,00%
	40÷60 lat	3,51%	1,75%	2,20%
	Powyżej 60 lat	7,67%	6,54%	0,00%

Źródło: badania własne.

dotatkowe sprawiał, że mleczarnie wytwarzały wyłącznie jogurt naturalny i kefir naturalny o dwudniowym okresie przydatności do spożycia. Tym można wytłumaczyć obecne zachowania tego pokolenia na rynku napojów mlecznych. Pokolenie polskich milenialsów, wychowane w realiach wolnego rynku, nie pamięta czasów „zimnej” wojny i PRL. Jest to segment rynkowy, charakteryzujący się otwartością na nowe wyzwania, także w zakresie żywienia. Stąd jego najwyższe preferencje nowości na rynku napojów mlecznych, szczególnie tych, które promowane są jako produkty prozdrowotne.

Doniesienia polskiej literatury potwierdzają różnice stwierdzone w wykonanym eksperymencie.

Pośrednim potwierdzeniem są wyniki sondaży wykonanych w grupach uczniów szkół średnich lub studentów w I dekadzie XXI wieku, a więc segmentu, który obecnie ma 30–35 lat. Autorzy tych sondaży byli zgodni co do tego, że badana młodzież była otwarta na innowacyjne napoje mleczne, niemniej najczęściej spożywała jogurty owocowe (zwykle raz lub dwa razy w tygodniu), natomiast w niewielkim stopniu zainteresowana była zakupem i spożyciem jogurtów probiotycznych, niskotłuszczowych, typu bio, typu greckiego czy maślanki owocowej (Szymandera-Buszka i Górecka, 2009; Krełowska-Kułas, 2011; Kudełka i Marzec, 2004; Polom i Rejman, 2006; Wielicka, 2005).

Inni autorzy wskazują na podobne relacje między wiekiem polskich konsumentów a ich zachowaniami żywieniowymi i częstością konsumpcji mlecznych napojów fermentowanych, co ukazuje w swojej dysertacji Anna Łąc (Łąc, 2022).

Wykonane przez Borowską badania wykazały, że najwyższy odsetek osób deklarujących znajomość produktów tradycyjnych (w przypadku przetworów mlecznych to zsiadłe mleko czy kefir) wystąpił w grupie osób w wieku 40–59 lat, a zatem segmentu, które zalicza się do pokolenia *baby boomers* (Borowska, 2008).

Rezultaty analizy testem Kruskala-Wallisa wykonanej w celu ustaleniu wpływu poziomu wykształcenia zestawiono w tabeli 8. Merytoryczną interpretację wyników oparto na danych zawartych w tabeli 9.

Wartości $p < 0,05$ stanowią podstawę stwierdzenia, że poziom wykształcenia badanych konsumentów decyduje o częstotliwości spożywania jogurtów: bio, 0%, z dodatkiem zbóż i bez cukru oraz napojów ekologicznych i napojów z dodatkiem białka (tab. 8). Wartości średniej rangi wskazują na to, że respondenci z wykształceniem niższym od średniego w najniższym stopniu zainteresowani są spożywaniem czterech wymienionych rodzajów jogurtu, a w wyższym stopniu – konsumpcją napojów

ekologicznych. Osoby z wykształceniem średnim odróżniają się od osób z wykształceniem wyższym jedynie niższą częstością spożycia jogurtu bio.

Tabela 8. Zróżnicowanie częstotliwości spożywania niszowych fermentowanych napojów mlecznych w zależności od poziomu wykształcenia (wyniki testu Kruskala-Walisa)

Napój	nizsze od średniego	średnie	wyższe	p
	średnia ranga			
Jogurt bio	186,8a	237,1b	309,2c	0,000
Jogurt 0%	223,1a	266,0b	280,4b	0,043
Jogurt bez cukru	219,3a	256,9b	271,3b	0,021
Jogurt z dodatkiem zbóż	191,0a	266,0b	268,6b	0,000
Jogurt z musem	234,2	257,3	265,6	0,254
Napoje bez laktozy	250,2	255,3	262,9	0,569
Napoje eko	270,3b	243,3a	249,1a	0,003
Mleko zsiadłe	267,6	257,1	254,6	0,792
Kefir 0%	261,3	256,7	257,3	0,964
Kefir smakowy	239,5	262,7	256,5	0,306
Napoje z dodatkiem białka	211,9a	255,8b	275,4b	0,000
Maślanka owocowa	248,8	259,6	257,6	0,831

Źródło: badania własne.

Deklarowana częstotliwość spożywania napojów (tab. 9) może stanowić dowód na to, że respondenci z wykształceniem niższym od średniego są w mniejszym stopniu skłonni do konsumpcji niektórych napojów w porównaniu z pozostałymi segmentami. Dotyczy to szczególnie częstotliwości spożywania większości jogurtów. Jeden lub kilka razy w tygodniu po jogurt bio, jogurt beztłuszczowy, jogurt bez cukru lub jogurt z dodatkiem cukru sięga od 0% do około 6% tej grupy konsumentów, podczas gdy odsetek osób z wykształceniem co najmniej średnim spożywających te jogurty z tą częstotliwością jest wyższy o kilka punktów procentowych. To samo zjawisko występuje w przypadku napojów z dodatkiem białka. Segment osób z wykształceniem niższym od średniego chętniej natomiast spożywa napoje ekologiczne (odsetek o około 10 pp wyższy niż w pozostałych segmentach).

Tabela 9. Odsetek wskazań kategorii częstotliwości spożywania napojów z uwzględnieniem poziomu wykształcenia

Napój	wykształcenie	Deklarowana częstotliwość		
		raz w tygodniu	kilka razy w tygodniu	raz dziennie
Jogurt bio	Niższe od średniego	0,00%	2,62%	0,00%
	Średnie	1,55%	3,49%	2,71%
	Wyższe	4,71%	6,81%	0,52%
Jogurt 0%	Niższe od średniego	3,23%	0,00%	0,00%
	Średnie	10,08%	1,55%	1,16%
	Wyższe	8,19%	4,19%	0,00%
Jogurt bez cukru	Niższe od średniego	2,69%	3,62%	0,00%
	Średnie	6,59%	6,20%	1,55%
	Wyższe	4,57%	5,24%	0,52%
Jogurt z dodatkiem zbóż	Niższe od średniego	0,00%	0,00%	0,00%
	Średnie	8,91%	1,55%	0,39%
	Wyższe	6,28%	2,09%	1,05%
Jogurt z musem	Niższe od średniego	6,31%	3,08%	0,00%
	Średnie	7,14%	3,88%	0,00%
	Wyższe	4,19%	2,09%	0,00%
Napoje bez laktozy	Niższe od średniego	3,08%	3,08%	0,00%
	Średnie	3,10%	4,65%	0,78%
	Wyższe	2,00%	3,19%	2,09%
Napoje eko	Niższe od średniego	9,23%	4,62%	0,00%
	Średnie	3,10%	1,16%	0,78%
	Wyższe	1,05%	1,05%	1,05%
Mleko zsiadłe	Niższe od średniego	3,31%	2,00%	0,00%
	Średnie	1,55%	3,10%	1,16%
	Wyższe	4,19%	4,71%	1,57%
Kefir 0%	Niższe od średniego	3,62%	0,00%	3,08%
	Średnie	1,55%	2,33%	0,00%
	Wyższe	2,62%	1,57%	0,00%
Kefir smakowy	Niższe od średniego	0,00%	0,00%	0,00%
	Średnie	1,16%	2,33%	1,16%
	Wyższe	2,66%	2,09%	0,00%
Napoje z dodatkiem białka	Niższe od średniego	0,00%	0,00%	0,00%
	Średnie	1,94%	1,16%	3,49%
	Wyższe	2,57%	3,00%	1,05%
Maślanka owocowa	Niższe od średniego	3,08%	0,00%	0,00%
	Średnie	4,98%	2,33%	1,16%
	Wyższe	3,66%	3,66%	1,05%

Źródło: badania własne.

Podsumowanie

W województwie podkarpackim niszowy rynek mlecznych napojów fermentowanych tworzą konsumenci o zróżnicowanym profilu demograficznym. Jest to segment nabywający i spożywający innowacyjne napoje mleczne, pozytywnie nastawiony do tzw. produktów nowej generacji. Tworzy to realny, zauważalny przez producentów popyt. Ujęta w badaniach grupa niszowych napojów mlecznych spożywana jest bowiem systematycznie – raz w tygodniu lub kilka razy w tygodniu, sporadycznie – codziennie.

Kobiety są w większym stopniu niż mężczyźni zainteresowane konsumpcją innowacyjnych jogurtów, spełniających kryteria sformułowane dla żywności funkcjonalnej. Wpisuje się to w zjawisko poszukiwania ogólnie pojętej tzw. zdrowej żywności. Potwierdza to znaną w literaturze przedmiotu silniejszą u kobiet współzależność pomiędzy zachowaniami żywieniowymi a dbałością o zdrowie. Jogurty spożywane ze względów dietetycznych i zdrowotnych znajdują więc nabywców przede wszystkim wśród kobiet.

Częstotliwość spożywania napojów mlecznych o dużym ładunku innowacyjności obniża się wraz z wiekiem, a częstość spożywania napojów, które kojarzą się z tradycyjną konsumpcją, wzrasta wraz z wiekiem. Kategoria respondentów najmłodszych, pokrywająca się z wyróżnianą w literaturze kategorią millenialsów, wyróżnia się największą skłonnością do konsumpcji jogurtów i pozostałych napojów, korzystnie wpływających na zdrowie. Można ich nazwać określeniem „łowca nowości”: są w znacznym stopniu podatni na modę i na informacje pochodzące z różnych form reklamy w odróżnieniu od konsumenta „świadomego i roztropnego”, poszukującego żywności z gospodarstw ekologicznych, produktów znanych marek lub o tradycyjnych recepturach (Kusińska, 2014). Nie bez znaczenia dla przemysłu mleczarskiego jest to, że milenialsi mają zaufanie do sprzedającego, ale preferują marki transparentne, są skłonni do zakupu produktów droższych, ale wyższej jakości (Anonim, 18.03.2024). Stwierdzone w badaniach niskie zainteresowanie spożywaniem jogurtów w grupie osób najstarszych (*baby boomers*) wynika prawdopodobnie stąd, że w czasach ich młodości jogurt był w Polsce napojem znacznie mniej popularnym niż kefir i maślanka. Polski rynek jogurtów zaczął się gwałtownie rozszerzać dopiero pod koniec XX wieku.

Zainteresowanie konsumpcją innowacyjnych prozdrowotnych napojów mlecznych wzrasta wraz ze wzrostem poziomu wykształcenia. Wskazuje to prawdopodobnie na efektywność szkolnej edukacji dotyczącej ochrony środowiska oraz bezpieczeństwa żywności. Coraz powszechniej

konsumenci informują, że jednym z najważniejszych kryteriów wyboru żywności jest ich troska o własne zdrowie lub zdrowie członków rodziny (Wojciechowska-Solis i Soroka, 2016).

Zastosowana w badaniach metoda ospiska lub „długiego ogona” okazała się bardzo przydatna w wyłonieniu napojów mlecznych, które są przedmiotem zainteresowania konsumenta niszowego. Z pewnością procedura ta będzie przydatna do wyznaczania innych produktów (nie tylko żywnościowych) ulokowanych na rynkach niszowych.

Badania zostały sfinansowane ze środków z Funduszu Stypendialnego im. Stanisława Pigonia w Państwowej Akademii Nauk Stosowanych w Krośnie w roku akademickim 2023/2024.

Bibliografia

1. Abdel Wahab, W.A., Ahmed, S.A., Kholif, A.M.M., Abd El Ghani, S., Hala R. Wehaidy H.R. (2024). Low-lactose yoghurt production using b-galactosidase: An integrated study for the enzyme and its application. *International Dairy Journal*.151,105864 doi.org/10.1016/j.idairyj.2023.105864.
2. Anderson, Ch. (2006). *The long tail why the future of business is selling less of more*. New York, Hyperion.
3. Babicz-Zielińska, E., Wądołowska, L., Przysławski, J., Schlegel-Zawadzka, M., Czarnocińska J. (2002). Wpływ wieku i stanu fizjologicznego na preferencje produktów mlecznych wśród kobiet. *Przegląd Mleczarski*, 10, s. 460–461.
4. Borowska, A. (2008) Postawy europejskich konsumentów wobec produktów tradycyjnych i regionalnych. *Zeszyty Naukowe SGGW – Ekonomia i Organizacja Gospodarki Żywnościowej*, 72, s. 145–159.
5. Cichońska, P. (2022). Czynniki wpływające na zachowania konsumentów na rynku mlecznych napojów fermentowanych. *Przegląd Mleczarski*, 4, s. 14–19
6. Cichońska, P. (2022). Trendy ostatniej dekady w sektorze mlecznych napojów fermentowanych. *Przegląd Mleczarski*, 5, s. 10–14.
7. Digital Marketing Newsletter. Millennialsi a pokolenie Z: podstawowe różnice. 6/2019. Deloitte.com (2024.03.18). Dostępne w <https://www2.deloitte.com/pl/pl/pages/deloitte-digital/digital-marketing-newsletter-deloitte/digital-marketing-lipiec-2019.html>.
8. Farah, J.S., Araujo, C.B., Melo, L. (2017). Analysis of yoghurts' , whey-based beverages' and fermented milks' labels and differences on their sensory profiles and acceptance. *International Dairy Journal*, 68, s. 17–22 doi.org/10.1016/j.idairyj.2016.12.008.
9. Grzybowska-Brzezińska, M., Grzywińska-Rapca, M. (2018). Rynek żywności ekologicznej w aspekcie rozwoju zjawiska świadomej konsumpcji. *Handel Wewnętrzny*, 2, s. 168–177.
10. Jeżewska-Zychowicz, M., Gawęcki, J., Wądołowska, L., Czarnocińska, J., Gałliński, G., Kołajtis-Dołowy, A., Roszkowski, W., Wawrzyniak, A., Przybyłowicz, K., Krusińska, B., Hawrysz, I., Słowińska, M.A., Niedźwiedzka, E. (2014).

- Kwestionariusz do badania poglądów i zwyczajów żywieniowych dla osób w wieku od 16 do 65 lat, wersja 1.1 – kwestionariusz administrowany przez ankietera-badacza W: J. Gawęcki (red.) *Kwestionariusz do badania poglądów i zwyczajów żywieniowych oraz procedura opracowania danych* (s. 3–20). Pobrane z: http://www.medprew.cm-uj.krakow.pl/doku/kwestionariusz_kompan2016.pdf.
11. Kowalczyk, I. Szymański, A. (2017). Innowacyjność konsumentów na rynku jogurtów. *Studia Ekonomiczne. Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Ekonomicznego w Katowicach*, 328, s. 138–146.
 12. Krełowska-Kułas, M. (2011). Badanie preferencji konsumenckich mlecznych napojów fermentowanych. *Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Ekonomicznego w Krakowie*, 851, s. 61–73.
 13. Kudelka, W., Marzec, M. (2004). Preferencje studentów dotyczące spożycia mlecznych napojów fermentowanych. *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość*, 3, s. 63–76.
 14. Kusińska, A. (2014). Analizy wielowymiarowe jako źródło wiedzy o zachowaniach konsumentów na rynku. W: K. Mazurek-Łopacińska, M. Sobocińska (red.), *Badania marketingowe – nowe podejścia oraz metody na współczesnym rynku* (s. 89–98). Wrocław: Wydawnictwo Uniwersytetu ekonomicznego we Wrocławiu doi: 10.15611/pn.2014.336.09.
 15. Łąc, A. (2022). *Preferencje młodzieży studiującej w Polsce dotyczące jakości jogurtów* (Rozprawa doktorska) Uniwersytet Technologiczno-Humanistyczny w Radomiu, Wydział Ekonomii i Finansów Radom.
 16. Mac, J., Pompa-Roborzyński, M., Świda, J., Brągiel P. (2007). Preferencje konsumentów w zakresie spożywania podstawowych przetworów mlecznych – studium porównawcze okresu 1995–2005. *Przegląd Mleczarski*, 8, s. 38–43.
 17. Morawska, H. (2024,02 20) *Przemysł mleczarski w Polsce – analiza rynku produktów* <https://www.spozywcze Technologie.pl/mleko/produkcja/419/analiza-ryнку-produktów-mleczarskich-w-polsce>.
 18. Nieżurawski, L., Szczepańska, E. (2001). Preferencje klientów na rynku wybranych produktów mleczarskich. *Przegląd Mleczarski*, 4, s. 10.
 19. Nowak, M., Trziszka, T., Szołtysik, M. (2007). Preferencje konsumentów mlecznych napojów fermentowanych. *Żywność. Nauka. Technologia. Jakość*, 1(50), s. 77–83.
 20. Polom, A., Rejman, K. (2006). Preferencje konsumentów i spożycie mlecznych napojów probiotycznych. *Przegląd Mleczarski*, 11, s. 4–6.
 21. Raźniewski, P., Juchniewicz, M., Tomczyk, U. (2010). *Strategia niszy rynkowej jako specyficzny element potencjału rozwojowego mikroprzedsiębiorstw*. Warszawa: Polska Agencja Rozwoju Przedsiębiorczości.
 22. Sobczyk, G., Celoch, A. (2012) Segmentacja i wybór rynku docelowego. W: D. Filar (Red.), *Współczesny marketing. Skuteczna komunikacja i promocja* (s. 27–46). Lublin: Wydawca Uniwersytet Marii Curie-Skłodowskiej w Lublinie.
 23. Stanisław, A. (2007). *Przystępny kurs statystyki z wykorzystaniem programu STATISTICA PL na przykładach z medycyny. Tom III. Analizy wielowymiarowe*. Kraków: Wydawca StatSoft Polska.

24. Stanisław, A. (2006). *Przystępny kurs statystyki z wykorzystaniem programu STATISTICA PL na przykładach z medycyny. Tom I. Statystyki podstawowe*. Kraków: Wydawca StatSoft Polska.
25. Szczepaniak, B., Górecka, D., Kaliska, E. (2001). Czynniki kształtujące zachowania w zakresie spożycia jogurtów. *Przegląd Mleczarski*, 7, s. 289–290.
26. Szczerba, J. (2022). Produkty mleczne w najzdrowszych modelach żywieniowych. *Przegląd Mleczarski*, 5, s. 23–25.
27. Szymandera-Buszk, K., Górecka, D. (2009). Częstotliwość spożycia wybranych napojów mlecznych. *Bromat. Chem. Toksykol*, XLII(3), s. 688–692.
28. Wang, L., Wu, T., Zhang, Y., Yang, K., He, Y., Deng, K., Liang, C., Gu Y. (2023). Comparative studies on the nutritional and physicochemical properties of yoghurts from cows', goats', and camels' milk powder. *International Dairy Journal*, 138, 105542 doi:org/10.1016/j.idairyj.2022.105542.
29. Wielicka, A. (2005). Wpływ zachowań żywieniowych na częstotliwość konsumpcji jogurtów i innych mlecznych napojów fermentowanych. *Roczniki Naukowe Stowarzyszenia Ekonomistów Rolnictwa i Agrobiznesu*, z. 8, s. 271–276.
30. Wojciechowska-Solis, J., Soroka, A. (2016). Criteria for Purchasing Organic Food by Polish Consumers in Respect to World Consumption. *Zeszyty Naukowe SGGW w Warszawie – Problemy Rolnictwa Światowego*, 16(XXXI), Zeszyt 2, s. 353–362.
31. Wu, Z., Wu, J., Cao, P., Jin, Y., Pan, D., Zeng, X., Guo, Y. (2017). Characterization of probiotic bacteria involved in fermented milk processing enriched with folic acid. *Journal of Dairy Science*, 100, 6, s. 4223–4229 doi.org/10.3168/jds.2017-12640.

Innowacje produktowe i procesowe

Wpływ procesu produkcyjnego i warunków przechowywania na świeżość i profil kwasów tłuszczowych oliwy z oliwek z pierwszego tłoczenia

The influence of production process and storage conditions on freshness and fatty acid composition of extra virgin olive oil

Ewa PYRZYŃSKA^{1*}, Maciej PUKROP²

¹ Uniwersytet Ekonomiczny w Krakowie, Kraków; pyrzyNSE@uek.krakow.pl;

ORCID: 0000-0001-7322-8872

² Uniwersytet Ekonomiczny w Krakowie, Kraków

* Korespondencja: pyrzyNSE@uek.krakow.pl; Tel.: +12-293-78-12

Słowa kluczowe: oliwa z oliwek z pierwszego tłoczenia, kwasy tłuszczowe, proces produkcyjny, determinanty jakości.

Streszczenie: Celem pracy było zbadanie wpływu procesu produkcyjnego oraz warunków przechowywania na świeżość i profil kwasów tłuszczowych oliwy z oliwek z pierwszego tłoczenia. Analizie poddano dwa rodzaje oliwy – oliwę z pierwszego tłoczenia wyprodukowaną w Portugalii, powszechnie dostępną w handlu detalicznym (oznaczoną P) oraz turecką oliwę z pierwszego tłoczenia, wytworzoną na użytek osobisty (T). Na podstawie przeprowadzonych badań stwierdzono, że różnice w procesach produkcyjnych, jak również opakowanie i sposób przechowywania oliwy z oliwek w nieznacznym stopniu wpływa na profil kwasów tłuszczowych oraz w znacznym stopniu na jej świeżość.

Keywords: virgin olive oil, fatty acids, production process, determinants of quality.

Abstract: The aim of the study was to investigate the influence of the production process and storage conditions on the freshness and fatty acid profile of extra virgin olive oil. Two types of olive oil were analyzed – extra virgin olive oil produced in Portugal, commonly available in retail (designated as P), and Turkish extra virgin olive oil, produced for personal use (designated as T). Based on the conducted studies, it was found that differences in production processes, as well as packaging and storage methods of olive oil, have a slight impact on the fatty acid profile and a significant impact on its freshness.

Wprowadzenie

Oliwa z oliwek z pierwszego tłoczenia jest pozyskiwana bezpośrednio z owoców drzewa oliwnego (*Olea europaea*). Spożywanie oliwy wykazuje właściwości przeciwmiażdżycowe, przeciwzapalne, przeciwzakrzepowe, przeciwnadciśnieniowe, korzystne dla działania układu sercowo-

-naczyniowego. Dodatkowo oliwa z oliwek jest bogata w mikroskładniki takie, jak: karoteny, tokoferole, fitosterole, związki fenolowe i terpenowe. Około 85% zawartości tłuszczu w diecie śródziemnomorskiej pochodzi z oliwy z oliwek, zawierającej głównie jednonienasycone kwasy tłuszczowe w postaci kwasu oleinowego, co wiąże się ze zmniejszonym ryzykiem chorób serca, i ogólnie pozytywnym wpływem na zdrowie człowieka (Aparicio i Harwood, 2013).

Proces produkcyjny oliwy z oliwek zmieniał się na przestrzeni lat. W czasach starożytnych oliwa była wyciskana za pomocą wykręcanego worka, wykorzystywano specjalne tłuczki, a następnie powstawały pierwsze kamienne młyńskie prasy (*Sok z oliwki*, 2023). Obecny proces produkcyjny składa się z wielu dodatkowych operacji wpływających na wydajność całej produkcji oraz z wykorzystaniem nowoczesnych maszyn i technik, które pozwalają na uzyskanie oliwy o najlepszych właściwościach chemicznych i organoleptycznych, wpływając tym samym na wydłużenie okresu przechowywania świeżej oliwy (Aparicio i Harwood, 2013).

Proces produkcyjny, czy też wydobycia oliwy z oliwek, może być przeprowadzony na wiele sposobów, stosując odmienne procesy i operacje na różnych etapach wytwarzania oliwy. Oprócz wyboru samego procesu produkcji kładziony jest nacisk na kontrolę jakości zarówno wykorzystywanego surowca, wykonywanych operacji, jak i produktu finalnego.

Rodzaj butelkowania oraz przechowywanie oliwy z oliwek może różnić się w zależności od zastosowanego materiału, decyzji producenta oraz jego zaleceń w kwestii przechowywania produktu. Najpowszechniejszym materiałem wykorzystywanym w opakowaniu oliwy z oliwek jest ciemne szkło, a wskazówki producenta odnośnie do przechowywania produktu zalecają ciemne, suche i chłodne pomieszczenia.

Celem niniejszej pracy było zbadanie wpływu procesu produkcyjnego i warunków przechowywania oliwy z oliwek z pierwszego tłoczenia na wybrane determinanty jej jakości, takie jak parametry świeżości i profil kwasów tłuszczowych.

Materiał doświadczalny i metodyka badań

Materiałem badawczym były oliwy z oliwek z pierwszego tłoczenia, pochodzące od dwóch różnych producentów. Analizie poddano dwa rodzaje oliwy, wyprodukowane w Portugalii oraz Turcji. Jedną z oliw zakupiono w popularnej sieci detalicznej w Krakowie, natomiast drugą nabyto bezpośrednio od osoby posiadającej rodzinną farmę oliwek. Do analizy pobierano po 10 próbek z każdego rodzaju oliwy z oliwek, niezwłocznie po otworzeniu opakowania.

W niniejszym opracowaniu przyjęto umowne oznaczenia dla następujących rodzajów oliwy: P – oliwa portugalska i T – oliwa turecka. Obie oliwy charakteryzowały się podobnym okresem produkcji. Butelkowanie oliwy T nastąpiło w lutym 2021 roku, natomiast oliwy P – w marcu 2021 roku, obydwie produkty zostały otworzone w momencie przystąpienia do badań, gwarantując w ten sposób jednakową świeżość. Gatunki oliwek znajdujących się w oliwie P to typowe oliwki rosnące na terenach Portugalii: *Cordovil*, *de Serpa*, *Galega Vulgare*, *Verdeal* i *Alentejana*. Oliwa T została wyprodukowana z oliwek *Ayvalik* – najpowszechniejszego gatunku występującego w regionach Turcji. Oliwy po procesie butelkowania i w transporcie były przechowywane w miejscu wystawionym na okresową ekspozycję światła, w temperaturze 19–24°C dla oliwy T oraz 17–20°C dla oliwy P.

Metody badań parametrów fizykochemicznych

Oznaczono następujące parametry fizykochemiczne:

- liczbę kwasową według normy PN-EN ISO 660:2005,
- liczbę nadtlenkową według normy PN-EN ISO 3960:2005.

Metody analizy kwasów tłuszczowych

Kwasy tłuszczowe analizowano w postaci estrów metylowych uzyskanych z dostarczonych próbek w sposób opisany przez normę PN-EN ISO 5509. Analizę wykonano na chromatografii gazowej Thermo Scientific Trace1300 z kolumną Thermo Scientific TR-FAME (30 m x 0,25 mm x 0,25 μm), z detektorem FID i z zastosowaniem helu jako gazu nośnego. Jako wzorzec zastosowano Food Industry FAME Mix firmy Restek, nr kat. 35077 będący mieszaniną 37 estrów metylowych kwasów tłuszczowych: C 4:0, C 6:0, C 8:0, C 10:0, C 11:0, C 12:0, C 13:0, C 14:0, C 14:1 (cis-9), C 15:0, C 15:1, C 16:0, C 16:1 (cis-9), C 17:0, C 17:1 (cis-10), C 18:0, C 18:1 (trans-9), C 18:1 (cis-9), C 18:2 (trans-9,12), C 18:2 (cis-9,12), C 18:3 (cis-6,9,12), C 18:3 (cis-9,12,15), C 20:0, C 20:1 (cis-11), C 21:0, C 20:2 (cis-11,14), C 22:0, C 20:3 (cis-8,11,14), C 22:1 (cis-13), C 20:3 (cis-11,14,17), C 20:4 (cis-5,8,11,14), C 23:0, C 22:2 (cis-13,16), C 20:5 (cis-5,8,11,14,17), C 24:0, C 24:1 (cis-15), C 22:6 (cis-4,7,10,13,16,19). Kolejność elucji składników przyjęto za 1999 Product Guide Restek (s. 585).

Porównanie procesu produkcyjnego

Uwagi wstępne: oliwa T to oliwa z oliwek pierwszego tłoczenia przeznaczona do użytku osobistego, nieobjęta handlem detalicznym, natomiast oliwa P to oliwa z oliwek pierwszego tłoczenia będąca w obrocie

towarowym i sprzedaży na terenie UE. Dane dotyczące procesów produkcyjnych uzyskano bezpośrednio od firm je produkujących.

Proces produkcyjny oliwy T rozpoczyna się wraz ze startem zbiorów. Oliwką wykorzystywaną do pozyskania oliwy jest *Ayvalik*, znana również pod nazwą *Edremit*, wywodzącą się od nazwy miasta. Jest to popularny gatunek oliwek występujący w strefie wschodniośroziemnomorskiej. W momencie gdy większość oliwek osiągnie kolor bordowo-czerwony rozpoczynane są zbiory. Zazwyczaj zbiory występują na początku listopada w celu uniknięcia częstych deszczów występujących w połowie tego miesiąca. Deszcze przed zbiorami są niepożądanym czynnikiem w zbiorach, ponieważ po deszczach produkcja oliwy wzrasta, ale spada jej jakość. Owoce zbierane są manualnie, aby ograniczyć kontakt z podłożem. Następnie oliwki zostają natychmiastowo przetransportowane w celu tłoczenia, gdyż kluczowe znaczenie ma pierwsze 18 godzin, po których jakość oliwy znacznie spada.

Oliwki do oliwy P pozyskiwane są przez firmę wyłącznie od członków należących do spółdzielni rolniczej. Do produkcji wybrane są gatunki oliwek popularnych w Portugalii: *Cordovil*, *de Serpa*, *Galega Vulgare*, *Verdeal* i *Alentejana*. Sezon zbiorczy rozpoczyna się w październiku, kończy w styczniu/lutym. Zazwyczaj zbiór rozpoczyna się od gatunku *Galega*, ponieważ dojrzewa wcześniej, następnie *Cordovil* i na końcu *Verdeal*. Ponieważ decyzja o momencie zbiorów zależy od członków spółdzielni, oliwki trafiają do produkcji zarówno bardziej zielone, jak i te dojrzałsze. Pomimo otrzymywania oliwek z różnych źródeł, firma narzuca odpowiednie kryteria jakości, dzięki czemu oliwki zbierane są za pomocą profesjonalnych narzędzi i maszyn. Zamiast zbiorów manualnych zastosowane są metody mechaniczne, o czym świadczy zastosowanie sprzętu takiego jak traktory wyposażone w kilkumetrową płachtę w kształcie odwróconego parasola. Drzewo jest wstrząsane, a oliwki wpadają do znajdującej się na dnie taśmy, skąd trafiają do pojemnika. Materiałowa płachta chroni oliwki przed urazami mechanicznymi spowodowanymi upadkiem.

Otrzymane oliwki są klasyfikowane przez producenta zgodnie z obranymi wytycznymi. Przy odbiorze rozpoczyna się proces identyfikacji polegający na wprowadzeniu danych producenta, daty, godziny oraz rodzaju oliwek. Na podstawie tych informacji oliwka jest klasyfikowana i przypisywana do partii.

W obu przypadkach oliwki na pierwszym etapie produkcji trafiają do maszyn czyszczących, gdzie usuwane są liście oraz inne pozostałości na owocach. Następnie poddane są energicznemu płukaniu w celu usunięcia

wszelkich pozostałości na skórcie oliwek, takich jak kurz lub błoto. Usuwane są również niektóre cięższe pozostałości jak na przykład kamienie, które nie zostały usunięte poprzez działanie powietrza, osadzając się na dnie urządzenia dzięki grawitacji.

Po operacji usunięcia liści i mycia w przypadku oliwy P pobierana jest reprezentatywna próbka oliwek z każdej dostawy, która zostaje wysłana do laboratorium w celu analizy wydajności i kwasowości zawartej oliwy. Oliwa T nie zostaje poddana kontroli na tym etapie produkcji.

Na etapie rozdrabniania oliwki T i P mielone są za pomocą młynów młotkowych, otrzymując jednolitą pastę. Następnie pasta oliwy P jest poddawana procesowi malaksacji, powoli mieszając pastę w temperaturze poniżej 30°C. Etap malaksacji nie jest stosowany przy produkcji oliwy T.

W obu przypadkach proces ekstrakcji jest przeprowadzany za pomocą dekantera odśrodkowego, gdzie pod wpływem działania siły odśrodkowej olej i woda są wypierane z pasty. Do ekstrakcji oliwy P używany jest dwufazowy dekanter firmy GEA. Zastosowanie dekantera dwufazowego nie uwzględnia zastosowania dodatkowej dużej ilości wody, która może mieć negatywny wpływ na zawartość polifenoli w oliwie (Aparicio i Harwood, 2013). W przypadku oliwy T wykorzystany jest dekanter trójfazowy. Opuszczając dekanter, olej wpada do pojemnika wraz z większymi cząstkami, które nadal towarzyszą olejowi. W przeciwieństwie do oliwy T oliwa P zostaje oddzielona od wody i resztek oleju w dekanterze pionowym. Wirnik za pomocą działania siły odśrodkowej oddziela pozostałości wody i cząstek stałych od oliwy. W przypadku oliwy T zostaje ona przetransportowana do zbiornika przeznaczonego do dekantacji. W wyniku działania siły grawitacji i różnicy gęstości woda i olej samoczynnie rozdzielają się na osobne fazy.

Oliwy z oliwek są następnie przenoszone do metalowych zbiorników magazynowych. W przypadku oliwy P partie przechowywane są oddzielnie w zależności od poziomu kwasowości oliwek zbadanych podczas klasyfikacji na początku produkcji. Każda partia zostaje poddana analizie organoleptycznej przez panel uznanych degustatorów i sklasyfikowana do odpowiedniego rodzaju oliwy z oliwek. W przypadku oliwy T badana jest jedynie zawartość polifenoli. Do butelkowania oliwy P wykorzystywane jest opakowanie z ciemnego szkła, które chroni oliwę przed działaniem promieni słonecznych i sztucznego światła. Opakowanie przeznaczone dla oliwy T zostało wykonane z tworzywa sztucznego – politereftalan etylenu (PET). Badania opakowań wykazały, że szkło zapewnia lepszą ochronę niż plastikowe pojemniki z polietylenu (O'Brien, 2009).

Wyniki badań oraz ich omówienie

Parametry świeżości

Wyniki oznaczenia liczby kwasowej dla obydwu rodzajów oliwy przedstawiono w tabeli 1.

Tabela 1. Wyniki badania liczby kwasowej oliwy P i T

	Wyniki badania liczby kwasowej oliwy P i T	
	oliwa z oliwek P	oliwa z oliwek T
Liczba kwasowa (mg KOH/g)	0,9911 (± 0,06)	1,309 (± 0,09)

Źródło: wyniki badań własnych.

Liczba kwasowa (LK) odzwierciedla stopień hydrolizy tłuszczu, która związana jest z rozpadem wiązań triacylogliceroli na diacyloglicerole, monoglicerole i wolne kwasy tłuszczowe. Jest ona tym samym wskaźnikiem stopnia świeżości tłuszczu. Liczba kwasowa badanych oliw jest stosunkowo niska: spełniają one zalecenia rozporządzenia Komisji Europejskiej dla kwasowości oliwy z oliwek z pierwszego tłoczenia (kwasowość $\leq 2,0$) (Rozporządzenie Komisji UE nr 2019/1604). Odchylenie standardowe dla obydwu próbek jest bardzo małe, co świadczy o zbliżonej wartości wyników próbek dla każdej oliwy do średniej arytmetycznej. Oliwa P posiada niższą liczbę kwasową w stosunku do oliwy T, co wiąże się z mniejszą zawartością wolnych kwasów tłuszczowych zawartych w oliwie.

Wyniki oznaczenia liczby nadtlenkowej dla obydwu rodzajów oliwy przedstawiono w tabeli 2.

Tabela 2. Wyniki badania liczby nadtlenkowej oliwy P i T

	Wyniki badania liczby kwasowej oliwy P i T	
	oliwa z oliwek P	oliwa z oliwek T
Liczba nadtlenkowa (mEq/g)	5,8 (± 0,03)	8,3 (± 0,41)

Źródło: wyniki badań własnych.

Liczba nadtlenkowa (LN) odzwierciedla zawartość nadtlenków znajdujących się w oliwie, stąd parametr jest wskaźnikiem stopnia zjełczenia tłuszczu. Liczba nadtlenkowa dla oliwy P jest dużo niższa niż dla oliwy T; obie jednak spełniają zalecenia Komisji Europejskiej dla oliwy z oliwek z pierwszego tłoczenia (liczba nadtlenkowa $\leq 20,0$) (Rozporządzenie Komisji UE nr 2019/1604).

Obie oliwy byłyby przechowywane wraz z ekspozycją na promienie światła słonecznego i sztucznego, natomiast oliwa P przechowywana była w opakowaniu wytworzonym z ciemnego szkła, ograniczając tym samym dostęp światła do produktu. Opakowanie oliwy T nie posiadało barier chroniących tłuszcz przed promieniowaniem świetlnym. Temperatury przechowywania stanowiły około 19–24°C dla oliwy T oraz 17–20°C dla oliwy P.

Biorąc pod uwagę zestawione wyniki oraz informację o warunkach przechowywania oliwy z oliwek wywnioskowano, że oliwa P cechuje się większą świeżością w porównaniu z oliwą T. Badania Flaczyk i in. (2006) wykazały, że przechowywanie oliwy w temperaturze 16–18°C bez dostępu do światła powodowało mniejsze straty polifenoli niż w próbach przechowywanych w temperaturze 19–24°C z okresowym dostępem światła. W tym samym badaniu zaobserwowano większą stabilność oksydacyjną oliwy przechowywanej w warunkach zalecanych przez producentów (brak dostępu do światła w temperaturze przechowywania 16–18°C) w porównaniu z przechowywaniem w warunkach imitujących ekspozycję sklepową. Ponieważ światło gwałtownie przyspiesza procesy starzenia się oliwy, opakowanie stanowi ważną barierę przed działaniem promieni słonecznych. Według O'Brien (2009) pakowanie w pojemniki wykonane m.in. z metalu oraz szkła bursztynowego lub barwionego przedłuża trwałość olejów płynnych. Autor wspomina również, że pojemniki wykonane ze szkła zapewniają lepszą ochronę tłuszczu niż plastikowe pojemniki z polietylenu. To założenie potwierdza badanie Dabbou i in. (2011): w badaniu stwierdzono, że szklane butelki zapewniają lepszą ochronę oliwy z oliwek przed utlenianiem niż plastikowe butelki z polietylenu. Zgodnie z wynikami najlepszym materiałem opakowaniowym do pakowania oliwy z oliwek była stal nierdzewna, a następnie szkło. Tworzywa PET okazały się nieodpowiednie do takiego zastosowania. W tym samym badaniu wykazano znaczne pogorszenie parametrów jakościowych produktu przy ekspozycji na światło oraz wysoką temperaturę przechowywania. Można zatem przyjąć, że rodzaj tworzywa, temperatura oraz dostęp do światła wywierają wpływ na stopień rozkładu kwasów tłuszczowych, a tym samym świeżość oliwy z oliwek.

Kwasy tłuszczowe

W celu ustalenia zawartości kwasów tłuszczowych dla obydwu próbek wykonano analizę profilu kwasów tłuszczowych za pomocą chromatografu gazowego. W analizowanych oliwach zidentyfikowano 12 kwasów

tłuszczowych. Wyniki zawartości kwasów tłuszczowych zostały zestawione w tabeli 3.

Tabela 3. Zawartość kwasów tłuszczowych w badanych oliwach

Symbol kwasu tł.	Nazwa kwasu tł.	Zawartość kwasu tł. w oliwie P (%)	Zawartość kwasu tł. w oliwie T (%)
C16:0	kwas palmitynowy	13,04	10,82
C16:1 [cis-9]	kwas oleopalmitynowy	1,08	0,76
C17:0	kwas heptadekanowy	0,09	0,13
C17:1 [cis-10]	kwas heptadekenowy	0,18	0,22
C18:0	kwas stearynowy	2,18	2,54
C18:1 [cis-9]	kwas oleinowy	76,13	72,42
C18:2 [cis-9,12]	kwas linolowy	5,85	11,79
C18:3 [cis-9,12,15]	kwas linolenowy	0,69	0,53
C20:0	kwas archaidowy	0,36	0,39
C20:1 [cis-11]	kwas eikozenowy	0,23	0,25
C22:0	kwas behenowy	0,1	0,11
C24:0	kwas lignocerynowy	0,05	0,05

Źródło: wyniki badań własnych.

Zawartość kwasów tłuszczowych dla próbek P i T pokrywa się z normami przedstawionymi w Codex Alimentarius CX 33-1981 (2021) dla oliwy oliwek z pierwszego tłoczenia – wszystkie kwasy tłuszczowe mieszczą się w zakresach przedstawionych w tabeli 3. Procentowa zawartość nienasyconych kwasów tłuszczowych oliw z oliwek jest zbliżona do siebie (oliwa P – ok. 84%, oliwa T – ok. 86%). Obie próbki posiadają stosunkowo zbliżone do siebie wyniki, poza kwasem palmitynowym, oleinowym i linolowym. Próbką oliwy P cechuje się większą zawartością nasyconego kwasu palmitynowego (13,04%) oraz jednonienasyconego kwasu oleinowego (76,13%), natomiast próbka oliwy T odznacza się większą zawartością wielonienasyconego kwasu linolowego (11,79%).

W literaturze wspomina się o nieznacznym wpływie metody ekstrakcji na profil kwasów tłuszczowych. W badaniach Torres i Maestri (2006) przeprowadzono analizę wpływu metody ekstrakcji oliwy z oliwek na zawartość kwasów tłuszczowych. Średnie wartości kwasów tłuszczowych

różniły się nieznacznie w zależności od zastosowanego systemu ekstrakcji, chociaż w większości przypadków różnice były istotne statystycznie. Największą różnicą w metodzie ekstrakcji odznaczał się kwas oleinowy, który wykazywał wyższą zawartość przy metodzie tłoczenia w porównaniu z metodą wirowania dwufazowego. Ostatecznie wywnioskowano jednak, że różnice między odmianami oliwek są silniejsze niż różnice między metodami ekstrakcji. Ustalono, że wpływ ekstrakcji ma znikomy wpływ na skład kwasów tłuszczowych w porównaniu z wpływem genotypu owocu. W badaniu Salvador i in. (2003) również zbadano wpływ metod ekstrakcji, porównując ze sobą metody wirowania dwu- i trójfazowego, metod wykorzystywanych również w ekstrakcji oliwy P i T, oraz metodę tłoczenia. W badaniu nie wykazano statystycznej różnicy pomiędzy wirowaniem dwu- i trójfazowym, natomiast różnica występowała w porównaniu z metodą tłoczenia, gdzie zawartość kwasu oleinowego była niższa w systemach wirowania w porównaniu z metodą tłoczenia. Jednakże porównując inne parametry wpływu na skład chemiczny oliwy z oliwek, nie ustalono, czy skład chemiczny wynika ze zmiennych agronomicznych i klimatycznych czy procesu produkcji. Inne badania takie jak Torres i Maestri (2006a) wskazują, że większy wpływ na skład kwasów tłuszczowych ma rodzaj gatunku oliwy oraz stopień dojrzałości, w jakim owoc został zebrany. Podczas procesu dojrzewania poziom kwasu oleinowego spada, a poziom kwasu linolowego wzrasta. Można zatem stwierdzić, że proces produkcyjny ma wpływ na profil kwasów tłuszczowych, jednakże jego wpływ jest minimalny w porównaniu z innymi czynnikami, takimi jak gatunek owocu, jego wiek lub klimat w jakim jest uprawiany.

Przedstawione procesy produkcyjne oliwy z oliwek T i P wykazują między sobą różnice w zastosowaniu innych metod podczas wykonywania poszczególnych operacji, wykorzystaniu różnych maszyn lub narzędzi oraz stopnia kontroli jakości. Oliwki do oliwy T zbierane są po osiągnięciu odpowiedniego stanu dojrzałości owocu. Wskazaniem wymogiem jest osiągnięcie koloru bordowo-czerwonego, momentu, w którym oliwka nabiera pełnej dojrzałości. Według Aparicio i Harwood (2013) stopień dojrzałości owoców jest związany ze stopniem zawartości polifenoli, co przekłada się na stabilność oksydacyjną oliwy. W przypadku składu kwasów tłuszczowych nie zauważono znaczących różnic w miarę dojrzewania owoców, ale większość badań wykazała, że takowe zmiany występują. Niektóre badania wskazywały wraz z dojrzewaniem owocu na spadek poziomu kwasu palmitynowego i wzrost poziomu kwasu linolowego, w wyniku czego olej staje się bardziej

wielonienasycony, a przez to mniej stabilny (Aparicio i Harwood, 2013). Ponieważ oliwki, z których produkowana jest oliwa P, są pozyskiwane od różnych rolników, ich stopień dojrzałości jest również zróżnicowany, co może świadczyć o wyższej stabilności oksydacyjnej, a tym samym zwiększonej liczbie kwasów tłuszczowych w oliwie P w porównaniu z oliwą T.

Metoda zbiorów również różni się w przypadku obu próbek. Do zbioru oliwy P wykorzystywane są odpowiednie maszyny i narzędzia pozwalające na efektywny zbiór oliwek, oliwa T zbierana jest manualnie. W Akter Mele i in. (2018) podkreślono zalety jakościowe przy manualnym zbiorze owoców – pomimo wolnej i kosztownej operacji jakość owoców przeznaczona do wyprodukowania oliwy jest najlepsza ze względu na możliwość kontroli organoleptycznej każdej oliwki przed zebraniem. Nie wskazano jednak, aby mechaniczne lub półmechaniczne metody w zauważalnym stopniu wpływały na jakość oliwek, o ile posiadały one mechanizm zabezpieczający owoce przed upadkiem (wykorzystanie odpowiedniego płótna lub siatki). W literaturze większy nacisk jest stawiany na wpływ czasu, w jakim oliwki powinny trafić do produkcji, aniżeli na zastosowane techniki w zbiorze owoców. Można zatem stwierdzić, że różnica w metodzie zbiorów nie ma znaczącego wpływu na jakość oliwy P i T.

Kolejną różnicą jest sposób przygotowania oliwek do ekstrakcji. Oba rodzaje oliwek są rozdrabniane za pomocą tej samej metody wykorzystującej młyn młotkowy, natomiast tylko pasta oliwy P poddawana jest procesowi malaksacji. Etap jest szczególnie ważny dla oliwek rozdrabnianych przy użyciu metalowych rozdrabniaczy; gwałtowny proces rozdrabniania sprzyja tworzeniu się emulsji, co negatywnie przekłada się na wydajność ekstrakcji. Według badania Inarejos-García i in. (2009) wpływ wysokiej temperatury zastosowanej w procesie malaksacji nie wykazuje istotnych różnic we wzroście wolnych kwasów tłuszczowych lub liczbie nadtlenkowej. Czas i temperatura malaksacji również nie wpływa na skład kwasów tłuszczowych triacylogliceroli. Można zatem przyjąć, że proces malaksacji przeprowadzany w kontrolowanym przedziale czasowym o ściślejszej granicy temperaturowej nie przyczynia się do pogorszenia cech fizykochemicznych oliwy, natomiast zwiększa efektywność później ekstrakcji pasty.

Etap ekstrakcji pasty badanej oliwy T i P wykonywany jest za pomocą dekantera odśrodkowego. Jest to najpowszechniej używana metoda ekstrakcji ze względu na pełną automatyzację procesu i wysoką jakość ekstrahowanej oliwy. Zasadniczą różnicą pomiędzy obydwojema procesami jest użycie dekantera dwufazowego w ekstrakcji oliwy P oraz użycie dekantera trójfazowego w ekstrakcji oliwy T. W przypadku użycia dekantera trójfazowego do pasty z oliwek dodawana jest woda, która ma na celu zwiększenie

płynności mieszaniny i ułatwienia rozdzielania faz. Według Aparicio i Harwood (2013) użycie wody w procesie ekstrakcji negatywnie wpływa na zawartość fenoli w oliwie z oliwek z pierwszego tłoczenia, ponieważ lepiej rozpuszczają się w wodzie niż w tłuszczach. Zwiększenie ilości wody rozcieńczającej zmniejsza zawartość fenolu, a tym samym stabilność podczas przechowywania oliwy. W badaniu Di Giovacchino, Sestili i Di Vincenzo (2002) stwierdzono nieznaczne różnice m.in. w ilości wolnych kwasów tłuszczowych oraz liczbie nadtlenkowej, gdy oliwki były poddane przetwarzaniu w obu rodzajach dekanterów. Całkowita zawartość fenolu i difenolu oraz czas indukcji olejów uzyskanych w 3-fazowym dekanterze wirówkowym były niższe niż w olejach ekstrahowanych w 2-fazowym dekanterze wirówkowym. Na tej podstawie wywnioskowano, że metoda ekstrakcji pasty oliwy T za pomocą dekantera trójfazowego nie wpływa bezpośrednio na świeżość oliwy, jednak ze względu na znaczne obniżenie zawartości fenoli, oliwa T może wykazywać gorszą stabilność oksydacyjną podczas przechowywania, co przekłada się na jej świeżość.

W celu oddzielenia pozostałości wody od oliwy oliwa P poddana jest wirowaniu poprzez dekanter pionowy. Metoda pozwala na szybką i skuteczną formę oddzielenia wody i zanieczyszczeń od oliwy (Di Giovacchino, Sestili i Di Vincenzo, 2002). W przypadku oliwy T oddzielenie dwóch cieczy wykonuje się za pomocą dekantacji naturalnej (osadzanie). Naturalna dekantacja należy do powolnego procesu, w wyniku czego olej pozostaje w kontakcie z wodą roślinną przez długi czas, co wiąże się z ryzykiem zanieczyszczenia (Di Giovacchino, Sestili i Di Vincenzo, 2002).

Ważnym aspektem każdego procesu produkcyjnego jest kontrola jakości. W przypadku oliwy P kontroli zostaje poddana każda partia otrzymanego surowca (oliwek) oraz każda partia wytworzonej oliwy. Badane są zarówno właściwości fizykochemiczne i organoleptyczne. W przypadku oliwy T badana jest jedynie zawartość polifenoli. Kontrola jakości na wielu etapach procesu produkcyjnego pozwala na utrzymanie standardu jakości produktu i uniknięcie potencjalnej sprzedaży oliwy, której właściwości są niezgodne z normą. Niewystarczająca kontrola surowca przeznaczonego do produkcji oraz produktu końcowego może wiązać się ze słabszą jakością oliwy.

Wnioski końcowe

1. Rodzaj tworzywa opakowaniowego, temperatura oraz dostęp do światła wywiera wpływ na stopień rozkładu kwasów tłuszczowych, a tym samym świeżość oliwy z oliwek.

2. Profil kwasów tłuszczowych badanych próbek wykazywał różnice w ilościach kwasu palmitynowego, oleinowego i linolowego, jednakże całkowite zawartości nienasyconych kwasów tłuszczowych znajdowały się na podobnym poziomie.
3. Biorąc pod uwagę uzyskanie wyniki badań oraz analizując różnice w procesach produkcyjnych w oparciu o dostępną literaturę wynioskowano, że proces produkcyjny wpływa na niektóre parametry fizykochemiczne oliwy z oliwek – proces produkcyjny może w nieznacznym stopniu wpływać na profil kwasów tłuszczowych oraz w znacznym stopniu na świeżość oliwy z oliwek z pierwszego tłoczenia.

Bibliografia

1. Akter Mele, M., Mohammad, Z., Ho-Min, K. i Maria Giuffrè, A. (2018). Pre-and post-harvest factors and their impact on oil composition and quality of olive fruit. *Emirates Journal of Food and Agriculture* 30(7).
2. Aparicio, R. i Harwood, J. (2013). *Handbook of Olive Oil: Analysis and Properties*. New York: Springer Publishing.
3. *Codex Alimentarius – Standard For Olive Oils and Olive Pomace Oils CX 33-1981*. Adopted in 1981. Revised in 1989, 2003, 2015, 2017. Amended in 2009, 2013, 2021.
4. European Commission. Pobrane z: <https://cordis.europa.eu/article/id/436443-solving-the-virgin-olive-oil-industry-s-bottleneck-problem>.
5. Dabbou, S., Gharbi, I., Dabbou, S., Brahmi, F., Nakbi, A. i Hammami, M. (2011). Impact of packaging material and storage time on olive oil quality. *African Journal of Biotechnology* vol. 10.
6. Di Giovacchino, L., Sestili, S. i Di Vincenzo, D. (2002). Influence of olive processing on virgin olive oil quality. *Eur. J. Lipid Sci. Technol.*, 104, 587–601.
7. Flaczyk, E., Rudzińska, M., Kobus, J. i Górecka, D. (2006). Wpływ warunków przechowywania oliwy „extra virgin” na zawartość polifenoli, steroli i skwalenu oraz stabilność oksydacyjną. *Rośliny oleiste – Oilseed crops*. Tom 27.
8. Inarejos-García, A., Gómez-Rico, A., Desamparados Salvador, M. i Fregapane, G. (2009). Influence of malaxation conditions on virgin olive oil yield, overall quality and composition. *Eur Food Res Technol.* 228, 671–677.
9. O’Brien, R. (2009). *Fats and Oils: Formulating and Processing for Applications*. Lancaster: Technomic Publishing Company, Inc.
10. Pukrop, M. (2023). *Wpływ procesu produkcyjnego i warunków przechowywania na świeżość i profil kwasów tłuszczowych oliwy z oliwek z pierwszego tłoczenia* (Praca inżynierska). Uniwersytet Ekonomiczny w Krakowie, Instytut Nauk o Jakości i Zarządzania Produktem, Kraków.
11. Rozporządzenie wykonawcze Komisji (UE) 2019/1604 z dnia 27 września 2019 r. w sprawie właściwości oliwy z oliwek i oliwy z wyciągu oliwek oraz w sprawie odpowiednich metod analizy zmieniające rozporządzenie (EWG) Nr 2568/91.

12. Salvador, M., Aranda, F., Gomez-Alonso, S. i Fregapane, G. (2003). Influence of extraction system, production year and area on Cornicabra virgin olive oil: a study of five crop seasons. *Food Chemistry* 80, p. 359–366.
13. *Sok z oliwki*. Tratto da Historia tłoczenia oliwy. Pobrano z: http://www.sokzoliwki.pl/historia_tloczenia_oliwy.html.
14. Torres, M. i Maestri, D. (2006). The effects of genotype and extraction methods on chemical composition of virgin olive oils from Traslasierra Valley. *Food Chemistry* 96, p. 507–511.
15. Torres, M. i Maestri, D. (2006a). Chemical composition of Arbequina virgin olive oil in relation to extraction and storage conditions. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 86(14), p. 2311–2317.

Wpływ temperatury ogrzewania oleju arganowego na jego stabilność oksydacyjną

The influence of the heating temperature of argan oil on its oxidative stability

Lidia OSTASZ^{1*}, Elżbieta KONDRATOWICZ-PIETRUSZKA²

¹ Uniwersytet Ekonomiczny, Kraków; ostaszl@uek.krakow.pl;
identyfikator ORCID 0000-0002-5455-5779

² Uniwersytet Ekonomiczny, Kraków; kondrate@uek.krakow.pl;
identyfikator ORCID 0000-0003-4684-7496

* Korespondencja: ostaszl@uek.krakow.pl; Tel.: +48-122-937-853

Słowa kluczowe: jakość olejów arganowych, profil kwasów tłuszczowych, zmiany oksydacyjne.

Streszczenie: Celem pracy było określenie wpływu temperatury na dynamikę zmian oksydacyjnych w olejach arganowych uzyskiwanych z nasion prażonych i nieprażonych. Badane oleje charakteryzowały się zbliżonymi wartościami liczb charakterystycznych, takich jak: liczba kwasowa, jodowa i anizydynowa. W olejach prażonych natomiast zaobserwowano wyższe wartości liczby nadtlenkowej i wskaźnika Totox w porównaniu z olejem z nasion nieprażonych. Na podstawie przeprowadzonej analizy chromatograficznej kwasów tłuszczowych stwierdzono, że w badanych olejach arganowych dominowały kwasy: oleinowy C18:1 (pow. 40%), linolowy C18:2 (pow. 30%) i palmitynowy C16:0 (ok. 15%). Obliczona utlenialność na podstawie zawartości kwasów tłuszczowych mono- i polinienasyconych w badanych olejach charakteryzowała się niewielkim zróżnicowaniem ($D = 0,029$).

Stabilność oksydacyjną olejów określano metodą przyspieszonego utleniania z wykorzystaniem testu Rancimat w temperaturach 100°C, 110°C, 120°C, 130°C, 140°C. Okresy indukcji badanych olejów w temperaturze 100°C wynosiły 19,3–37,3 godz., natomiast w temperaturze 140°C zaobserwowano znacznie niższe wartości wynoszące 1,1–1,8 godz. Porównując te okresy przy wzroście temperatury ogrzewania olejów o 40°C, obliczono dynamikę ich spadku, która wynosiła od 14,9 do 22,3. Wartości te potwierdzają silny wpływ wysokiej temperatury analiz w teście Rancimat na bardzo duże skrócenie czasu indukcji badanych olejów.

Keywords: quality of argan oils, fatty acid profile, oxidative changes.

Abstract: The study aimed to determine the influence of temperature on the dynamics of oxidative changes in argan oils obtained from roasted and unroasted seeds. Similar values of characteristic numbers, such as acid, iodine and anisidine numbers, characterized the tested oils. However, roasted oils had higher peroxide and Totox index values than unroasted seeds. Based on the chromatographic analysis of fatty acids, it was found that the following acids dominated in the tested argan oils: oleic C18:1 (over 40%), linoleic C18:2 (over 30%) and palmitic C16:0 (approx. 15%). The calculated oxidizability, based on the content of mono- and polyunsaturated fatty acids in the tested oils, was characterized by slight variations ($D = 0.029$).

The oxidative stability of oils was determined by accelerated oxidation using the Rancimat test at temperatures of 100°C, 110°C, 120°C, 130°C, 140°C. The induction periods tested at 100°C were 19.3-37.3 hours, while at 140°C, much lower values were observed: 1.1-1.8 hours. By comparing these periods, with an increase in the oil heating temperature by 40,

the dynamics of their decrease were calculated, which ranged from 14.9 to 22.3. These values confirm the strong influence of the high analysis temperature in the Rancimat test on a significant reduction in the induction time of the tested oils.

Wprowadzanie

Olej arganowy w ostatnich latach stał się produktem konkurencyjnym na rynku olejów jadalnych na całym świecie. Pochodzi on z Maroka, gdzie jest stosowany ze względu na walory odżywcze, farmaceutyczne, a także kosmetyczne. Jest to olej wytłaczany metodą tradycyjną z nasion znajdujących się w pestkach owoców z drzewa arganowego. Przed procesem tłoczenia nasiona poddawane są prażeniu, stąd orzechowy zapach i łagodny smak tego oleju. Swoje wyjątkowe właściwości zawdzięcza obecności nienasyconych kwasów tłuszczowych omega-6 i omega-9 oraz fitosteroli, tokoferoli, polifenoli i skwalenu (Elijaoudi i in., 2015). Olej arganowy wykazuje działanie antyoksydacyjne, które polega m.in. na ochronie skóry przed toksynami, zapobiega oparzeniom przez promienie słoneczne, a także nowotworom skóry (Boutakiout A. i in., 2023).

Olej arganowy zawiera naturalne przeciwutleniacze, w związku z tym charakteryzuje się wysoką stabilnością oksydacyjną (Cichosz, 2011; Ostasz, 2015). Potwierdzają to wyniki badań olejów arganowych w czasie przechowywania i ogrzewania (Khallouki i in., 2008; Gharby i in., 2013; Harhar i in., 2015; Zaaanoun i in., 2014).

Celem pracy była analiza zmian oksydacyjnych zachodzących w wybranych olejach arganowych otrzymywanych z nasion arganu nieprażonych i prażonych, którą oceniono na podstawie wartości okresu indukcji, wyznaczonego metodą Rancimat.

Materiał doświadczalny i metodyka badań

Materiał badawczy stanowiły oleje arganowe:

- „Bio Planet” – olej virgin z nieprażonych ziaren arganu, poj. 250 ml,
- „Torrefiee Biologique” – olej spożywczy, tłoczony na zimno, poj. 250 ml,
- „Adam’s” – olej tłoczony z orzechów prażonych, poj. 250 ml,
- „Bio Planet” – olej z prażonych ziaren arganu, poj. 250 ml.

Do oceny jakości badanych olejów wykorzystano następujące parametry, wyznaczone w oparciu o normy PN/ISO:

- liczbę nadtlenkową LN (PN-ISO 3960:2010),
- liczbę anizydynową LA (PN-EN-ISO 6885:2008),

- wskaźnik Totox (PN-93 A-86926:1996),
- liczbę kwasową LK (PN-ISO 660:2010),
- liczbę jodową LI (PN-ISO 3961:2011),
- skład kwasów tłuszczowych metodą chromatografii gazowej (PN-EN ISO 12966-1:2015, PN-EN ISO 12966-4:2015),
- stabilność oksydacyjną metodą Rancimat (PN-EN ISO 6886:2016).

Oznaczenie zawartości kwasów tłuszczowych badanych olejów arganowych przeprowadzono metodą chromatografii gazowej GC w wersji z BF₃. Analizę kwasów tłuszczowych wykonano na chromatografie gazowym SRI 8610C kolumną Restek RTX-23301 długości 105 m, o średnicy 0,25 mm, z detektorem FID, z zastosowaniem wodoru jako gazu nośnego. Jako wzorzec zastosowano mieszaninę 37 estrów metylowych kwasów tłuszczowych pochodzenia *Food Industry FAME Mix* firmy Restek, nr kat. 35077.

Badane oleje poddano ocenie stabilności oksydacyjnej metodą Rancimat za pomocą aparatu Metrohm, model 743. Pomiar tego parametru przeprowadzono w dwóch równoległych powtórzeniach, wynik końcowy stanowił ich średnią arytmetyczną.

Test Rancimat stosuje się do oceny czasu indukcji lub wskaźnika stabilności oksydacyjnej (OSI) tłuszczu lub żywności zawierającej tłuszcz (Zaanoun i in., 2014). Okres indukcji jest to czas, po upływie którego powstają wtórne produkty reakcji oksydacji tłuszczów. Pomiar stabilności oksydacyjnej polega na przyspieszonym procesie starzenia się próbki, przez którą przepuszczany jest strumień powietrza ($20 \text{ l} \cdot \text{h}^{-1}$) w podwyższonej temperaturze 100–140°C. Przepływające powietrze przez próbkę o masie $2,5 \pm 0,1 \text{ g}$ porywa lotne produkty utleniania próbki, przenosząc je do kwyety konduktometrycznej wypełnionej wodą demineralizowaną (60 ml). W naczyniu pomiarowym odbywa się ciągły pomiar przewodności elektrycznej wody ($\mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$) w czasie (h). Przewodnictwo wzrasta wraz z pojawianiem się produktów utleniania, co powoduje nagły wzrost mierzonego przewodnictwa wody w naczyniu pomiarowym. Jest on widoczny jako silne przegięcie na krzywej, co wskazuje na czas indukcji. Im dłuższy jest czas indukcji, tym próbka jest bardziej stabilna. Czas indukcji jest standardowym parametrem, wykorzystywanym w ocenie jakości olejów i tłuszczów w przemyśle spożywczym (Symoniuk i in., 2022; Tinello i in., 2018).

W tabeli 1 przedstawiono wartości liczb charakterystycznych badanych olejów. Wartość liczby nadtlencowej w badanych olejach wynosiła $1,27\text{--}2,33 \text{ mEqO}_2 \cdot \text{kg}^{-1}$. Wyższe wartości tego parametru zanotowano dla olejów z prażonych nasion arganu „Adam’s” i „Bio Planet”.

Tabela 1. Początkowe wartości liczb charakterystycznych w olejach arganowych

Liczby charakterystyczne	Oleje z nasion nieprażonych		Oleje z nasion prażonych	
	Torrefiee	Bio Planet virgin	Adam's	Bio Planet prażony
LN, mEq O ₂ ·kg ⁻¹	1,27	1,64	1,87	2,33
LA	0,684	0,655	0,667	0,643
Totox, mEq O ₂ ·kg ⁻¹	3,224	3,935	4,407	5,303
LK, mg KOH·g ⁻¹	1,09	1,03	1,04	1,01
LI, g I ₂ ·(100g) ⁻¹	101,8	101,4	101,5	101,2

Źródło: opracowanie własne.

Wartości pozostałych liczb charakterystycznych były zbliżone i wynosiły: liczba anizydynowa 0,64–0,68, liczba kwasowa 1,0–1,1 mg KOH·g⁻¹, liczba jodowa 101–102 g I₂·(100 g)⁻¹. Zbliżone wartości początkowe tych parametrów podają także inni autorzy (Gharby i in., 2013; Kondratowicz-Pietruszka i Ostasz, 2017).

Na podstawie wartości liczb nadtlenczkowej i anizydynowej, które charakteryzują tłuszcze na podstawie pierwotnych i wtórnych produktów oksydacji, oblicza się wskaźnik Totox ze wzoru:

$$\text{Totox} = 2 \cdot \text{LN} + \text{LA} \quad (1)$$

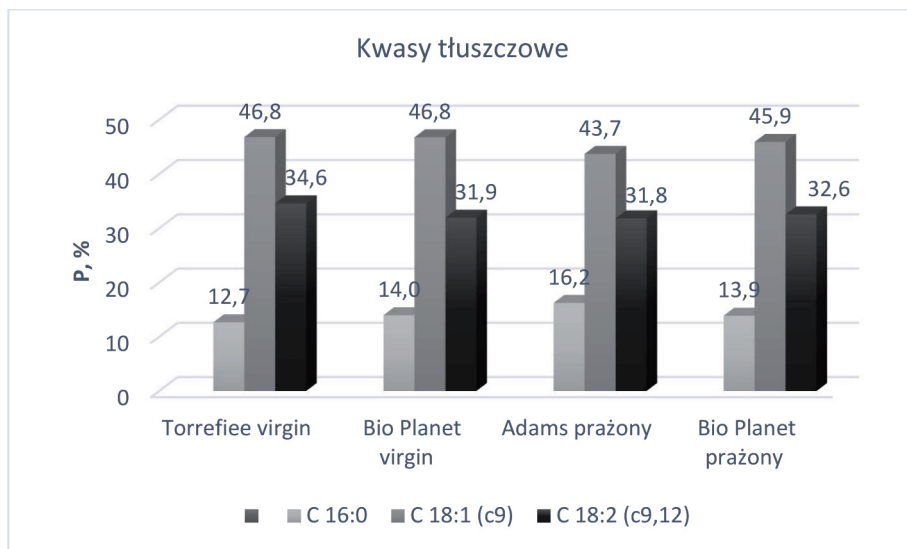
Według Europejskiego Urzędu ds. Bezpieczeństwa Żywności (EFSA) wartość wskaźnika Totox w olejach powinna być niższa niż 25. Wysoki poziom tego parametru oznacza dużą ilość wolnych rodników, które przyczyniają się do uszkodzenia wielu narządów i zaburzeń najważniejszych funkcji organizmu. Wartość tego wskaźnika w badanych olejach wynosiła 3,2–5,3 mEq O₂·kg⁻¹. Wyższe wartości tego parametru zanotowano dla olejów z prażonych nasion arganu „Adam's” (4,4 mEq O₂·kg⁻¹) i „Bio Planet” (5,3 mEq O₂·kg⁻¹).

Na podstawie przeprowadzonej analizy chromatograficznej kwasów tłuszczowych stwierdzono, że w badanych olejach arganowych dominują kwasy (rys. 1):

- palmitynowy C16:0 o zawartości w przedziale 13–16%,
- oleinowy C18:1 o zawartości w przedziale 44–47%,
- linolowy C18:2 o zawartości w przedziale 32–35%.

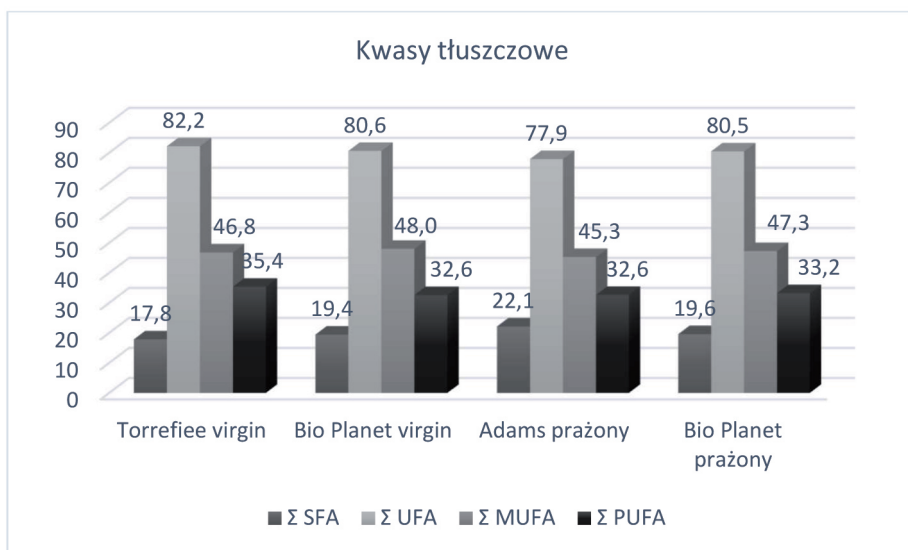
Na rysunku 2 przedstawiono sumaryczną zawartość kwasów tłuszczowych w podziale na: kwasy nasycone SFA (mirystynowy, palmitynowy, stearynowy) i nienasycone UFA, w tym mononienasycone MUFA

(palmitooleinowy, oleinowy) oraz polinienasycone PUFA (linolowy, α -linolenowy, γ -linolenowy).



Rys. 1. Zawartość wybranych kwasów tłuszczowych w badanych olejach arganowych

Źródło: opracowanie własne.



Rys. 2. Sumaryczna zawartość kwasów tłuszczowych nasyconych i nienasyconych w badanych olejach arganowych

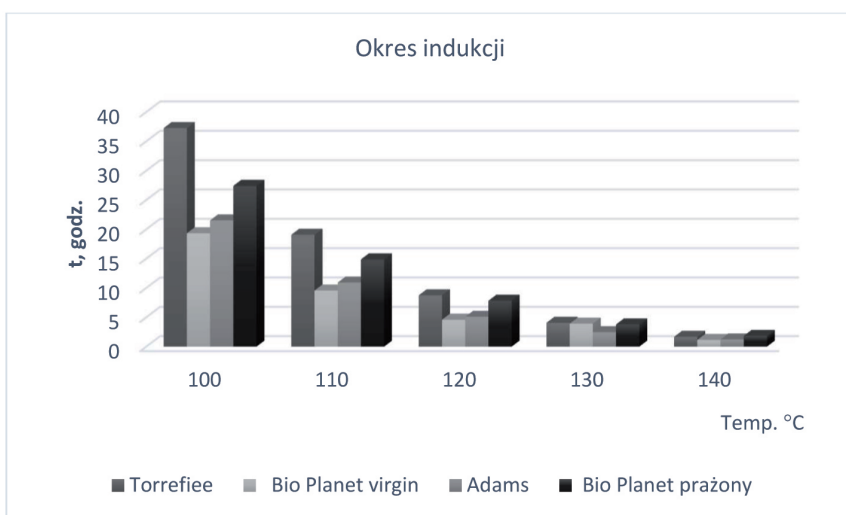
Źródło: opracowanie własne.

Obliczone wartości stosunków sumy kwasów nienasyconych Σ UFA do sumy kwasów nasyconych Σ SFA były zróżnicowane. Najmniejszą wartość tego stosunku stwierdzono w oleju Adam's (3,52), natomiast w olejach Bio Planet virgin i prażonym wynosiły ok. 4,1, a najwyższą wartość 4,6 zaobserwowano w oleju Torrefiee. Na podstawie uzyskanych wyników nie stwierdzono zależności wynikającej z rodzaju nasion (prażone lub nieprażone), z których wycioczono oleje.

Stabilność oksydacyjna olejów arganowych

Stabilność oksydacyjna jest istotną cechą jakości, w tym trwałości olejów jadalnych i zależy od zawartości kwasów tłuszczowych, głównie frakcji kwasów nienasyconych, a także obecności przeciwutleniaczy i produktów utleniania olejów. Na podstawie wartości tego wskaźnika określa się odporność danego oleju na procesy utleniania, co jest przyczyną obniżenia jakości tłuszczów. Temperatura jest również czynnikiem determinującym stabilność oksydacyjną, dlatego czas indukcji utleniania olejów ulega skróceniu wraz ze wzrostem temperatury. Otrzymane wyniki analiz własnych potwierdzają również badania prowadzone przez Symoniuk i in. (2022).

Stabilność oksydacyjna w teście Rancimat badanych olejów arganowych była zróżnicowana w zależności od temperatury badania. Na rysunku 3 przedstawiono wartości okresów indukcji badanych olejów w temperaturach 100°C, 110°C, 120°C, 130°C, 140°C, wyznaczone metodą przyspieszonego utleniania Rancimat (rys. 3).



Rys. 3. Okres indukcji badanych olejów arganowych

Źródło: opracowanie własne.

Największą stabilnością oksydacyjną w temperaturze 100°C charakteryzował się olej arganowy Torrefiee – 37,26 godz. Niższe wartości zaobserwowano dla olejów: Bio Planet prażony – 27,41 godz., Adam’s – 21,52 godz., Bio Planet virgin – 19,33 godz. Z kolei w temperaturze 140°C stabilność oksydacyjna badanych olejów arganowych była o wiele niższa i wynosiła dla olejów: Bio Planet prażony – 1,84 godz., Torrefiee – 1,67 godz., Adam’s – 1,23 godz., Bio Planet virgin – 1,14 godz.

Porównując okresy indukcji dla badanych olejów arganowych w temperaturach 100°C i 140°C, wyznaczono wartość dynamiki skrócenia tych okresów przy wzroście temperatury ogrzewania olejów w teście Rancimat o 40°C. Dynamika ta wynosi dla badanych olejów: 22,3 dla oleju Torrefiee, 17–17,5 dla olejów Bio Planet virgin i Adam’s oraz 14,9 dla oleju Bio Planet z nasion prażonych.

Obliczone wartości dynamiki zmian potwierdzają silny wpływ wysokiej temperatury analiz w teście Rancimat na bardzo duże skrócenie czasu indukcji badanych olejów.

W celu określenia szybkości utleniania badanych olejów obliczono utlenialność Oks , która jest związana z zawartością kwasów: oleinowego ($C_{18:1}$), linolowego ($C_{18:2}$) i linolenowego ($C_{18:3}$). Utlenialność oblicza się ze wzoru (Cosgrove i in., 1987):

$$Oks = (0,02 \cdot C_{18:1} + 1 \cdot C_{18:2} + 2 \cdot C_{18:3})/100 \quad (2)$$

Wyższa zawartość kwasu oleinowego powoduje mniejszą podatność na utlenianie. Istotne znaczenie ma również zawartość kwasu linolenowego, którego zbyt duży udział w oleju wpływa na wzrost utlenialności. Obliczone wartości utlenialności Oks dla badanych olejów arganowych wynosiły 0,342–0,371. Najwyższą utlenialnością charakteryzował się olej arganowy z nasion nieprażonych „Torrefiee”. Wskaźnik ten dla pozostałych olejów był na zbliżonym poziomie i wynosił: ok. 0,34 dla olejów Bio Planet virgin i Adam’s oraz 0,35 dla oleju Bio Planet prażonego. Wyniki te wskazują na małe zróżnicowanie utlenialności między badanymi olejami ($D = 0,029$).

Podsumowanie

Oleje arganowe uzyskiwane z prażonych i nieprażonych nasion charakteryzują się zbliżonymi wartościami liczb charakterystycznych takich jak: liczba kwasowa, jodowa i anizydynowa. W olejach prażonych natomiast zaobserwowano wyższe wartości liczby nadtlencowej i wskaźnika Totox w porównaniu z olejami nieprażonymi.

Na podstawie przeprowadzonej analizy chromatograficznej kwasów tłuszczowych stwierdzono, że w badanych olejach arganowych dominują kwasy: oleinowy C18:1 (pow. 40%), linolowy C18:2 (pow. 30%) i palmitynowy C16:0 (ok. 15%). Utlenialność obliczona na podstawie zawartości kwasów tłuszczowych mono- i polinienasyconych w badanych olejach charakteryzuje się niewielkim zróżnicowaniem ($D = 0,029$).

Stabilność oksydacyjna wyznaczona metodą Rancimat w temperaturze 100°C była zróżnicowana i wynosiła 19,3–37,3 godz., natomiast w temperaturze 140°C zaobserwowano znacznie mniejsze wartości 1,1–1,8 godz. Porównując okresy indukcji dla badanych olejów arganowych przy wzroście temperatury ogrzewania olejów w teście Rancimat o 40°C, obliczono dynamikę spadku tych okresów, która wynosiła od 14,9 do 22,3. Wartości te potwierdzają silny wpływ wysokiej temperatury analiz w teście Rancimat na bardzo duże skrócenie czasu indukcji badanych olejów.

Bibliografia

1. Boutakiout, A., Chafai, Y., Guimimi, F., Mouncif, M., El Aggadi, S., Zair, T., El Belghiti, M.A. (2023). Anti-lipid peroxidation effect of essential oil from *Mentha piperita* leaves on cosmetic argan oil under accelerated oxidation. *Egyptian Journal of Chemistry*, 66, 2, 121–132.
2. Cichosz, G., Czeczot, H. (2011). Stabilność oksydacyjna tłuszczów jadalnych – konsekwencje zdrowotne. *Bromatologia Chemia Toksykologiczna*, XLIV,1, 50–60
3. Cosgrove, J.P., Church, D.F., Pryor, W.A. (1987). The kinetics of the autoxidation of polyunsaturated fatty acids. *Lipids*, 22, 299–304.
4. Eljaoudi, R., Elkabbaj, D., Bahadi, A., Ibrahimi, A., Benyahia, M., Errasfa, M. (2015). Consumption of Argan Oil Improves Anti-Oxidant and Lipid Status in Hemodialysis Patients, *Phytotherapy Research*, 29 (10), 1–5 doi: 10.1002/ptr.5405
5. Gharby, S., Harhar, H., Kartah, B., Guillaume, D., Charrouf, Z. (2013). Chemical changes in extra virgin argan oil after thermal treatment. *Natural Product Communications*, 8, 1, 29–31.
6. Harhar, H., Gharby, S., Guillaume, D., Bouzoubaa, Z., Kartah, B., Charrouf, Z. (2015). Influence of Argan fruit peel on the quality and oxidative stability of argan oil after prolonged storage. *Emirate Journal of Food and Agriculture*, 27 (6), 522–526.
7. Khallouki F., Mannina L., Viel S., Owen Robert, W. (2008). Thermal stability and long-chain fatty acid positional distribution on glycerol of argan oil. *Food Chemistry* 110, 57–61.
8. Kondratowicz-Pietruszka E., Ostasz, L. (2017). Wpływ modelowych czynników fizycznych na dynamikę przemian oksydacyjnych olejów tłoczonych na zimno. *Zeszyty Naukowe UEK w Krakowie*, 7 (967), 33–51. DOI: 10.15678/2017.0967.07037.

9. Ostasz, L. (2015). Wpływ ogrzewania mikrofalowego na zmiany w składzie kwasów tłuszczowych w olejach arachidowym i arganowym. *Zeszyty Naukowe Akademii Morskiej w Gdyni*, 88, 126–131, DOI: 10.26408.
10. PN-ISO 3960:2012. Oleje i tłuszcze roślinne oraz zwierzęce. Oznaczanie liczby nadtlenkowej. Jodometryczne (wizualne) oznaczanie punktu końcowego.
11. PN-EN ISO 6885:2008, Oleje i tłuszcze roślinne oraz zwierzęce. Oznaczanie liczby anizydynowej.
12. PN-EN ISO 660:2010, Oleje i tłuszcze roślinne oraz zwierzęce. Oznaczanie liczby kwasowej.
13. PN-ISO 3961:2011, Oleje i tłuszcze roślinne oraz zwierzęce. Oznaczanie liczby jodowej.
14. PN-93 A-86926:1996 Oleje i tłuszcze roślinne oraz zwierzęce. Oznaczanie liczby anizydynowej oraz obliczanie wskaźnika oksydacji tłuszczu Totox.
15. PN-EN ISO 12966-4:2015. Oleje i tłuszcze roślinne oraz zwierzęce. Chromatografia gazowa estrów metylowych kwasów tłuszczowych. Część 4 – oznaczenie techniką kapilarnej chromatografii gazowej.
16. PN-EN ISO 12966-1:2015, Analiza estrów metylowych kwasów tłuszczowych metodą chromatografii gazowej.
17. PN-EN ISO 6886:2016. Animal and vegetable fats and oils – Determination of oxidative stability (accelerated oxidation test).
18. Symoniuk, E., Wroniak, M., Napiórkowska, K., Brzezińska, R., Ratusz, K. (2022). Oxidative Stability and Antioxidant Activity of Selected Cold-Pressed Oils and Oils Mixtures. *Foods*, 11(11), 1597, doi.org/10.3390/foods11111597.
19. Tinello, F., Lante, A., Bernardi, M., Cappiello, F., Galgano, F., Caruso, M.C., Favati, F. (2018). Comparison of OXITEST and RANCIMAT methods to evaluate the oxidative stability in frying oils. *European Food Research and Technology*, 244, 747–755, doi.org/10.1007/s00217-017-2995-y.
20. Zaanoun, I., Gharby, S., Bakass, I., Aitaddi, E., Aitichou, I. (2014). Kinetic parameter determination of roasted and unroasted argan oil oxidation under Rancimat test conditions. *Grasas y Aceites*, 65 (3), 1–6.

Antioxidant activity of selected breakfast flakes available on the polish market

Justyna KIEWLICZ

Department of Technology and Instrumental Analysis, Institute of Quality Science,
Poznań University of Economics and Business, Poznań, justyna.kiewlicz@ue.poznan.pl;
ORCID 0000-0002-9625-0711
Corresponding author: justyna.kiewlicz@ue.poznan.pl

Keywords: food quality, flakes, antioxidant activity, phenolic compounds.

Summary: Regular consumption of breakfast cereals improves overall diets quality and has positive effect on human health. Nevertheless, the need to follow a gluten-free diet may limit the consumption of these products to a selected assortment. According to literature data phenolic antioxidants determine the sensory quality of food as well as demonstrate health-promoting activity. The aim of this study was evaluation and comparison of total phenolic content, total flavonoid content and total antioxidant capacity of selected gluten-free flakes as well as popular oat flakes. Total phenolic content was evaluated using Folin-Ciocalteau method while for the total antioxidant capacity determination TEAC and FRAP assays were used. The obtained results showed that the buckwheat flakes demonstrated the highest total antioxidant capacity.

Introduction

Flakes are a widely available and popular type of breakfast products, which consist rich source of energy and nutrients in human diet. Regular consumption of cereals improves overall diets quality and has positive effect on maintaining a healthy bodyweight as well as mental and physical performance (Louie et al., 2012; Wu et al., 2018). On the other hand, consumption of some breakfast cereals may be restricted due to the gluten-free diet, which is the primary method of prevention the undesirable symptoms in celiac patients. Celiac disease is described as a chronic systemic autoimmune disorder manifesting a permanent intolerance to gluten proteins, associated to a malabsorption of nutrients in gastrointestinal tract which affects genetically susceptible individuals (Saturni et al., 2010; Stastna et al., 2019; Melini & Melini, 2019). In cereal processing, "gluten" is defined as a mixture of wheat storage proteins (prolamins and glutenins), but it is also nutritional term referring to cereal prolamins occurring in wheat, barley, rye, their crossbred grains, and some varieties of oats which may exert

undesirable effect for celiac disease patients (El Khoury et al., 2018; Saturni et al., 2010). Therefore, interest in new gluten-free products is still raising.

According to Commission Implementing Regulation (EU) No 828/2014 (2014), “the statement ‘gluten-free’ may only be made where the food as sold to the final consumer contains no more than 20 mg/kg of gluten”. Despite the market for the gluten-free food is relatively new and usually limited to specialty and health-food grocery stores, it is growing rapidly (Demirkesen & Ozkaya, 2020; Woomer & Adedeji, 2020). Research and Markets (2020) reported that global gluten-free products market size was estimated at 5.6 billion USD in 2020 and projected to grow at a Compound Annual Growth Rate of 8.1% to reach 8.3 billion USD by 2025. The most frequently problems with the purchase of gluten free products by consumers are cross-contamination risk, the limited availability, the high price, and possible quality defects. Moreover, the traditional cereal and pseudo-cereal raw materials, which suit the gluten-free requirements are often unfounded seen as poorer source of certain nutrients and bioactive compounds (Stastna et al., 2019; Vici et al., 2016).

Literature data (Kaur et al., 2014) provided that phenolic compounds not only determine the sensory quality of foods, affecting the flavour, colour, taste, and texture, but are also widely known for the health-promoting properties. According to epidemiological studies the consumption of wholegrain products containing low amounts of sugar but rich in phenolic antioxidants prevents diverse chronic diseases, such as type II diabetes, cardiovascular or neurodegenerative disorders, and certain types of tumor (Stastna et al., 2019).

Literature data include few studies related to antioxidant activity of both, gluten and gluten-free flakes (Sumczynski et al., 2015; Stastna et al., 2019). Nevertheless, there is still a deficiency of current and exhaustive data regarding comparison of commercial flakes in terms of antioxidant activity. Therefore, the aim of the study was to evaluate and compare the total phenolic content, total flavonoid content, and total antioxidant capacity of selected gluten-free flakes as well as several types of popular oat flakes.

Materials and methods

Materials

In the study, 12 types of breakfast flakes, available on Polish market, made from cereals or pseudo-cereals were selected. The following products were purchased and analysed (the manufacturer’s declarations about

processing were included in brackets): amaranth flakes (wholegrain), buckwheat flakes (wholegrain), corn flakes (roasted, wholegrain), corn flakes (roasted), quinoa flakes (wholegrain), millet flakes (instant), oat flakes (wholegrain), oat flakes (large-flake, wholegrain), oat flakes (instant, wholegrain), oat flakes (roasted, wholegrain), rice flakes (instant) and teff flakes (wholegrain). The products were not a mix of different types of flakes and contained no additional ingredients.

Chemicals

The chemical reagents used in the study were analytical grade and included: 2,2'-azino-bis(3-ethylbenzo)thiazoline-6-sulphonic acid (ABTS), gallic acid, 2,4,6-tris-(2-pyridyl)-s-triazine (TPTZ), Trolox (all from Sigma-Aldrich), hydrochloric acid (0.1 mol/dm³, 0.1 N), sodium hydroxide (0.1 mol/dm³, 0.1 N), sodium acetate trihydrate, Folin-Ciocalteu reagent, acetic acid, aluminium chloride hexahydrate, sodium carbonate, ferric chloride (III) anhydrous, iron (II) sulfate heptahydrate, potassium persulfate (all from Chempur) and sodium nitrite (Aktyn). The solvents used (ethanol, methanol) were purchased from Chempur.

Methods

Extraction of antioxidants

For the extraction of antioxidants, 1±0.001 g of previously dried to constant weight and milled flakes was weighted into the glass flask and then 10 ml of 70% ethanol (v/v) was added. The extraction was performed with a rotatory shaker (200 rpm) (WL-972 JWElectronic, Poland) for 1 h at ambient temperature. The extracts thus obtained were filtered under reduced pressure and the residues were re-extracted with 5 ml of solvent. Subsequently, the filtrated extracts were collected, diluted to a desired final volume using the same solvent, and kept in the low temperature. Directly before the analysis extracts were additionally centrifuged at 14000 rpm for 5 min (MPW M-Science, Poland) (Kiewlicz, 2019).

Determination of total phenolic content (TPC)

The total phenolic content of flakes was investigated according to the Folin-Ciocalteu method (Singleton and Rossi, 1965). Respectively, 0.1 cm³ of prepared extract was mixed with 0.5 cm³ of Folin-Ciocalteu reagent, diluted with 6.0 cm³ of distilled water and left for 3 min. Subsequently, 1.5 ml of 20% sodium carbonate was added. Then the mixture was placed in the dark for 2 h. After adjusting the volume of 10 cm³ with distilled water

the absorbance was measured against blank at 765 nm. Spectrophotometer UV-VIS (Metertech SP-8001, Taiwan) was used for the measurements. Simultaneously, a calibration curve of gallic acid was prepared for a concentration ranging from 0.0 to 1.04 $\mu\text{g/ml}$. The data were expressed as mg of gallic acid equivalent (GAE) per gram of dry matter.

Determination of total flavonoid content (TFC)

Total flavonoid content was determined using the method developed by Zishen et al., (1999) with slight modifications (Kiewlicz, 2016). Respectively, 5 cm^3 of water and 0.3 cm^3 of 5% sodium nitrite were added to 1 cm^3 of the extract and left for 5 min. Subsequently, 0.6 cm^3 of 10% aluminium chloride was added. After 5 min, 2 cm^3 of sodium hydroxide at the concentration of 1 mol/dm^3 was added and adjusted to the volume of 10 cm^3 with distilled water. The absorbance was measured against blank at 510 nm with spectrophotometer UV-VIS (Metertech SP-8001, Taiwan). Simultaneously, a calibration curve of (-)-epicatechin was prepared for a concentration ranging from 0.0 to 29.4 $\mu\text{g/ml}$. The results were expressed as mg of (-) epicatechin equivalent (ECE) per gram of dry matter.

Determination of the total antioxidant capacity as TEAC value

Before the analysis ABTS radical cation ($\text{ABTS}^{\bullet+}$) was generated by dissolving of 7.7 mg of 2,2'-azino-bis(3-ethylbenzo)thiazoline-6-sulphonic acid (ABTS) in potassium persulfate solution at the concentration of 0.2 cm^3 of 2.45 mmol/dm^3 and left in the dark at ambient temperature for 16 h. Directly before the measurements the solution of $\text{ABTS}^{\bullet+}$ was diluted with methanol to an absorbance approx. 0.800 at 734 nm. Subsequently, to 1.98 cm^3 of $\text{ABTS}^{\bullet+}$ solution 0.02 cm^3 of the extract was added. Each extract was diluted with solvent in five variants before the analysis. After 6 min, the absorbance was measured against methanol at 734 nm with spectrophotometer UV-VIS (Metertech SP-8001, Taiwan). The TEAC value was calculated as the ratio of the linear regression coefficient of the calibration curve for five dilutions of the flakes antioxidants extracts and the linear regression coefficient of the Trolox curve. TEAC value was expressed in μmol of Trolox per gram of dry matter (Re et al., 1999; Malinowska et al., 2014).

Determination of the total antioxidant capacity as FRAP value

For determination of total antioxidant capacity Ferric Reducing Antioxidant Power (FRAP) assay developed by Benzie and Strain (1996), including further modifications (Kwaśniewska and Kiewlicz, 2022) was also

used in the study. FRAP reagent was prepared directly before the analysis using following chemicals: 300 mmol/dm³ acetic buffer solution (pH 3.6), 10 mmol/dm³ 2,4,6-tris-(2-pyridyl)-s-triazine (TPTZ) in 40 mmol/dm³ solution of hydrochloric acid, and 20 mmol/dm³ ferric chloride (III) solution (III), mixed in the ratio of 10:1:1. Subsequently, 0.03 cm³ of the extract was added to 2.97 cm³ of FRAP reagent and left for 4 min. Then, absorbance was measured against blank at 593 nm with spectrophotometer UV-VIS (Metertech SP-8001, Taiwan). The obtained data were related to calibration curve prepared for iron (II) sulfate for the concentration ranging from 0.0 to 39.0 μmol/dm³. The FRAP values were expressed as μmol of Fe²⁺ per gram of dry matter.

Statistical analysis

All experimental data were reported as mean values including standard deviation, calculated from triplicate determinations. One-way analysis of variance (ANOVA) and the Fisher's Least Significant Differences test (LSD) at $\alpha=0.05$ have been conducted. The relationships between variables were calculated using Pearson's linear correlation. Statistical analysis were carried out using Statistica ver. 13.1 software (StatSoft, Inc.)

Results and discussion

In this study twelve types of breakfast flakes were selected and analyzed in terms of total phenolic content, total flavonoid content and total antioxidant capacity via TEAC and FRAP methods. Both gluten-free flakes and several types of popular oat flakes were included in the research. All analyzed products were from two production batches.

As can be seen in table 1, there was a large variation in TPC values of the flakes investigated, ranging from 0.15 to 2.52 mg GAE/g d.m. Buckwheat flakes were the most abundant source of phenolic compounds. These flakes had also the highest TFC value, which was 0.75 mg ECE/g d.m. The available reports (Sensoy, 2006, Prasad & Prasad, 2019) show that the major antioxidant occurring in buckwheat products is rutin, which is particularly appreciated for its health-promoting properties, especially blood vessel protecting activity. Karamać et al., (2015) revealed that buckwheat seeds contain 5.6-43 mg of rutin/100 g. Furthermore, among the other phenolic compounds isolated from buckwheat seeds gallic and protocatechuic acids, catechin, epicatechin, vitexin, quercetin, 2-hydroxy-3-O-β-D-glucopyranosil benzoic acid, catechin glucosides and swertiamacroside were identified (Aleksenko, 2013). Slightly lower than

buckwheat flakes, but also relatively high content of phenolic compounds was found for: corn (A), quinoa, and teff flakes (respectively, 1.41, 1.24 and 0.89 mg GAE/d.m.), but only quinoa flakes had relatively high TFC value (0.56 mg ECE/ g d.m.) among all mentioned flakes. The lowest TPC values had millet and rice flakes (both, 0.15 mg GAE/ g d.m.). Rice flakes exhibited also the lowest TFC value (only 0.02 mg ECE/ g d.m.).

Data presented in table 2, confirmed that the results obtained in FRAP and TEAC assays are consisted with TPC and TFC values found in this study. It's also worth mentioning that strong positive linear correlation (fig. 1) between TEAC and TPC ($r = 0.912$), and also between FRAP and TPC ($r = 0.875$) have been observed. It may suggest that the phenolic compounds were the main components responsible for antioxidant activity of investigated flakes. Moreover, slightly weaker relationship was observed between TEAC and TFC ($r = 0.807$) as well as between FRAP and TFC ($r = 0.768$).

Table 1. Total phenolic content and total flavonoid content in analyzed flakes

Flakes	TPC ¹ [mg GAE/ g d.m.]	TFC ² [mg ECE/ g d.m.]
Amaranth	0.32±0.00 ^{bc}	0.27±0.02 ^e
Buckwheat	2.52±0.03 ^h	0.75±0.04 ^h
Corn (A) ³	1.41±0.02 ^g	0.19±0.00 ^d
Corn (B) ⁴	0.74±0.03 ^e	0.10±0.00 ^b
Quinoa	1.24±0.04 ^f	0.56±0.03 ^g
Millet	0.15±0.01 ^a	0.14±0.01 ^c
Oat (A) ⁵	0.30±0.02 ^{bc}	0.28±0.01 ^e
Oat (B) ⁶	0.31±0.02 ^b	0.26±0.02 ^e
Oat (C) ⁷	0.34±0.02 ^c	0.17±0.01 ^{cd}
Oat (D) ⁸	0.59±0.01 ^d	0.27±0.01 ^e
Rice	0.15±0.01 ^a	0.02±0.00 ^a
Teff	0.89±0.04 ^f	0.32±0.01 ^f

¹ TPC – total phenolic content; ² TFC – total flavonoid content, ³ Corn (A) – corn flakes (roasted, wholegrain), ⁴ Corn (B) – corn flakes (roasted), ⁵ Oat (A) – oat flakes (large-flake, wholegrain), ⁶ Oat (B) – oat flakes (wholegrain), ⁷ Oat (C) – oat flakes (instant, wholegrain), ⁸ Oat (D) – oat flakes (roasted, wholegrain)

Mean values with the same letter for each component in the column were not significantly different at $\alpha = 0.05$ (sorted from the lowest to highest values)

Source: author's own studies.

As can be seen in table 2, buckwheat flakes exhibited the highest antioxidant capacity expressed with both, TEAC and FRAP values (42.5 μmol of Trolox/g d.m; 11.4 μmol of Fe^{2+} /g d.m., respectively). Lower than buckwheat flakes, but still relatively high antioxidant capacity demonstrated quinoa (12.1 μmole of Trolox/ g d.m; 9.81 μmol Fe^{2+} /g d.m) and corn (A) (12.2 μmol of Trolox/ g d.m; 7.79 μmol Fe^{2+} /g d.m) flakes, while highly processed millet (2.23 μmol of Trolox/ g d.m; 0.89 μmol Fe^{2+} /g d.m.) and rice (2.60 μmol of Trolox/ g d.m; 0.94 μmol Fe^{2+} /g d.m.) flakes exhibited the lowest antioxidant capacity.

Table 2. Total antioxidant capacity expressed as FRAP and TEAC values

Flakes	TEAC1 [μmol of Trolox/ g d.m.]	FRAP2 [μmol of Fe^{2+} / g d.m.]
amaranth	3.92±0.06 ^c	1.06±0.00 ^c
buckwheat	42.5±0.4 ^k	11.4±0.10 ^l
corn (A) ³	12.2±0.2 ^h	7.79±0.05 ^j
corn (B) ⁴	5.62±0.17 ^d	2.51±0.01 ^d
quinoa	12.1±0.10 ^h	9.81±0.02 ^k
millet	2.23±0.07 ^a	0.89±0.00 ^a
oat (A) ⁵	7.00±0.11 ^e	4.56±0.01 ^g
oat (B) ⁶	7.23±0.12 ^e	4.22±0.01 ^f
oat (C) ⁷	8.82±0.10 ^g	4.91±0.01 ^h
oat (D) ⁸	7.85±0.14 ^f	4.04±0.04 ^e
rice	2.60±0.28 ^b	0.94±0.00 ^b
teff	7.80±0.10 ^f	6.23±0.03 ⁱ

¹ TEAC – Trolox Equivalent Antioxidant Capacity; ² FRAP – Ferric Reducing Antioxidant Power, ³ Corn (A) – corn flakes (roasted, wholegrain), ⁴ corn (B) – corn flakes (roasted), ⁵ Oat (A) – oat flakes (large-flake, wholegrain), ⁶ Oat (B) – oat flakes (wholegrain), ⁷ Oat (C) oat flakes (instant, wholegrain), ⁸ Oat (D) – oat flakes (roasted, wholegrain)

Mean values with the same letter for each component in the column were not significantly different at $\alpha = 0.05$ (sorted from the lowest to highest values)

Source: author's own studies.

According to literature data (Pang et al., 2018, Ragaee et al., 2014) phenolic compounds are mostly located in the external layers of grains thus removing it or thermal treatment may contribute to changing in phenolic composition in final product which was reflected in the results obtained for rice and millet flakes. The differences in antioxidant activity of both

investigated types of corn flakes can be explained similarly. Detailed data (Ragaee et al., 2014) show that corn bran fraction is composed mainly of heteroxylans, cellulose, and phenolic acids (approx. 4%, mainly ferulic and diferulic acids) therefore it is understandable that the corn flakes labeled as “wholegrain” exhibited significantly higher antioxidant capacity than those without such a declaration.

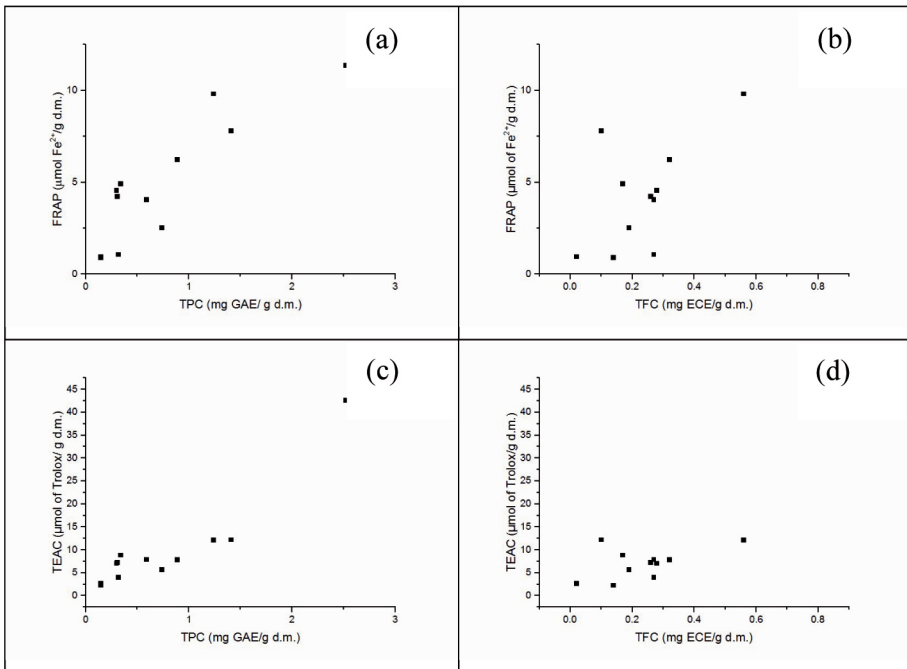


Fig. 1. Correlation between: (a) TPC and FRAP; (b) TFC and FRAP; (c) TPC and TEAC; (d) TFC and TEAC

Source: author's own studies.

The literature data regarding antioxidant activity of gluten-free flakes are limited. Moreover, making the direct comparison with the large amounts of available data is difficult due to the methodological differences. Nevertheless, the comparison of antioxidant capacity of some cereals and pseudocereals performed by Gorinstein et al., (2008) showed that the grains investigated might be ranked in terms of increasing antioxidant activity with a following order: jasmine rice < amaranth < quinoa < buckwheat that is indirectly consistent with the results of this study. Moreover, the TPC values obtained in this research for rice and teff flakes were partly similar to those reported by Stastna et al., (2019), who evaluated antioxidant capacity of selected non-traditional gluten free-flakes. TPC values obtained

by mentioned authors were respectively, from 0.2 to 0.4 mg GAE/ g d.m. for rice flakes and from 0.91 to 1.01 mg GAE/ g d.m. for teff flakes. These authors indicated also the strong correlation between the total phenolic content and total antioxidant capacity.

Conclusion

In this study the total phenolic content, total flavonoid content, and total antioxidant capacity via TEAC and FRAP assays of selected breakfast flakes available on the Polish market have been evaluated and compared. The obtained results show that the most abundant source of phenolic antioxidants were buckwheat flakes, which also exhibited highest total antioxidant capacity expressed as FRAP and TEAC values. Moreover, apart from amaranth and teff flakes, gluten-free flakes labelled as “wholegrain” showed higher total antioxidant capacity than the popular oat flakes. The lowest total antioxidant capacity demonstrated highly processed rice and millet flakes. It's also worth noting that strong correlation between TPC and total antioxidant capacity of flakes investigated have been observed.

Considering the obtained results, it can be concluded that the wholegrain gluten-free flakes such as buckwheat, corn, quinoa and teff flakes may provide a valuable alternative to popular oat flakes.

Bibliography

1. Aleksenko, S.S. (2013). Antioxidant activity and phenolic compounds of buckwheat and barley by the data of spectrophotometry and HPLC. *Journal of Analytical Chemistry*, 68 (5), 458–465, doi: 10.1134/S106193481305002X.
2. 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.
3. Demirkesen, I., Ozkaya, B. (2020). Recent strategies for tackling the problems in gluten-free diet and products. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 1–27, doi:10.1080/10408398.2020.1823814.
4. El Khoury, D., Balfour-Ducharme, S., Joye, I.J. (2018). A review on the gluten-free diet: technological and nutritional challenges. *Nutrients*, 10, 1410, doi: 10.3390/nu10101410. \.
5. European Commission. (2014). Commission Implementing Regulation (EU) No 828/2014 of 30 July 2014 on the requirements for the provision of information to consumers on the absence or reduced presence of gluten in food.
6. Gorinstein, S., Lojek, A., Ciz, M., Pawelzik, E., Delgado-Licon, E., Medina, O.J., Moreno, M., Arnao Salas, I. and Goshev, I. (2008). Comparison of composition and antioxidant capacity of some cereals and pseudocereals. *International Journal of Food Science and Technology*, 43, 629–637.

7. Kaur, K.D., Jha, A., Sabikhi, L., Singh, A.K. (2014). Significance of coarse cereals in health and nutrition: a review. *Journal of Food Science Technology*, 51, 1429–1441, doi: 10.1007/s13197-011-0612-9.
8. Karamać, M., Biskup, I., Kulczyk, A. (2015). Fractionation of buckwheat seed phenolics and analysis of their antioxidant activity. *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences*, 65, 243–249. doi: 10.1515/pjfn-2015-0050
9. Kiewlicz, J. (2019). Evaluation of antioxidant activity of dietary fibre from selected grains bran. *Polish Journal of Commodity Science*, 2, 51–58, doi:10.19202/j.cs.2019.02.05.
10. Kiewlicz, J. (2016). Evaluation of total phenolic content and antioxidant properties of the water extract of the powdered barley grass (*Hordeum vulgare* L.). *Polish Journal of Commodity Science*, 2, 29–37, doi:10.19202/j.cs.2016.02.03.
11. Kwaśniewska, D., Kiewlicz, J. (2022). Spectroscopic and tensiometric considerations on anionic surfactants (SDS) and ascorbic acid/ascorbates interactions. *Journal of Saudi Chemical Society*, 26, 101532, doi:10.1016/j.jscs.2022.101532.
12. Louie, J.C.Y., Dunford, E.K., Walker, K.Z., Gill T.P. (2012). Nutritional quality of Australian breakfast cereals. Are they improving? *Appetite*, 59, 464–470, doi:10.1016/j.appet.2012.06.010.
13. Malinowska, P., Gliszczyńska-Świątło, A., Szymusiak, H. (2014). Protective effect of commercial acerola, willow, and rose extracts against oxidation of cosmetic emulsions containing wheat germ oil. *European Journal of Lipid Science and Technology*, 116 (11), 1553–1562, doi:10.1002/ejlt.201300514.
14. Melini, V., Melini, F. (2019). Gluten-free diet: gaps and needs for a healthier diet. *Nutrients*, 11(1), 170, doi:10.3390/nu11010170.
15. Pang, Y., Ahmed, S., Xu, Y., Beta, T., Zhu, Z., Shao, Y., Bao, J. (2018). Bound phenolic compounds and antioxidant properties of whole grain and bran of white, red and black rice. *Food Chemistry*, 240, 212–221, doi: 10.1016/j.foodchem.2017.07.095.
16. Prasad, R., Prasad, S.B. (2019). A review on the chemistry and biological properties of Rutin, a promising nutraceutical agent. *Asian Journal of Pharmacy and Pharmacology*, 5(S1), 1–20, doi: 10.31024/ajpp.2019.5.s1.1.
17. Ragaee, R., Seetharaman, K., Abdel-Aal E.M. (2014). The impact of milling and thermal processing on phenolic compounds in cereal grains. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 54, 837–849, doi: 10.1080/10408398.2011.610906.
18. 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 Medicine*, 26, 1231–1237, doi: 10.1016/s0891-5849(98)00315-3
19. Research and Markets (2020). Gluten-free Products Market by Type (Bakery products, Snacks & RTE products, Condiments & dressings, Pizzas & pastas), Distribution channel (Conventional stores, Specialty stores and Drugstores & Pharmacies), Form & Region – Global Forecast to 2025, Available online <https://www.researchandmarkets.com/reports/5146365/gluten-free-products-market-by-type-bakery>
20. Saturni, L., Ferretti, G., Bacchetti, T. (2010). The gluten-free diet: safety and nutritional quality. *Nutrients*, 2, 16–34, doi:10.3390/nu2010016.

21. Sensoy, I., Rosen, R.T., Ho, C.T., Karwe, M.V. (2006). Effect of processing on buckwheat phenolics and antioxidant activity. *Food Chemistry*, 99, 388–393, doi:10.1016/j.foodchem.2005.08.007.
22. Singleton, V.N., Rossi, J.A. (1965). Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic phosphotungstic acid reagents. *American Journal of Enology and Viticulture*, 16, 144–158.
23. Sumczynski, D., Bubelova, Z., Sneyd, J., Erb-Weber, S., Mlceka, J. (2015). Total phenolics, flavonoids, antioxidant activity, crude fibre and digestibility in non-traditional wheat flakes and muesli. *Food Chemistry*, 174 (1), 319–325, doi:/10.1016/j.foodchem.2014.11.065.
24. Štastná, K., Mrázková, M., Sumczynski, D., Cırdık, B., Yalçın, E. (2019). The nutritional value of non-traditional gluten-free flakes and their antioxidant activity. *Antioxidants*, 8, 173, doi:10.3390/antiox8060173.
25. Vici, G., Belli, L., Biondi, M., Polzonetti, V. (2016). Gluten free diet and nutrient deficiencies: A review. *Clinical Nutrition*, 35: 1236–1241, doi:10.1016/j.clnu.2016.05.002.
26. Woomer, J.S., Adedeji, A.A. (2020). Current applications of gluten-free grains – a review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 61, 14–24. doi:10.1080/10408398.2020.1713724.
27. Wu, G., Ashton, J., Simic, A., Fang, Z., Johnson, S.K. (2018). Mineral availability is modified by tannin and phytate content in sorghum flaked breakfast cereals. *Food Research International*, 103, 509–514, doi: 10.1016/j.foodres.2017.09.050.
28. Zishen, J., Mengcheng, T., Janming W. (1999). The determination of flavonoid content in mulberry and their scavenging effects on superoxide radicals. *Food Chemistry*, 64, 555–559.

Dynamika oksydacji emulsji tłuszczowej przechowywanej w opakowaniach z politereftalanu etylenu i polilaktydu

Dynamics of oxidation of fat emulsion stored in polyethyleneethalate and polylactide packaging

Elżbieta KONDRATOWICZ-PIETRUSZKA^{1*}, Lidia OSTASZ²

¹ Uniwersytet Ekonomiczny, Kraków; kondrate@uek.krakow.pl; identyfikator ORCID 0000-0003-4684-7496

² Uniwersytet Ekonomiczny, Kraków; ostaszl@uek.krakow.pl; identyfikator ORCID 0000-0002-5455-5779

* Korespondencja: kondrate@uek.krakow.pl; Tel.: +48-122-937-858

Słowa kluczowe: margaryna, liczba nadtlenkowa, analiza kinetyczna.

Streszczenie: Spożycie tłuszczów roślinnych charakteryzuje się wysoką konsumpcją. Obrót towarowy tymi tłuszczami wymaga stosowania odpowiednich opakowań zabezpieczających produkt przed niekorzystnymi zmianami oksydacyjnymi. Wśród wielu proponowanych materiałów opakowaniowych na uwagę zasługuje politereftalan etylenu i polilaktyd. Celem pracy było określenie dynamiki zmian oksydacyjnych w czasie przechowywania emulsji tłuszczowej w opakowaniach z politereftalanu etylenu oraz polilaktydu w warunkach chłodniczych.

Badania przechowalnicze margaryny miękkiej przeprowadzane były w warunkach chłodniczych w temperaturze $5^{\circ}\text{C} \pm 0,5$, bez dostępu światła, przez 43 dni. Jakość emulsji była oceniana co 7 dni, na podstawie oznaczeń liczby nadtlenkowej. Wartości końcowe liczby nadtlenkowej po 43 dobach przechowywania margaryny w temp. $5^{\circ}\text{C} \pm 0,5$, bez dostępu światła wynosiły 16,416 mEq O_2/kg w opakowaniu PLA oraz 17,845 mEq O_2/kg w opakowaniu PET. Zmiany liczby nadtlenkowej w czasie miały charakter krzywych akceleracyjnych rosnących typu *aw*, czyli zmiany parametru oraz dynamika wzrostu rosły w czasie.

Na podstawie przeprowadzonej analizy kinetycznej z wykorzystaniem modeli akceleracyjno-wzrostowych wyznaczono rzędy analizowanych procesów, które wynosiły $n = 2,1\%^{-1,1} \cdot \text{doba}^{-1}$ oraz obliczono średnie stałych szybkości oraz błąd bezwzględny dopasowania zastosowanego modelu do danych doświadczalnych. Wartości średnich stałych szybkości wykorzystano do obliczenia szybkości oraz stosunku afiniczności analizowanych procesów, który wyniósł 1,21. Opracowane zagadnienie wpisuje się w dyscyplinę Nauki o Zarządzaniu i Jakości ze względu na praktyczny aspekt rozwiązania problemu dotyczącego autooksydacji tłuszczów.

Keywords: margarine, peroxide number, kinetic analysis.

Abstract: The consumption of vegetable fats is characterized by high consumption. Trade in these fats requires the use of appropriate packaging that protects the product against adverse oxidative changes. Among the many proposed packaging materials, aluminum and polyethylene terephthalate deserve attention. To determine the dynamics of oxidative changes during storage of the fat emulsion in polylactide and polyethylene terephthalate packaging under cooling conditions.

The storage tests of soft margarines were carried out under refrigerated conditions at the temperature of $5^{\circ}\text{C} \pm 0.5$, in the absence of light, for 43 days. The quality of the emulsion was assessed every 7 days on the basis of the determination of the peroxide value.

The final values of the peroxide number after 43 days of margarine storage at $5^{\circ}\text{C} \pm 0.5$, in the absence of light, were $16.416 \text{ mEqO}_2/\text{kg}$ in the PLA package and $17.845 \text{ mEqO}_2/\text{kg}$ in the package PET. The changes in the peroxide number over time had the character of acceleration curves of the aw type, that is, changes in the parameter and the growth dynamics increased over time. On the basis of the performed kinetic analysis with the use of acceleration-growth models, the orders of the analyzed processes were determined, which amounted to $n = 2.1\%^{-1.1} \cdot \text{day}^{-1}$, and the mean of the rate constants and the absolute error of the model fit to the experimental data were calculated. The values of the mean rate constants were used to calculate the speed and the ratio of affinity of the analyzed processes, which was 1.21. The developed issue is part of the Management and Quality Science discipline due to the practical aspect of solving the problem of fat auto-oxidation.

Wprowadzanie

W podaży margaryn miękkich przeznaczonych do smarowania pieczywa na polskim rynku dominują marki mające charakter ogólnopolski lub międzynarodowy, np. „Rama” koncernu Unilever Polska Sp. z o.o., która jest najstarszą marką. Ponadto margaryna „Rama” jako pierwsza była produkowana oraz sprzedawana na skalę przemysłową na świecie i dała początek tej kategorii produktów (Raport – rynek tłuszczów roślinnych, 15.03.2024). W margarynach tych składnikami są różne oleje (rzepakowy, słonecznikowy, palmowy, lniany, z oliwy z oliwek, z awokado, kokosowy, z orzechów włoskich) oraz występują różne składniki funkcjonalne – witaminy A, D, E oraz z grupy B, kwasy tłuszczowe omega-3 i omega-6, sole wapnia (Nasze produkty, 15.03.2024).

W swojej ofercie Unilever Polska Sp. z o.o. posiada także produkty marki Flora, do których należą np. margaryny „Flora Original”, wzbogacona kwasami omega-3 i omega-6 lub „Flora Pro.activ” z dodatkami prozdrowotnymi, takimi jak sterole roślinne, witaminy B lub D (Produkty Flora, 15.03.2024).

Spożycie tłuszczów roślinnych charakteryzuje się wysoką konsumpcją. Obrót towarowy tymi tłuszczami wymaga stosowania odpowiednich opakowań zabezpieczających produkt przed niekorzystnymi zmianami oksydacyjnymi.

Margaryny miękkie, tzw. kubkowe, są przeznaczone głównie do smarowania pieczywa (Jakość handlowa tłuszczów, 12.03.2024). Ich opakowanie musi zabezpieczać produkt przed wyciekami podczas ewentualnego roztopienia się w podwyższonej temperaturze (Elves, 2017; Krygier, 2010). Do tego celu wykorzystuje się opakowania typu kubków oraz pudełek wykonane z tworzyw sztucznych, a także z aluminium (Panfil-Kuncewicz, Kuncewicz i Juśkiewicz, 2012).

Do produkcji kubków oraz pudełek początkowo wykorzystywano polistyren PS wysokoudarowy, a następnie polistyren PS połączony z warstwą polietylenową PE. Obecnie podstawowymi materiałami opakowaniowymi stosowanymi do pakowania margaryn są polipropylen PP i polietylen niskiej gęstości LDPE (Ebnesajjad, 2013; Szlezyngier i Brzozowski, 2012; Robertson, 2013).

Polipropylen charakteryzuje się wysoką wytrzymałością mechaniczną, wysoką barierowością wobec pary wodnej oraz tlenu (Piringer i Baner, 2008). Opakowania z polipropylenu stosuje się najczęściej do pakowania jogurtów, margaryn, artykułów spożywczych, opakowań farmaceutycznych oraz do produkcji folii opakowaniowych (Polipropylen – tworzywo konstrukcyjne w życiu codziennym, 27.03.2024).

Wśród wielu proponowanych materiałów opakowaniowych na uwagę zasługuje politereftalan etylenu oraz polilaktyd.

Opakowania wykonane z politereftalanu etylenu (PET) należą do najczęściej wykorzystywanych przez producentów opakowań z tworzyw sztucznych. Są przezroczyste, bezwonne oraz wykazują wysoką barierowość na gaz. Dodatkowo materiał ten spełnia szereg wymagań, takich jak aspekty estetyczne, stabilność zachowania barwy, dobra odporność mechaniczna, termiczna oraz chemiczna, niski koszt produkcji, stabilność podczas krótkiego przechowywania oraz łatwość recyklingu. Z racji zwiększającej się ceny polipropylenu wybór politereftalanu etylenu skutkuje niższą ceną za opakowanie margaryny (Khaneghah, Shoecibi i Ameri, 2012; Eposito, 2024).

W zakresie syntezy polimerów pochodzących z surowców odnawialnych najbardziej zaawansowane badania są prowadzone nad technologią produkcji polilaktydów PLA (Majewska i Białecka-Florjańczyk, 2010). Polimer ten należy do tworzyw biodegradowalnych oraz termoplastów. Polilaktyd stanowi najważniejszy tzw. podwójnie zielony polimer, co wynika z faktu, że jest wytwarzany ze źródeł odnawialnych (Puchała, 2013). Po jego zużyciu podlega całkowitej degradacji biologicznej.

Do produkcji PLA wykorzystuje się substraty pochodzące z naturalnych surowców, odnawialnych w skali rocznej, najczęściej są to kukurydza, buraki cukrowe, ziemniaki, trzcina cukrowa. Ilość surowca potrzebna do produkcji zależy od zawartości w nim skrobi oraz od wydajności każdego z etapów procesu produkcji polimeru: konwersji skrobi do dekstrozy, konwersji dekstrozy do kwasu mlekowego i reakcji polimeryzacji (Duda i Penczek, 2003).

Właściwości polilaktydu są zbliżone do polietylenu. Tworzywo to cechuje się dobrymi właściwościami fizykochemicznymi, fizykomechanicznymi

oraz sześciokrotnie niższymi kosztami kompostowania niż w przypadku tworzyw niebiodegradowalnych (Majewski i Głogowska 2017). Polilaktyd w przyszłości może stać się tanim oraz masowo wytwarzanym tworzywem opakowaniowym, mogącym przyczynić się do ograniczenia odpadów (Duda i Penczek, 2003). Obecnie PLA wykorzystywany jest do produkcji np. butelek do rozlewu olejów jadalnych (Majewska i Białecka-Florjańczyk, 2010), implantów medycznych (Andrzejewska i Topoliński, 2015) czy też w druku 3D (Polimer PLA, 2024).

Celem pracy było określenie dynamiki zmian oksydacyjnych w czasie przechowywania emulsji tłuszczowej z dodatkiem estrów steroli roślinnych, przechowywanych w opakowaniach z politereftalanu etylenu oraz polilaktydu w warunkach chłodniczych ($5^{\circ}\text{C} \pm 0,5$). Przechowywanie margaryny miało na celu symulowanie warunków, w jakich tłuszcze do smarowania pieczywa są przechowywane w gospodarstwach domowych – w lodówce.

Materiał doświadczalny i metodyka badań

Materiał badawczy stanowiła margaryna miękka „Flora Original” (producent Unilever Polska Sp. z o.o.) przeznaczona do smarowania pieczywa.

Margaryna „Flora Original” według informacji podanych przez producenta na opakowaniu zawiera następujące składniki: wodę, oleje roślinne, emulgatory (mono- i diglicerydy kwasów tłuszczowych, lecytyny), substancję konserwującą (sorbinian potasu), maślanekę w proszku, aromaty, regulator kwasowości (kwas cytrynowy), barwnik (karoteny), witaminy A, E, D₃, sól (0,33%).

Tłuszcze roślinne stanowią 45 g/100 g produktu, w tym kwasy tłuszczowe:

- nasycone 9 g,
- mononienasycone 11 g,
- polinienasycone 24 g, w tym 18 g kwasy omega-6, 5,9 g kwasy omega-3, poniżej 0,5 g izomerów trans.

Badania przechowalnicze margaryny przeprowadzane były w warunkach chłodniczych w temperaturze $5^{\circ}\text{C} \pm 0,5$, bez dostępu światła, przez 43 dni. Próbkę margaryny „Flora Original” o masie 100 g umieszczono w opakowaniach z politereftalanu etylenu PET oraz polilaktydu PLA. Jakość emulsji była oceniana co 7 dni na podstawie oznaczeń liczby nadtlenczkowej metodą jodometryczną (PN-ISO 3960:2012). Liczba nadtlenczkowa jest podstawowym parametrem w analizie chemicznej emulsji tłuszczowych

i jest stosowana powszechnie w badaniach (Pomeranz, 2013; O'Brien, 2012).

Emulsję tłuszczową, będącą przedmiotem badań, scharakteryzowano pod względem wartości liczb charakterystycznych – nadtlenkowej (LN), kwasowej (LK), jodowej (LI) oraz profilu kwasów tłuszczowych FA, z uwzględnieniem kwasów tłuszczowych nasyconych SFA, nienasyconych UFA, w tym mononienasyconych MUFA, polinienasyconych PUFA. Początkowe wartości liczb charakterystycznych badanej margaryny wynoszą: LN = 8,882 mEq O₂/kg, LK = 0,769 mg KOH/g, LI g = 45,85 g I₂/100 g.

Oznaczenie zawartości kwasów tłuszczowych badanych margaryn przeprowadzono metodą chromatografii gazowej GC (PN-EN ISO 12966-1:2015). Analizę kwasów tłuszczowych wykonano na chromatografie gazowym SRI 8610C, z kolumną Restek RTX-23301, długości 105 m, o średnicy 0,25 mm, z detektorem FID i z zastosowaniem wodoru jako gazu nośnego. Jako wzorzec zastosowano mieszaninę 37 estrów metyloowych kwasów tłuszczowych pochodzenia *Food Industry FAME Mix* firmy Restek, nr kat. 35077.

W profilu kwasów tłuszczowych badanej margaryny dominują następujące kwasy (% m/m):

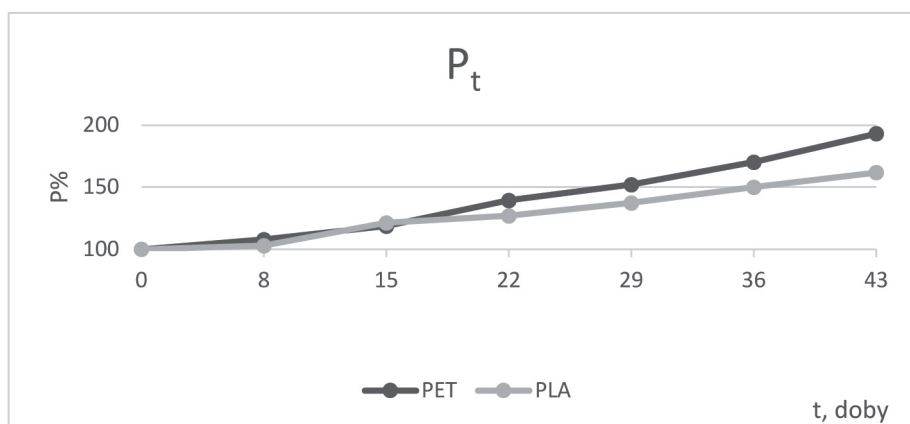
- nasycone; 25,86% (m/m), w tym kwasy C16:0 – 14,63 ±0,4, C12:0 – 4,72 ±0,04, C18:0 – 4,25 ±0,04, C14:0 – 1,44 ±0,03, C8:0 i C10:0 – 0,40 ±0,02.
- monoenowe: 25,22±0,50% (m/m) – kwas C18:1 (cis-9),
- polienowe: 48,92% (m/m), w tym kwasy: C18:2 (cis-9,12) – 42,75 ±1,00, C18:3 (cis-9,12,15) – 5,86 ±0,04, C20:3 (cis-8,11,14) – 0,31 ±0,02.

Zmiany oksydacyjne w margarynie w czasie przechowywania

Dane empiryczne stanowią średnią z trzech wyników uzyskanych z miareczkowania jodometrycznego próbek margaryny w czasie przechowywania. Pomiar zmian oksydacyjnych tą metodą stosuje w swoich badaniach wielu autorów (Kłopotek, Ociecek i Palka, 2017; Marszałkiewicz i in., 2017).

Wartości początkowe liczby nadtlenkowej LN_t dla czasu t = 0 (doby) wynosiły: 9,231 mEq O₂/kg dla opakowania PET oraz 10,137 mEq O₂/kg dla opakowania PLA. Wartości końcowe LN_t po 43 dobach przechowywania wynosiły: 17,845 mEq O₂/kg (PET) i 16,416 mEq O₂/kg (PLA). Wartości empiryczne liczby nadtlenkowej LN_t zostały przeliczone na skalę procentową P_t, %. Przyjęto wartość początkową P₀ = 100% dla czasu t = 0 doby. Wartości końcowe P_t po 43 dobach przechowywania wynosiły: 193,32% (PET) i 161,94% (PLA). Na rysunku 1 przedstawiono zmiany wartości liczby nadtlenkowej LN_t w czasie przechowywania „Flory Original”

w opakowaniach PET, PLA, w temperaturze 5°C i bez dostępu światła. Zaobserwowano wzrost wartości liczby nadtlenkowej oraz wzrost szybkości badanych procesów w czasie według krzywych typu *aw* akceleracyjno-wzrostowego (Kondratowicz-Pietruszka, 2013). Wykresy danych empirycznych w skali względnej (procentowej) mają postać krzywych typu *aw*. Podobny typ krzywych, wzrostu liczby nadtlenkowej w olejach uzyskali w swoich badaniach między innymi Masłowski i in. (2013) oraz Aladedunye, Sosińska i Przybylski (2013).



Rys. 1. Zmiany procentowej wartości liczby nadtlenkowej P margaryny w czasie przechowywania w opakowaniach PET i PLA

Źródło: opracowane własne.

Analiza kinetyczna danych doświadczalnych

Zmiany liczby nadtlenkowej w czasie miały charakter krzywych akceleracyjnych rosnących typu *aw*, czyli zmiany parametru oraz dynamika szybkości rosły w czasie. Zbiór danych doświadczalnych opisano odpowiednimi funkcjami kinetycznymi, co pozwoliło na porównanie procesów utleniania „Flory Original”.

Oceny dynamiki procesów dokonano na podstawie danych empirycznych liczby nadtlenkowej w skali względnej (P_t , %). Wyznaczono rzędy procesów n oraz obliczono stałe szybkości k_n ($\%^{n-1} \cdot t^{-1}$) i szybkość V ($\% \cdot t^{-1}$) analizowanych procesów. Wykorzystano model kinetyczny dla rosnących wartości badanego parametru (wartości miary) w czasie J_t oraz wzrastającej szybkości procesów (Kondratowicz-Pietruszka, 2013). Model ma postać:

$$\hat{P}_t = [P_0^{1-n} - k_n(n-1)t]^{\frac{1}{1-n}} \quad (1)$$

Stałą szybkości k_n oblicza się ze wzoru:

$$k_n = \frac{1}{(n-1)t} [P_0^{1-n} - P_t^{1-n}] \quad [\%^{1-n} \cdot t^{-1}] \quad (2)$$

gdzie:

k_n – stała szybkości, $[J^{1-n} \cdot t^{-1}]$,

n – rząd reakcji, $n > 0$,

\hat{P}_t – teoretyczna wartość miary (parametru) w czasie t ,

P_0 – początkowa wartość miary (parametru), $t = 0$.

W celu wyznaczenia parametrów kinetycznych, czyli rzędu procesu n oraz stałej szybkości k_n , wykorzystano metodę podstawiania do wzoru (Kondratowicz-Pietruszka, 2013). W tabeli przedstawiono wyniki analizy kinetycznej procesów biegnących w opakowaniach PET i PLA w skali procentowej P_t (tab. 1). W tabeli tej podano rzędy procesów n , średnie wartości stałych szybkości \bar{k}_n , modele do obliczenia wartości teoretycznych \hat{P}_t , szybkości procesów $V(P_t)$ oraz średnie odchylenie e_m wartości teoretycznych od doświadczalnych. Odchylenia wartości doświadczalnych od wartości teoretycznych jako błąd bezwzględny e_m , % obliczono ze wzoru:

$$e_m = \frac{|\hat{P}_t - P_t|}{\hat{P}_t} \cdot 100\% \quad (3)$$

Tabela 1. Parametry kinetyczne procesów w opakowaniach PET i PLA

Parametry kinetyczne	Opakowanie PET	Opakowanie PLA
n	2,1	2,1
\bar{k}_n $\%^{-1,1} \text{doba}^{-1}$	$\bar{k}_{2,1} = 6,961 \cdot 10^{-5}$	$\bar{k}_{2,1} = 5,771 \cdot 10^{-5}$
\hat{P}_t , %	$\hat{P}_t = [6,310 \cdot 10^{-3} - 7,657 \cdot 10^{-5} \cdot t]^{-0,91}$	$\hat{P}_t = [6,310 \cdot 10^{-3} - 6,348 \cdot 10^{-5} \cdot t]^{-0,91}$
$V(P_t)$ $\% \cdot \text{doba}^{-1}$	$V(P_t) = 6,961 \cdot 10^{-5} \cdot P_t^{2,1}$	$V(P_t) = 5,771 \cdot 10^{-5} \cdot P_t^{2,1}$
e_m , %	1,82	2,02

Źródło: opracowane własne.

Rzędy procesów zachodzących w opakowaniach PET oraz PLA w skali procentowej P_t wynoszą $n = 2,1$ aw. Niskie wartości średnich odchylenia wartości teoretycznych od doświadczalnych e_m świadczą o bardzo wysokiej dokładności dopasowania modeli kinetycznych.

Porównanie szybkości procesów

Szybkość wzrostu $V(P_t)$ wartości badanego parametru (miary) w czasie dla analizowanych procesów obliczono ze wzoru:

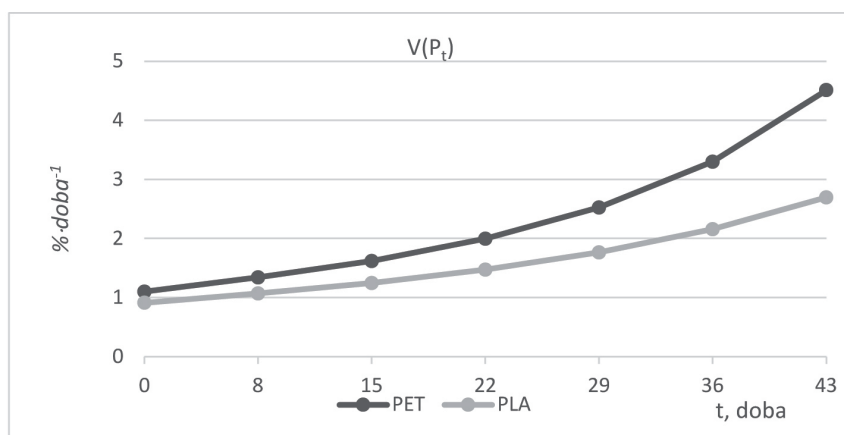
$$V(P_t) = k_n \cdot P_t^n \quad [\% \cdot t^{-1}] \quad (4)$$

Do potwierdzenia typu procesu akceleracyjno-wzrostowego *aw* obliczono przyrosty szybkości $\Delta V(P_t)$.

Wartości przyrostów szybkości $\Delta V(P_t)$ zmieniają się w przedziale:

- $0,238 \div 1,210\% \cdot \text{doba}^{-1}$ dla procesu w opakowaniu PET,
- $0,159 \div 0,540\% \cdot \text{doba}^{-1}$ dla procesu w opakowaniu PLA.

Szybkość procesu wzrosła ponad trzykrotnie (3,40) dla procesu w opakowaniu PLA i ponad pięciokrotnie (5,08) dla procesu w opakowaniu PET. Na rysunku 2 przedstawiono wzrastające wartości $\Delta V(P_t)$ w funkcji czasu. Stanowią one potwierdzenie zmian wartości liczby nadtlenkowej w analizowanych procesach według krzywej akceleracyjnej rosnącej typu *aw*.



Rys. 2. Zmiany szybkości procentowej wartości liczby nadtlenkowej P margaryny w czasie przechowywania w opakowaniach PET, PLA

Źródło: opracowane własne.

Do porównania szybkości analizowanych procesów *A* i *B*, których rzędy są jednakowe $n_A = n_B$, wykorzystuje się stosunek afiniczności K_B^A , czyli stosunek stałych szybkości k_A, k_B :

$$K_B^A = \frac{k_A}{k_B} \quad (4)$$

gdzie:

k_A – stała szybkości procesu A, [$\%^{1-n} \cdot t^{-1}$],

k_B – stała szybkości procesu B, [$\%^{1-n} \cdot t^{-1}$].

$$K_{PLA}^{PET} = \frac{6,961 \cdot 10^{-5}}{5,771 \cdot 10^{-5}}$$

Obliczony stosunek stałych szybkości k_{PET} / k_{PLA} potwierdza, że badana margaryna utleniała się 1,21 szybciej w opakowaniu z politereftalanu etylenu PET niż w opakowaniu z polilaktydu PLA.

Podsumowanie

Wartości końcowe liczby nadtlenkowej po 43 dobach przechowywania margaryny w temp. $5^{\circ}\text{C} \pm 0,5$ bez dostępu światła wynosiły 16,416 mEq O_2/kg w opakowaniu PLA oraz 17,845 mEq O_2/kg w opakowaniu PET. Zmiany liczby nadtlenkowej emulsji tłuszczowej w czasie przechowywania oraz dynamika wzrostu tego parametru miały charakter krzywych akceleracyjnych rosnących typu *aw*. Na podstawie przeprowadzonej analizy kinetycznej z wykorzystaniem modeli akceleracyjno-wzrostowych obliczono rzędy analizowanych procesów. Dla obydwu badanych procesów rzędy te wynosiły $n = 2,1\%^{-1,1} \cdot \text{doba}^{-1}$. Obliczono średnie stałych szybkości oraz błąd bezwzględny dopasowania zastosowanego modelu do danych doświadczalnych. Niskie wartości średnich odchylenia wartości teoretycznych od doświadczalnych e_m , ok. 2%, potwierdzają bardzo wysoką dokładność zaproponowanych modeli kinetycznych. Wartości średnich stałych szybkości wykorzystano do obliczenia szybkości oraz stosunku afiniczności analizowanych procesów, który wyniósł 1,21. Wynik ten potwierdza korzystniejsze dla emulsji tłuszczowej przechowywanie jej w opakowaniu z polilaktydu. Polilaktyd posiada szereg walorów użytkowych i ma szansę stać się polimerem XXI w. Tworzywo to rozwiązuje problemy surowcowe oraz ekologiczne. Unikalne właściwości polimeru PLA sprawiają, że znajduje on zastosowanie w różnych dziedzinach, nie tylko do produkcji opakowań, ale też implantów medycznych, a nawet do druku 3D. Perspektywy rozwoju wskazują na to, że PLA będzie odgrywać coraz większą rolę w tworzeniu ekologicznych rozwiązań, zgodnych z dążeniem do zrównoważonego rozwoju społeczeństwa. Wskazane są dalsze badania dynamiki zmian oksydacyjnych w czasie przechowywania różnych emulsji tłuszczowych w różnych temperaturach i w wielu rodzajach opakowań ze względu na możliwości jak najlepszego ograniczenia niekorzystnych zmian oksydacyjnych w tłuszczach poprzez dobór

odpowiedniego opakowania. Ograniczeniem może być jednak tendencja zakładów produkujących tłuszcze do pakowania ich w standardowe opakowania.

Jednocześnie należy podkreślić, że nie znaleziono w literaturze zastosowania analizy kinetycznej danych doświadczalnych procesów zmian oksydacyjnych w tłuszczach. Wskazane byłoby stosowanie takiej analizy w szerszym zakresie ze względu na szereg wynikających z niej korzyści. Zaliczyć do nich należy, między innymi, porównywanie dynamiki oksydacji oraz dobór odpowiednich warunków przechowywania tłuszczów.

Bibliografia

1. Aladedunye, F., Sosińska, E., Przybylski, R. (2013). Flaxseed cyclolinopeptides: analysis and storage stability. *J. Am. Oil Chem. Soc.*, 90, 3, 419–428.
2. Andrzejewska, A., Tomasz Topoliński, T. (2015). Polimery biodegradowalne do zastosowań biomedycznych. *Postępy w inżynierii mechanicznej*, 6, 3, s. 5–12.
3. Duda, A., Penczek, S. (2003). Polilaktyd [poli(kwas mlekowy)]: synteza, właściwości i zastosowania. *Polimery*, 48 (1), s. 16–27.
4. Ebnesajjad, S. (2013). *Plastic Films in Food Packaging: Materials, Technology and Application*, Elsevier, Oxford, 110.
5. Esposito, F. (15.03.2024). *Ceny PP rosną, solidny PS, spadek PET*. Pobrane z: <https://www.plasticsnews.com/article/20141030/NEWS/141039994/pp-prices-rise-solid-ps-pet-drop>.
6. Jakość handlowa tłuszczów do smarowania i do celów kulinarnych. (12.03.2024). Dostępne online: <https://foodfakty.pdiblesc-handlowa-tluszczow-do-smarowania-i-do-celow-kulinarnych-wyniki-kontroli-za-ii-kw-2023>.
7. Khaneghah, M., Shoecibi, Sh., Ameri, M. (2012). Effects of storage conditions and PET packaging on quality edible oils in Iran. *Advances in Environmental Biology*, 6 (2), s. 691–701.
8. Kłopotek, K., Ociczek, A., Palka, A. (2017). Wpływ temperatury przechowywania na wybrane parametry jakości olejów z orzechów. *Zeszyty Naukowe Akademii Morskiej w Gdyni*, 99, s. 34–47.
9. Kondratowicz-Pietruszka, E. (2013). Zmiany jakościowe wybranych olejów roślinnych przechowywanych w warunkach chłodniczych. *Zeszyty Naukowe UEK w Krakowie*, 912, s. 49–72.
10. Krygier, K. (2010). *Współczesna margaryna – aspekty technologiczne i żywieniowe*. Warszawa: WNT.
11. Majewska, E., Białecka-Florjańczyk, E. (2010). *Zielona chemia w przemyśle spożywczym*, *Metrologia*, 15, 1, s. 21–27.
12. Majewski, Ł., Głogowska, K. (2017), Właściwości mechaniczne polilaktydu modyfikowanego w procesie wytłaczania porującego. *Przetwórstwo tworzyw*, 5, s. 383–389.
13. Marszałkiewicz, S., Siger, A., Radziejewska-Kubzdela, A., Ratusz, K., Rudzińska, M. (2017). Fizyczno-chemiczne właściwości olejów lniankowych tłoczonych na zimno. *Nauka. Przyroda. Technologie*, 11, 3, 235–244.

14. Masłowski, A., Andrejko, D., Ślaska-Grzywna, B., Sagan, A., Marek Szmigiel-ski, M., Mazur, J., Rydzak, L., Sobczak, P. (2013). Wpływ temperatury i czasu przechowywania na wybrane cechy jakościowe oleju rzepakowego, lnianego i lniankowego. *Inżynieria Rolnicza*, 1, 141,1 s. 115–124.
15. Nasze produkty. (15.03.2024). Dostępne online: <https://www.ramamargaryna.pl/produkty>.
16. O'Brien, R.D. (2012). *Fats and Oils: Formulating and Processing for Applications*, CRC Press, Boca Raton, USA.
17. Panfil-Kuncewicz, H., Kuncewicz, A., Juśkiewicz, M. (2012). *Wybrane zagadnienia z opakowalnictwa żywności*. Olsztyn: UWM.
18. Piringer O., Baner, A. (2008), *Plastic packaging materials for Food*. New Jersey, USA: John Wiley & Sons.
19. PN-EN ISO 12966-4:2015-07. Oleje i tłuszcze roślinne oraz zwierzęce. Chromatografia gazowa estrów metylowych kwasów tłuszczowych. Część 4 – oznaczanie techniką kapilarnej chromatografii gazowej.
20. PN-ISO 3960:2012. Oleje i tłuszcze roślinne oraz zwierzęce. Oznaczanie liczby nadtlenkowej. Jodometryczne (wizualne) oznaczanie punktu końcowego.
21. *Polimer PLA i jego zastosowania, technologie i wpływ na środowisko* (20.01.2024). <https://www.filament24.pl/blog/post/22-polimer-pla-zastosowania-technologie-i-wplyw-na-srodowisko>.
22. *Polipropylen – tworzywo konstrukcyjne w życiu codziennym* (27.03.2024), <http://tworzywa.com.pl/>.
23. Pomeranz, Y. (2013). *Food Analysis: Theory and Practice*. Springer Science & Business Media.
24. *Produkty Flora*. (15.03.2024). Dostępne online: <http://www.flora.pl/produkty/default.aspx>.
25. Puchała, C. (2013). Zielona chemia i możliwości wykorzystania jej zasad. *Chemistry, Environment, Biotechnology*, 16, s. 7–15.
26. *Raport – rynek tłuszczów roślinnych i przetworów zbożowych* (25.07.2018). Dostępne online: <http://www.poradnikhandlowca.com.pl>.
27. Robertson, G.L. (2013). *Food packaging: Principles and Practice*. Boca Raton, USA: CRC Press.
28. Szlezyngier, W., Brzozowski, Z. (2012). *Tworzywa sztuczne – tworzywa ogólnego zastosowania*. Rzeszów: Wydawnictwo FOSZE.
29. *Ullmann's Food and Feed* (2017), red. Elves, B., 3 Volume Set, Tom 2, Weinheim: Wiley-VCH.

Zastosowanie technologii druku 3D w optymalizacji procesów logistycznych

Application of 3D printing technology in logistics process optimization

Artur JACHIMOWSKI

Katedra Technologii i Ekologii Wyrobów,

Instytut Nauk o Jakości i Zarządzania Produktem, Uniwersytet Ekonomiczny w Krakowie,
Kraków; jachimoa@uek.krakow.pl; identyfikator ORCID: 0000-0003-4045-2418

Korespondencja: jachimoa@uek.krakow.pl; Tel.: +48 12 293 56 86

Słowa kluczowe: druk 3D, logistyka, łańcuch dostaw, personalizacja produktów.

Streszczenie: Wykorzystanie technologii druku 3D w procesach logistycznych stanowi niezwykle obiecujący krok w dzisiejszej erze dynamicznych zmian i innowacji. Druk 3D, będący technologią przyrostową, oferuje nie tylko możliwość szybkiego i elastycznego wytwarzania różnorodnych przedmiotów, ale także rewolucjonizuje podejście do koncepcji magazynowania, produkcji oraz dostaw. Wraz z rozwojem druku 3D procesy logistyczne zyskują nowe możliwości, pozwalając na tworzenie części i produktów na żądanie, eliminując konieczność przechowywania dużej ilości gotowych produktów w magazynach oraz skracając czas potrzebny na produkcję i dostawę. Ta nowoczesna technologia tworzy potencjał zmiany paradygmatu tradycyjnej logistyki, przyczyniając się do zwiększenia efektywności, elastyczności i zrównoważonego rozwoju w łańcuchach dostaw. Artykuł ma na celu zidentyfikowanie korzyści i ograniczeń związanych z wprowadzeniem druku 3D w logistycę oraz przedstawienie perspektyw rozwoju tej technologii w kontekście zmieniających się potrzeb i trendów w branży. Poprzez przegląd literatury artykuł prezentuje aktualny stan wiedzy na temat zastosowań druku 3D w logistycy oraz analizuje wyzwania związane z jego implementacją. Ponadto kompleksowa analiza i dyskusja dostarcza wglądu w potencjał druku 3D jako narzędzia do optymalizacji procesów logistycznych i stanowi inspirację do dalszych badań i implementacji tej technologii w praktyce biznesowej.

Keywords: 3D printing, logistics, supply chain, product customization.

Abstract: The utilization of 3D printing technology in logistics processes represents an exceptionally promising step in today's era of dynamic changes and innovations. 3D printing, as an additive manufacturing technology, not only provides the capability for fast and flexible production of various items but also revolutionizes the approach to warehousing, production, and deliveries. With the advancement of 3D printing, logistic processes gain new possibilities, allowing for the creation of parts and products on demand, thereby eliminating the need for storing large quantities of finished products in warehouses and reducing the time required for production and delivery. This modern technology brings with it the potential to change the paradigm of traditional logistics, contributing to increased efficiency, flexibility, and sustainable development in supply chains. The article aims to identify the benefits and limitations associated with the implementation of 3D printing in logistics and to present the perspectives of this technology's development in the context of changing needs and trends in the industry. Through a literature review, the article presents the current state of knowledge regarding the applications of 3D printing in logistics

and analyzes the challenges associated with its implementation. Moreover, comprehensive analysis and discussion provide insight into the potential of 3D printing as a tool for optimizing logistic processes and serve as inspiration for further research and implementation of this technology in business practice.

Wprowadzenie

W dzisiejszym szybko zmieniającym się środowisku biznesowym skuteczność operacyjna i optymalizacja procesów są kluczowymi czynnikami determinującymi sukces przedsiębiorstw. W ramach branży logistycznej, która zajmuje się sprawnym przemieszczaniem towarów od producenta do ostatecznego odbiorcy, innowacyjne technologie odgrywają coraz większą rolę w doskonaleniu działań. Jedną z najbardziej obiecujących technologii jest druk 3D, który nie tylko zmienia tradycyjne metody produkcji, ale także wprowadza nowe możliwości optymalizacji procesów logistycznych.

Technologia druku 3D, nazywana także drukowaniem addytywnym, wprowadza rewolucję w wielu dziedzinach, w tym również w logistyce. Wykorzystanie druku 3D do optymalizacji procesów logistycznych polega na zwiększeniu efektywności, elastyczności oraz oszczędności w zarządzaniu łańcuchem dostaw i magazynami (Janssen i in., 2014; Feldmann i Pompe, 2017; Araújo i in., 2021).

Jednym z kluczowych zastosowań druku 3D w logistyce jest możliwość produkcji spersonalizowanych lub niestandardowych części i produktów na żądanie. Dzięki temu firmy mogą szybko i niedrogo tworzyć części zamienne do maszyn i urządzeń, eliminując potrzebę przechowywania dużych zapasów oraz długotrwałego oczekiwania na dostawę. To także pozwala na dostosowanie produktów do indywidualnych potrzeb klientów, co z kolei przekłada się na zwiększenie ich satysfakcji i lojalności wobec marki (Grabowska i Sieka, 2019; Kampa i Olender, 2020; Budzik i in., 2022).

Kolejnym istotnym aspektem wykorzystania druku 3D w logistyce jest redukcja kosztów transportu i magazynowania. Tradycyjnie konieczność przechowywania dużych zapasów części zamiennych czy produktów wiązała się z wysokimi kosztami magazynowania. Dzięki drukowi 3D te części mogą być produkowane na miejscu, co eliminuje potrzebę długotrwałego przechowywania i transportu. W rezultacie następuje obniżenie kosztów operacyjnych i zwiększenie konkurencyjności przedsiębiorstwa (Araújo i in., 2021; Besklubova i in., 2023; Dodziuk, 2024).

Celem artykułu jest identyfikacja głównych korzyści i ograniczeń związanych z wdrożeniem druku 3D w logistyce oraz przedstawienie perspektyw dalszego rozwoju tej technologii w kontekście zmieniających

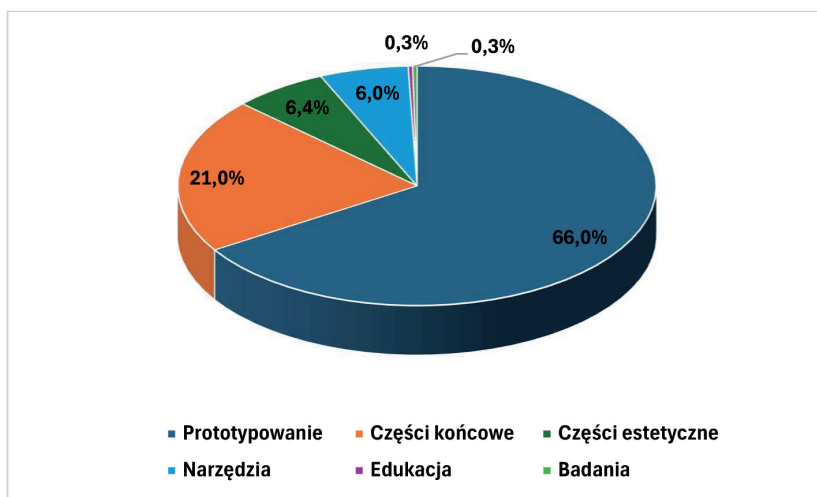
się potrzeb i trendów w branży logistycznej. Poprzez pogłębiony przegląd literatury w tej tematyce artykuł prezentuje aktualny stan wiedzy na temat zastosowań druku 3D w logistyce, analizę wyzwań związanych z jego implementacją oraz identyfikację obszarów, w których ta technologia może przynieść największe korzyści. Natomiast kompleksowo przeprowadzona analiza i dyskusja dostarcza wglądu w potencjał druku 3D jako narzędzia do optymalizacji procesów logistycznych. Ponadto stanowi inspirację do dalszych badań i implementacji tej technologii w praktyce biznesowej.

Rozwój technologii druku 3D

W przeciwieństwie do tradycyjnych metod produkcji, które operują na zasadzie odejmowania materiału, druk 3D polega na dodawaniu warstw materiału, co nazywane jest technologią „wytwarzania przyrostowego”. Metoda wytwarzania przyrostowego zaczęła się rozwijać już w latach 80. XX wieku. Choć istniała od tamtego czasu, to dopiero w późniejszych latach zdobyła znaczenie i popularność w biznesowym świecie, stając się wydajnym systemem produkcyjnym (Pour i in., 2016; Mitka, 2022). Proces rozpoczyna się od stworzenia modelu przy użyciu specjalistycznego oprogramowania komputerowego (CAD), który następnie jest podzielony na warstwy i przekazywany do drukarki. Tam produkt jest tworzony warstwa po warstwie zgodnie z zasadą produkcji warstwowej (Shree i in., 2020; Bayraktar, 2022; Jadhav i Jadhav, 2022; Wang i in., 2023). Dzięki drukowi 3D proces prototypowania, który dawniej trwał miesiące, może zostać skrócony do zaledwie kilku dni lub godzin. To oznacza ogromne oszczędności czasu i pieniędzy, gdyż nie ma potrzeby tworzenia tradycyjnych form czy długich linii produkcyjnych. Co więcej, ta technologia oferuje ogromną swobodę projektowania, co pozwala projektantom na tworzenie części o skomplikowanej geometrii i strukturze. Dzięki temu można produkować przedmioty, które wcześniej były niemożliwe do stworzenia za pomocą konwencjonalnych metod (Bozkurt i Karayel, 2021).

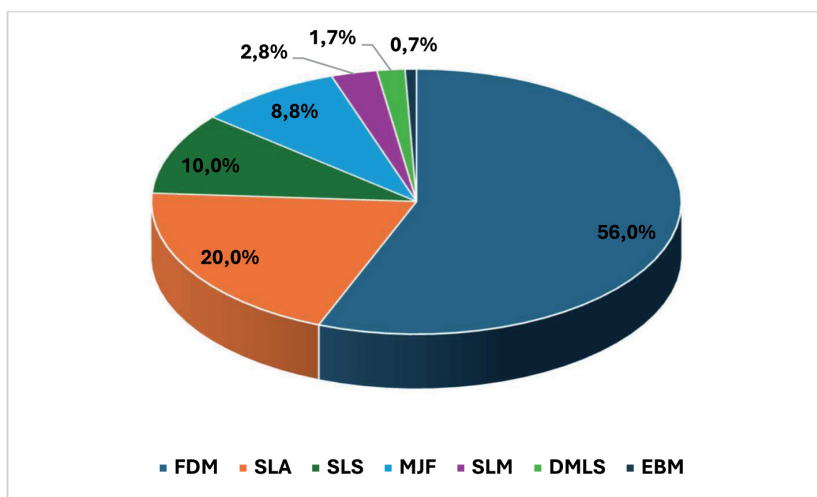
Technologia druku 3D składa się z pięciu głównych kroków: modelowanie 3D, konwersja i przesyłanie danych, sprawdzanie i przygotowanie, budowanie oraz przetwarzanie końcowe. W przeciwieństwie do tradycyjnych metod produkcyjnych, które narzucały ograniczenia na projektowanie, druk 3D daje producentom elastyczność, umożliwiając optymalizację projektu pod kątem minimalizacji odpadów. Ta technologia zdobyła ogromną popularność w mediach i przyciągnęła uwagę naukowców z różnych dziedzin. Znajduje zastosowanie w wielu obszarach, takich jak motoryzacja, lotnictwo, medycyna, czy systemy biologiczne. Jednak korzyści technologiczne muszą być zharmonizowane z potrzebami jednostek

produkcyjnych i strategią biznesową, aby z sukcesem wdrożyć druk 3D. Chociaż ograniczenia produkcyjne w druku 3D są mniejsze niż w tradycyjnych metodach, wciąż istnieją sytuacje, gdzie należy uwzględnić pewne kwestie produkcyjne, choć niekoniecznie ograniczają one projekt (Shree i in., 2020).



Rys. 1. Najpopularniejsze zastosowania druku 3D

Źródło: opracowanie własne na podstawie 3D Printing Trend Report 2023.



Rys. 2. Najbardziej popularne metody druku 3D

Źródło: opracowanie własne na podstawie 3D Printing Trend Report 2023.

Na rysunku 1 przedstawiono główne zastosowania druku 3D z uwzględnieniem kluczowych branż, które zaadoptowały tę innowacyjną technologię. Natomiast analiza sposobu, w jaki różne sektory zintegrowały druk 3D w swoje operacje, sprzyja lepszemu zrozumieniu jego wszechstronności i potencjału do przyszłego rozwoju.

Istnieje wiele różnych technologii druku 3D, z których każda ma swoje unikalne cechy. Różnią się one materiałami używanymi do druku, metodami nanoszenia warstw oraz cechami produktów końcowych. Dzięki ciągłemu rozwojowi i badaniom nad tą technologią pojawiają się nowe sposoby druku 3D, które poszerzają możliwości produkcji i tworzenia różnorodnych przedmiotów (Tatarczak i in., 2017; Fiał i Pieknik, 2020; Wang i in., 2023). Na rysunku 2 przedstawiono najpopularniejsze metody przyrostowe, do których należą: FDM (Fused Deposition Modeling), SLA (stereolitografia), SLS (Selective Laser Sintering), MJF (Multi Jet Fusion), SLM (Selective Laser Melting), DMLS (Direct Metal Laser Sintering) oraz EBM (Electron Beam Melting).

Do najważniejszych i najbardziej popularnych technologii druku 3D należą (Budzik i Siemiński, 2015; Fiał i Pieknik, 2020).

FDM to metoda modelowania, w której termoplastyczne tworzywo jest wytłaczane przez ekstruder w postaci cienkiej nitki, zwanej filamentem. Ten filament jest przekazywany do dyszy poprzez mechanizm złożony z napędzanych, elastycznych lub ryflowanych rolek.

SLA to jedna z najstarszych metod szybkiego prototypowania, oparta na miejscowej polimeryzacji żywic za pomocą światła UV. W tej technologii wykorzystuje się termoutwardzalne ciekłe żywice fotopolimerowe.

SLS to metoda, która polega na selektywnym spiekaniu proszków za pomocą laserów. Inna nazwa dla tego procesu to DMLS (Direct Metal Laser Sintering). W tej metodzie najczęściej wykorzystuje się proszki poliamidowe.

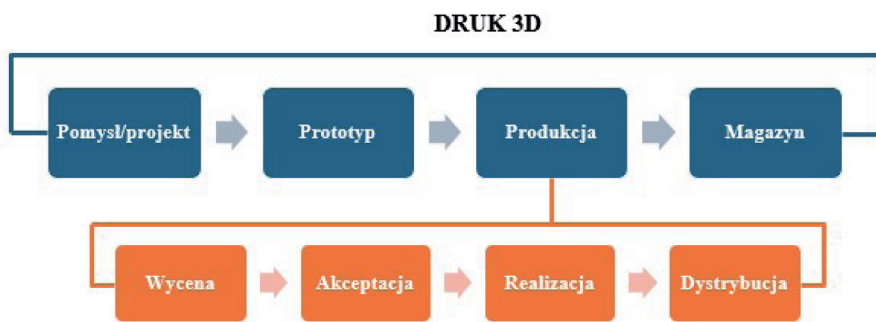
Druk 3D a usprawnienie procesów logistycznych

Drukarki 3D mają ogromny potencjał w upraszczaniu procesów produkcyjnych, co z kolei skraca terminy dostawy. W tradycyjnym podejściu do produkcji magazyny są wypełnione surowcami, które są następnie transportowane na linie produkcyjne. Jednak w przypadku druku 3D nie ma potrzeby przechowywania dużej ilości surowców, ponieważ elementy mogą być drukowane na żądanie (Budzik i in., 2022). Dzięki temu drukarki 3D mogą szybko i bezpiecznie produkować różnorodne podzespoły. Dlatego sektor motoryzacyjny i lotniczy, który musi działać zgodnie z zasadami *just-in-time*, z pewnością skorzysta na tej technologii. W tych branżach,

gdzie dostawa dokładnie w odpowiednim czasie jest kluczowa, druk 3D może zapewnić elastyczną logistykę. Każde opóźnienie w dostawie może prowadzić do kosztownych przerw w produkcji, czego należy koniecznie unikać (Bondyra i Zagierski, 2019).

Ponadto drukarki 3D umożliwiają personalizację produktów zgodnie z indywidualnymi potrzebami klienta (Szozda, 2018). Wyzwaniem logistycznym jest obsługa rosnącej liczby dostaw. Systemy zarządzania magazynem, takie jak WMS, mogą być niezbędne do skutecznego zarządzania procesami personalizacji i tworzenia zestawów (Rokicki i Ziółkowska, 2020). W przypadku strategii odraczania, personalizacja produktów może być wykonywana tuż przed wysyłką do klienta. To oznacza, że pewne etapy produkcji są odroczone do momentu otrzymania zamówienia, co może przyczynić się do efektywniejszej organizacji procesów (Ramón-Lumbierres i in., 2021; Sethuraman i in., 2023).

Długofalowe zmiany w logistyce i transporcie są nieuniknione z powodu rozwoju druku 3D. Z jednej strony, transport wielu produktów może być ograniczony, ponieważ niektóre podzespoły mogą być drukowane bezpośrednio na miejscu. Z drugiej strony, będzie istniała potrzeba transportu niezbędnych materiałów do drukarek. Dlatego w działalności przedsiębiorstw kluczową rolę odgrywa łańcuch dostaw. Dzięki drukowi 3D możliwe jest skuteczne zintegrowanie tej technologii w procesach produkcyjnych, co nie tylko zmniejsza straty materiałowe i przyspiesza produkcję, ale także pozwala kontrolować koszty. Wraz z rosnącymi wymaganiami klientów oraz rozwojem gospodarczym firmy szukają nowych sposobów organizacji procesów produkcyjnych. Jednym z nich jest wdrożenie druku 3D, co skraca łańcuch dostaw i usprawnia zarządzanie logistyką firmy (Bayraktar, 2022).



Rys. 3. Wpływ druku 3D na łańcuch dostaw

Źródło: opracowanie własne.

Procesy takie jak szukanie podwykonawców, organizowanie przetargów czy negocjowanie umów mogą być czasochłonne. Wykorzystanie technologii druku 3D pozwala na ograniczenie współpracy z firmami zewnętrznymi, co prowadzi do skrócenia formalności do minimum oraz widocznych oszczędności, zarówno czasu, jak i pieniędzy. Lokalna produkcja za pomocą druku 3D wpływa także na komunikację. Bezpośredni kontakt z osobami odpowiedzialnymi za projektowanie czy tworzenie prototypów umożliwia szybkie przekazywanie informacji i przyspiesza finalną produkcję wyrobów. Tego typu działania sprzyjają możliwościom wykorzystania druku 3D do skrócenia łańcucha dostaw (rys. 3).

Drukowanie 3D pozwala na szybką produkcję według zapotrzebowania, co może całkowicie zmienić sposób funkcjonowania łańcuchów dostaw i ich wpływ na środowisko. Dlatego coraz większą popularnością cieszy się koncepcja tzw. fabryki przyszłości. Dzięki drukowaniu 3D producenci mogą tworzyć produkty w czasie rzeczywistym, dostosowane do lokalnych potrzeb, przy wsparciu globalnej sieci cyfrowej. Ta wirtualna fabryka umożliwia projektowanie produktów w dowolnym miejscu na świecie, jednocześnie umożliwiając dostawę i produkcję tam, gdzie znajduje się drukarka 3D. Przeniesienie zapasów z fizycznej postaci do plików cyfrowych nie oznacza utraty precyzji, jakości i niezawodności produktów. Daje to każdemu projektantowi i producentowi możliwość dostępu do towarów bez konieczności ciężkiego transportu i wysyłki. W zasadzie pliki mogą być przesyłane elektronicznie, bez wpływu na środowisko, a następnie wydrukowane i zużyte lokalnie zgodnie z konkretnym zapotrzebowaniem, bez nadmiernej nadwyżki (Dupont i in., 2021; Koren, 2021; Anumbe i in., 2022).

Zalety i ograniczenia technologii druku 3D w logistyce

Technologia druku 3D, znana również jako drukowanie addytywne, stała się znaczącym graczem w dziedzinie logistyki, oferując wiele możliwości optymalizacji procesów. Niemniej jednak, jak każda innowacja, druk 3D nie jest pozbawiony zarówno zalet, jak i ograniczeń, które warto zrozumieć dla pełnego wykorzystania potencjału tej technologii w logistyce.

Zalety technologii druku 3D w logistyce, które zostały przedstawione w tabeli 1 wynikają z możliwości szybkiego wytwarzania części na żądanie oraz indywidualizacji produkcji, co jest cenne w zmiennych środowiskach logistycznych. Technologia ta pozwala na tworzenie niestandardowych elementów, takich jak nietypowe opakowania czy narzędzia dostosowane do konkretnych zadań. Ponadto dzięki drukowaniu na miejscu redukuje

koszty magazynowania gotowych produktów, przyczyniając się do efektywności operacyjnej i ograniczając marnotrawstwo.

Tabela 1. Korzyści druku 3D w logistyce

Korzyści	Charakterystyka	Źródło
Ograniczenie zapasów	Zamiast przechowywać duże ilości materiałów i gotowych produktów składowane są tylko te, które są aktualnie potrzebne i czekają na wysyłkę do klienta. To zmniejsza koszty związane z magazynowaniem oraz minimalizuje ryzyko przestarzałości zapasów.	Berman, 2020; Shree i in., 2020; Dumanska i in., 2021
Wykorzystanie powierzchni magazynowej	Mniejsza liczba zapasów wymaga mniej miejsca do ich przechowywania, co może znacząco obniżyć koszty związane z wynajmem lub utrzymaniem powierzchni magazynowej.	Berman, 2020; Bayraktar, 2022; Osman i in., 2023
Redukcja kosztów transportu	Ponieważ drukarki 3D zajmują stosunkowo niewiele miejsca, mogą być instalowane blisko miejsca zamieszkania klienta, eliminując konieczność długotrwałego transportu. To nie tylko oszczędność czasu, ale także zmniejszenie emisji zanieczyszczeń do atmosfery. Natomiast przyjęcie technologii druku 3D bliżej klientów końcowych może znacząco ułatwić politykę produkcji na zamówienie.	Abeliansky i in., 2020; Arbabian i Wagner, 2020; Velázquez i in., 2020
Sprawną i terminową dostawą	Zamiast przechodzić przez wiele etapów produkcyjnych wyroby mogą być szybko wydrukowane i przekazane do wysyłki niemal natychmiast po złożeniu zamówienia. To z kolei prowadzi do zadowolenia klienta i budowania pozytywnego wizerunku firmy.	Trushkina i in., 2020; Demir i Huang, 2021; Chodak, 2024
Redukcja odpadów i zmniejszenie negatywnego oddziaływania na środowisko	Technologie wytwarzania przyrostowego, jak druk 3D, są uznawane za ekologiczne, ponieważ zużywają mniej energii i generują mniej odpadów niż tradycyjne metody produkcji. Oprócz tego możliwość tworzenia lżejszych środków transportu pozwala na zmniejszenie zużycia materiałów i paliwa, co przekłada się na redukcję emisji gazów cieplarnianych. Produkcja lokalna przy użyciu technologii addytywnych może zatem przyczynić się do promowania zrównoważonego rozwoju, co jest istotne dla ochrony środowiska.	Khosravani i Reinicke, 2020; Nadagouda i in., 2020; Budzik i in., 2022

Źródło: opracowanie własne.

Technologia druku 3D, choć oferuje liczne zalety w logistyce, boryka się także z istotnymi ograniczeniami (tab. 2). Problemy materiałowe mogą utrudniać produkcję części o wysokiej wytrzymałości czy odporności

chemicznej, ograniczając ich zastosowanie w niektórych obszarach logistyki. Ponadto wysokie koszty inwestycji w sprzęt oraz długi czas produkcji mogą stanowić barierę dla pełnego wdrożenia tej technologii w procesach logistycznych, zwłaszcza w przypadku konieczności szybkiej reakcji na zmienne warunki rynkowe.

Tabela 2. Ograniczenia technologii druku 3D w logistyce

Ograniczenia	Charakterystyka	Źródło
Obecnie technologia druku 3D jest w fazie rozwoju	Aktualnie trwa intensywny proces testowania różnych zastosowań oraz doskonalenia funkcji tej technologii. Jednakże, aby stała się powszechnie dostępna i zyskała stabilną pozycję na rynku, potrzebne jest jeszcze trochę czasu.	Dong i in., 2021; Mostafaei i in., 2021; Kanyilmaz i in., 2022
Wielkość produkowanych przedmiotów	Maksymalne rozmiary wytworzonych elementów zależą od możliwości konkretnego modelu drukarki 3D.	Behroodi i in., 2020
Czas drukowania	W zależności od skomplikowania modelu czas drukowania może wynosić od kilkunastu minut do nawet kilku godzin. Dodatkowo trzeba uwzględnić czas potrzebny na ostygnięcie wydrukowanego obiektu.	Wesemann i in., 2020; Budzik i in., 2021; Zhai i in., 2023
Wysokie koszty	Same drukarki są drogie, a do tego potrzebne są kosztowne materiały eksploatacyjne. Ponadto obsługa drukarki 3D wymaga specjalistycznej wiedzy oraz regularnej konserwacji.	Nadagouda i in., 2020; Budzik i in., 2022; Kantaros i in., 2022

Źródło: opracowanie własne.

Analizując powyższe tabele, należy zaznaczyć, że technologia druku 3D ma duży potencjał w zakresie poprawy efektywności i elastyczności procesów logistycznych poprzez indywidualizację produkcji, redukcję kosztów magazynowania i szybką dostawę części na żądanie. Jednakże konieczne jest zrozumienie jej ograniczeń i wyzwań integracyjnych, aby skutecznie wykorzystać jej zalety w praktyce logistycznej.

Podsumowanie

W dziedzinie logistyki od lat wprowadza się najnowocześniejsze technologie, począwszy od automatyzacji, a skończywszy na robotach współpracujących i druku 3D. Innowacje mają na celu uproszczenie złożonych procesów i usprawnienie dostaw produktów.

Druk 3D to jedna z technologii, która może przyczynić się do rewolucji w logistyce. Do głównych zalet tego rozwiązania należy możliwość dostosowania produktów do indywidualnych potrzeb klientów oraz

uproszczenie procesu produkcji. Ponadto nadal odkrywa się nowe zastosowania drukarek 3D, które mogą przynieść dodatkowe ułatwienia.

Oprócz oczywistych korzyści, jakie druk 3D może przynieść branży logistycznej, takich jak redukcja przechowywanych zapasów, należy również uwzględnić wyzwania związane z głębokimi zmianami w łańcuchu dostaw wielu firm.

Należy zaznaczyć, że rozwój technologii druku 3D będzie mieć duży wpływ na procesy logistyczne i usługi. Regionalne sieci logistyczne staną się bardziej złożone, ponieważ ta metoda umożliwia szybszą produkcję części zamiennych i elementów. Firmy będą mogły oferować nowe usługi logistyczne, dostarczając spersonalizowane produkty i części zgodnie z indywidualnymi potrzebami klientów. Dostawcy logistyczni będą mogli wykorzystać globalną platformę druku 3D opartą na modelu cyfrowym, co jeszcze bardziej usprawni procesy dostaw. Dzięki drukowi 3D produkty będą dostarczane na życzenie klienta, co pozwoli na redukcję kosztów magazynowania i zwiększenie dostępności produktów. Ponadto zużyte części mogą być zeskanowane w trybie 3D i odtworzone, co zwiększy efektywność i elastyczność w zarządzaniu zasobami (Akkaya i Kaya, 2019; Radivojević i Milosavljević, 2019; Marchuk i in., 2020).

Bibliografia

1. Abeliansky, A. L., Martínez-Zarzoso, I., Prettnner, K. (2020). 3D printing, international trade, and FDI. *Economic Modelling*, Volume 85, s. 288–306, doi: <https://doi.org/10.1016/j.econmod.2019.10.014>.
2. Akkaya, M., Kaya, H. (2019, October). Innovative and smart technologies in logistics. In *17th International Logistics and supply chain congress*, s. 97–105).
3. Anumbe, N., Saidy, C., Harik, R. (2022). A Primer on the Factories of the Future. *Sensors*, 22(15), 5834 doi: <https://doi.org/10.3390/s22155834>.
4. Araújo, N., Pacheco, V., Costa, L. (2021). Smart additive manufacturing: the path to the digital value chain. *Technologies*, 9(4), 88, doi: <https://doi.org/10.3390/technologies9040088>.
5. Arbabian, M.E., Wagner, M.R. (2020). The impact of 3D printing on manufacturer – retailer supply chains. *European Journal of Operational Research*, 285(2), s. 538–552, doi: <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2020.01.063>.
6. Bayraktar, A.N. (2022). 3D printing and logistics. W İ. İyigün i Ö. F. Görçün (Red.), *Logistics 4.0 and Future of Supply Chains*, s. 63–82. Springer.
7. Behroodi, E., Latifi, H., Bagheri, Z., Ermis, E., Roshani, S., Salehi Moghaddam, M. (2020). A combined 3D printing/CNC micro-milling method to fabricate a large-scale microfluidic device with the small size 3D architectures: An application for tumor spheroid production. *Scientific Reports*, 10(1), 22171, doi: <https://doi.org/10.1038/s41598-020-79015-5>.
8. Berman, B. (2020). Managing the disruptive effects of 3D printing. *Rutgers Business Review*, 5(3), s. 294–309.

9. Besklubova, S., Tan, B.Q., Zhong, R.Y., Spicsek, N. (2023). Logistic cost analysis for 3D printing construction projects using a multi-stage network-based approach. *Automation in Construction*, Volume 151, 104863, doi: <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2023.104863>.
10. Bondyra, K., Zagierski, B. (2019). *Przemysł 4.0. Na jakim etapie przemysłowej rewolucji znajduje się województwo wielkopolskie?* Poznań: Wielkopolskie Regionalne Obserwatorium Terytorialne, Departament Polityki Regionalnej, Urząd Marszałkowski Województwa Wielkopolskiego.
11. Bozkurt, Y., Karayel, E. (2021). 3D printing technology; methods, biomedical applications, future opportunities and trends. *Journal of Materials Research and Technology*, Volume 14, 1430–1450, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2021.07.050>.
12. Budzik, G., Siemiński, P. (2015). *Techniki przyrostowe. Druk 3D. Drukarki 3D*. Warszawa: Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej.
13. Budzik, G., Woźniak, J., Przeszlowski, Ł. (2022). *Druk 3D jako element przemysłu przyszłości. Analiza rynku i tendencje rozwoju*. Rzeszów: Oficyna Wydawnicza Politechniki Rzeszowskiej.
14. Budzik, G., Woźniak, J., Paszkiewicz, A., Przeszlowski, Ł., Dziubek, T., Dębski, M. (2021). Methodology for the quality control process of additive manufacturing products made of polymer materials. *Materials*, 14(9), 2202, doi: <https://doi.org/10.3390/ma14092202>.
15. Chodak, G. (2024). The Development of Different Logistics Solutions in E-Commerce. W *The Future of E-commerce: Innovations and Developments* (s. 25–49). Cham: Springer Nature Switzerland.
16. Demir, E., Eysers, D., Huang, Y. (2021). Competing through the last mile: Strategic 3D printing in a city logistics context. *Computers & Operations Research*, Volume 131, 105248 doi: <https://doi.org/10.1016/j.cor.2021.105248>.
17. Dodziuk, H. (2024). Społeczne skutki druku 3D. Czyli jak druk 3D zmieni nasze życie. *Napędy i sterowanie*, 3, s. 60–70.
18. Dong, Z., Cui, H., Zhang, H., Wang, F., Zhan, X., Mayer, F., Nestler, B., Wegener, M., Levkin, P.A. (2021). 3D printing of inherently nanoporous polymers via polymerization-induced phase separation. *Nature communications*, 12(1), 247, doi: <https://doi.org/10.1038/s41467-020-20498-1>.
19. Dumanska, I., Vasylykivskiy, D., Zhurba, I., Matviiets, O., Goncharuk, A. (2021). Dronology and 3d printing as a catalyst for international trade in industry 4.0. *WSEAS Transactions on Environment and Development*, Volume 17, s. 740–757, doi: 10.37394/232015.2021.17.71
20. Dupont, I., Kasmir, F., Pearce, J.M., Ortt, R.J. (2021). “Do-It-Together”: Towards the Factories of the Future. W J. Ramos, M. Bauwens, S. Ede and J. Gien Wong (Red.), *Cosmo-Local Reader* (s. 52–59). Atlanta: Futures Lab.
21. Feldmann, C., Pumpe, A. (2017). A holistic decision framework for 3D printing investments in global supply chains. *Transportation research procedia*, Volume 25, s. 677–694, doi: <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2017.05.451>.
22. Fiał, C., Pieknik, M. (2020). Druk 3D jako technologia przyszłości – część 1. *Technologia i Jakość Wyrobów*, 65, s. 92–105.
23. Grabowska, S., Sieka, K. (2019). Inteligentne fabryki przemysłu 4.0. *Management & Quality*, 1(1), s. 52–60.

24. Jadhav, A., Jadhav, V.S. (2022). A review on 3D printing: An additive manufacturing technology. *Materials Today: Proceedings*, 62, 2094–2099, doi: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.02.558>.
25. Janssen, R., Blankers, I., Moolenburgh, E., Posthumus, B. (2014). TNO: The impact of 3-D printing on supply chain management. *The Hague, Netherlands: TNO*, 28, 24.
26. Kantaros, A., Diegel, O., Piromalis, D., Tsaramirsis, G., Khadidos, A.O., Khadidos, A.O., Khan, F.Q., Jan, S. (2022). 3D printing: Making an innovative technology widely accessible through makerspaces and outsourced services. *Materials Today: Proceedings*, 49, 2712–2723, doi: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.09.074>.
27. Kampa, A., Olender, M. (2020). 3d printing as new technology in perspective of industry 4.0. *International Journal of Modern Manufacturing Technologies*, 12(2), 70–79.
28. Kanyilmaz, A., Demir, A. G., Chierici, M., Berto, F., Gardner, L., Kandukuri, S.Y., Kassabian, P., Kinoshita, T., Laurenti, A., Paoletti, I., du Plessis, A., Razavi, N. (2022). Role of metal 3D printing to increase quality and resource-efficiency in the construction sector. *Additive Manufacturing, Volume 50*, 102541, doi: <https://doi.org/10.1016/j.addma.2021.102541>.
29. Khosravani, M.R. i Reinicke, T. (2020). On the environmental impacts of 3D printing technology. *Applied Materials Today, Volume 20*, 100689, doi: <https://doi.org/10.1016/j.apmt.2020.100689>.
30. Koren, Y. (2021). The local factory of the future for producing individualized products. *The Bridge*, 51(1), s. 20–26.
31. Marchuk, V.Y., Harmash, O.M. i Ovdiienko, O.V. (2020). World trends in warehousing logistics. *Intellect. Logist. Supply Chain. Manag*, 2, 32–50.
32. Mitka, K. (2022). Zastosowanie druku 3D przy produkcji maszyn elektrycznych z wykorzystaniem metody FDM. *Maszyny Elektryczne: zeszyty problemowe*, 3(1 (127)), s. 215–220.
33. Mostafaei, A., Elliott, A. M., Barnes, J.E., Li, F., Tan, W., Cramer, C.L., Nandwana, P., Chmielus, M. (2021). Binder jet 3D printing – Process parameters, materials, properties, modeling, and challenges. *Progress in Materials Science, Volume 119*, 100707, doi: <https://doi.org/10.1016/j.pmatsci.2020.100707>.
34. Osman, M., Cui, S., Tian, Z., El-Said, A.T. (2023). *From Theory to Practice: The Impact of 3D Printing on Supply Chain Configurations and Cost Efficiency – A Case Study from Germany*, Proceedings of the 4th Asia Pacific Conference on Industrial Engineering and Operations Management Ho Chi Minh City, Vietnam.
35. Nadagouda, M.N., Ginn, M., Rastogi, V. (2020). A review of 3D printing techniques for environmental applications. *Current opinion in chemical engineering, Volume 28*, s. 173–178, doi: <https://doi.org/10.1016/j.coche.2020.08.002>.
36. Pour, M.A., Zanardini M., Bacchetti, A., Zanoni, S. (2016). Additive manufacturing impacts on productions and logistics systems. *IFAC – PapersOnLine* 49(12), s. 1679–1684, doi: <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2016.07.822>.
37. Radivojević, G., Milosavljević, L. (2019, May). The concept of logistics 4.0 (s. 283–292). In *4th Logistics International Conference*, Belgrade, Serbia, 23–25 May 2019.

38. Ramón-Lumbierres, D., Heredia Cervera, F.J., Minguella-Canela, J., Muguruza-Blanco, A. (2021). Optimal postponement in supply chain network design under uncertainty: an application for additive manufacturing. *International Journal of Production Research*, 59(17), s. 5198–5215.
39. Rokicki, T., Ziolkowska, P. (2020). Integrated IT systems in logistics company management. *Zeszyty Naukowe Szkoły Głównej Gospodarstwa Wiejskiego w Warszawie. Ekonomika i Organizacja Logistyki*, 5 (1), s. 55–64, doi: 10.22630/EIOL.2020.5.1.5.
40. Sethuraman, N., Parlaktürk, A.K., Swaminathan, J.M. (2023). Personal fabrication as an operational strategy: Value of delegating production to customer using 3D printing. *Production and Operations Management*, 32(7), s. 2362–2375.
41. Shree, M.V., Dhinakaran, V., Rajkumar, V., Ram, P.B., Vijayakumar, M.D., Sathish, T. (2020). Effect of 3D printing on supply chain management. *Materials Today: Proceedings, Volume 21*, s. 958–963, doi: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2019.09.060>.
42. Szozda, N. (2018). Customizacja produktów we współczesnych łańcuchach dostaw-tendencje, strategie, przykłady aplikacji. *Zeszyty Naukowe. Organizacja i Zarządzanie/Politechnika Śląska*, 132, s. 537–550, doi: <http://dx.doi.org/10.29119/1641-3466.2018.132.39>.
43. Tatarczak, J., Krzyśiak, Z., Samociuk, W., Kaliniewicz, Z., Krzywonos, L. (2017). Przegląd nowoczesnych technologii druku 3D obiektów metalowych. *Mechanik*, 90(7), s. 612–614.
44. Trushkina, N., Dzwigol, H., Serhieieva, O., Yu, S. (2020). Development of the Logistics 4.0 Concept in the Digital Economy. *Экономический вестник Донбасса*, (4 (62), s. 85–96, doi: 10.12958/1817-3772-2020-4(62)-85-96.
45. Wang, S., Chen, X., Han, X., Hong, X., Li, X., Zhang, H., Li, M., Wang, Z., Zheng, A. (2023). A review of 3D printing technology in pharmaceuticals: technology and applications, now and future. *Pharmaceutics*, 15(2), 416, doi: <https://doi.org/10.3390/pharmaceutics15020416>.
46. Wesemann, C., Pieralli, S., Fretwurst, T., Nold, J., Nelson, K., Schmelzeisen, R., Hellwig, E., Spies, B.C. (2020). 3-D printed protective equipment during COVID-19 pandemic. *Materials*, 13(8), 1997 doi: <https://doi.org/10.3390/ma13081997>.
47. Velázquez, D.R.T., Simon, A.T., Helleno, A.L., Mastrapa, L.H. (2020). Implications of additive manufacturing on supply chain and logistics. *Independent Journal of Management & Production*, 11(4), 1279–1302, doi: 10.14807/ijmp.v11i4.1136.
48. Zhai, C., Wang, J., Tu, Y.P., Chang, G., Ren, X., Ding, C. (2023). Robust optimization of 3D printing process parameters considering process stability and production efficiency. *Additive Manufacturing, Volume 71*, 103588, doi: <https://doi.org/10.1016/j.addma.2023.103588>.
49. 3D Printing Trend Report 2023. Market insights and forecasts in additive manufacturing. PROTOLABS Manufacturing Accelerated.

The potential of printed sensors in intelligent packaging for food supply chain

Mariusz TICHONIUK

Poznań University of Economics and Business, Institute of Quality Science, Department of Industrial Products and Packaging Quality, Poznań, Poland, mariusz.tichoniuk@ue.poznan.pl, ORCID identifier: 0000-0002-2684-950X
Corresponding author: mariusz.tichoniuk@ue.poznan.pl; Tel.: +48-61-856-92-19

Keywords: intelligent packaging, printed sensors, sustainable food supply chain.

Summary: Food is a demanding commodity distributed in supply chains. Maintaining the required transport and storage conditions, and introducing complex packaging may harm the sustainable supply chain. Intelligent packaging provides the possibility of monitoring food quality, and packaging integrity and supports the ability to track and authenticate products, but sometimes there are significant difficulties in their implementation. The transition of intelligent packaging from the laboratory to the industrial scale often involves technological barriers. The implementation costs and the attitudes of supply chain participants are also key aspects determining the applicability of intelligent packaging. The article presents contemporary achievements in introducing printed sensors into packaging. The technology could provide the required properties of intelligent packaging while simplifying their implementation and supporting the integrity and sustainability of the food supply chain. The aim of this article is to present the possibilities of using intelligent packaging in food supply chains, taking into account the advantages and limitations of this type of packaging as well as the possibilities of developing sustainable supply chains. The problem with implementing smart packaging is often technical and cost constraints. The article devotes much attention to how sensor printing technologies can reduce or eliminate these constraints.

Introduction

Food is a demanding commodity in supply chains, requiring specific transportation and storage conditions, often provided by packaging and/or technological measures to ensure the desired chemical atmosphere, climatic and microbiological conditions (Chen et al., 2020). Preliminary packaging functions in the food supply chain focus on protecting products against adverse external threats that may reduce their quality and safety, avoiding undesirable product release but allowing the required availability and traceability (Tichoniuk, 2021; Latino et al., 2022). The food distribution chain requires exceptional attention and care for the condition of products and their environment due to their high susceptibility to spoilage, contamination, and ultimately waste (Göbel et al., 2015; Feng et al., 2020). Current global food losses amount to 1.3 billion tons per year, which

is worth about \$1 trillion and is also a huge waste of resources (Nami et al., 2024). This loss is largely due to excessive food distribution often associated with improper storage conditions and perishability of products as well as discarding edible food after its expiration date (Chan, 2022). Minimally processed and chemically unpreserved food is highly desired by consumers. The methods of food preservation used in this case (which have minimal or no effect on its composition), e.g. freezing, packaging in a modified atmosphere, or aseptic packaging, may be wasted due to the failure to maintain the required transport and storage conditions in the supply chain (Sohail et al., 2018). Changes to food for which the integrity of the packaging has been breached or the required storage temperature has been exceeded may remain unnoticeable for a long time, but they will significantly shorten food shelf life. Another example of passive food shelf life management, that can lead to food waste in the context of the overall supply chain, is the incorrect assignment of food “expiry” or “best-before” dates. Once estimated and communicated on the packaging, the shelf life does not reflect the actual condition of the packaged products and it may happen that products suitable for consumption are treated as waste (Albrecht, 2019; Müller and Schmid, 2019).

The above-mentioned food waste in the supply chain can be reduced by more closely monitoring the state of packed food and/or the conditions in which it is transported and stored (Tichoniuk and Wiszumirska, 2024). Ongoing evaluation of the condition of packaged food or the environment surrounding the product can be ensured by so-called intelligent packaging, which by its definition should provide such capabilities (Commission Regulation (EC) No 450/2009). Intelligent packaging utilizes smart components such as indicators and sensors that are implemented into conventional packaging to signalize food quality and packaging integrity by monitoring alterations in ambient conditions and in the space inside the packaging (Sohail et al., 2018; Mustafa and Andreescu, 2018; Yue, 2023). They can also support the ability to track and authenticate products using electronic tags and IoT tools (Fathi et al., 2020). Usually, intelligent packaging based on the colorimetric reaction that provides a vivid response (e.g. indicator color change) in the presence of volatile target analyte associated with the food spoilage or with a change in conditions inside the package or in its immediate surroundings (Osmólska et al., 2022). Various chemical, biochemical, and physicochemical indicators and sensors strive for a simplified system of recognition and translation of signals, which improves the compact size of the functional elements of intelligent packaging, allows for a faster response and greater sensitivity,

but can also cause erroneous readings and greater unreliability of the whole detection system (Barandun et al., 2022). Despite many different problems with the practical implementation of intelligent packaging, the number of scientific reports on this type of packaging has been growing significantly in recent years (Fig. 1).

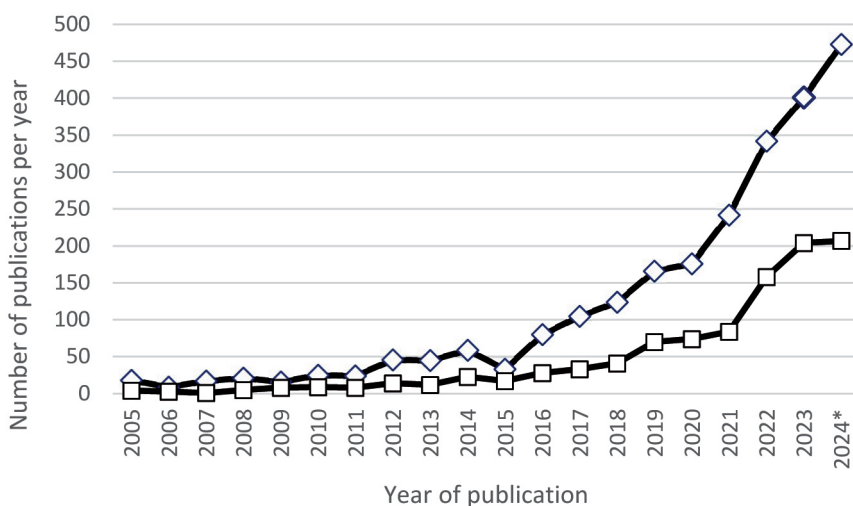


Fig. 1. Annual number of publications recorded in ScienceDirect database related to intelligent packaging – all publications (marked with \diamond) and research publications (marked with \square)

Source: own work.

The introduction of intelligent packaging into the food supply chain requires considering the costs of sensors/indicators implementation, reliably linking their indications with changes in the packed food, and ensuring the safety and convenience of their use (Shao et al., 2021). It is estimated that consumers are willing to bear the cost of introducing intelligent packaging if it does not result in a price increase of more than 10 percent for packaged products (Aday and Yener, 2015). Laboratory-developed indicators and small-batch-produced sensors have difficulty meeting this criterion, but the intensively developed new additive manufacturing methods and 3D printing technologies can significantly reduce the production costs of sensors, indicators, and tags necessary for the functioning of intelligent packaging (Tracey et al., 2022).

The development of flexible printed electronics and 3D printing technologies can significantly support the development of intelligent packaging (Yue et al., 2023). Integrated sensors that digitize physical

interactions are very promising tools to support data collection and transfer through the supply chain (Hassoun et al., 2023). Additionally, the analytical capabilities of printed sensors, their technological usefulness, and lower implementation costs in the supply chain should also be considered. The printing technologies provide repeatable sensor arrays with reliable measurement capabilities. Printed sensors can measure temperature, light, volatile compounds, and gas components' concentration. They can be produced on various substrates in large quantities (Howley, 2024a). Also worth noting is the possibility of using biocompatible and non-toxic materials in printed sensors, which is particularly important in the context of the food supply chain (Tracey et al., 2022). In relation to the number of publications describing intelligent food packaging (Fig. 1), the use of printed sensors and indicators has been increasing significantly over the last five years. Each year more than a dozen research articles presenting new achievements appear. The main purpose of this article is to present the possibilities of using printed sensors in the food supply chain as elements of intelligent packaging. The wide implementation of intelligent packaging requires reliable, low-cost and adaptable sensors for different types of packaged food and their distribution conditions. All these requirements can be met by printed sensors, which are intensively developed in combination with modern material technologies and the digitization of various sectors of the economy.

Intelligent packaging in the food supply chain

Intelligent packaging are designed to monitor in real time the quality of products in the food supply chains and the conditions of the processes carried out there (Osmólska et al., 2022). In this way, they can contribute to improving the communication function of conventional packaging focused both on internal and external characteristics present in the food supply chain environment (Sohail et al., 2018). Food quality control may rely on signaling the presence of volatile food spoilage products or compounds indicating the development of undesirable microflora. Time and temperature indicators often take over the role of food freshness indicators, since violation of the required temperature conditions is associated with a change in the condition of the packaged product. Direct response gas sensors or shock monitoring indicators allow monitoring of package integrity and mechanical stress. All of the above indicators and sensors can help reduce food waste in the supply chain and provide better control over its condition. The traceability and authenticity of products in the supply chain can also

be improved by including electronic tags and IoT markers (Alfian et al., 2020). The possible scope of data collected and signaled by intelligent packaging is presented in Figure 2.

The main part of intelligent packaging is external recognition and/or data transmission element for interaction with its surroundings or internal sensor or indicator for monitoring the condition of the packed product (Mustafa and Andreescu, 2018). There are many reviews available in the literature describing in detail the types of active packaging and the recognition elements that support them (Sohail et al., 2018; Müller and Schmid, 2019; Chen et al., 2020; Shao et al., 2021; Soro et al., 2021; Tichoniuk and Wiszumirska, 2024). The most popular solutions include indicators (time-temperature indicators (TTIs), microbial growth/contamination and food freshness indicators, and packaging integrity (gas) indicators); sensors (gas sensors, temperature sensors, biosensors); and data carriers (barcodes and QR-codes, NFC arrays, radio-frequency identification (RFID) systems, sensor-combined RFID tags) (Osmólska et al., 2022; Zuo et al., 2022).

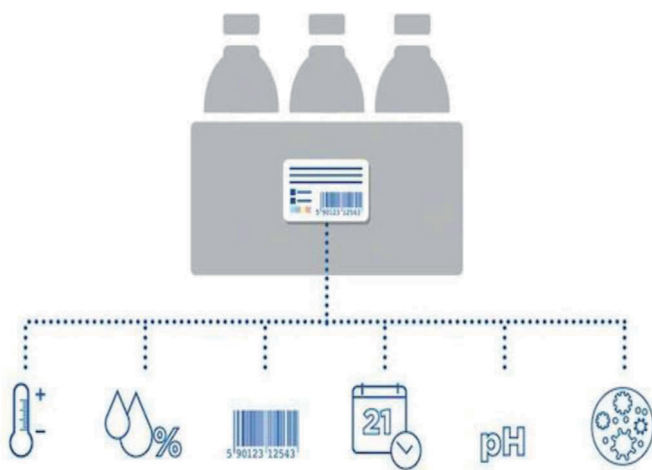


Fig. 2. Schematic illustration of the scope of possible support of intelligent packaging in transmitting current information in the food supply chain on temperature, humidity, traceability, freshness/shelf life, pH level, microbiological contamination, etc.

Source: Mecalux 2021.

Despite the relatively numerous studies and publications on intelligent food packaging, only a small group of such packaging and its components are available on the market. The application possibilities of the developed

intelligent packaging are limited primarily by the following groups of factors (Tracey et al., 2022; Hassoun et al., 2023):

1. Materials applied in the intelligent food packaging have to meet regulatory safety management.
2. No technological and cost barriers to introducing new packaging into mass production and use.
3. The indications provided by intelligent packaging should be reliable under foreseeable conditions.
4. Intelligent packaging or its components should enable use in a wider range of food products and conditions in the distribution chain.
5. Many of these factors can be addressed using printed sensors and indicators that are designed to detect specific components or record monitored physicochemical phenomena.

Sensor printing techniques

At the beginning of the 21st century, printing technologies used to produce sensors and indicators were burdened with high production costs of these analytical components and technological difficulties related to their implementation in small and reliable arrays. Technological progress and the need for mass digitization have contributed to the development and increased contemporary availability of printed sensors (Wang et al., 2022, Howley 2024b). It is estimated that in 2024 the market of printed sensors will be worth ca 421 million USD (Howley and Skyrme, 2024). The main part of sensing technologies based on printed piezoresistive sensors implemented in electronic devices but the applicability of the whole group is already visible in everyday life such as printed temperature, gas, or capacitance sensors for electronics supporting the supply chains for perishable and sensitive products, medical applications, automotive and consumer electronics (Costa et al., 2019; Zikulnig et al., 2023; Bas et al., 2024).

Conventionally performed sensors have reduced sensing areas generally due to their manufacturing process which restricts the expansion of the active surface of the detection array. Printed sensors can be applied for large-area detection arrays, which are often required for the mass digitalization of conditions present in supply chains. Large-area sensors could map surface interactions and provide more spatial information, which enhances the detail of the data in comparison with conventional point sensors (Howley and Skyrme, 2024). Not-printed sensors are implemented pointwise in most cases, which limits the possibility of mapping surface or spatial interactions. This is not a key limitation of

Table 1. Conventional sensor printing technologies

Printing technology	Contact / non-contact printing	Key advantages	Key limitations	Possible applications for intelligent packaging
Gravure printing	Contact printing technology	Provides precise and sharp-shaped sensing arrays and electronic circuits (also on thin films). Suitable for large-area printing and printing on thin films Its development includes offset and flexographic printing technologies	Requires ink of a specific viscosity and complex equipment (printing is profitable only in mass production) Needs plate making and has long preparation process Requires quite complex equipment and high water consumption	Successfully applied for printing flexible electronics, sensors, indicators, transistors and semiconductors
Inkjet Printing	Non-contact printing technology	Provides fast, high-resolution prints on a wide variety of surfaces One of the most advanced technologies – further developed into Ink Direct Writing technologies	Has very sophisticated nozzles (high start-up costs and expensive ink cartridge) To avoid nozzle clogging, it is important to control the viscosity of conductive inks	Applied for printing security and RFID tags, sensors, indicators and flexible electronics
Screen printing	Contact printing technology	Compatible with most conductive inks Ink scraper squeeze the ink across a screen designed with a pattern (the ink pass through to the substrate below) – very repeatable The print can be made on various surfaces and is reliable and durable Suitable for large-area printing	Requires long preparation (high quality of screen) and has slow printing processes Has a high start-up cost and is ineffective for small orders Needs plate making Requires quite complex equipment and high water consumption	Applied for printing flexible electronics, electrodes, integrated circuit, antennas, sensors and indicators

Source: own work on the basis of (Deng et al. 2022, Tracey et al., 2022; Wang et al., 2022; Yue et al., 2023).

Table 2. Additive manufacturing (3D printing) sensor technologies used to manufacture sensors

Printing technology	Short description	Key advantages	Key limitations	Possible applications for intelligent packaging
Stereo-lithography	3D printing with liquid polymer or monomer resin (mixed with a photoinitiator) that undergoes photo-polymerization or photo cross-linking stimulated by site-specific irradiation (usually by laser beam)	Time-efficient additive manufacturing process providing objects with complex geometry	High cost of equipment and materials	Possible printing of sensors, indicators and RFID tags
Extrusion-based 3D Printing	Layer-by-layer deposition of viscous printing material (gel, melt, slurry or paste) through a nozzle or a needle on the previous layer beneath	Compatible with wide variety of „inks“ which could be used even simultaneously (required several nozzles or pre-designed printheads) Applicable for highly detailed free-form designs with high resolution	Relatively low cost but time consuming	Possible printing of sensors, indicators and RFID tags

Source: own work on the basis of (Tracey et al., 2022; Zikulnig et al., 2023; Bas et al., 2024).

conventional sensors in the supply chain, but it reduces their versatility and multifunctionality. For example, printed photodetectors connected with OLED displays provide wide fields for multi-touch fingerprint authentication panels with a few million times greater security than single-finger methods.

Printing sensors are much more customizable and adaptable to end-use applications thanks to their variety of elastic, thermal, and biodegradable properties (Costa et al., 2019; Howley 2024b). They can be placed on flexible substrates, such as poly(ethylene terephthalate), polyurethane, or polyimide, which offers an adaptable sensing array that non-printed sensors struggle to replicate.

The most commonly used sensor printing technologies include those classified into the following groups: contact printing technologies – mainly gravure printing and screen printing, and non-contact inject printing technologies (Yue et al., 2023). Detailed descriptions of the technical aspects of the mentioned technologies can be found in review articles in the given field (Deng et al., 2022; Tracey et al., 2022 Wang et al., 2022; Yue et al., 2023). The key characteristics of the most common printing technologies are listed in the tables below.

The conventional technologies mentioned above (Table 1), despite their great popularity, have certain limitations, for example quite expensive printing devices and ink cartridges, the need to use additional auxiliary elements (e.g. gravure plates), long pre-printing preparation stages, relatively high printing costs of individual compounds for small orders, or high water consumption and generation lots of waste (Tan et al., 2016, Tracey et al., 2022). Among the intensively developed printing technologies (including sensor and electronic tag printing) are additive manufacturing technologies, also referred to as 3D printing technologies. 3D printing technologies are usually grouped into two categories related to the principle of their operation: stereolithography and extrusion-based 3D printing (Tracey et al., 2022). Table 2 briefly describes the operating principle of each technology, its advantages and limitations, and possibilities of use in intelligent packaging.

The application of printed sensors in intelligent food packaging is a developing trend but already offers promising prospects. Table 3 shows selected printed sensors that can be indicators of undesirable changes in the product environment (temperature, humidity, or packaging tightness indicators) or indicate significant changes in packaged products (microbiological contamination, indicators of spoilage products, or changes in the chemical composition and freshness of food). Many of them are still at the development/laboratory stages but they may soon successfully

Table 3. Examples of printed sensors applicable for the food intelligent packaging

Sensor type / intelligent packaging compound	Food product(s)	Printing technology	Limit of detection	References
Biogenic amines sensor / food freshness indicator	Beef, pork, chicken, fish	Inkjet printing	5 ppm	Ma et al., 2020
Vitamin C, nitrogen oxygen detection / food quality indicator	Different type of food	Inkjet printing	6 mmol/L (NO ₂) 6 mmol/L (ascorbic acid)	Deng et al., 2021
Humidity sensor / storage condition monitoring	Environment monitoring	Electrohydrodynamic ink-jet printing	-	Ahmad et al., 2021
pH sensor / food freshness indicator	Perishable food with volatile metabolic compounds	Screen printing	-	Taheri and Dean, 2022
H ₂ S sensor / food freshness indicator	Protein rich food products	Screen printing	-	Shboul and Izquierdo, 2021
Mycotoxin contamination sensor / Aflatoxin M ₁ detection	Milk	Screen printing	0.09 ng/mL	Tang et al., 2022
Microbial contamination sensor / <i>E. coli</i> detection	Milk	Screen printing	170 CFU/mL	Arreguin-Campos et al., 2023
Histamine detection / food freshness indicator	Mackerel (raw fish)	Screen printing	0.0035 mM	Munir et al., 2022
Humidity sensor / storage condition monitoring	Environment monitoring	Screen printing	-	Mahapatra et al., 2021
O ₂ sensor / packaging integrity indicator	Food packed in modified atmosphere	Screen printing	-	Wan et al., 2021
Microbial contamination sensor / <i>S. typhimurium</i> detection	Liquid products	Stereolithography	58 CFU/mL	Wang et al., 2019
CO ₂ sensor / food freshness & packaging integrity indicator	Different type of food	Stereolithography	Sensitivity – 35 p.m./%	Wu et al., 2018
O ₂ sensor / packaging integrity indicator	Food packed in modified atmosphere	Extrusion based 3D-printing	0.05% O ₂	Yusufu et al., 2020
Temperature sensitive RFID sensor / food freshness indicator	Frozen food, dairy products, eggs	Extrusion based 3D-printing	-	Shafiq et al., 2018

Source: own work.

replace the sensors and indicators necessary for creating intelligent food packaging.

The printed sensors listed in Table 3 that can be used in intelligent packaging include components obtained using conventional printing technologies and based on additive manufacturing (3D printing). The vast majority of the proposed sensors are manufactured using screen printing as a proven technology ensuring high accuracy and repeatability of analytical systems. Another advantage is the wide variety of components and substrates on which the screen printed sensor can be placed. In turn, the emerging applications of additive manufacturing technologies enable the development of more structurally advanced sensors at significantly reduced manufacturing costs, which may be of great importance in testing and prototyping new printed sensors.

Conclusions

Conventional packaging may, over time, fail to meet the growing expectations of the participants in the food supply chain. In addition to traditional protection and utility functions, significant information needs are emerging regarding the current condition and tracking of packaged products at every stage of the chain. Ongoing monitoring of food storage and transport conditions, its traceability, and signaling of disturbing changes in its properties can be ensured by intelligent packaging. Introducing these solutions into common practice requires providing cost-effective, technologically acceptable, and analytically reliable components. Despite the significant number of reports on the development of intelligent packaging, only a few components have the potential to be commercially available.

The popularization of intelligent packaging in the food supply chain may be related to the development of printed sensors, which demonstrate the possibility of adaptation in this type of packaging. Conventional printing techniques such as gravure printing, inkjet printing, and screen printing can provide reliably functioning and diverse components (sensors and indicators) which, at a sufficiently large scale of production, also have acceptable implementation costs. A further advance in the design of more sophisticated printed sensors for intelligent packaging is the widespread use of additive manufacturing i.e. 3D printing. Stereolithography and extrusion-based 3D printing can be particularly useful in designing and testing highly detailed sensor systems before their implementation for monitoring the food supply chain. Printed sensors fit into contemporary packaging development trends related to the development of new

packaging materials. They can be applied to various substrates and provide them with intelligent packaging properties. A similar trend is visible in the development of flexible printed sensors introduced in the automotive, medical, clothing and sports industries. Printed sensors can significantly reduce the cost and simplify the technologies for introducing digital solutions (including intelligent packaging) for monitoring the environment and supply chain elements, especially important in relation to food.

Bibliography

1. Aday, M.S., Yener, U. (2015). Assessing consumers' adoption of active and intelligent packaging. *British Food Journal*, 117 (1), 157–177, doi: 10.1108/BFJ-07-2013-0191.
2. Ahmad, S., Rahman, K., Shakeel, M., Qasuria, T.A.K., Cheema, T.A., Khan, A. (2021). A low-cost printed humidity sensor on cellulose substrate by EHD printing. *Journal of Materials Research*, 36 (18), pp. 3667–3678, doi: 10.1557/s43578-021-00324-0.
3. Albrecht, A., Ibal, R., Raab, V., Reichstein, W., Haarer, D., Kreyenschmidt, J. (2019). Implementation of time temperature indicators to improve temperature monitoring and support dynamic shelf life in meat supply chains. *Journal of Packaging Technology and Research*, 4, pp. 22–32, doi: 10.1007/s41783-019-00080-x.
4. Alfian, G., Syafrudin, M., Farooq, U., Ma'arif, M.R., Syaekhoni, M.A., Fitriyanib, N.L., Lee, J., Rhee, J. (2020). Improving efficiency of RFID-based traceability system for perishable food by utilizing IoT sensors and machine learning model. *Food Control*, 110, pp. 107016, doi: 10.1016/j.foodcont.2019.107016.
5. Al Shboul, A.M., Izquierdo, R. (2021). Printed chemiresistive In_2O_3 nanoparticle-based sensors with ppb detection of H_2S gas for food packaging, *ACS Applied Nano Materials*, 4, pp. 9508–9517, doi: 10.1021/acsnm.1c01970.
6. Arreguin-Campos, R., Frigoli, M., Caldara, M., Crapnell, R. D., Ferrari, A.G.M., Banks, C. E., Cleij, T.J., Dilien, H., Eersels, K., and van Grinsven, B. (2023). Functionalized screen-printed electrodes for the thermal detection of *Escherichia coli* in dairy products. *Food Chemistry*, 404, pp. 134653, doi: 10.1016/j.foodchem.2022.134653.
7. Barandun, G., Gonzalez-Macia, L., Lee, H.S., Dincer, C., Guder, F. (2022). Challenges and opportunities for printed electrical gas sensors. *ACS Sensors*, 7 (10), 2804–2822, doi: 10.1021/acssensors.2c01086.
8. Bas, J., Dutta, T., Garro, I.L., Velázquez-González, J.S., Dubey, R., Mishra, S.K. (2024). Embedded Sensors with 3D Printing Technology: Review. *Sensors* 24 (6), pp. 1955, doi: 10.3390/s24061955.
9. Chan, R.B.Y. (2022). A review of packaging-related studies in the context of household food waste: drivers, solutions and avenues for future research. *Packaging Technology and Science* 35 (1), pp 3–51, doi: 10.1002/pts.2611.
10. Chen, S. Brahma, S., Mackay, J., Cao, C., Aliakbarian, B. (2020). The role of smart packaging system in food supply chain. *Journal of Food Science*, 85 (3), pp. 517–525, doi: 10.1111/1750-3841.15046.

11. Commission Regulation (EC). No 450/2009 of 29 May 2009 on active and intelligent materials and articles intended to come into contact with food (L 135/3 30.5.2009). <http://data.europa.eu/eli/reg/2009/450/oj>.
12. Costa, J.C., Spina, F., Lugoda, P., Garcia-Garcia, L., Roggen, D., Münzenrieder, N. (2019). Flexible Sensors – From Materials to Applications. *Technologies*, 7 (2), pp. 35, doi: 10.3390/technologies7020035.
13. Deng, Y., Li, Q., Zhou, Y., Qian, J. (2021). Fully inkjet printing preparation of a carbon dots multichannel microfluidic paper-based sensor and its application in food additive detection. *ACS Applied Materials and Interfaces*, 13 (48), pp. 57084–57091, doi: 10.1021/acsami.1c14435.
14. Fathi, P., Karmakar, N.C., Bhattacharya, M., Bhattacharya, S. (2020). Potential chipless RFID sensors for food packaging applications: A review. *IEEE Sensors Journal*, 20 (17), 9618–9636, doi: 10.1109/jsen.2020.2991751.
15. Feng, H., Wang, X., Duan, Y., Zhang, J., Zhang, X. (2020). Applying blockchain technology to improve agri-food traceability: A review of development methods, benefits and challenges, *Journal of Cleaner Production*, 260, pp. 121031, doi: 10.1016/j.jclepro.2020.121031.
16. Göbel, C., Nina, L., Antonia, B., Petra, T., and Guido, R. (2015). Cutting food waste through cooperation along the food supply chain. *Sustainability*, 7 (2), pp. 1429–1445, doi: 10.3390/su7021429.
17. Hassoun, A., Boukid, F., Ozogul, F., Ait-Kaddour A., Soriano, J.M., Lorenzo, J.M., Perestrelo, R. Galanakis C.M., Bono, G., Bouyahya, A., Bhat, Z., Smaoui, S., Jambrak, A.R., Camara, J.S. (2023). Creating new opportunities for sustainable food packaging through dimensions of industry 4.0: New insights into the food waste perspective. *Trends in Food Science & Technology*, 142, pp. 104238, doi: 10.1016/j.tifs.2023.104238.
18. Howley, J. (2024a). How and Why Is the Printed and Flexible Sensor Market Evolving? IDTechEx Webinar. (access: 11.04.2024). <https://www.idtechex.com/en/research-article/webinar-how-and-why-is-the-printed-and-flexible-sensor-market-evolving/30712>.
19. Howley, J. (2024b). The Role of Printed Sensors in Mass-Digitization. IDTechEx (access: 11.04.2024). <https://www.idtechex.com/en/research-article/the-role-of-printed-sensors-in-mass-digitization/30845>.
20. Howley, J., Skyrme, T. (2024). Printed and Flexible Sensors 2024–2034: Technologies, Players, Markets. IDTechEx Report.
21. Latino, M.E., Menegoli, M., Lazoi, M., Corallo A. (2022). Voluntary traceability in food supply chain: a framework leading its implementation in Agriculture 4.0. *Technological Forecasting & Social Change*, 170, pp. 121564, doi: 10.1016/j.techfore.2022.121564.
22. Ma, Z., Chen, P., Cheng, W., Yan, K., Pan, L., Shi, Y., Yu, G. (2018). Highly sensitive, printable nanostructured conductive polymer wireless sensor for food spoilage detection, *Nano Letters* 18, 4570–4575, doi: 10.1021/acs.nanolett.8b01825.
23. Mahapatra, P.L., Das, S., Mondal, P.P., Das, T., Saha, D., Pal, M. (2021). Microporous copper chromite thick film based novel and ultrasensitive capacitive humidity sensor. *Journal of Alloys and Compounds*, 859, pp. 157778, doi: 10.1016/j.jallcom.2020.157778.

24. Mecalux (2021.10.06 – day of access). Opakowania inteligentne – nowe narzędzie do monitorowania stanu produktów. Available online: <https://www.mecalux.pl/blog/opakowania-inteligentne>.
25. Müller, P., Schmid, M. (2019). Intelligent Packaging in the Food Sector: A Brief Overview, *Foods*, 8 (16), 1–12, doi: 10.3390/foods8010016.
26. Munir, M.A., Badri, K.H., Heng, L.Y., Inayatullah, A., Nurinda, E., Estiningsih, D., Fatmawati, A., Aprilia, V., Syafitri, N. (2022). The application of polyurethane-LiClO₄ to modify screen-printed electrodes analyzing histamine in mackerel using a voltammetric approach. *ACS Omega*, 7 (7), pp. 5982–5991, doi: 10.1021/acsomega.1c06295.
27. Mustafa, F., Andreescu, S. (2018). Chemical and biological sensors for food-quality monitoring and smart packaging. *Foods*, 7(168), pp. 1–20, doi: 10.3390/foods7100168.
28. Nami, M. Taheri, M., Deen, I.A., Packirisamy, M., Deen, M.J. (2024). Nanomaterials in chemiresistive and potentiometric gas sensors for intelligent food packaging. *Trends in Analytical Chemistry*, 174, pp. 117664, doi: 10.1016/j.trac.2024.117664.
29. Osmólska, E., Stoma, M., Starek-Wójcicka, A. (2022). Application of Biosensors, Sensors, and Tags in Intelligent Packaging Used for Food Products – A Review. *Sensors*, 22, pp. 9956: 1-24, doi: <https://doi.org/10.3390/s22249956>.
30. Shao, P., Liu, L., Yu, J., Lin, Y., Gao, H., Chen, H., Sun, P. (2021). An overview of intelligent freshness indicator packaging for food quality and safety monitoring. *Trends in Food Science & Technology*, 118, pp. 285–296. doi: 10.1016/j.tifs.2021.10.012.
31. Sohail, M., Sun D.W., Zhu, Z. (2018). Recent developments in intelligent packaging for enhancing food quality and safety. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 58 (10), pp. 2650–2662, doi: 10.1080/10408398.2018.1449731.
32. Taheri, M., Deen, M.J. (2022). Green approach using RuO₂/GO nanocomposite for low cost and highly sensitive pH sensing, *Journal of the Electrochemical Society*, 169, pp. 047501, doi: 10.1149/1945-7111/ac5f1f.
33. Shafiq, Y., Gibson, J., Georgakopoulos, S.V., Kim, H., Ambulo, C.P., Ware, T.H. (2018). A novel passive RFID temperature sensor. In IEEE antennas and propagation society international symposium and USNC/URSI national radio science meeting, APSURSI 2018 – proceedings, pp. 1863–1864, doi: 10.1109/APUS-NCURSINRSM.2018.8609204.
34. Soro, A.B., Noore, S., Hannon, S., Whyte, P., Bolton, D.J., O'Donnell, C., Tiwari B.K. (2021). Current sustainable solutions for extending the shelf life of meat and marine products in the packaging process. *Food Packaging and Shelf Life* 29, pp. 100722, doi: 10.1016/j.fpsl.2021.100722.
35. Tan, H.W., Tran, T., Chua, C.K. (2016). A review of printed passive electronic components through fully additive manufacturing methods. *Virtual and Physical Prototyping*, 11 (4), pp. 271–288, doi: 10.1080/17452759.2016.1217586.
36. Tang, X., Catanante, G., Huang, X., Marty, J.L., Wang, H., Zhang, Q., Li, P. (2022). Screen-printed electrochemical immunosensor based on a novel nanobody for analyzing aflatoxin M1 in milk. *Food Chemistry*, 383, pp. 132598, doi: 10.1016/j.foodchem.2022.132598.

37. Tichoniuk M. (2021). The potential of smart packaging in supply chain risk management, *Polish Journal of Commodity Science*, 2 (67), pp. 65–74.
38. Tichoniuk, M., Wiszumirska, K. (2024). Packaging supporting food sustainability, In K. Pawlak-Lemańska, B. Borusiak and E. Sikorska (Eds.), *Sustainable Food: Production and consumption perspectives*, pp. 54-70, Poznań University of Economics and Business Press. <https://doi.org/10.18559/978-83-8211-209-2/4>.
39. Tracey, C.T., Predeina, A.L., Krivoschapkina E.F., Kumacheva E. (2022). A 3D printing approach to intelligent food packaging, *Trends in Food Science & Technology*, 127, pp. 87–98, doi: 10.1016/j.tifs.2022.05.003.
40. Wan, H., Liu, X., Wang, X., Chen, Y., Wang, P. (2021). Facile screen-printed carbon nanotube electrode on porous substrate with gold nanoparticle modification for rapid electrochemical gas sensing. *Journal of the Electrochemical Society*, 168 (6), pp. 067514, doi: 10.1149/1945-7111/ac064e.
41. Wang, S., Zheng, L., Cai, G., Liu, N., Liao, M., Li, Y., Zhang, X., Lin, J. (2019). A microfluidic biosensor for online and sensitive detection of *Salmonella typhimurium* using fluorescence labeling and smartphone video processing. *Biosensors and Bioelectronics*, 140 (March), pp. 111333, doi: 10.1016/j.bios.2019.111333.
42. Wang, X., Zhang, M., Zhang, L., Xu, J., Xiao, X., Zhang, X. (2022). Inkjet-printed flexible sensors: From function materials, manufacture process, and applications perspective. *Materials Today Communications*, 31, pp. 103263, doi: 10.1016/j.mtcomm.2022.103263.
43. Wu, J., Yin, M.J., Seefeldt, K., Dani, A., Guterman, R., Yuan, J., Zhang, A.P., Tam, H.Y. (2018). In situ M-printed optical fiber-tip CO₂ sensor using a photocrosslinkable poly(ionic liquid). *Sensors and Actuators, B: Chemical*, 259, pp. 833–839, doi: 10.1016/j.snb.2017.12.125.
44. Yue, C., Wang, J., Wang, Z., Kong, B., Wang, G. (2023). Flexible printed electronics and their applications in food quality monitoring and intelligent food packaging: Recent advances. *Food Control* 154, pp. 109983, doi: 10.1016/j.foodcont.2023.109983.
45. Yusufu, D., Han, R., Mills, A. (2020). 3D printed O₂ indicators. *Analyst*, 145 (12), pp. 4124–4129, doi: 10.1039/d0an00809e.
46. Zikulnig, J., Chang, S., Bito, J., Rauter L., Roshanghias, A., Carrara, S., Kosel, J. (2023). Printed Electronics Technologies for Additive Manufacturing of Hybrid Electronic Sensor Systems. *Advanced Sensor Research*, 2 (7), pp. 2200073:1-39, doi: 10.1002/adsr.202200073.
47. Zuo, J., Feng J., Gameiro, M.G., Tian, Y., Liang, J., Wang, Y., Ding J., He, Q. (2024). RFID-based sensing in smart packaging for food applications: A review. *Future Foods*, 6, pp. 100198, doi: 10.1016/j.fufo.2022.100198.

Zrównoważony rozwój w naukach o jakości

Wspólna polityka rolna Unii Europejskiej i narzędzia jej realizacji a zrównoważony rozwój w gospodarstwie rolnym

The common agricultural policy of the european union and its implementation tools vs. sustainable development on agricultural farm

Joanna PTASIŃSKA-MARCINKIEWICZ

Uniwersytet Ekonomiczny w Krakowie, Kraków; ptasinsj@uek.krakow.pl; identyfikator ORCID: 0000-0003-4211-8085

Korespondencja: ptasinsj@uek.krakow.pl; Tel.: +48 12 2937 811

Słowa kluczowe: zrównoważony rozwój, rolnictwo, WPR, ekoschematy.

Streszczenie: Koncepcja zrównoważonego rozwoju zakłada trwałą poprawę jakości życia współczesnych i przyszłych pokoleń przez równoczesną i harmonijną realizację celów produkcyjnych, ekonomicznych, ekologicznych i społecznych. Innymi słowy trzy kapitały – ekonomiczny, ludzki i przyrodniczy – muszą być w równowadze. W ostatnich latach zrównoważony rozwój zyskał ogromne znaczenie w szczególności w perspektywie realizacji ambitnych celów przedstawionych w Europejskim Zielonym Ładzie. Rozwój zrównoważony dotyczy różnych obszarów działalności człowieka. Szczególne znaczenie ma jednak w odniesieniu do rolnictwa silnie związanego ze środowiskiem naturalnym. Rolnictwo wykorzystuje zasoby przyrodnicze i jednocześnie ma możliwość ich kształtowania, zatem pełni kluczową funkcję w zarządzaniu zasobami przyrody. W artykule przedstawiono założenia i narzędzia realizacji Wspólnej Polityki Rolnej UE w kontekście możliwości wdrożenia zrównoważonego rozwoju w gospodarstwie rolnym.

Keywords: sustainable development, agriculture, Common Agricultural Policy, eco-schemes.

Abstract: The concept of sustainable development assumes permanent improvement of the quality of life of contemporary and future generations through the simultaneous and harmonious implementation of production, economic, ecological and social goals. In other words, three capitals – economic, human and natural – must be in balance. In recent years, sustainable development has gained enormous importance, especially in the perspective of achieving the ambitious goals presented in the European Green Deal. Sustainable development applies to various areas of human activity. However, it is of particular importance in relation to agriculture, which is strongly related to the natural environment. Agriculture uses natural resources and at the same time has the opportunity to shape them, therefore it plays a key role in the management of natural resources. The article presents the assumptions and tools for implementing the EU Common Agricultural Policy in the context of the possibility of implementing the principles of sustainable development on a farm.

Wprowadzanie

Koncepcja zrównoważonego rozwoju nie jest nową koncepcją. Znana jest bowiem od co najmniej 60 lat. Jednak w ostatnich latach zrównoważony rozwój zyskał ogromne znaczenie w szczególności w perspektywie realizacji ambitnych celów środowiskowych przedstawionych w Europejskim Zielonym Ładzie.

Istnieje bardzo wiele definicji zrównoważonego rozwoju, w związku z tym, że dotyczyć on może wielu obszarów ludzkiej działalności. Najbardziej ogólna i znana definiuje zrównoważony rozwój jako „rozwój, w którym potrzeby obecnego pokolenia mogą być zaspokojone bez umniejszania szans przyszłych pokoleń na ich zaspokojenie” (ONZ, 2024.04.15). Podobnie brzmi definicja przedstawiona w encyklopedii PWN: „Rozwój społeczno-ekonomiczny współczesnych społeczeństw, polegający na zaspokajaniu ich potrzeb w taki sposób, aby nie zmniejszać możliwości zaspokajania potrzeb przyszłym pokoleniom” (*Encyklopedia PWN*, 2024.04.15). W Polsce zasadzie zrównoważonego rozwoju nadano rangę prawa podstawowego, gdyż art. 5 Konstytucji RP brzmi: „Rzeczpospolita Polska strzeże niepodległości i nienaruszalności swojego terytorium, zapewnia wolności i prawa człowieka i obywatela oraz bezpieczeństwo obywateli, strzeże dziedzictwa narodowego oraz zapewnia ochronę środowiska, kierując się zasadą zrównoważonego rozwoju” (Konstytucja RP, 1997).

Istotnym założeniem zrównoważonego rozwoju jest konieczność uwzględnienia w równym zakresie trzech podstawowych komponentów: środowiska, gospodarki i społeczeństwa. W ostatnich latach uwaga skoncentrowana jest jednak głównie na kwestiach środowiskowych, co widoczne jest m.in. w polityce Unii Europejskiej i przyjmowanych przez nią strategiach. Celem artykułu jest przedstawienie założeń Wspólnej Polityki Rolnej Unii Europejskiej, narzędzi jej realizacji, które powinny ułatwiać realizację zrównoważonego rozwoju w obrębie gospodarstwa rolnego, a także zwrócenie uwagi na pojawiające się w tym zakresie problemy.

Zrównoważone rolnictwo i Wspólna Polityka Rolna Unii Europejskiej

Zrównoważony rozwój ma szczególne znaczenie w przypadku rolnictwa. Jest ono bowiem silnie związane ze środowiskiem naturalnym i w dużym stopniu zależy od niego (Adamowicz, 2000 za Żmija, 2017). Rolnicy pełnią kluczową funkcję we właściwym zarządzaniu zasobami przyrody, ponieważ w swojej działalności wykorzystują te zasoby i jednocześnie wpływają na nie. Wpływ ten może mieć zarówno negatywny, jak

i pozytywny charakter (bioróżnorodność, dobrostan środowiska) (Adamowicz, 2021). Należy jednak pamiętać, że istotą zrównoważonego rolnictwa jest nie tylko realizacja działań proekologicznych, ale równoczesna i harmonijna realizacja celów produkcyjnych, społecznych i środowiskowych. Należy zatem równocześnie dążyć do poprawy warunków życia ludności na wsi, w tym stwarzania wyrównanych szans w zakresie edukacji, zatrudnienia, kultury, a także dbać o zachowanie dziedzictwa kulturowego wsi.

Szukanie kompromisów między celami gospodarczymi, środowiskowymi i społecznymi nie jest prostym zadaniem i wymaga interdyscyplinarnego podejścia oraz szerokich konsultacji społecznych. Rozwiązanie, które początkowo wydaje się być zadowalające, może w dłuższej perspektywie doprowadzić do negatywnych skutków w którymś z 3 obszarów.

Tabela 1. WPR UE w ujęciu historycznym

Rok i przyjęta nazwa reformy WPR	Podstawowe założenia
1992 reforma MacSharry'ego	Wprowadzenie tzw. instrumentów towarzyszących, zachęcających rolników do stosowania metod produkcji przyjaznych dla środowiska.
1997 Agenda 2000	Wprowadzenie możliwości uzyskania rekompensat z tytułu utraconych dochodów lub dodatkowych kosztów związanych z podejmowaniem określonych działań na rzecz środowiska przyrodniczego, m.in. zmierzających do poprawy dobrostanu zwierząt oraz zachowania ekosystemów.
2003 reforma Fischlera (luksembuska)	Wprowadzenie zasad wzajemnej zgodności – wsparcie finansowe uzależnione od realizacji działań na rzecz ochrony środowiska, zdrowia ludzi, zwierząt i roślin (cross-compliance).
2013 (2015)	Promowanie zrównoważonego rolnictwa i innowacji – wprowadzenie m.in. mechanizmu zazieleniania, wymogu dywersyfikacji upraw, utrzymania stref ekologicznych w ramach gospodarstwa oraz utrzymania trwałych użytków zielonych.
2019 Europejski i Zielony Ład	Zerowy poziom emisji gazów cieplarnianych do roku 2050 i optymalne wykorzystanie zasobów naturalnych; zrównoważony rozwój, w tym zrównoważone rolnictwo; ekologizacja WPR uwzględniająca strategię „od pola do stołu” i strategię na rzecz różnorodności biologicznej, w ich ramach ograniczenie stosowania antybiotyków, pestycydów i nawozów oraz zwiększenie powierzchni upraw ekologicznych.

Źródło: opracowanie własne na podstawie: Adamowicz, 2021; Wrzaszcz i Prandecki, 2020.

Wydaje się, że w ostatnich latach element środowiskowy staje się dominujący i często błędnie zrównoważony rozwój utożsamiany jest z ochroną środowiska. Uwagę koncentruje się głównie na promowaniu działań prośrodowiskowych, co widoczne jest w polityce rolnej Unii Europejskiej. Prowadzona od ponad 20 lat polityka w zakresie rolnictwa w celu ograniczenia intensyfikacji produkcji skierowała główne strumienie dotacji finansowych na działania niezwiązane bezpośrednio z produkcją. Od tamtego czasu nowe sukcesywnie wprowadzane zasady koncentrują się na promowaniu bezpiecznych dla środowiska i klimatu praktyk agrotechnicznych i hodowlanych (Wrzaszcz i Prandecki, 2020). W tabeli 1 przedstawiono podstawowe założenia kolejnych reform wspólnej polityki rolnej UE.

Wspólna polityka rolna (WPR) zorganizowana jest w postaci tzw. filarów. I filar obejmuje działania obowiązkowe do spełnienia przez każdego rolnika, określane jako wzmocniona warunkowość oraz działania dobrowolne w ramach tzw. ekoschematów. II filar to dobrowolne działania środowiskowo-klimatyczne (Adamowicz, 2021).

I filar – wzmocniona warunkowość

System wzmocnionej warunkowości obejmuje normy dobrej kultury rolnej zgodnej z ochroną środowiska – GAEC (Good Agricultural and Environmental Condition of Land) oraz wymogi podstawowe dotyczące zarządzania – SMR (Statutory Management Requirements). W obecnej perspektywie finansowej warunkowość to wcześniej istniejące wymogi zazielenienia i zasady wzajemnej zgodności oraz nowe wymogi z norm GAEC, stąd wzmocniona warunkowość. Nowe wymogi dotyczą obowiązkowego stosowania zmianowania i dywersyfikacji roślin (odpowiedni płodozmian), zapewniania okrywy roślinnej gleb w okresie zimowym, zrównoważonego gospodarowania składnikami odżywczymi, ochrony terenów podmokłych i torfowisk oraz minimalnego udziału powierzchni gruntów ornych, na których znajdują się istotne dla krajobrazu elementy i obszary nieprodukcyjne (ugorowanie), a także zakazu przycinania drzew i żywo-
płotów w okresie lęgowym ptaków (Warunkowość..., 2023).

I filar – ekoschematy

Drugim prośrodowiskowym instrumentem w ramach 1 filaru WPR są tzw. ekoschematy, pierwotnie zwane ekoprogramami. Są one obowiązkowe do wdrożenia dla każdego państwa członkowskiego. Jednak dokładny sposób ich realizacji powinien być dostosowany do warunków i potrzeb danego kraju. Ostatecznie przygotowane przez każde państwo członkowskie propozycje realizacji (strategie) są poddane ocenie przez Komisję

Europejską. Oceniana jest przede wszystkim realizacja celów środowiskowych i klimatycznych nowej WPR – ochrona zasobów gleby, wód, klimatu, dobrostanu zwierząt, różnorodności biologicznej w produkcji rolnej (Ekoschematy, 2024.03.30; Wrzaszcz i Prandecki, 2020).

Ekoschematy to roczne, dobrowolne dla rolnika, płatne praktyki rolnicze. Wymogi w ramach ekoschematów zostały tak opracowane, aby poprzez możliwość podniesienia rolniczych dochodów czy też rekompensatę za część lub całość poniesionych dodatkowych kosztów i utraconych dochodów, zachęcać do podejmowania działań mających na celu zwiększenie żyzności gleby, racjonalne nawożenie, poprawę jakości plonów (Ekoschematy, 2024.03.30, Wrzaszcz i Prandecki, 2020).

W Polsce proponowane w unijnych dokumentach 15 praktyk rolniczych na rzecz klimatu i środowiska w Planie Strategicznym dla WPR na lata 2023–2027 zgrupowano w 5 ekoschematów obszarowych oraz 1 ekoschemat na rzecz poprawy dobrostanu zwierząt (Plan strategiczny, 2024.03.25).

Do ekoschematów obszarowych należą (Laskowski, 2023):

1. Rolnictwo węglowe i zarządzanie składnikami odżywczymi, w ramach którego funkcjonuje osiem możliwych do realizacji praktyk rolniczych:
 - zróżnicowana struktura upraw,
 - uproszczone systemy uprawy,
 - międzyplony ozime lub wsiewki śródplonowe,
 - ekstensywne użytkowanie trwałych użytków zielonych (TUZ) z obsadą zwierząt,
 - opracowanie i przestrzeganie planu nawożenia, wariant podstawowy i wariant z wapnowaniem,
 - wymieszanie obornika na gruntach ornych w terminie 12 godzin od jego aplikacji,
 - stosowanie nawozów naturalnych płynnych innymi metodami niż rozbryzgowo,
 - wymieszanie słomy z glebą.
2. Obszary z roślinami miododajnymi.
3. Integrowana Produkcja Roślin.
4. Biologiczna ochrona upraw.
5. Retencjonowanie wody na trwałych użytkach zielonych.

Zróżnicowana struktura upraw

Rozwój wysokouprzemysłowionych dużych gospodarstw z produkcją roślinną na wielohektarowych działkach doprowadził do istnienia monokultur na gruntach ornych. Skutkiem jest m.in. znaczne wyjałowienie

gleb, ograniczenie bioróżnorodności czy zmniejszenie pojemności wodnej gleb. Aby temu zapobiec, promowana jest zróżnicowana struktura upraw, w której co najmniej 20% gruntów ornych stanowią uprawy gatunków roślin, mających pozytywny wpływ na bilans glebowej materii organicznej, oraz zboża nie stanowią więcej niż 65% zasiewów, a rośliny o ujemnym wpływie na bilans materii organicznej nie stanowią więcej niż 30% upraw. Do roślin, które wzbogacają materię organiczną, zalicza się np. koniczynę, lucernę, rutwicę, poziomki i truskawki, sparcetę i inne rośliny bobowate (Ekoschematy..., 2023; Laskowski, 2023; Wrzaszcz i Prandecki, 2020).

Uproszczone systemy uprawy

Uproszczone systemy uprawy polegają na stosowaniu takich zabiegów agrotechnicznych, które pozwolą uniknąć orki. Zabiegi te, jak np. uprawa bezpłużna, wykorzystująca grubery, kultywatory, spulchniacze, brony talerzowe czy różne maszyny aktywne, oraz uprawa pasowa, która polega na spulchnieniu pasa gleby wzdłuż rzędów rośliny uprawnej, wspierają procesy biologiczne w glebie, pozwalają zachować jej naturalną strukturę i porowatość, przeciwdziałają erozji i przesuszeniu gleb. Spowolnione zostają procesy rozkładu materii organicznej oraz parowanie wody, zmniejsza się także ilość wydzielanego do atmosfery CO_2 i N_2O . Ponadto ograniczenie stosowanych zabiegów agrotechnicznych wymaganych do przeprowadzenia w uproszczonych systemach upraw znacząco ogranicza emisję spalin z ciągników rolniczych (Ekoschematy..., 2023; Plan strategiczny, 2024.03.25).

Międzyplony ozime lub wsiewki śródplonowe

Głównym celem obu praktyk jest ochrona gleby i poprawa jej jakości oraz przyczynianie się do większego pochłaniania CO_2 poprzez wiązanie go w materii organicznej. Dzięki wsiewkom śródplonowym możliwe jest uzyskanie dodatkowej biomasy i utrzymanie okrywy roślinnej, co znacząco ogranicza erozję, przeciwdziała przesuszeniu gleby oraz wzbogaca ją w substancję organiczną i składniki pokarmowe. Podobnie międzyplony ozime pozwalają zwiększyć ilość materii organicznej w glebie i ograniczają jej erozję poprzez pokrycie gleby roślinnością w okresach, w których gleby są najbardziej narażone na erozję – od późnej jesieni do wczesnej wiosny. Ponadto dzięki międzyplonom można zmniejszyć ilość azotanów wymywanych z gleby do wód gruntowych (jest on wiązany przez rośliny stanowiące międzyplon) i zwiększyć aktywność biologiczną gleby (Ekoschematy..., 2023; Plan strategiczny, 2024.03.25). Istotnym wymogiem przy stosowaniu przez rolników tych praktyk jest równoczesny zakaz

stosowania środków ochrony roślin przez okres utrzymania wsiewek, co także istotnie poprawia jakość gleby i chroni środowisko wodne (Laskowski 2023).

Ekstensywne użytkowanie trwałych użytków zielonych (TUZ) z obsadą zwierząt

Celem ekstensywnego użytkowania TUZ z obsadą zwierząt jest z jednej strony promowanie optymalnego zagęszczenia zwierząt i w ten sposób unikanie nadmiernego nasycenia azotem i ryzyka degradacji węgla w glebie. Z drugiej strony praktyka ta ma zachęcać do utrzymywania zwierząt trawożernych w gospodarstwach posiadających łąki i pastwiska lub jeśli je posiadają, ma zapobiegać utrzymywaniu zwierząt wyłącznie w systemie alkierzowym. Ekstensywny wypas zwierząt trawożernych jest bowiem naturalną, najtańszą i jednocześnie najskuteczniejszą formą ochrony bioróżnorodności biologicznej i przyrodniczej użytków zielonych (Ekoschematy..., 2023). Ponadto w szerszej perspektywie ekstensywne użytkowanie TUZ z obsadą zwierząt ma zapobiegać zanikowi ekosystemów rolniczych oraz przyczynić się do utrzymania potencjału produkcyjnego rolnictwa, a także aktywności gospodarczej na obszarach wiejskich (Wrzaszcz i Prandecki, 2020).

Opracowanie i przestrzeganie planu nawożenia, wariant podstawowy i wariant z wapnowaniem

Współcześnie rolnicy, zwłaszcza w dużych uprzemysłowionych gospodarstwach, dla osiągnięcia odpowiednich plonów stosują głównie nawozy sztuczne. Mimo wysokich kosztów jest to najwygodniejszy sposób dostarczania składników pokarmowych, łatwo jednak o zbyt intensywne nawożenie. Opracowanie i posiadanie planu nawożenia ma na celu właściwe, racjonalne nawożenie gleby uwzględniające stan gleby i potrzeby uprawianych roślin. Terminy oraz dawki stosowanych nawozów uzależnione są od wyników przeprowadzonych analiz fizykochemicznych gleby i zapotrzebowania poszczególnych upraw (Rozporządzenie z 31 marca 2023 r.). Ograniczone zostanie w ten sposób nadmierne nawożenie, w szczególności nawozami azotowymi, którego skutkiem jest zanieczyszczanie wód oraz emisja tlenków azotu do atmosfery. Problemem jest obecnie także zbyt duże zakwaszenie gleb, co pogarsza ich strukturę, zdolność zatrzymywania wody, obniża efektywność wykorzystania azotu i fosforu w uprawach oraz obniża jakość wód podziemnych. Dlatego raz na cztery lata rolnicy mogą otrzymać wsparcie finansowe na zakup wapna i przeprowadzenie zabiegu wapnowania (Ekoschematy..., 2023, Wrzaszcz i Prandecki, 2020). Odpowiednie nawożenie poprzez dostarczanie

niezbędnych składników pokarmowych uprawianym roślinom nie tylko przyczyniają się do poprawy jakości środowiska, ale przede wszystkim jest warunkiem uzyskania wysokich i dobrych jakościowo plonów (Ekoschematy..., 2023).

Wymieszanie obornika z glebą na gruntach ornych w terminie 12 godzin od jego aplikacji

Stosowanie nawozów naturalnych, takich jak obornik czy pomiot ptasi, to najlepszy i znany od wieków sposób na wzbogacanie gleby w niezbędne składniki. Przyczynia się także do lepszego zatrzymywania CO₂ w glebie. Obecnie zastosowanie jako nawozy naturalne mogą mieć także produkty pofermentacyjne przeznaczone do rolniczego wykorzystania. Niekorzystnym w przypadku takiego naturalnego sposobu nawożenia może być jednak emisja amoniaku i podtlenku azotu do atmosfery. Obniża to wartość nawozu i zanieczyszcza powietrze. Ponieważ największa emisja obserwowana jest bezpośrednio po aplikacji nawozu na glebę w celu jej ograniczenia, należy jak najszybciej przeorać nawóz (Ekoschematy..., 2023; Plan strategiczny, 2024.03.25). Dodatkowo praktyka ta promuje zrównoważoną produkcję w obrębie gospodarstwa – produkcję roślinno-zwierzęcą.

Stosowanie nawozów naturalnych płynnych innymi metodami niż rozbryzgowo

Podobnie jak poprzednia, praktyka ta ma minimalizować straty amoniaku powstające na skutek kontaktu nawozu z powietrzem i ograniczać w ten sposób emisję amoniaku i podtlenku azotu do atmosfery. Preferowane są zatem metody aplikacyjne pozwalające na wprowadzanie płynnego nawozu prosto do gleby, np. z wykorzystaniem urządzeń wyposażonych w redlice tarczowe lub płozowe (Ekoschematy..., 2023; Plan strategiczny, 2024.03.25).

Wymieszanie słomy z glebą

Duża zawartość próchnicy w glebie jest bardzo pozytywnym zjawiskiem ze względu na zapewnienie jej odpowiedniej żyzności, jak również sprzyjanie różnorodności biologicznej oraz spowalnianie procesów erozyjnych. Jednym z łatwiejszych sposobów zwiększania substancji organicznej w glebie jest zaoranie rozdrobnionej poźniwnej słomy, która jest bogatym źródłem azotu, potasu, fosforu, magnezu i wapnia oraz innych niezbędnych dla roślin mikroelementów (Fiedoruk, 2009).

Obszary z roślinami miododajnymi

Uprawy roślin miododajnych na gruntach ornych są kolejnym ekoschematem, którego głównym celem jest ochrona i wzmocnienie różnorodności biologicznej. Lista roślin miododajnych jest stosunkowo długa, a znajdujące się na niej gatunki ze względu na wymogi tej praktyki zapewniają długotrwałe, różnorodne i bezpieczne żerowiska dla pszczoł i dzikich owadów zapylających (Ekoschematy..., 2023). Rolnicy nie mogą bowiem na tych gruntach w okresie do 31 sierpnia prowadzić produkcji rolnej w postaci wypasu i koszenia oraz nie mogą stosować nawozów i środków ochrony roślin (Laskowski, 2023; Rozporządzenie z 31 marca 2023 r.).

Integrowana produkcja roślinna (IPR)

Od czerwca 2007 roku decyzją Ministra Rolnictwa i Rozwoju Wsi Integrowana Produkcja jest krajowym systemem jakości żywności. Urzędem sprawującym nadzór nad systemem jest Państwowa Inspekcja Ochrony Roślin i Nasiennictwa. Na stronie urzędu widnieje wykaz uprawnionych jednostek certyfikujących. Zamiar stosowania integrowanej produkcji roślin producent rolny zgłasza corocznie do wybranej z listy jednostki certyfikującej, nie później niż 30 dni przed siewem albo sadzeniem roślin lub do 1 marca. Wcześniej jednak producent ten musi ukończyć specjalne szkolenie dotyczące zasad produkcji zgodnie z IPR (Integrowana..., 2024.04.16; Zasady IP, 2024.04.16).

Głównym celem IPR jest ochrona środowiska i zdrowia ludzi poprzez ograniczenie nawożenia i stosowania środków ochrony roślin oraz dostarczanie konsumentom wysokiej jakości produktów. System ten uwzględnia cele ekologiczne, takie jak ochronę krajobrazu rolniczego oraz różnorodności biologicznej. Podstawą systemu są: poprawny płodozmian i zabiegi agrotechniczne, racjonalne nawożenie oparte na rzeczywistym zapotrzebowaniu roślin (konieczność wykonania analizy gleby) oraz stosowanie w uzasadnionych sytuacjach środków ochrony roślin jak najmniej zagrażających zdrowiu ludzi i zwierząt oraz środowisku naturalnemu. Wszystkie szczegółowe wymagania i wskazówki na temat planowania i zakładania uprawy, racjonalnego nawożenia, doboru odmian, nawadniania, pielęgnacji i ochrony przed chorobami, szkodnikami, przechowywania oraz zasad stosowania środków ochrony roślin zawarte są w tzw. metodykach opracowywanych indywidualnie dla poszczególnych roślin uprawnych lub ich grup. Uzyskane produkty rolne poddawane są ścisłej kontroli pod kątem pozostałości środków ochrony roślin, metali ciężkich,

azotanów i innych pierwiastków oraz substancji niebezpiecznych dla zdrowia (Integrowana..., 2024.04.16; Plan strategiczny, 2024.03.25; Zasady IP, 2024.04.16).

Biologiczna ochrona upraw

Celem tego ekoschematu jest ograniczenie stosowania chemicznych środków ochrony roślin, co bez wątpienia ma pozytywny wpływ na środowisko naturalne. Polega on na zwalczaniu agrofagów wyłącznie za pomocą preparatów mikrobiologicznych. Środki chemiczne dopuszczone są do stosowania jedynie w ostateczności, kiedy stosowanie preparatów mikrobiologicznych nie pozwala na odpowiednią ochronę roślin. Środki mikrobiologiczne są bezpieczne dla zdrowia ludzi, zwierząt i środowiska oraz sprzyjają zachowaniu różnorodności biologicznej (Rozporządzenie z 31 marca 2023 r.).

Retencjonowanie wody na trwałych użytkach zielonych

Praktyką sprzyjającą poprawie gospodarki wodnej, a jednocześnie ograniczającą emisję do CO₂ atmosfery jest retencjonowanie wody na TUZ. Wymogiem jest, aby stan wysycenia profilu glebowego wodą utrzymywał się na poziomie przynajmniej 80% przez co najmniej 12 następujących po sobie dni w okresie od 1 maja do 30 września (Rozporządzenie z 31 marca 2023 r.).

Dobrostan zwierząt

Głównym celem tego ekoschematu jest zapewnienie hodowanym zwierzętom lepszych warunków bytowych, tzw. dobrostanu, a także zachęcenie do produkcji zwierzęcej w gospodarstwach poprzez wsparcie finansowe. Podwyższony dobrostan w hodowli zwierząt oznacza zapewnienie warunków wykraczających poza obowiązujące w prawie lub zwyczajowo. Odnosi się m.in. do wielkości powierzchni bytowej w pomieszczeniach, zapewnienia dostępu do odpowiedniej wielkości wybiegu, stosowania wypasu, ściółki, późniejszych odsadzaniach małych zwierząt od matek, zapewnienia dostępu do odpowiedniej jakości przedmiotów absorbujących uwagę zwierząt („zabawek”) oraz w przypadku drobiu zapewnienie odpowiedniej ilości godzin na sen, tzn. zapewnienie ciemności (Cieślakowska, 2023).

II Filar

II filar WPR uwzględnia działania obowiązkowe do wdrożenia przez państwa członkowskie, ale dobrowolne dla rolnika. Są to m.in. działania rolno-klimatyczno-środowiskowe czy leśno-zadrzewieniowe.

Zobowiązania rolno-środowiskowo-klimatyczne polegają na stosowaniu sprzyjających środowisku praktyk rolniczych, wykraczających poza wymogi zawarte we wzajemnej warunkowości oraz ekoschematach (Wrzaszcz i Prandecki, 2020). W ramach tych zobowiązań określono 7 tzw. interwencji mających na celu ochronę gleb, wód, klimatu lub dziedzictwa przyrodniczego. Pierwsze trzy to tzw. interwencje przyrodnicze. Dotyczą ochrony cennych siedlisk i zagrożonych gatunków (na obszarach i poza obszarami Natura 2000) oraz ekstensywnego użytkowania łąk i pastwisk na obszarach Natura 2000. Kolejne interwencje dotyczą: zachowania sadów tradycyjnych odmian drzew owocowych, zachowania zagrożonych zasobów genetycznych roślin i zwierząt w rolnictwie, a także bioróżnorodności na gruntach ornych (Interwencje rolno-środowiskowo-klimatyczne..., 2023). Rolnicy wybierając interwencję dostosowaną do prowadzonej przez siebie produkcji i lokalnych uwarunkowań przyrodniczych, zobowiązują się do stosowania odpowiednich praktyk rolniczych w okresie 5 lat (Rozporządzenie z 31 marca 2023 r.).

Działania leśno-zadrzewieniowe dotyczą tzw. interwencji – działań polegających na: zalesianiu gruntów rolnych, tworzeniu zadrzewień śródpolnych, zakładaniu systemów rolno-leśnych, a także zwiększaniu bioróżnorodności lasów prywatnych (Rozporządzenie z 17 kwietnia 2023 r.). Do najważniejszych celów działań leśno-zadrzewieniowych należy zaliczyć: redukcję emisji gazów cieplarnianych (pochłanianie i magazynowanie CO₂ z atmosfery), zachowanie i poprawę bioróżnorodności, zmniejszenie erozji wietrznej, zwiększenie retencji wodnej, przyrost materii organicznej w glebie, wzmocnienie ekologicznej stabilności obszarów leśnych poprzez zmniejszenie fragmentacji kompleksów leśnych, tworzenie korytarzy ekologicznych, buforowanie niekorzystnego wpływu sąsiedztwa terenów otwartych na zoocenozy leśne, urozmaicenie krajobrazu rolniczego, utrzymanie równowagi ekologicznej na obszarach wiejskich, zachowanie i tworzenie bazy pokarmowej, miejsc bytowania wielu gatunków flory i fauny oraz kanałów migracji zwierząt dziko żyjących (Interwencje leśno-zadrzewieniowe..., 2023; Wrzaszcz i Prandecki, 2020).

Główne problemy zrównoważonego rolnictwa

Prowadzenie gospodarstwa rolnego w sposób zrównoważony, w tym realizacja strategii WPR i Europejskiego Zielonego Ładu może napotkać wiele problemów, czego dowodem są niedawne strajki rolników prowadzone w Polsce i innych krajach członkowskich. Z jednej strony Unia Europejska chce dbać o środowisko, jakość i bezpieczeństwo żywności nakładając na rolników szereg wymagań, które mają bezpośredni wpływ na obniżenie osiąganych przez nich zysków i zmniejszają konkurencyjność wyprodukowanych płodów rolnych. Z drugiej strony utrzymuje wolny rynek, na którym ciągle jeszcze głównym czynnikiem decydującym o zakupie jest cena.

Przyjęte ambitne cele wymagają zatem ogromnych nakładów finansowych nie tylko na realizację poszczególnych programów, interwencji, praktyk itd., ale także, a może przede wszystkim na edukację i uświadamianie społeczeństwa o zasadności podejmowanych działań oraz promowanie żywności wytwarzanej na terenie krajów członkowskich. Należy w szczególności podkreślać znaczenie poszczególnych praktyk rolniczych dla ochrony środowiska, ale i utrzymania bioróżnorodności przyrodniczej, jakości i bezpieczeństwa żywności. Współcześnie społeczeństwo ma dobrą świadomość co do zagadnień związanych np. z zanieczyszczeniem powietrza przez stosowanie paliw ze źródeł nieodnawialnych, znacznie gorzej jest jednak z działaniami sprzyjającymi ochronie wód i gleby, różnorodności biologicznej. Edukować powinniśmy zarówno konsumentów, jak i producentów, w tym rolników.

Oczywiście najskuteczniejszym argumentem pozostaje korzyść finansowa, dlatego odpowiednia punktacja stosowanych przez rolników praktyk powinna zachęcać do zrównoważonej produkcji roślinno-zwierzęcej w obrębie gospodarstwa, a nie wysokiej specjalizacji. Tym bardziej że niektóre działania przyjazne środowisku mogą nie być rekompensowane przez dopłaty w wystarczającym stopniu. Przykładowo wykorzystanie słomy na cele inne niż nawóz może być bardziej opłacalne finansowo (pelet na opał) lub konieczne (w hodowli zwierząt słoma potrzebna jest jako ściółka).

Podsumowanie

Od kilkadziesiąt lat polityka Unii Europejskiej w zakresie rolnictwa dąży do tego, aby zrównoważony rozwój stał się podstawą prowadzonej działalności, i koncentruje się na wprowadzaniu szeregu wymagań mających na celu wzmocnienie równowagi środowiska przyrodniczego.

Jednak zrównoważony rozwój to trzy podstawowe elementy: środowisko, gospodarka i społeczeństwo. Dlatego też realizacja WPR UE i wdrażanie koncepcji zrównoważonego rozwoju rolnictwa napotyka wiele trudności o różnym charakterze, ekonomicznym, socjalnym, intelektualnym czy etycznym (Antoszek, 2002). Trudności w realizacji WPR UE wynikają przede wszystkim z faktu, że próbuje się pogodzić często sprzeczne, zwłaszcza w krótkim okresie, cele (Żmija, 2017). Omówione w artykule narzędzia realizacji WPR są zdecydowanie korzystne dla środowiska, ale konieczne jest bardziej holistyczne podejście w ocenie skutków wprowadzanych rozwiązań, a także, a może przede wszystkim szeroka edukacja całego społeczeństwa.

Publikacja została sfinansowana ze środków subwencji przyznanej Uniwersytetowi Ekonomicznemu w Krakowie

Bibliografia

1. Adamowicz, M. (2000). Rola polityki agrarnej w zrównoważonym rozwoju obszarów wiejskich, *Roczniki Naukowe SERiA*, t. 2, z. 1, s. 69.
2. Adamowicz, M. (2021). Europejski Zielony Ład a „zazielenienie” rolnictwa i Wspólnej Polityki Rolnej. *Więś i Rolnictwo*, 3 (192), doi: 10.53098/wir032021/02.
3. Antoszek, J. (2002). Koncepcja zrównoważonego rozwoju i szanse jej realizacji na obszarach wiejskich Lubelszczyzny (w świetle badań ankietowych), *Annales UMCS*, Lublin, Sectio B, vol. LVII, 11, s. 197–209.
4. Cieślakowska, K. (2023). *Ekoschemat – dobrostan zwierząt, materiał szkoleniowy*. Centrum Doradztwa Rolniczego w Brwinowie, Wojewódzki Ośrodek Doradztwa Rolniczego.
5. Ekoschematy obszarowe (2024.03.30). Dostępne online: <https://www.gov.pl/web/rolnictwo/ekoschematy3>.
6. Ekoschematy obszarowe PS WPR 2023–2027, Broszura informacyjna, Ministerstwo Rolnictwa i Rozwoju Wsi, Warszawa 2023. Pobrane z: <https://www.gov.pl/web/rolnictwo/publikacje-prezentacje-ekspertyzy>.
7. *Encyklopedia PWN*. (2024.04.15). Dostępne online: <https://encyklopedia.pwn.pl/haslo/rozwoj-zrownowazony;3969442.html>.
8. Fiedoruk, W. (2024.04.15). Słomiany nawóz. Pobrane z: <https://odr.pl/doradztwo/produkcja-roslinna/zboza/slomiany-nawoz/>.
9. Interwencje leśno-zadrzewieniowe PS WPR 2023–2027, Broszura informacyjna, Ministerstwo Rolnictwa i Rozwoju Wsi, Warszawa 2023. Pobrane z: <https://www.gov.pl/web/rolnictwo/publikacje-prezentacje-ekspertyzy>.
10. Integrowana produkcja roślin (2024.04.16). Dostępne online: <https://integrowanaprodukcja.com.pl/>.
11. Interwencje rolno-środowiskowo-klimatyczne PS WPR 2023–2027, Broszura informacyjna, Ministerstwo Rolnictwa i Rozwoju Wsi, Warszawa 2023. Pobrane z: <https://www.gov.pl/web/rolnictwo/publikacje-prezentacje-ekspertyzy>.

12. Konstytucja RP z 2 kwietnia 1997 r. (2024.04.15). Dostępne online: <https://www.sejm.gov.pl/prawo/konst/polski/kon1.htm>.
13. Laskowski, Ł. (2023). *Ekoschematy – wymogi i płatności w realizacji praktyk rolniczych korzystnych dla klimatu, środowiska i dobrostanu zwierząt, materiał szkoleniowy*. Centrum Doradztwa Rolniczego w Brwinowie, Wojewódzki Ośrodek Doradztwa Rolniczego.
14. Our Common Future. Raport ONZ. (2024.04.15). Dostępne online: https://gat04-live-1517c8a4486c41609369c68f30c8-aa81074.divio-media.org/filer_public/6f/85/6f854236-56ab-4b42-810f-606d215c0499/cd_9127_extract_from_our_common_future_brundtland_report_1987_foreword_chpt_2.pdf.
15. Plan Strategiczny dla Wspólnej Polityki Rolnej na lata 2023–2027 (2024.03.25). Dostępne online: www.gov.pl/web/rolnictwo/dokumenty-ps-wpr.
16. Rozporządzenie Ministra Rolnictwa i Rozwoju Wsi z dnia 13 marca 2023 r. w sprawie szczegółowych warunków i szczegółowego trybu przyznawania i wypłaty płatności w ramach schematów na rzecz klimatu i środowiska w ramach Planu Strategicznego dla Wspólnej Polityki Rolnej na lata 2023–2027 (Dz.U. poz. 493 i 1926).
17. Rozporządzenie Ministra Rolnictwa i Rozwoju Wsi z dnia 31 marca 2023 r. w sprawie szczegółowych warunków i szczegółowego trybu przyznawania i wypłaty płatności rolno-środowiskowo-klimatycznych w ramach Planu Strategicznego dla Wspólnej Polityki Rolnej na lata 2023–2027 (Dz.U. poz. 734).
18. Rozporządzenie Ministra Rolnictwa i Rozwoju Wsi z dnia 17 kwietnia 2023 r. w sprawie szczegółowych warunków i szczegółowego trybu przyznawania i wypłaty pomocy finansowej na wsparcie inwestycji leśnych lub zadrzewieniowych oraz w formie premii z tytułu zalesień, zadrzewień lub systemów rolno-leśnych w ramach Planu Strategicznego dla Wspólnej Polityki Rolnej na lata 2023-2027 (Dz. U.poz. 737).
19. Warunkowość. Normy (GAEC) i wymogi (SMR) w ramach wspólnej polityki rolnej w perspektywie 2023–2027, Materiał informacyjny, Agencja Restrukturyzacji i Modernizacji Rolnictwa, Warszawa 2023. Pobrane z: <https://www.gov.pl/web/rolnictwo/publikacje-prezentacje-ekspertyzy>.
20. Wrzaszcz W., Prandecki K. (2020). Rolnictwo a Europejski Zielony Ład. *Zagadnienia Ekonomiki Rolnej*, 365 (4), 156–179, <https://doi.org/10.30858/zer/131841>
21. Strategia zrównoważonego rozwoju wsi, rolnictwa i rybactwa 2030. (2024.03.17). Dostępne online: <https://www.gov.pl/web/rolnictwo/strategia-zrownowazonego-rozwoju-wsi-rolnictwa-i-rybactwa-2030>.
22. Zasady IP (2024.04.16). Dostępne online: <https://www.gov.pl/web/piorin/integrowana-produkcja-roslin>.
23. Żmija, D. (2017). *Funkcjonowanie małych gospodarstw rolnych w kontekście zrównoważonego rozwoju rolnictwa i obszarów wiejskich*, Prace Naukowe Uniwersytetu Ekonomicznego we Wrocławiu, 489, *Ekonomia*, s. 514–523, doi:10.15611/pn.2017.489.45.

Fruit and vegetable waste management: reusing and recycling strategies

Katarzyna CZERNIEWICZ¹, Katarzyna MARCHWIŃSKA^{2*},
Daniela GWIAZDOWSKA³, Krzysztof JUŚ⁴, Aleksandra OLEJNICZAK⁵

¹ Department and Division of Pharmacoeconomics and Social Pharmacy, Department and Division of Practical Cosmetology and Skin Diseases Prophylaxis, Poznań University of Medical Sciences, Poznań 60-806, Poland; kczerniewicz@ump.edu.pl; 0000-0001-5624-3958

² Department of Natural Science and Quality Assurance, Institute of Quality Science, Poznań University of Economics and Business, Poznań 61-875, Poland; katarzyna.marchwinska@ue.poznan.pl; 0000-0001-9546-5334

³ Department of Natural Science and Quality Assurance, Institute of Quality Science, Poznań University of Economics and Business, Poznań 61-875, Poland; daniela.gwiazdowska@ue.poznan.pl; 0000-0002-0972-6225

⁴ Department of Natural Science and Quality Assurance, Institute of Quality Science, Poznań University of Economics and Business, Poznań 61-875, Poland; krzysztof.jus@ue.poznan.pl; 0000-0001-8113-5481

⁵ Scientific Student Association 'Inventum', Department of Natural Science and Quality Assurance, Institute of Quality Science, Poznań University of Economics and Business, Poznań 61-875, Poland; 82597@student.ue.poznan.pl

* Corresponding author: katarzyna.marchwinska@ue.poznan.pl; Tel.: +48-61-856-95-31

Keywords: 3R, bioactive compounds, circular economy, fruit and vegetable waste, recycling, reusing, sustainable waste strategies, waste management, zero waste.

Summary: Sustainable management of plant-based waste poses a challenging issue facing the global economy. Non-utilization or under-utilization of plant-based waste leads to the loss of components presented in residues and influences human and animal health due to potentially pathogenic nature or microbial contamination. Waste obtained from fruits and vegetables has a great perspective to be used or valorized in various industries including food, cosmetics, pharmaceuticals, and others. The residues are a rich source of valuable compounds such as proteins, polyphenols, carbohydrates, and carotenoids, making them worth processing on an industrial scale. Undoubtedly, the most beneficial characteristic of the residues is the diversity of compounds, but also the presence of health-promoting properties, which enables their numerous applications. There are several sustainable waste management concepts, and various countries or areas use them differently. Widely used concepts include waste hierarchy, which places residue management strategies in preference of their prevention potential. The 3R waste policy includes reduce, reuse, and recycle— is the major component of most waste management strategies. This work aimed to demonstrate and categorize popular and contemporary reusing and recycling techniques in fruit and vegetable waste management. Currently reusing includes soil amendments and deployment as animal feed. Whereas, recycling comprises a wide range of biological methods of waste material recovery with major modifications that maximize the residual potential. These techniques include whole mass waste recycling or obtaining various specific ingredients.

Introduction

Increasing food waste or loss generation is a challenging threat led by the globalization of food production and efforts to meet the nutritional needs of a growing global population. Waste is an undesirable effect resulting from the sum of product specifications, management practices, consumer trends, and environmental factors. Food loss concerns the quantity of discarded and lost edible food during the production, post-harvest, storage, transportation, and processing phases of the process. According to the Food and Agriculture Organization of the United Nations, approximately 33% of food is lost or wasted globally every year (FAO, 2011). Furthermore, in 2019 FAO determined that globally 14% of food is lost during manufacturing before it reaches the retail level (FAO, 2019).

A significant group of food residues is fruit and vegetable waste (FVW) (Plazzotta et al., 2017), generated not only in households but at every step of the food supply chain, including producing, processing, and transporting (Chang et al., 2006). FVW consists mainly of pomace, seeds, peels, and grains and are generated during various production processes, e.g. production of juices, jams, purees, or other preparations. Unprocessed waste requires large areas of landfills where it decomposes producing greenhouse gasses as methane and damaging the environment. Furthermore, due to a high water content of FVW, especially pomace (up to 80% of water), there is a high risk of microbiological contamination of the material, which makes the waste a highly perishable product and leads to problems with storage and the selection of adequate disposal methods (Tarko et al., 2012). On the other hand, FVW contains many valuable biocomponents such as proteins, carbohydrates, lipids, and bioactive secondary metabolites e.g. flavonoids, polyphenols, carotenoids, lactones, terpenes, essential oils, and many others (Kosseva, 2009; Ramful et al., 2010; Kowalska et al., 2017). The extraction of these compounds and their use in various industries makes it possible to reduce the amount of unused waste and, consequently, reduce the burden on the environment while resource-efficient biomass use. These value-added products also positively influence the human body (Chandra Tiwari et al., 2017).

Obtaining valuable products from FVW by reduction or utilization can increase the efficiency of the whole food supply chain and, in turn, lower the associated costs safely and improve the accessibility of products (Gustavsson et al., 2011). As is presented in numerous studies, valorization is also a potential bridge between the supply and demand of food (Foley et al.,

2011; Gregg et al., 2020; Cattaneo et al., 2021; Chauhan et al., 2021; Ciccullo et al., 2021).

Waste management is a multi-directional process, with a variety of solutions explored, some of which have been known for a long time such as composting to obtain biofertilizers or using them as feed for livestock, and other new proposals, which include recovery of functional compounds, having the potential for their use as food additives, biofuels or valuable ingredients for pharmaceutical and cosmetic industries.

Facing the challenges of environmental degradation and the growing need for sustainable production, the food sector is confronted with the need to seek innovative and environmentally friendly solutions. One direction that is gaining popularity is the use of a zero-waste approach, closely related to the circular economy, in the context of food production, which, reduces waste generation, and involves developing reuse options. The idea draws attention to the social responsibility of producers, reducing waste to a minimum and reusing it in further production processes. Only residual amounts are destined for landfills, incinerators, or other forms of disposal. In practice, this means maximum utilization, reprocessing (recycling), and reduction of disposable products. This is how a closed cycle in the economy and production is created (Kowacka & Malik, 2013). There are specific benefits from this approach, such as cost reduction, support for sustainability, streamlining material flow, and technological development. Nowadays, there are several sustainable zero-waste concepts, of which the most popular are 3R, 5R, and 8R policies adopted worldwide. The 3R concept comprises three beneficial actions for food waste management: reduce, reuse, and recycle. Reduction is the first and easiest step in waste management. Avoiding waste generation involves designing technologies and policies for the prevention and minimization of residues. Reusing concerns not leaving waste when using what has been achieved and giving residues the value to use them again significant alterations. Recycling covers the residues processing into new products to avoid wasting useful materials. This activity involves research development of waste and processes to give added value to the products of their conversion. The European Union has expanded the 3R principle with two new principles: recover and renew. These additions are aimed at reducing waste and boosting a closed-loop economy. Recover refers to recovering energy or raw materials from waste, and renew refers to promoting renewable energy sources and raw materials. Zero waste practitioners, particularly pro-environmental organizations, also encourage the implementation of

three additional principles: rethink, refuse, and 'rot' (compost) (Górska, 2017).

This review aims to present the FVW management strategies based on the current knowledge and the most recent scientific works focusing on the great variability of residue application in numerous production sectors. The collected database enabled to assembly of the main methods for FVW management, as well as bioactive compounds, their health-promoting qualities, and applications. Selected approaches were divided into two categories: reusing and recycling techniques.

Reusing of Fruit and Vegetable Waste

Reusing of FVW is the process of using them directly, without any major modifications of their physio-chemical properties, however partial dehydration or trimming are acceptable. Currently, two main methods of reusage, including soil amendment and animal feed are applicable (Plazzotta et al., 2017).

Obtaining soil amendment from FVW is a strategy that uses the ability of this waste to reduce soil contamination levels of trace metals and metalloids and to prevent these elements from seeping into groundwater. As a result of the soil amendment use, natural remediation processes are also enhanced, which causes a significant improvement in vegetation growth (Clemente et al., 2015).

The second method of FVW reusing is obtaining livestock feed. Fruit and vegetable waste from agriculture or the food industry are rich in many bioactive and nutraceutical compounds, such as polyphenols, carotenoids, and dietary fiber, and thus represent a very valuable biomass for livestock feed production. Mostly all kinds of fruit and vegetable residues can be used for this process, but due to seasonality, the composition of the resulting animal feed changes throughout the year. This production reduces food costs and lowers prices for animal products (Ajila et al., 2012; San Martin et al., 2016). Nevertheless, both reusing solutions have some characteristics that may cause problems with a large-scale implementation such as variability in nutritional level and quantity, presence of naturally occurring toxic factors, or perishable nature due to high water content (Ajila et al., 2012; San Martin et al., 2016).

Recycling of Fruit and Vegetable Waste

Recycling of FVW involves methods of biological waste material recovery with major modifications leading to maximization of the residue

potential. In comparison with waste reusing, recycling has a far greater potential for waste management and offers a variety of solutions on how to add value to the residues in line with the ecological approach. According to literature data, there are two prior strategies of waste treatment: whole mass recycling and obtaining specific ingredients (Plazzotta et al., 2017; Williams & Anderson, 2006).

Whole Mass Recycling

Composting

Composting is a controlled process of converting organic, biodegradable waste into safe and beneficial products used as a biofertilizer. This is a very efficient method, well known from ancient times, and suitable for various food waste including FVW. Composting is an aerobic process requiring oxygen and appropriate moisture content, where microorganisms play a key role in the decomposition and organic waste fractional humification (Awasthi et al., 2017; Azim et al., 2018).

Composting used as a soil amendment prevents soil erosion helps increase bioremediation of polluted soil, and increases the diversity of the microorganisms in the soil. It is a beneficial process for the environment, naturally managing waste materials, without any chemicals. What is more, it supports plant cultivation and its efficiency by enriching the soil with CO_2 , N_2 , NH_3 , SO_2 , and NO_2 and decreasing the risk of bacterial and fungal diseases (Taiwo, 2011; Ayilara et al., 2020; Esparza et al., 2020). Composting is a long-standing technology with disadvantages that limit its wide use and effectiveness. These drawbacks include pathogen presence, low nutrient status, long composting time, long mineralization time, and odor release (Cerda et al., 2018; Ayilara et al., 2020).

There are different kinds of composting such as static composting, vermicomposting, windrow composting, and others. Typical static composting is a simple, low-cost but time-consuming process where waste is composed using passive aeration. It is suitable for a relatively homogenous mix of organic matter (Altieri et al., 2011). Vermicomposting uses earthworms and microorganisms to decompose organic matter into high-quality compost (Rorat & Vandenbulcke, 2019). The final product has better properties compared to the regularly obtained static compost due to high concentrations of nitrate, phosphorus, calcium, magnesium, and potassium (Suthar, 2009). The composting process which is very commonly used for large amounts of organic waste is windrow composting. This process consists of raw compost material stored in narrow windrows or piles of various shapes. The whole mass is stirred manually or mechanically

to deliver oxygen to the material. The main advantages of this process are heat retention and the speed of the process, due to mechanical equipment including turning and aeration machines usage (Aziz et al., 2018).

Flour Obtaining

The process of obtaining flour from FVW is developed from various fruits and vegetables including watermelon, orange, lettuce, cucumber, or carrot (Ferreira et al., 2015). As flour is a microbiologically stable product, rich in carbohydrates and fiber, it can be used in various industrial applications, e.g. in environmental protection or the food industry. Environmental protection uses FVW flour's ability to absorb contaminants due to its porous structure, while in the food industry, it is an excellent additive, for example in bars and pastries (Mokaddem et al., 2009; Ferreira et al., 2015). In the study of Ferreira et. al (2015) flour was incorporated into cake samples at different levels. As a result, products had better holding capacity than oil due to the high concentration of carbohydrates and fiber and had a better concentration of minerals compared to products without incorporated flour. This suggests that flour derived from FVW has a positive impact on the physio-chemical properties of products.

Conversion of Water

Among the waste recycling methods, one of the niche solutions is the waste-to-water conversion system. This system is based on hyper-acceleration of aerobic decomposition by the activity of microorganisms occurring naturally in the waste under strongly controlled conditions. The microorganisms decompose food waste into a liquid form and obtain water for industrial facilities. The water is suitable for discharge into public wastewater disposal systems and is microbiologically stable. This solution may be applied in public spaces such as companies, hotels, or households. One of the solutions, called BIO-EZ™ was invented by an Australian company *Waste to Water* (Plazzotta et al., 2017).

Food Additives

Food additives are an essential part of the food industry and the component of nearly every ready-made market product. There are many different kinds of FVW-origin food additives used in functional food, cereal, dairy products, and beverages (Majerska et al., 2019). Food additives can be produced using various types of fruit and vegetable residues, among which pomace has one of the greatest potential and diversity of application methods due to its high content of bioactive substances.

The consumers' awareness of the link between certain ingredients and health benefits emerged in observing new trends of the increased value of functional food products. These types of food products are defined for improving at least one health function in the body (e.g. decrease the level of oxidants). Therefore, more and more functional food products incorporating FVW appear on the market. An example of residues used for functional food production is apple pomace. It contains a lot of fiber, pectin, and polyphenols. It presents functional features such as water and oil holding capacity and glucose dialysis retardation index. It is commonly added to dietetic products and used as an antioxidant (Rana et al., 2015; Banerjee et al., 2017). Another example of FVW functional food is highly concentrated polyphenols preparation derived from plum waste with great antioxidant activity (Michalska & Łysiak, 2014; Sójka et al., 2015).

Further solutions for the use of FVW as food additives are edible films. They are used as food packaging and provide health-promoting properties due to containing valuable biocomponents in raw material. Furthermore, edible films have antioxidant and antimicrobial activity and therefore they may act as preserving products. The edible film solutions may be applied to food by several techniques such as painting, brushing or spraying and then drying. They can be obtained from various fruit (pomegranate, banana) and vegetable (tomato, carrot, cauliflower) waste. For example, pomegranate peel extract incorporated into chitosan-based film increases the phenolic and ascorbic acid content of the film, while tomato by-product extract improves its antibacterial and antioxidant activity (Yai, 2008; Perotto et al., 2018; Bayram et al., 2021).

FVW is an excellent source of biocomponents that can be used as a natural replacement for artificial additives in food products. Such a solution is healthier for the consumer, safer for the environment, and contributes to reducing waste at the production stage. Examples of such FVW use include adding pomace to various products such as juices, purees, or concentrates to e.g. increase the products' nutritional value. Tomato pomace enriches the product with proteins, unsaturated fats, and lycopene (Belović et al., 2017) and black carrot pomace enriches products with vitamins C and E and polyphenols (Kamiloglu et al., 2015). Another example of waste usage as additives is enriching tea infusion with chokeberry pomace to improve the sensory and antioxidant properties of the product.

FVW, especially pomace, are used in cereal products as flour substitutes or additives. Replacing flour with pomace makes products better tolerated by consumers with gluten intolerance or increases their

nutritional value. The addition of blackcurrant pomace to the production of muffins and cakes, in addition to improving the tolerability of the product, enriches it in vitamins, polysaccharides, polyphenols, organic acids, and unsaturated fatty acids (Kapasakalidis et al., 2006). Some fruit waste including apple, chokeberry, bilberry, grape, or sour cherry are used as additives to alcoholic beverages in the winemaking process. Grape and apple pomace addition improves the taste of wine (Zhu et al., 2015; Reißner et al., 2019). On the other hand, residues left after wine production can be used in dairy products to increase the acidification rate, thus shortening the fermentation process (de Souza de Azevedo et al., 2018). Another group of products that can be enriched with natural additives obtained from FVW are fish and meat products. This enriching procedure prevents lipid oxidation and rancidity, extends shelf-life, and improves the taste, smell, and color of fish and meat products (Majerska et al., 2019). Studies have shown that the addition of broccoli or plum waste additives prolongs chicken meat shelf-life due to inhibition of lipid oxidation (Banerjee et al., 2012; Basanta et al., 2018). Another example is adding bilberry pomace to meat to improve stabilization properties and reduce the number of artificial additives (Lorenzo et al., 2018).

In sweets and snacks, FVW additives play the role of enriching products with extra fiber, maximizing the content of antioxidants, and improving the quality of the products. For example in the production of ginger candies with a beetroot extract, beetroot pomace is used to reinforce the phytochemicals potential of ginger candies (Balasundram et al., 2006; Vikas Kumar et al., 2018). Likewise, the application of apple pomace to brown rice flour is observed to improve the sensory properties of rice crackers (Mir et al., 2017).

Obtaining Specific Ingredients

Bioactive Compounds

The growing interest in bioactive compound properties results in the use of many natural ingredients in the food, pharmaceutical, and cosmetic industries. These primary (e.g. lipids, proteins) and secondary (e.g. phenolic compounds) plant metabolites contribute to maintaining human health and can be used in various novel applications due to their properties as a great group of industrially used biochemicals (Banerjee et al., 2017).

FVW is a great source of a wide range of bioactive plant-derived ingredients. They are ubiquitous in plants and can be extracted from their residues including fiber, cellulose or D-limonene (Balasundram et al., 2006). Fiber is a carbohydrate present in various fruits and vegetables

such as apples or carrots. A study by Saura-Calixto (2011) showed that it plays a role in the antioxidant carrier since around half of the total dietary antioxidants, especially polyphenolics, are linked to dietary fiber during passage through the small intestine. Cellulose, the most abundant natural polymer, in the pharmaceutical industry is used as a diluent and filler in solid oral dosage formulations (Credou & Berthelot, 2014). The other application is replacing mineral-based ingredients with nanocellulose in cosmetics, using for example Pili pulp, waste that is obtained from Pili essential oil production (Bongao et al., 2020). Phlorizin, a polyphenol commonly found in apples, in the natural environment protects the plant against pathogens, while in the human body demonstrates antimicrobial activity as well as exhibits an antidiabetic effect, enhances memory, inhibits lipid peroxidation, and prevents bone density loss (Puel et al., 2005; Baldisserotto et al., 2012; Makarova et al., 2014). Phlorizin is also used as a marker for detecting the undeclared presence of apples in food products (Hrubá et al., 2021). Another example is D-limonene, a compound of citrus essential oils, which can be obtained from citrus peel. It is widely used in the cosmetic industry for personal care and aromatherapeutic products but also in the medical area due to its anti-cancer effect (John et al., 2017). Lycopene is one of the potent natural antioxidants predominantly found in tomatoes, but among others also present in watermelon or pumpkin.

Pigments

Pigments extracted from FVW are organic, non-toxic, biodegradable substances, which are safer alternatives coloring compounds to synthetic colorants. The recent interest in natural coloring agents usage is a response to the potential negative effect of synthetic ones on the human body (teratogenicity and carcinogenicity) and environmental pollution (Panesar et al., 2015; Gupta et al., 2019). What is more, bio-pigments have not only good coloring potential but also possess positive physiological benefits for human health, since they are a source of various bioactive substances. They are used in the food (especially the development of functional food products), cosmetic, and pharmaceutical industries (Maran & Priya, 2016). For example, citrus residues can be the source of a highly stable and water-soluble yellow coloring agent named yellow #15, which is used in the food industry (Xiaoyan Chen et al., 2019). A great group of coloring agents are anthocyanins (belonging to the subgroup of polyphenols – flavonoids) which provide blue, purple, and red water-soluble colors and simultaneously have a positive effect on the human brain, liver, or kidneys

thanks to antioxidant activity (Khoo et al., 2017; Kelly et al., 2018; Bendokas et al., 2020).

FVW can also be used to produce microbial pigments. The use of cheap and available fruit and vegetable residues as substrates for fermentation makes the process of obtaining pigments cost-effective and environmentally friendly. The use of waste not only eliminates the disposal problems but also solves the environmental pollution problem. The production of pigments depends on the microorganisms and the specific fermentation conditions. These substances include among others astaxanthin, canthaxanthin, carotenoids, flavins, granadaene, indigoidine, melanins, pyocyanin, rubrolene, scytonemin, violacein, phycocyanin and others (Panesar et al., 2015; Venil et al., 2020). Microbial pigments as natural dyeing substances possess various activities such as anti-carcinogenic, anti-inflammatory antimicrobial, and antioxidant. One of the examples is violacein – an antibiotic, characterized by purple color. This hydrophobic compound is produced by *Chromobacterium violaceum* (Choi et al., 2020) and *Iodobacter* sp (Vijay Kumar et al., 2021). On the other hand, astaxanthin is a pink-red pigment obtained by *Agrobacterium aurantiacum* and displaying antioxidant, anticancer, and anti-inflammatory properties. Flexirubin produced by *Chryseobacterium artocarp* has a yellowish-orange color and is very helpful for preventing skin diseases such as eczema (Venil et al., 2020).

Enzymes

Enzymes are proteinaceous, biological catalysts responsible for various metabolic processes. These biomolecules play a significant role in industries such as food, pharmaceuticals, textiles, chemicals, and fuel (Esparza et al., 2020). The main methods of obtaining enzymes are submerged fermentation and solid-state fermentation. FVW valorization processes supported by microorganisms can naturally generate various enzymes, which may replace more expensive, synthetic ones. Some of the most common enzymes that can be derived from FVW include amylase, cellulase, laccase, and invertase. To conduct this process various fruit and vegetable residues can be used including sugar cane bagasse, corn cob and rice bran, tomato or mango, and orange (Kapoor et al., 2016; Ravindran et al., 2018). Amylase which is widely used in food processing among others in fruit juices, starch syrup, or chocolate cake production (Laufenberg & Schulze, 2009), may be produced from tomato peel by *Bacillus* spp., or other fruit residue materials such as banana and orange peels or mango kernel (Sagar et al., 2018). Another enzyme, cellulase, is applied in the

food industry to release aroma-rich compounds and to extract phenolic compounds. It can be obtained using *Trichoderma reesei* from pineapple waste (Saravanan et al., 2013) or other plants such as banana, cabbage, mango, apple, and others (Laufenberg & Schulze, 2009). Laccase is an enzyme that has potential application in industrial processes such as cellulose delignification, textile bleaching, phenol removal, and biosensors and can be obtained using *Aspergillus niger* from banana and pineapple peel (Wang et al., 2019). Invertase, which catalyzes the breakdown of sucrose to fructose and glucose, can be obtained using *Penicillium* spp. and *Trichoderma viride* from orange peel as substrate (Nehad & Atalla, 2020).

Organic Acids

Organic acids are another important group of substances that can be produced from FVW, including citric acid, lactic acid, acetic acid, butyric acid, or succinic acid (Panda et al., 2016). Citric acid is widely used as a preservative and is produced through liquid fermentation or solid-state fermentation of, among others, apple, banana, papaya, and beetroot waste, using *A. niger* (Dhillon et al., 2011; Bezalwar et al., 2013; Kulkarni, 2015). Lactic acid is the most commonly used of all organic acids in the food, chemical, pharmaceutical, and cosmetic industries. Studies concerning *Lactobacillaceae* family fermentation of, among others, mango, sweet potato, corn, orange, and grape residues indicate that such agricultural waste can be successfully processed for the production of this acid (Jawad et al., 2013; Karnwal et al., 2016). Furthermore, lactic acid is also used in the production of environmentally friendly plastic – polylactic polymers (Li et al., 2015; Panda et al., 2016). Acetic acid can be obtained from FVW via both aerobic and anaerobic fermentation. During single-step anaerobic fermentation, microorganisms such as *Clostridium* sp. can convert glucose into acetic acid. However, more favorable is its production through oxidative fermentation using *Acetobacter* spp. (Sakurai et al., 2012; Panda et al., 2016). Fruits such as pineapple or papaya (Raji et al., 2012; Vikas & Mridul, 2014) or vegetables such as potato, pumpkin, and carrot are used as a material for acetic acid production (Chakraborty et al., 2017), therefore the residues also pose noteworthy substrates for this acid production.

Bioplastics

Conventional plastic is an abundant and persistent environmental pollutant due to its very low degradation rate combined with a low cost of production. It is principally obtained from petroleum derivatives, which causes a very high carbon footprint. All of these reasons encourage

scientists to develop biodegradable bioplastics, and the production includes renewable resources suitable especially for short-life use. These features are demonstrated by bio-based polymers, which can be synthesized from FVW (Bayer et al., 2014; Calabrò & Grosso, 2018).

One of the leaders of this group is polylactic acid or polylactide (PLA) – linear aliphatic polyester obtained via polymerization of lactic acid. It is fully biodegradable and bioabsorbable (Farah et al., 2016). Moreover, it presents optical, mechanical, thermal, and barrier attributes comparable to petrol-plastic such as polypropylene or polystyrene. Thus, it is used in the medical area as bone fixation material, drug delivery, or tissue engineering. The degradation of PLA is simple hydrolysis of the ester bonds without the obligatory presence of enzymes (Lasprilla et al., 2012; Gan & Chow, 2018; Velásquez et al., 2021). The second most popular bioplastic group after PLA are polyhydroxyalkanoates (PHAs), polyesters synthesized in the polymerization of a variety of R-hydroxyalkanoic acids by heterotrophic microorganisms, which accumulate the biopolymers as a carbon and energy storage material in their cytoplasm. They are biodegradable to carbon dioxide and water within a few months (Bhatia et al., 2021; Ganesh Saratale et al., 2021). At present, PHAs are mainly produced from crop plants such as sugar cane, beet, corn, and vegetable oils which unfortunately makes this process much more expensive than conventional plastic production (Reddy et al., 2003; Mozejko-Ciesielska & Kiewisz, 2016). PHAs have good properties to be applied as food packaging materials thanks to water insolubility and low permeability to oxygen, as bone prostheses, and as a tissue engineering material, due to piezoelectric properties (Chen & Wu, 2005; Wang et al., 2014).

Single-cell Proteins

Single-cell proteins (SCPs) are dried, dead microbial cell proteins or total proteins extracted from microbial cell cultures, obtained via fermentation with the presence of various microorganisms including bacteria (e.g. *Bacillus subtilis*, *Escherichia coli*), yeasts (e.g. *Candida* and *Saccharomyces*) or algae (e.g. *Spirulina* and *Chlorella*). The culture of single cells can affect the transformation of FVW substances for growing microbes (e.g. rice straw or orange peels) into protein (Ukaegbu-obi, 2016; Dunuweera et al., 2021; Gunjal & Gunjal, 2021). Currently, SCPs are produced from a wide range of residues, such as orange (Zhou et al., 2017), mango (Thiviya et al., 2021), or soy (Gao et al., 2012). Carbohydrate-based substrates are the most frequently used as raw materials for single-cell protein production. They are naturally growing

microbial substrates (Ugalde & Castrillo, 2002). SCPs are the potential substitute of protein for animals and humans which may become a good protein alternative and solve the global protein shortage (Mondal et al., 2012; Dunuweera et al., 2021). They are growing in popularity due to their high protein content of up to 82%, high efficiency in the process of substrate conversion, not requiring large production space, and high productivity (Gunjal & Gunjal, 2021). Single-cell proteins are produced on a commercial scale and are used as animal feed, food additives for emulsifying agents, vitamin carriers and aroma carriers, foam-stabilizing agents, and in leather and paper processing (Bratosin et al., 2021). One of the most important applications is the usage of SCPs to supplement protein in staple diets, replacing expensive conventional sources such as soybean and fish to alleviate the problem of protein deficiency. Furthermore, bioconversion of agricultural and industrial waste into protein-rich food and feed products has the added benefit of reducing the price of the final product. Additionally, it will make food production less dependent on land and relieve the burden of agriculture.

Biofuels

Biofuels are substances biologically produced from waste matter by microorganisms to substitute fossil fuels. The main advantages of biofuels are their renewability, biodegradability, and generation of exhaust gasses of acceptable quality during burning processes. FVW as biofuels contributes to limiting greenhouse gas emissions and serves as a new energy resource.

There are two main groups of biofuels: gaseous biofuels – methane, hydrogen, hythane, and liquid biofuels – ethanol, butanol and biodiesel. Methane (biomethane) is recovered from biomass by anaerobic digestion – a well-established technology to produce biogases. The recovered biogas is a mixture of methane (50–75%) and carbon dioxide (25–50%). Methane is known as green energy and is an alternative to fossil fuels (Zhang et al., 2016; Pattanaik et al., 2019). It can be produced from various fruit residues such as strawberry, apple, melon, or vegetables such as beetroot, avocado, lettuce, or potato (Edwiges et al., 2018; Ta & Babel, 2019). Hydrogen (biohydrogen) is a non-toxic, green gas, produced during various practices, such as dark fermentation process, direct and indirect biophotolysis, and photo-fermentation from e.g. sugar beet pulp and corn silage (Cieciura-Włoch et al., 2020). It has the highest energy density of all known fuels (Das & Veziroglu, 2008). Hythane (biohythane) is a combination of hydrogen and methane gas, generated from waste in the anaerobic fermentation

process from fruit and vegetable waste such as apples, grapes, potatoes, and tomatoes. What is a very important advantage of this fuel is that its production is a low-cost and high-energy yield process (Dahiya et al., 2015; Meena et al., 2020). The representative of the second group – liquid fuels, is ethanol. It is mainly obtained from various waste materials e.g. sugarcane, corn, or potatoes by sucrose fermentation. There is some information on using FVW for ethanol production, with apple pomace being one of the most promising materials (Esparza et al., 2020; Hegde et al., 2018). Butanol exceeds the advantages of ethanol because it has higher energy density, lower volatility, less corrosive character, and better stability due to not being hygroscopic. Butanol can be produced from residues of cereal crops, sugar cane, and sugar beet, but there is an increasing interest in butanol production from lignocellulosic biomass. It is used as a transportation fuel (Amiri & Karimi, 2018; Zhang et al., 2016). Biodiesel is a renewable and clean-burning fuel which substitutes conventional diesel. It is a fatty acid methyl ester obtained by direct or indirect transesterification. Direct transesterification uses catalysts which can be alkaline or acidic, while indirect transesterification uses microbial oils secreted by oil-producing microorganisms and waste is their carbon source. Among the various FVW, the most applicable for biodiesel production are vegetable oils waste (Refaat et al., 2008; Refaat & Refaat, 2010; Pattanaik et al., 2019).

Biochar

Biochar (black carbon) is a carbon-rich product of several processes such as slow pyrolysis, fast pyrolysis, gasification, or combustion of waste biomass including FVW. The yield of biochar production from biomass is highly dependent on the pyrolysis temperature, heating rate, feedstock type and composition, particle size, and reactor conditions. Generally, the highest biochar yields have feedstocks with high lignin concentrations (Duku et al., 2011; Mujtaba et al., 2021). Black carbon is a solid product, mainly composed of carbon (around 50%) then hydrogen, oxygen, nitrogen, sulfur, and ash (in various proportions). It has low density and is highly porous (Kumar et al., 2016). Biochar does not have a strict structure and chemical composition, but rather a range of properties due to various obtaining processes (Chen et al., 2011). The use of biochar in agriculture can significantly impacts on reducing global warming by reducing greenhouse gas emissions and at the same time, biochar can help improve soil health and fertility and increase agricultural production. The production of biochar provides a way to utilize waste that harms the environment, and in addition, biochar can act as a sorbent for

organic and inorganic contaminants effectively removing these materials from contaminated soil and water. Therefore, biochar can help improve food security by contributing to sustainable production systems and maintaining an environmentally friendly environment (Anyika et al., 2015; Qambrani et al., 2017).

Conclusion

FVW represents a great source of bioactive compounds for various applications in the food, pharmaceutical, cosmetic, or even medical industries. The growing interest in FVW and the intention to use them comes from the fact that the world is tending towards enhancing and maintaining both environmental and human health. Agricultural waste reduction or utilization to obtain valuable ingredients as well as practices preventing food losses also increases the efficiency of whole food management including food security. The amount of waste and by-products in the fruit and vegetable processing industry will gradually increase in the coming years, and their disposal will be one of the major environmental concerns. Transforming such waste into new products such as food additives or bioplastics may help increase profits and sustainability (Kowalska et al., 2017). What is more, the concept of plant-derived waste management aligns perfectly with the circular bioeconomy promoted at both the European and global levels.

Generally, for FVW management two main approaches, representing 3R policy, are: reducing and recycling. The second is discussed much more broadly, which shows recycling as a more advanced, sustainable, and comprehensively applied strategy. Sourcing-specific components can also be used in a targeted and more precise manner. Some of the presented methods are extremely well-known (e.g. composting), whereas others are relatively new e.g. obtaining biofuels or bioplastic. Even though FVW presents a perishable character and faces some logistic-related problems, all types of FVW have one trait in common, a large content of nutrients. For example, using natural food additives in cereal or dairy products brings benefits through artificial additives elimination and replacing them with nutritious and relatively cheap material. Other studies presented in this work show the significant role of FVW in obtaining products such as pigments, enzymes, and organic acids by extraction or purification of specific ingredients. These derived ingredients often exhibit other positive effects

in addition to their original intended action. For instance, anthocyanins which are excellent pigments simultaneously have a positive effect on the human body (Bendokas et al., 2020). It needs to be remembered, though, that obtaining components faces several challenges. The usage of organic solvents is a new environmental issue and the extraction of one ingredient does not eliminate the bulk mass of the waste. Furthermore, the most critical is the economic aspect of the involved processes. They are usually associated with high costs due to the low concentration of a sourced substance in a complex matrix (Sagar et al., 2018; Coman et al., 2020). Overall, to achieve better results, not only scientists but also companies and legislators should be involved in the process of improving the management of FVW and preventing loss for the best and most efficient use of natural resources.

Bibliography

1. Ajila, C.M., Brar, S.K., Verma, M., Tyagi, R.D., Godbout, S., Valéro, J. R. (2012). Bio-processing of agro-byproducts to animal feed. *Critical Reviews in Biotechnology*, 32(4), 382–400, <https://doi.org/10.3109/07388551.2012.659172>.
2. Altieri, R., Esposito, A., Nair, T. (2011). Novel static composting method for bioremediation of olive mill waste. *International Biodeterioration and Biodegradation*, 65(6), 786–789, <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2011.05.002>.
3. Amiri, H., Karimi, K. (2018). Pretreatment and hydrolysis of lignocellulosic wastes for butanol production: Challenges and perspectives. In: *Bioresource Technology* (Vol. 270). Elsevier Ltd, <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2018.08.117>.
4. Anyika, C., Abdul Majid, Z., Ibrahim, Z., Zakaria, M. P., Yahya, A. (2015). The impact of biochars on sorption and biodegradation of polycyclic aromatic hydrocarbons in soils – a review. *Environmental Science and Pollution Research*, 22(5), 3314–3341, <https://doi.org/10.1007/s11356-014-3719-5>.
5. Awasthi, M.K., Selvam, A., Lai, K.M., Wong, J.W.C. (2017). Critical evaluation of post-consumption food waste composting employing thermophilic bacterial consortium. *Bioresource Technology*, 245(July), 665–672, <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.09.014>.
6. Ayilara, M. S., Olanrewaju, O. S., Babalola, O. O., Odeyemi, O. (2020). Waste management through composting: Challenges and potentials. *Sustainability (Switzerland)*, 12(11), 1–23, <https://doi.org/10.3390/su12114456>.
7. Azim, K., Soudi, B., Boukhari, S., Perissol, C., Roussos, S., Thami Alami, I. (2018). Composting parameters and compost quality: a literature review. *Organic Agriculture*, 8(2), 141–158, <https://doi.org/10.1007/s13165-017-0180-z>.
8. Aziz, S. Q., Omar, I. A., Mustafa, J. S. (2018). Design and study for composting process site. *International Journal of Engineering Inventions*, 7(9), 9–18.
9. Balasundram, N., Sundram, K., Samman, S. (2006). Phenolic compounds in plants and agri-industrial by-products: Antioxidant activity, occurrence, and

- potential uses. *Food Chemistry*, 99(1), 191–203, <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2005.07.042>.
10. Baldisserotto, A., Malisardi, G., Scalambra, E., Andreotti, E., Romagnoli, C., Vicentini, C.B., Manfredini, S., Vertuani, S. (2012). Synthesis, antioxidant and antimicrobial activity of a new phloridzin derivative for dermo-cosmetic applications. *Molecules*, 17(11), 13275–13289, <https://doi.org/10.3390/molecules171113275>.
 11. Banerjee, J., Singh, R., Vijayaraghavan, R., MacFarlane, D., Patti, A. F., Aro, A. (2017). Bioactives from fruit processing wastes: Green approaches to valuable chemicals. *Food Chemistry*, 225, 10–22, <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.12.093>.
 12. Banerjee, R., Verma, A.K., Das, A.K., Rajkumar, V., Shewalkar, A.A., Narkhede, H.P. (2012). Antioxidant effects of broccoli powder extract in goat meat nuggets. *Meat Science*, 91(2), 179–184, <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2012.01.016>.
 13. Basanta, M.F., Rizzo, S. A., Szerman, N., Vaudagna, S.R., Descalzo, A.M., Gerschenson, L.N., Pérez, C.D., Rojas, A. M. (2018). Plum (*Prunus salicina*) peel and pulp microparticles as natural antioxidant additives in breast chicken patties. *Food Research International*, 106, 1086–1094, <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2017.12.011>.
 14. Bayer, I.S., Guzman-Puyol, S., Heredia-Guerrero, J.A., Ceseracciu, L., Pignatelli, F., Ruffilli, R., Cingolani, R., Athanassiou, A. (2014). Direct transformation of edible vegetable waste into bioplastics. *Macromolecules*, 47(15), 5135–5143, <https://doi.org/10.1021/ma5008557>.
 15. Bayram, B., Ozkan, G., Kostka, T., Capanoglu, E., Esatbeyoglu, T. (2021). Valorization and application of fruit and vegetable wastes and by-products for food packaging materials. *Molecules*, 26(13), <https://doi.org/10.3390/molecules26134031>.
 16. Belović, M., Torbica, A., Pajić-Lijaković, I., Mastilović, J. (2017). Development of low calorie jams with increased content of natural dietary fibre made from tomato pomace. *Food Chemistry*, 237, 1226–1233, <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.06.045>.
 17. Bendokas, V., Skemiene, K., Trumbeckaite, S., Stanys, V., Passamonti, S., Borutaite, V., Liobikas, J. (2020). Anthocyanins: From plant pigments to health benefits at mitochondrial level. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 60(19), 3352–3365, <https://doi.org/10.1080/10408398.2019.1687421>.
 18. Bezalwar, P., Gomashe, A.V., Sanap, H.M., Gulhane, P.A. (2013). Production and optimization of citric acid by *aspergillus niger* using fruit pulp waste. *International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences*, 2(10), 347–352.
 19. Bhatia, S.K., Otari, S.V., Jeon, J.M., Gurav, R., Choi, Y.K., Bhatia, R.K., Pugazhendhi, A., Kumar, V., Rajesh Banu, J., Yoon, J.J., Choi, K.Y., Yang, Y.H. (2021). Biowaste-to-bioplastic (polyhydroxyalkanoates): Conversion technologies, strategies, challenges, and perspective. *Bioresource Technology*, 326(November 2020), 124733, <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2021.124733>.
 20. Bongao, H. C., Gabatino, R.R.A., Arias, C.F.H., Magdaluyo, E.R. (2020). Micro/nanocellulose from waste Pili (*Canarium ovatum*) pulp as a potential

- anti-ageing ingredient for cosmetic formulations. *Materials Today: Proceedings*, 22, 275–280, <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2019.08.117>.
21. Bratosin, B.C., Darjan, S., Vodnar, D.C. (2021). Single cell protein: A potential substitute in human and animal nutrition. *Sustainability (Switzerland)*, 13(16), 1–24, <https://doi.org/10.3390/su13169284>.
 22. Calabrò, P.S., Grosso, M. (2018). Bioplastics and waste management. *Waste Management*, 78(2018), 800–801, <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2018.06.054>
 23. Cattaneo, A., Sánchez, M.V., Torero, M., Vos, R. (2021). Reducing food loss and waste: Five challenges for policy and research. *Food Policy*, 98(September 2020), <https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2020.101974>.
 24. Cerda, A., Artola, A., Font, X., Barrena, R., Gea, T., Sánchez, A. (2018). Composting of food wastes: Status and challenges. *Bioresource Technology*, 248, 57–67, <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.06.133>.
 25. Chakraborty, K., Saha, S.K., Raychaudhuri, U., Chakraborty, R. (2017). Vinegar production from vegetable waste: Optimization of physical condition and kinetic modeling of fermentation process. *Indian Journal of Chemical Technology*, 24(5), 508–516.
 26. Chandra Tiwari, S., HUSAIN Principal, N., Patankar Girls, G.W. (2017). Biological activities and role of flavonoids in human health – a review. *Indian J.Sci. Res*, 12(2), 193–196, <https://www.ijsr.in/upload/43871798640.pdf>.
 27. Chang, J.I., Tsai, J.J., Wu, K.H. (2006). Composting of vegetable waste. *Waste Management and Research*, 24(4), 354–362, <https://doi.org/10.1177/0734242X06065727>.
 28. Chauhan, C., Dhir, A., Akram, M.U., Salo, J. (2021). Food loss and waste in food supply chains. A systematic literature review and framework development approach. *Journal of Cleaner Production*, 295, 126438, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.126438>.
 29. Chen, G.Q., Wu, Q. (2005). The application of polyhydroxyalkanoates as tissue engineering materials. *Biomaterials*, 26(33), 6565–6578, <https://doi.org/10.1016/j.biomaterials.2005.04.036>.
 30. Chen, Xiaoyan, Ding, Y., Forrest, B., Oh, J., Boussert, S. M., Hamann, M.T. (2019). Lemon yellow #15 a new highly stable, water soluble food colorant from the peel of Citrus limon. *Food Chemistry*, 270, 251–256, <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.07.055>.
 31. Chen, Xincai, Chen, G., Chen, L., Chen, Y., Lehmann, J., McBride, M.B., Hay, A.G. (2011). Adsorption of copper and zinc by biochars produced from pyrolysis of hardwood and corn straw in aqueous solution. *Bioresource Technology*, 102(19), 8877–8884, <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2011.06.078>.
 32. Choi, S.Y., Lim, S., Cho, G., Kwon, J., Mun, W., Im, H., Mitchell, R.J. (2020). Chromobacterium violaceum delivers violacein, a hydrophobic antibiotic, to other microbes in membrane vesicles. *Environmental Microbiology*, 22(2), 705–713, <https://doi.org/10.1111/1462-2920.14888>.
 33. Ciccullo, F., Cagliano, R., Bartezzaghi, G., Perego, A. (2021). Implementing the circular economy paradigm in the agri-food supply chain: The role of food waste prevention technologies. *Resources, Conservation and Recycling*, 164(June 2020), 105114, <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2020.105114>.

34. Cieciora-Włoch, W., Borowski, S., Otlewska, A. (2020). Biohydrogen production from fruit and vegetable waste, sugar beet pulp and corn silage via dark fermentation. *Renewable Energy*, 153, 1226–1237, <https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.02.085>.
35. Clemente, R., Pardo, T., Madejón, P., Madejón, E., Bernal, M.P. (2015). Food byproducts as amendments in trace elements contaminated soils. *Food Research International*, 73, 176–189, <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2015.03.040>.
36. Coman, V., Teleky, B.E., Mitrea, L., Martău, G. A., Szabo, K., Călinoiu, L.F., Vodnar, D.C. (2020). Bioactive potential of fruit and vegetable wastes. *Advances in Food and Nutrition Research*, 91, 157–225, <https://doi.org/10.1016/bs.afnr.2019.07.001>.
37. Credou, J., Berthelot, T. (2014). Cellulose: From biocompatible to bioactive material. *Journal of Materials Chemistry B*, 2(30), 4767–4788, <https://doi.org/10.1039/c4tb00431k>.
38. Dahiya, S., Sarkar, O., Swamy, Y.V., Venkata Mohan, S. (2015). Acidogenic fermentation of food waste for volatile fatty acid production with co-generation of biohydrogen. *Bioresource Technology*, 182, 103–113, <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2015.01.007>.
39. Das, D., Veziroglu, T.N. (2008). Advances in biological hydrogen production processes. *International Journal of Hydrogen Energy*, 33(21), 6046–6057, <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2008.07.098>.
40. de Souza de Azevedo, P. O., Aliakbarian, B., Casazza, A.A., LeBlanc, J.G., Perego, P., de Souza Oliveira, R.P. (2018). Production of fermented skim milk supplemented with different grape pomace extracts: Effect on viability and acidification performance of probiotic cultures. *Pharma Nutrition*, 6(2), 64–68, <https://doi.org/10.1016/j.phanu.2018.03.001>.
41. Dhillon, G.S., Brar, S.K., Verma, M., Tyagi, R.D. (2011). Enhanced solid-state citric acid bio-production using apple pomace waste through surface response methodology. *Journal of Applied Microbiology*, 110(4), 1045–1055, <https://doi.org/10.1111/j.1365-2672.2011.04962.x>.
42. Duku, M. H., Gu, S., Hagan, E. Ben. (2011). Biochar production potential in Ghana – A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15(8), 3539–3551, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2011.05.010>.
43. Dunuweera, A.N., Nikagolla, D.N., Ranganathan, K. (2021). Fruit Waste Substrates to Produce Single-Cell Proteins as Alternative Human Food Supplements and Animal Feeds Using Baker's Yeast (*Saccharomyces cerevisiae*). *Journal of Food Quality*, 2021, <https://doi.org/10.1155/2021/9932762>.
44. Edwiges, T., Frare, L., Mayer, B., Lins, L., Mi Triolo, J., Flotats, X., de Mendonça Costa, M.S.S. (2018). Influence of chemical composition on biochemical methane potential of fruit and vegetable waste. *Waste Management*, 71, 618–625, <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.05.030>.
45. Esparza, I., Jiménez-Moreno, N., Bimbela, F., Ancín-Azpilicueta, C., Gandía, L.M. (2020). Fruit and vegetable waste management: Conventional and emerging approaches. *Journal of Environmental Management*, 265(July 2019), <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.110510>.

46. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Save Food: Global Initiative on Food Loss and Waste Reduction; FAO: Rome, Italy, 2011; Available online: <http://www.fao.org/save-food> (accessed on 19 June 2024).
47. Food and Agriculture Organization of the United Nations (2019). The State of Food and Agriculture 2019. Moving forward on food loss and waste reduction. Rome, <https://www.fao.org/3/ca6030en/ca6030en.pdf> (accessed on 22 July 2024).
48. Farah, S., Anderson, D. G., Langer, R. (2016). Physical and mechanical properties of PLA, and their functions in widespread applications — A comprehensive review. *Advanced Drug Delivery Reviews*, 107, 367–392, <https://doi.org/10.1016/j.addr.2016.06.012>.
49. Ferreira, M.S.L., Santos, M.C.P., Moro, T.M.A., Basto, G.J., Andrade, R.M.S., Gonçalves, É.C.B.A. (2015). Formulation and characterization of functional foods based on fruit and vegetable residue flour. *Journal of Food Science and Technology*, 52(2), 822–830, <https://doi.org/10.1007/s13197-013-1061-4>.
50. Foley, J.A., Ramankutty, N., Brauman, K.A., Cassidy, E.S., Gerber, J.S., Johnston, M., Mueller, N.D., O'Connell, C., Ray, D.K., West, P.C., Balzer, C., Bennett, E.M., Carpenter, S.R., Hill, J., Monfreda, C., Polasky, S., Rockström, J., Sheehan, J., Siebert, S., Zaks, D.P.M. (2011). Solutions for a cultivated planet. *Nature*, 478(7369), 337–342, <https://doi.org/10.1038/nature10452>.
51. Gan, I., Chow, W.S. (2018). Antimicrobial poly(lactic acid)/cellulose bionanocomposite for food packaging application: A review. *Food Packaging and Shelf Life*, 17(February), 150–161, <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2018.06.012>.
52. Ganesh Saratale, R., Cho, S. K., Dattatraya Saratale, G., Kadam, A. A., Ghodake, G.S., Kumar, M., Naresh Bharagava, R., Kumar, G., Su Kim, D., Mulla, S.I., Seung Shin, H. (2021). A comprehensive overview and recent advances on polyhydroxyalkanoates (PHA) production using various organic waste streams. *Bioresource Technology*, 325(November 2020), <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2021.124685>.
53. Gao, Y., Li, D., Liu, Y. (2012). Production of single cell protein from soy molasses using *Candida tropicalis*. *Annals of Microbiology*, 62(3), 1165–1172, <https://doi.org/10.1007/s13213-011-0356-9>.
54. Gregg, J. S., Jürgens, J., Happel, M. K., Strøm-Andersen, N., Tanner, A. N., Bolwig, S., Klitkou, A. (2020). Valorization of bio-residuals in the food and forestry sectors in support of a circular bioeconomy: A review. *Journal of Cleaner Production*, 267, 122093, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122093>.
55. Gunjal, A., Gunjal, B. (2021). Management of pressmud (agroindustry by-product) by conversion to value-added products: a review. *Proceedings of the Indian National Science Academy*, 87(1), 11–18, <https://doi.org/10.1007/s43538-021-00010-z>.
56. Gupta, N., Poddar, K., Sarkar, D., Kumari, N., Padhan, B., Sarkar, A. (2019). Fruit waste management by pigment production and utilization of residual as bioadsorbent. *Journal of Environmental Management*, 244(May), 138–143, <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.05.055>.
57. Gustavsson, J., Cederberg, C., Ulf, S. (2011). *Global Food losses and Food waste*. Unep, May, 1, https://www.madr.ro/docs/ind-alimentara/risipa_alimentara/presentation_food_waste.pdf%0Ahttp://www.unep.org/wed/2013/quickfacts

58. Górská A. (2017). Idea zero waste jako inicjatywa oddolna. *Przegląd naukowo-metodyczny, eukacja dla bezpieczeństwa*, 4, s. 143–148.
59. Hegde, S., Lodge, J.S., Trabold, T.A. (2018). Characteristics of food processing wastes and their use in sustainable alcohol production. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 81(July 2016), 510–523, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.07.012>.
60. Hrubá, M., Baxant, J., Čížková, H., Smutná, V., Kovařík, F., Ševčík, R., Hanušová, K., Rajchl, A. (2021). Phloridzin as a marker for evaluation of fruit product's authenticity. *Czech Journal of Food Sciences*, 39(1), 49–57, <https://doi.org/10.17221/239/2020-CJFS>.
61. Jawad, A.H., Alkarkhi, A.F.M., Jason, O.C., Easa, A.M., Nik Norulaini, N.A. (2013). Production of the lactic acid from mango peel waste – Factorial experiment. *Journal of King Saud University – Science*, 25(1), 39–45, <https://doi.org/10.1016/j.jksus.2012.04.001>.
62. John, I., Muthukumar, K., Arunagiri, A. (2017). A review on the potential of citrus waste for D-Limonene, pectin, and bioethanol production. *International Journal of Green Energy*, 14(7), 599–612, <https://doi.org/10.1080/15435075.2017.1307753>.
63. Kamiloglu, S., Pasli, A. A., Ozcelik, B., Van Camp, J., Capanoglu, E. (2015). Influence of different processing and storage conditions on in vitro bioaccessibility of polyphenols in black carrot jams and marmalades. *Food Chemistry*, 186, 74–82, <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.12.046>.
64. Kapasakalidis, P.G., Rastall, R.A., Gordon, M.H. (2006). Extraction of polyphenols from processed black currant (*Ribes nigrum* L.) residues. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54(11), 4016–4021, <https://doi.org/10.1021/jf0529991>
65. Kapoor, M., Panwar, D., Kaira, G.S. (2016). Bioprocesses for Enzyme Production Using Agro-Industrial Wastes: Technical Challenges and Commercialization Potential. In: *Agro-Industrial Wastes as Feedstock for Enzyme Production: Apply and Exploit the Emerging and Valuable Use Options of Waste Biomass*. Elsevier Inc, <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-802392-1.00003-4>.
66. Karnwal, A., Sharma, S., Dohroo, A., Karnwal, A. (2016). Food waste management – a cheap source of lactic acid produced by *Lactobacillus* sp. *Journal of Environmental Research and Protection*, 13(2), 1–8. www.ecoterra-online.ro.
67. Kelly, E., Vyas, P., Weber, J. T. (2018). Biochemical properties and neuroprotective effects of compounds in various species of berries. *Molecules*, 23(1), <https://doi.org/10.3390/molecules23010026>.
68. Khoo, H.E., Azlan, A., Tang, S.T., Lim, S.M. (2017). Anthocyanidins and anthocyanins: Colored pigments as food, pharmaceutical ingredients, and the potential health benefits. *Food and Nutrition Research*, 61(1), 0–21, <https://doi.org/10.1080/16546628.2017.1361779>.
69. Kosseva, M.R. (2009). Processing of food wastes. In: *Advances in Food and Nutrition Research* (1st ed., Vol. 58, Issue 09). Elsevier Inc, [https://doi.org/10.1016/S1043-4526\(09\)58003-5](https://doi.org/10.1016/S1043-4526(09)58003-5).
70. Kowacka E., Malik K. (2013). Koncepcja „zero odpadów” jako element Społecznej odpowiedzialności biznesu. *Zeszyty Naukowe Politechniki Poznańskiej*, nr 60, Organizacja i Zarządzanie, p. 44.
71. Kowalska, H., Czajkowska, K., Cichowska, J., Lenart, A. (2017). What's new in biopotential of fruit and vegetable by-products applied in the food

- processing industry. *Trends in Food Science and Technology*, 67, 150–159, <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2017.06.016>.
72. Kulkarni, S.J. (2015). Production of Citric Acid: A Review on Research and Studies. 2(11), 11–13.
73. Kumar, A., Schreiter, I.J., Wefer-Roehl, A., Tsechansky, L., Schüth, C., Graber, E.R. (2016). Production and Utilization of Biochar From Organic Wastes for Pollutant Control on Contaminated Sites. *Environmental Materials and Waste: Resource Recovery and Pollution Prevention*, 91–116, <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-803837-6.00005-6>.
74. Kumar, Vijay, Darnal, S., Kumar, S., Kumar, S., Singh, D. (2021). Bioprocess for co-production of polyhydroxybutyrate and violacein using Himalayan bacterium *Iodobacter* sp. PCH194. *Bioresource Technology*, 319(October 2020), 124235, <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.124235>.
75. Kumar, Vikas, Kushwaha, R., Goyal, A., Tanwar, B., Kaur, J. (2018). Process optimization for the preparation of antioxidant rich ginger candy using beetroot pomace extract. *Food Chemistry*, 245, 168–177, <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.10.089>.
76. Lasprilla, A.J.R., Martinez, G.A.R., Lunelli, B.H., Jardini, A.L., Filho, R.M. (2012). Poly-lactic acid synthesis for application in biomedical devices – A review. *Biotechnology Advances*, 30(1), 321–328, <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2011.06.019>.
77. Laufenberg, G., Schulze, N. (2009). A modular strategy for processing of fruit and vegetable wastes into value-added products. In: *Handbook of Waste Management and Co-Product Recovery in Food Processing* (Vol. 2). Woodhead Publishing Limited, <https://doi.org/10.1533/9781845697051.3.286>.
78. Li, X., Chen, Y., Zhao, S., Chen, H., Zheng, X., Luo, J., Liu, Y. (2015). Efficient production of optically pure l-lactic acid from food waste at ambient temperature by regulating key enzyme activity. *Water Research*, 70, 148–157, <https://doi.org/10.1016/j.watres.2014.11.049>.
79. Lorenzo, J.M., Pateiro, M., Domínguez, R., Barba, F.J., Putnik, P., Kovačević, D.B., Shpigelman, A., Granato, D., Franco, D. (2018). Berries extracts as natural antioxidants in meat products: A review. *Food Research International*, 106, 1095–1104, <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2017.12.005>.
80. Majerska, J., Michalska, A., Figiel, A. (2019). A review of new directions in managing fruit and vegetable processing by-products. *Trends in Food Science & Technology*, 88(March), 207–219, <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.03.021>.
81. Makarova, E., Górnas, P., Konrade, I., Tirzite, D., Cirule, H., Gulbe, A., Puga-jeva, I., Seglina, D., Dambrova, M. (2014). Acute anti-hyperglycaemic effects of an unripe apple preparation containing phlorizin in healthy volunteers: A preliminary study. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 95(3), 560–568, <https://doi.org/10.1002/jsfa.6779>.
82. Maran, J. P., Priya, B. (2016). Multivariate statistical analysis and optimization of ultrasound-assisted extraction of natural pigments from waste red beet stalks. *Journal of Food Science and Technology*, 53(1), 792–799, <https://doi.org/10.1007/s13197-015-1988-8>.
83. Meena, R.A.A., Rajesh Banu, J., Yukesh Kannah, R., Yogalakshmi, K.N., Kumar, G. (2020). Biohythane production from food processing wastes – Challenges

- and perspectives. *Bioresource Technology*, 298, 122449, <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2019.122449>.
84. 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, <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2016.12.008>.
 85. Mir, S.A., Bosco, S.J.D., Shah, M.A., Santhalakshmy, S., Mir, M. M. (2017). Effect of apple pomace on quality characteristics of brown rice based cracker. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 16(1), 25–32, <https://doi.org/10.1016/j.jssas.2015.01.001>
 86. Mokaddem, H., Sadaoui, Z., Boukhelata, N., Azouaou, N., Kaci, Y. (2009). Removal of Cadmium from aqueous solution by polysaccharide produced from *Paenibacillus polymyxa*. *Journal of Hazardous Materials*, 172(2–3), 1150–1155, <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2009.07.116>.
 87. Mondal, A.K., Sengupta, S., Bhowal, J., Bhattacharya, D.K. (2012). Utilization of Fruit Wastes in Producing Single Cell Protein. *International Journal of Science, Environment and Technology*, 1(5), 430–438.
 88. Możejko-Ciesielska, J., Kiewisz, R. (2016). Bacterial polyhydroxyalkanoates: Still fabulous? *Microbiological Research*, 192(2016), 271–282, <https://doi.org/10.1016/j.micres.2016.07.010>.
 89. Mujtaba, G., Hayat, R., Hussain, Q., Ahmed, M. (2021). Physio-chemical characterization of biochar, compost and co-composted biochar derived from green waste. *Sustainability (Switzerland)*, 13(9), 1–22, <https://doi.org/10.3390/su13094628>.
 90. Nehad, E.A., Atalla, S.M.M. (2020). Production and immobilization of invertase from *Penicillium* sp. using orange peel waste as substrate. *Egyptian Pharmaceutical Journal*, 19(2), 103, https://doi.org/10.4103/epj.epj_41_19.
 91. Panda, S.K., Mishra, S.S., Kayitesi, E., Ray, R.C. (2016). Microbial-processing of fruit and vegetable wastes for production of vital enzymes and organic acids: *Biotechnology and scopes. Environmental Research*, 146, 161–172, <https://doi.org/10.1016/j.envres.2015.12.035>.
 92. Panesar, R., Kaur, S., Panesar, P.S. (2015). Production of microbial pigments utilizing agro-industrial waste: A review. *Current Opinion in Food Science*, 1(1), 70–76, <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2014.12.002>.
 93. Pattanaik, L., Pattnaik, F., Saxena, D.K., Naik, S.N. (2019). Biofuels from agricultural wastes. In: *Second and Third Generation of Feedstocks: The Evolution of Biofuels*. Elsevier Inc, <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-815162-4.00005-7>.
 94. Perotto, G., Ceseracciu, L., Simonutti, R., Paul, U.C., Guzman-Puyol, S., Tran, T.N., Bayer, I.S., Athanassiou, A. (2018). Bioplastics from vegetable waste: Via an eco-friendly water-based process. *Green Chemistry*, 20(4), 894–902, <https://doi.org/10.1039/c7gc03368k>.
 95. Plazzotta, S., Manzocco, L., Nicoli, M.C. (2017). Fruit and vegetable waste management and the challenge of fresh-cut salad. *Trends in Food Science and Technology*, 63, 51–59, <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2017.02.013>.
 96. Puel, C., Quintin, A., Mathey, J., Obled, C., Davicco, M.J., Lebecque, P., Kati-Coulibaly, S., Horcajada, M.N., Coxam, V. (2005). Prevention of bone loss by phloridzin, an apple polyphenol, in ovariectomized rats under

- inflammation conditions. *Calcified Tissue International*, 77(5), 311–318, <https://doi.org/10.1007/s00223-005-0060-5>.
97. Qambrani, N.A., Rahman, M.M., Won, S., Shim, S., Ra, C. (2017). Biochar properties and eco-friendly applications for climate change mitigation, waste management, and wastewater treatment: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 79(November 2016), 255–273, <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.05.057>.
 98. Raji, Y.O., Jibril, M., Misau, I.M., Danjuma, B.Y. (2012). Production of Vinegar From Pineapple Peel. *International Journal of Advanced Scientific Research and Technology*, 2(2), 656–666.
 99. Ramful, D., Bahorun, T., Bourdon, E., Tarnus, E., Aruoma, O. I. (2010). Bioactive phenolics and antioxidant propensity of flavedo extracts of Mauritian citrus fruits: Potential prophylactic ingredients for functional foods application. *Toxicology*, 278(1), 75–87, <https://doi.org/10.1016/j.tox.2010.01.012>.
 100. Rana, S., Gupta, S., Rana, A., Bhushan, S. (2015). Functional properties, phenolic constituents and antioxidant potential of industrial apple pomace for utilization as active food ingredient. *Food Science and Human Wellness*, 4(4), 180–187, <https://doi.org/10.1016/j.fshw.2015.10.001>.
 101. Ravindran, R., Hassan, S.S., Williams, G.A., Jaiswal, A.K. (2018). A review on bioconversion of agro-industrial wastes to industrially important enzymes. *Bioengineering*, 5(4), 1–20, <https://doi.org/10.3390/bioengineering5040093>.
 102. Reddy, C.S.K., Ghai, R., Rashmi, Kalia, V.C. (2003). Polyhydroxyalkanoates: An overview. *Bioresource Technology*, 87(2), 137–146, [https://doi.org/10.1016/S0960-8524\(02\)00212-2](https://doi.org/10.1016/S0960-8524(02)00212-2).
 103. Refaat, A.A., Attia, N.K., Sibak, H.A., El Sheltawy, S.T., ElDiwani, G.I. (2008). Production optimization and quality assessment of biodiesel from waste vegetable oil. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 5(1), 75–82, <https://doi.org/10.1007/BF03325999>.
 104. Refaat, A.A., Refaat, A.A. (2010). Archive of SID Different techniques for the production of biodiesel from waste vegetable oil. *Int. J. Environ. Sci. Tech*, 7(1), 183–213.
 105. Reißner, A.M., Al-Hamimi, S., Quiles, A., Schmidt, C., Struck, S., Hernando, I., Turner, C., Rohm, H. (2019). Composition and physicochemical properties of dried berry pomace. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 99(3), 1284–1293, <https://doi.org/10.1002/jsfa.9302>.
 106. Rorat, A., Vandenbulcke, F. (2019). Earthworms converting domestic and food industry wastes into biofertilizer. In: *Industrial and Municipal Sludge: Emerging Concerns and Scope for Resource Recovery* (Issue Table 2). Elsevier Inc, <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-815907-1.00005-2>.
 107. Sagar, N.A., Pareek, S., Sharma, S., Yahia, E.M., Lobo, M.G. (2018). Fruit and Vegetable Waste: Bioactive Compounds, Their Extraction, and Possible Utilization. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 17(3), 512–531, <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12330>.
 108. Sakurai, K., Arai, H., Ishii, M., Igarashi, Y. (2012). Changes in the gene expression profile of *Acetobacter aceti* during growth on ethanol. *Journal of Bioscience and Bioengineering*, 113(3), 343–348, <https://doi.org/10.1016/j.jbiosc.2011.11.005>.

109. San Martin, D., Ramos, S., Zufia, J. (2016). Valorisation of food waste to produce new raw materials for animal feed. *Food Chemistry*, 198, 68–74, <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2015.11.035>.
110. Saravanan, P., Muthuvelayudham, R., Viruthagiri, T. (2013). Enhanced Production of Cellulase from Pineapple Waste by Response Surface Methodology. *Journal of Engineering* (United Kingdom), 2013, <https://doi.org/10.1155/2013/979547>.
111. Saura-Calixto, F. (2011). Dietary fiber as a carrier of dietary antioxidants: An essential physiological function. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 59(1), 43–49, <https://doi.org/10.1021/jf1036596>.
112. Sójka, M., Kołodziejczyk, K., Milala, J., Abadias, M., Viñas, I., Guyot, S., Baron, A. (2015). Composition and properties of the polyphenolic extracts obtained from industrial plum pomaces. *Journal of Functional Foods*, 12, 168–178, <https://doi.org/10.1016/j.jff.2014.11.015>.
113. Suthar, S. (2009). Vermicomposting of vegetable-market solid waste using *Eisenia fetida*: Impact of bulking material on earthworm growth and decomposition rate. *Ecological Engineering*, 35(5), 914–920, <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2008.12.019>.
114. Ta, A. T., Babel, S. (2019). Utilization of green waste from vegetable market for biomethane production: influences of feedstock to inoculum ratios and alkalinity. *Journal of Material Cycles and Waste Management*, 21(6), 1391–1401, <https://doi.org/10.1007/s10163-019-00898-2>
115. Taiwo, A.M. (2011). Composting as a sustainable waste management technique in developing countries. *Journal of Environmental Science and Technology*, 4(2), 93–102, <https://doi.org/10.3923/jest.2011.93.102>
116. Tarko, T., Duda-Chodak, A., Bebak, A. (2012). Aktywność biologiczna wybranych wyłoków owocowych oraz warzywnych. *Żywność Nauka Technologia Jakość*, 19(4), 55–65.
117. Thiviya, P., Kapilan, R., Madhujith, T. (2021). Production of single cell protein using pineapple, sour orange, and sour mango peel. 3(1), 35–40.
118. Ugalde, U.O., Castrillo, J.I. (2002). Single cell proteins from fungi and yeasts. *Applied Mycology and Biotechnology*, 2, 123–149, <http://www.bpfoods.com>.
119. Ukaegbu-obi, K. (2016). Single Cell Protein: A Resort to Global Protein Challenge and Waste Management. *Journal of Microbiology & Microbial Technology*, 1(1), <https://doi.org/10.13188/2474-4530.1000006>.
120. Velásquez, E., Patiño Vidal, C., Rojas, A., Guarda, A., Galotto, M. J., López de Dicastillo, C. (2021). Natural antimicrobials and antioxidants added to polylactic acid packaging films. Part I: Polymer processing techniques. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 20(4), 3388–3403, <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12777>.
121. Venil, C.K., Dufossé, L., Renuka Devi, P. (2020). Bacterial Pigments: Sustainable Compounds With Market Potential for Pharma and Food Industry. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 4(July), 1–17, <https://doi.org/10.3389/fsu.2020.00100>.
122. Vikas, O.V., Mridul, U. (2014). Bioconversion of papaya peel waste in to vinegar using acetobacter aceti. *Microbiology*, 3(11), 409–411.

123. Wang, F., Terry, N., Xu, L., Zhao, L., Ding, Z., Ma, H. (2019). Fungal laccase production from lignocellulosic agricultural wastes by solid-state fermentation: A review. *Microorganisms*, 7(12), <https://doi.org/10.3390/microorganisms7120665>.
124. Wang, Y., Yin, J., Chen, G.Q. (2014). Polyhydroxyalkanoates, challenges and opportunities. *Current Opinion in Biotechnology*, 30, 59–65, <https://doi.org/10.1016/j.copbio.2014.06.001>.
125. Williams, P.J., Anderson, P.A. (2006). Operational cost savings in dairy plant water usage. *International Journal of Dairy Technology*, 59(2), 147–154, <https://doi.org/10.1111/j.1471-0307.2006.00256.x>.
126. Yai, H. (2008). Edible films and coatings: characteristics and properties. *International Food Research Journal*, 15(3), 237–248.
127. Zhang, Z., O'Hara, I.M., Mundree, S., Gao, B., Ball, A. S., Zhu, N., Bai, Z., Jin, B. (2016). Biofuels from food processing wastes. *Current Opinion in Biotechnology*, 38, 97–105, <https://doi.org/10.1016/j.copbio.2016.01.010>.
128. Zhou, Y.-M., Chen, Y.-P., Shen, Y. (2017). *Single cell protein-feed: Taking orange waste as raw material for fermentation*. 323–335, https://doi.org/10.1142/9789813220393_0041.
129. Zhu, F., Du, B., Zheng, L., Li, J. (2015). Advance on the bioactivity and potential applications of dietary fiber from grape pomace. *Food Chemistry*, 186, 207–212, <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.07.057>.

Biometalurgiczne metody recyklingu metali z elektroodpadów – świadomość użytkowników sprzętu elektronicznego

Biometallurgical methods for metals recycling from electrowaste – awareness of electronic users

Jakub JASIŃSKI, Anna CIESZYŃSKA*

Katedra Technologii i Analizy Instrumentalnej, Instytut Nauk o Jakości,
Uniwersytet Ekonomiczny w Poznaniu;

anna.cieszynska@ue.poznan.pl; <https://orcid.org/0000-0001-7235-4906>

* Korespondencja: anna.cieszynska@ue.poznan.pl

Słowa kluczowe: recykling, gospodarka elektroodpadami, bioługowanie, biosorpcja.

Streszczenie: Wraz z rozwojem technologicznym, rośnie zapotrzebowanie na coraz nowsze produkty, które zachwyca konsumenta zarówno innowacyjnością, jak i niepowtarzalnością. Od początku XX wieku producenci rozpoczęli rywalizację na rynku sprzętów elektrycznych i elektronicznych w celu zdominowania przeciwników nowymi produktami. Po raz pierwszy przedsiębiorstwa musiały zaimponować konsumentom klas średniej i niższej ze względu na upowszechnienie się domowych sprzętów elektrycznych. Wśród najpopularniejszych urządzeń można wymienić radia, telewizory, lodówki, kuchenki elektryczne, kuchenki mikrofalowe itp. Jednocześnie rozwój zaawansowanych, szybszych i bardziej niezawodnych technologii obliczeniowych i przetwarzania danych doprowadził do skrócenia cyklu życia produktów, co zmusiło konsumentów do zakupu nowszych i bardziej aktualnych technologii, a jednocześnie odrzucenia produktów starszych. Wszystkie te zmiany doprowadziły z kolei do gwałtownego wzrostu ilości wytwarzanych odpadów elektronicznych. Z szacunków ONZ wynika, że w 2023 roku każdy mieszkaniec globu wygenerował średnio aż 8 kg elektroodpadów. Obecnie do odzysku metali nieżelaznych i metali szlachetnych, w tym platynowców, stosowane są tradycyjne metody pirometalurgiczne oraz metody hydrometalurgiczne. Równolegle prowadzone są prace nad alternatywnymi metodami recyklingu metali krytycznych stosowanych do produkcji sprzętów elektrycznych i elektronicznych. Biosorpcja i bioługowanie są jednymi z procesów najczęściej omawianych w przypadku dyskusji nad zróżnicowaniem obecnych na rynku procesów odzysku metali. Pomimo wielu inicjatyw informacyjnych i społecznych świadomość społeczeństwa na temat prawidłowej utylizacji odpadów wydaje się nie zwiększać. Wskazują na to raporty opisujące m.in. niskie odsetki odpadów utylizowanych w sposób bezpieczny dla środowiska. Z tego względu poniższa praca ma na celu sprawdzenie wiedzy użytkowników urządzeń elektronicznych na temat recyklingu metali krytycznych dla przemysłu elektronicznego z e-odpadów.

Keywords: recycling, electronic waste management, bioleaching, biosorption.

Abstract: With technological development, the demand for newer products that will delight the consumer with both innovation and uniqueness is growing. From the beginning of the 20th century, manufacturers began competing in the electrical and electronic equipment market in order to dominate their opponents with new products. For the first time, businesses had to impress middle and lower class consumers due to the spread of home electrical

appliances. The most popular devices include radios, televisions, refrigerators, electric stoves, microwave ovens, etc. At the same time, the development of advanced, faster and more reliable computing and data processing technologies has led to a shortening of the product life cycle, which forced consumers to purchase newer and more up-to-date technologies, and at the same time rejecting older products. All these changes, in turn, have led to a sharp increase in the amount of electronic waste generated. UN estimates show that in 2023, each resident of World will generate on average as much as 8 kg of electronic waste. Currently, traditional pyrometallurgical and hydrometallurgical methods are used to recover non-ferrous metals and precious metals, including platinum metals. In parallel, work is being carried out on alternative methods of recycling critical metals used in the production of electrical and electronic equipment. Biosorption and bioleaching are among the most frequently discussed processes when discussing the diversity of metal recovery processes currently available on the market. Despite many information and social initiatives, public awareness of proper waste disposal does not seem to be increasing. This is indicated by reports describing, among others, low percentages of waste disposed of in an environmentally safe manner. Therefore, the following work aims to check the knowledge of electronic device users about recycling metals critical for the electronics industry from e-waste.

Wprowadzenie

W ostatnich dwóch dekadach zaobserwowano lawinowy rozwój branży elektronicznej, która zrewolucjonizowała świat. Ilość odpadów elektronicznych wytworzonych na całym świecie w 2019 r. wyniosła około 54 miliony ton. Ciągły wzrost produkcji i sprzedaży sprzętu elektronicznego i elektrycznego przyczynił się do znacznego wzrostu ilości odpadów elektronicznych i elektrycznych. Szacuje się, że ta tendencja wzrostowa utrzyma się, a prognozy wskazują, że do 2030 r. roczna produkcja elektroodpadów na całym świecie wzrośnie o około 30%. W skali globalnej rocznie na mieszkańca przypada średnio 8 kilogramów e-odpadów. Ilość ta różni się jednak znacznie w zależności od regionu. Chociaż Azja produkuje najwięcej elektroodpadów na świecie, mieszkańcy bogatszych krajów zazwyczaj wytwarzają więcej e-odpadów na mieszkańca niż mieszkańcy krajów rozwijających się. Na przykład w Europie ilość wytwarzanych e-odpadów na jednego mieszkańca wynosi ponad 16 kilogramów rocznie, podczas gdy w Azji wynosi ona 5 kilogramów. W Afryce poziom ten jest jeszcze niższy i wynosi zaledwie 2,5 kilograma na osobę rocznie (Zhavoronkova i in., 2021; Forti i in., 2020; Statistica 14.03.2024).

Zużyty sprzęt elektryczny i elektroniczny (ZSEE) zawiera ok. 60 różnych komponentów, takich jak: metale szlachetnie (Au, Ag, Pd, Pt), metale podstawowe i specjalne (Cu, Al, Ni, Zn, Fe, Se, In, Ga), metale niebezpieczne (Hg, Pb, Cd, Be, As), halogenki (Br, Cl), tworzywa sztuczne, szkło oraz ceramika. Obecnie globalny udział udokumentowanych, zebranych

i poddanych recyklingowi elektroodpadów wynosi zaledwie 20%. Zamiast tego duże ilości odpadów często trafiają na wysypiska śmieci. Ze względu na materiały niebezpieczne zawarte w elektronice odpady te stanowią coraz większy problem środowiskowy na całym świecie. Dlatego recykling ZSEE jest jak najbardziej uzasadniony, nie tylko z uwagi na wpływ, jaki mogą wywierać odpady na środowisko w przypadku niekontrolowanego postępowania z nimi, ale również umotywowany opłacalnością ze względu na możliwość odzysku wartościowych składników, np. metali szlachetnych (Eurostat 2023; Heacock i in., 2016; Kumar i Holuszko, 2017).

ZSEE – definicje i regulacje prawne

W celu właściwego zarządzania niebezpiecznymi odpadami, jakimi jest zużyty sprzęt elektroniczny i elektryczny (ZSEE), Unia Europejska wprowadziła Dyrektywy 2002/95/WE oraz 2002/96/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 27 stycznia 2003 r. Zdefiniowała urządzenia elektroniczne i elektryczne jako „urządzenia, których właściwe działanie jest uzależnione od zasilania prądem elektrycznym lub polem elektromagnetycznym, oraz urządzenia do wytwarzania, przesyłu oraz pomiaru prądu i pól oraz przeznaczone do użycia przy napięciu znamionowym nieprzekraczającym 1000 woltów dla prądu zmiennego i 1500 woltów dla prądu stałego” a ZSEE (ang. *WEEE*) określiła jako „urządzenia elektryczne lub elektroniczne, które są odpadami, w tym wszystkie części składowe, podzespoły i produkty zaopatrzenia stanowiące część produktu w momencie jego usuwania”. Głównym założeniem tych dyrektyw jest ograniczenie powstawania zużytych sprzętów elektronicznych i elektrycznych oraz ponowne ich użycie i recykling w celu ograniczenia ilości odpadów. Ponadto, państwa Unii Europejskiej mają obowiązek projektowania i produkcji urządzeń elektronicznych i elektrycznych w sposób umożliwiający ich demontaż, a także odzysk. 13 sierpnia 2012 r. weszła w życie nowa Dyrektywa Parlamentu Europejskiego i Rady 2012/19/UE z dnia 4 lipca 2012 r. w sprawie zużytego sprzętu elektrycznego i elektronicznego (ZSEE). Dyrektywa ta nakłada na kraje członkowskie Unii Europejskiej obowiązek zwiększenia ilości sprzętu elektronicznego i elektrycznego poddawanego recyklingowi. 1 stycznia 2016 r. weszła w życie ustawa z dnia 11 września 2015 r. o zużytym sprzęcie elektrycznym i elektronicznym. Znalazła ona zastosowanie w odniesieniu do sprzętu elektrycznego i elektronicznego oraz zużytego sprzętu, dokonując w zakresie swojej regulacji wdrożenia wytycznych dyrektywy Parlamentu Europejskiego i Rady 2012/19/UE z dnia 4 lipca 2012 r. w sprawie zużytego sprzętu elektrycznego i elektronicznego. Ustawa określa prawa i obowiązki podmiotów: wprowadzających do obrotu sprzęt,

dystrybutorów sprzętu, autoryzowanych przedstawicieli, producentów sprzętu, zbierających, przetwarzających, dokonujących recyklingu, innych niż recykling procesów odzysku zużytego sprzętu, organizacji odzysku sprzętu elektrycznego i elektronicznego, prowadzących punkt serwisowy (Dyrektywa 2002/95/WE, Dyrektywa 2002/96/WE, Dyrektywa 2012/19/UE, Ustawa z dnia 11 września 2015 r. Dz.U.2022.1622 t.j.).

Od 1 stycznia 2018 r. zakres grup sprzętu podlegających przepisom ustawy został zmieniony na 6 grup (Ustawa z dnia 11 września 2015 r. Dz.U.2022.1622 t.j.):

- (1) urządzenia zmieniające temperaturę: lodówki, zamrażarki, klimatyzatory, pompy ciepła;
- (2) ekrany i monitory: telewizory, monitory, laptopy, notebooki, tablety;
- (3) lampy: lampy fluorescencyjne, lampy LED, wysokowydajne lampy wyładowcze;
- (4) duży sprzęt: pralki, suszarki do ubrań, kuchenki elektryczne, duże maszyny drukarskie, kserokopiarki, panele fotowoltaiczne;
- (5) mały sprzęt: odkurzacze, tostery, kuchenki mikrofalowe, urządzenia wentylacyjne, wagi, kalkulatory, radia, golarki elektryczne, czajniki, kamery, zabawki, narzędzia elektroniczne, urządzenia medyczne, małe urządzenia do monitorowania i kontroli;
- (6) mały sprzęt IT i telekomunikacyjny: telefony komórkowe, kalkulatory kieszonkowe, routery, GPS, komputery osobiste, drukarki, telefony.

Każdy produkt z sześciu kategorii e-odpadów posiada inną „długość życia”, co oznacza, że każda kategoria ma różne ilości odpadów, ekonomiczne wartości, a także potencjalny wpływ na środowisko i zdrowie, jeśli zostanie niewłaściwie zagospodarowana lub przetworzona. Dlatego procesy zbiórki i logistyki oraz technologia recyklingu różnią się dla każdej kategorii, podobnie jak różnią się postawy konsumenckie w przypadku utylizacji sprzętu elektrycznego i elektronicznego

Ponadto od 1 stycznia 2021 r. wprowadzający sprzęt jest obowiązany do osiągnięcia minimalnych rocznych poziomów zbierania zużytego sprzętu, które wynoszą nie mniej niż 65% średniorocznej masy sprzętu wprowadzonego do obrotu albo 85% masy zużytego sprzętu wytworzonego na terytorium kraju (Ustawa z dnia 11 września 2015 r. Dz.U.2022.1622 t.j.).

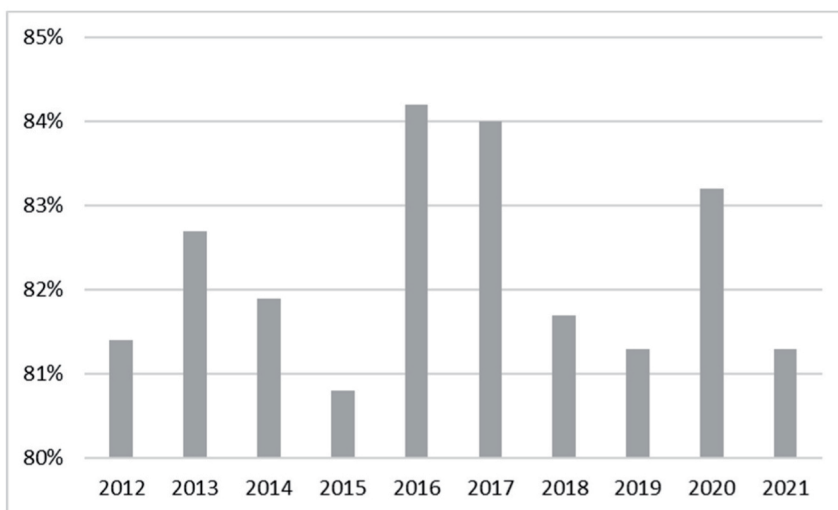
Recykling ZSEE

Biorąc pod uwagę fakt, że zużyty sprzęt elektryczny i elektroniczny (ZSEE) jest najszybciej narastającym strumieniem odpadów na świecie, jego recykling jest jak najbardziej uzasadniony. ZSEE zawiera ok. 60 różnych komponentów, takich jak: metale szlachetne (Au, Ag, Pd, Pt), metale

podstawowe i specjalne (Cu, Al, Ni, Zn, Fe, Se, In, Ga), metale niebezpieczne (Hg, Pb, Cd, Be, As), halogenki (Br, Cl), tworzywa sztuczne, szkło oraz ceramika. Cennymi komponentami ZSEE są metale szlachetne (złoto, srebro, pallad, czy platyna), które stanowią o wartości złomu elektronicznego, jak: telefony komórkowe czy komputery. Tona telefonów komórkowych (ok. 6000 sztuk) zawiera około 1,5 kg srebra, 300–350 g złota i 140 g palladu (Watari i in., 2020, 2021; Dias i in., 2022).

Metale szlachetne stanowią ponad 70% wartości telefonów komórkowych, kalkulatorów i drukowanych płytek obwodowych oraz 40% płyt TV i DVD (Holgerson i in., 2018; Zang i Xu, 2016).

W krajach Unii Europejskiej poziom recyklingu osiąga relatywnie wysokie wartości (rys. 1). Wynika to z polityki proekologicznej Unii oraz z wielu inicjatyw społeczno-gospodarczych, które naturalnie częściej występują w krajach dobrze rozwiniętych. Wskaźnik recyklingu obliczony został poprzez podzielenie masy zużytego sprzętu elektrycznego i elektronicznego (ZSEE) trafiającego do zakładu recyklingu/przygotowania do ponownego użycia przez masę całego selektywnie zebranego ZSEE (oba w jednostkach masy).

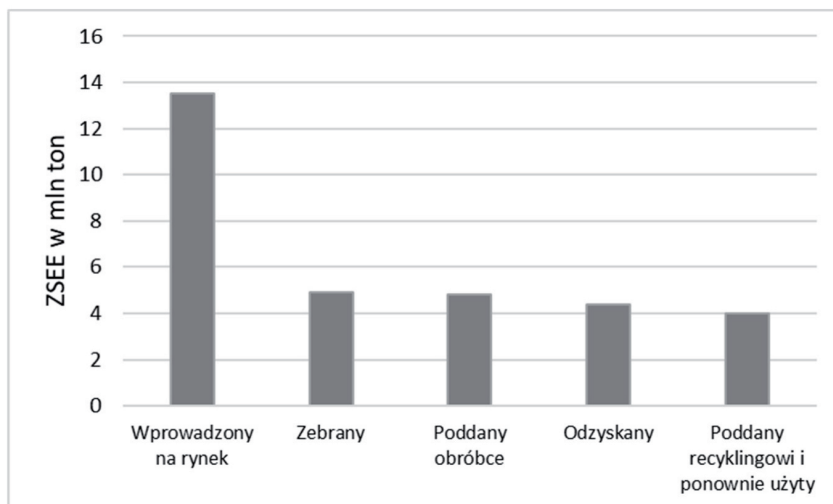


Rys. 1. Recykling zużytego sprzętu elektrycznego i elektronicznego (WEEE) zebranego selektywnie w UE w latach 2012–2021

Źródło: opracowanie własne na podstawie Eurostat 2023.

W 2021 r. w Unii Europejskiej (UE-27) wprowadzono do obrotu około 13,5 mln ton sprzętu elektrycznego i elektronicznego. W tym samym roku w całej Unii Europejskiej zebrano łącznie 4,9 mln ton zużytego sprzętu

elektrycznego i elektronicznego, z których około 4 mln ton zostało poddanych recyklingowi i przygotowanych do ponownego użycia (rys. 2) (Statista, 2024).

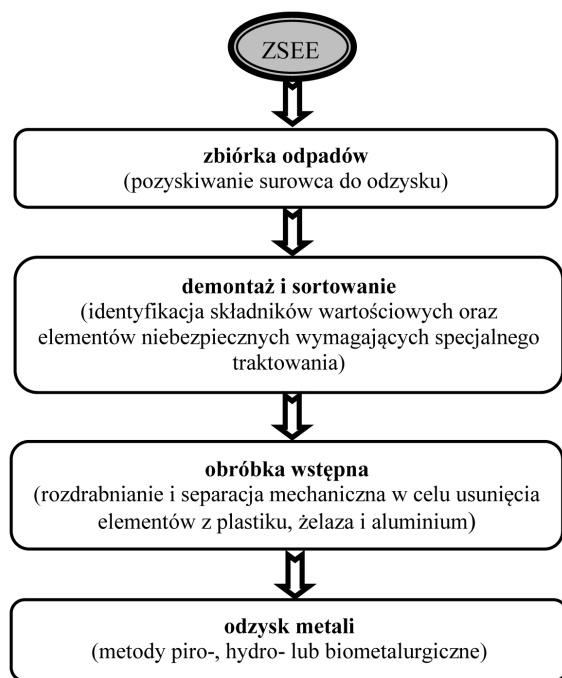


Rys. 2. Przepływ zużytego sprzętu elektrycznego i elektronicznego (ZSEE) w Unii Europejskiej w 2021 r. według sposobu zagospodarowania

Źródło: opracowanie własne na podstawie Statista, 2024.

Poziom odzysku wartościowych metali zależy od skuteczności i efektywności każdego z etapów tworzących łańcuch recyklingu (rys. 3).

Obecnie do odzysku metali nieżelaznych i metali szlachetnych stosowane są tradycyjne metody pirometalurgiczne oraz metody hydrometalurgiczne. Proces pirometalurgiczny polega na topieniu odpadów elektronicznych w piecu w wysokiej temperaturze i jest najczęściej stosowanym procesem odzysku metali z ZSEE. W procesach tych rozdrobniony złom jest topiony w piecu lub w kąpeli metalicznej w celu usunięcia tworzyw sztucznych oraz trudnotopliwych tlenków wraz z tlenkami metali tworzących fazę żużlową. W trakcie wytapiania odzyskuje się również miedź zawartą w złomie elektronicznym, a także metale szlachetne, które rozpuszczają się w stopionej miedzi, takie jak srebro, złoto, platyna i pallad. Hydrometalurgia stanowi zbiór technik mokrych, w których stosowane są roztwory wodne w celu odzyskania metali z rud, koncentratów oraz materiałów z recyklingu. Wykorzystywana jest do odzyskiwania mniej elektrododatnich lub mniej reaktywnych metali (m.in. złoto, srebro, miedź). Metoda ta składa się z kilku etapów: ługowanie, zateżnienie roztworu, separacja i oczyszczanie (ekstrakcja rozpuszczalnikowa, adsorpcja, wymiana jonowa) oraz wydzielenie metali (Willner i Fornalczyk, 2012).



Rys. 3. Etapy recyklingu ZSEE

Źródło: Opracowanie własne na podstawie Cieszyńska, 2017.

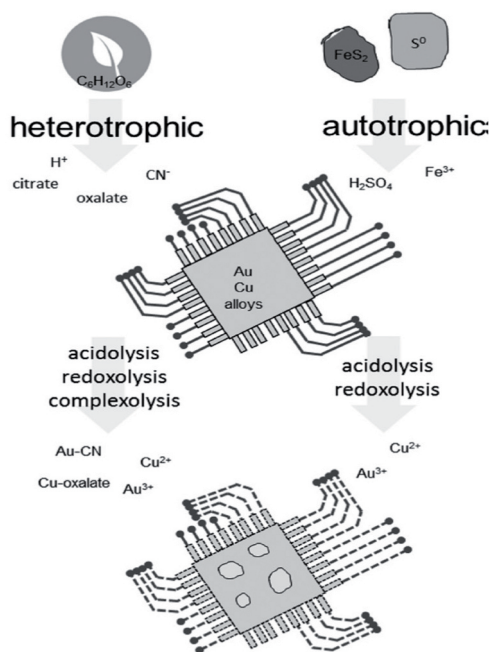
W celu odzysku metali ze zużytego sprzętu elektronicznego i elektrycznego stosowane są również procesy biometalurgiczne, z powodzeniem wykorzystywane w przetwórstwie mineralnym jako alternatywne technologie odzyskiwania metali z rud niskiej jakości oraz koncentratów. Dotychczas w przemyśle metody biometalurgiczne zastosowano do odzysku złota z rud arsenopirytowych, do ługowania miedzi z ubogich surowców, do przerobu tlenkowych rud uranu oraz biosorpcji metali ciężkich. Istnieją dwa główne typy procesów biologicznych wykorzystywanych w biometalurgii do odzysku metali: bioługowanie i biosorpcja.

Efektywność procesów bioługowania i biosorpcji metali z ZSEE

Bioługowanie stanowi zbiór procesów, w których następuje konwersja stałych, nierozpuszczalnych metali i ich związków do form rozpuszczalnych w wodzie przy udziale mikroorganizmów. Najczęściej proces bioługowania prowadzi się w środowisku kwaśnym, wykorzystując takie procesy jak utlenianie siarki, bądź jej zredukowanych związków, do kwasu siarkowego oraz produkcja kwasów

organicznych w tlenowych cyklach oddechowych lub w wyniku fermentacji węglowodanów. Bioługowanie metali z elektrodopadów prowadzone jest przez bardzo zróżnicowaną grupę mikroorganizmów, obejmującą głównie trzy grupy drobnoustrojów, w tym bakterie chemolitotroficzne, bakterie heterotroficzne i grzyby. Aktualny stan badań nad odzyskiwaniem metali z ZSEE za pomocą biotechnologii obejmuje zarówno substancje autotroficzne (tj. bakterie utleniające żelazo i siarkę) i heterotroficzne (np. mikroorganizmy telluryczne wytwarzające cyjanki). Na rysunku 4 przedstawiono mechanizm heterotroficznego i autotroficznego bioługowania surowców wtórnych (Adetunji i in., 2023, Isildar i in., 2019).

Wśród najczęściej używanych rodzajów bakterii można wymienić między innymi: *Bacillus*, *Pseudomonas*, *Micrococcus*, *Streptococcus*, *Staphylococcus*, *Enterobacter* i *Escherichia*.



Rys. 4. Konwencjonalne heterotroficzne i autotroficzne bioługowanie surowców wtórnych

Źródło: Isildar i in., 2019.

Biosorpcja metali przez drobnoustroje to proces fizykochemiczny, polegający na wiązaniu metali (najczęściej kationów) przez osłony zewnętrzne komórek (ściana komórkowa, otoczka, materiały zewnątrzkomórkowe). Mechanizm biosorpcji jest zróżnicowany. Może być ona spowodowana adsorpcją, wymianą jonową, mikroprecypitacją/kryształizacją,

Tabela 1. Wydajność i zdolność biotechnologicznych metod odzyskiwania cennych metali z ZSEE

Mikroorganizmy		Rodzaj e-odpadu	Parametry procesu	Wydajność, %
Bakterie	<i>Pseudomonas chlororaphilis</i>	Płytki drukowane PCBs	pH 7,0; 25°C; glicyna 4,4 g/L; + metionina 2 g/L; 72 h; 60 rpm	8,2% (Au); 12,1% (Ag); 52,3% (Cu)
	<i>Chromobacterium violaceum</i>	PCBs z telefonów komórkowych	H ₂ O ₂ 0,004% (v/v); pH 8,0–11,0; 150 rpm; 30° C; gęstość biomasy 15 g/L; 8 d	24,6% (Cu); 11,31% (Au)
	<i>Bacillus foraminis</i>	Wyświetlacz AMOLED ze smartfonów	Czas inkubacji 12 d; 160 rpm; 40°C	100% (Ag); 56,8% (Mo); 41,4% (Cu)
	<i>Pseudomonas biofilm</i>	PCBs z komputerów	Gęstość biomasy 2%; pH 7,0; 25°C; 7 d	14,7% (Ag)
	<i>Bacillus megaterium</i>	PCBs z komputerów	Gęstość biomasy 2 g/L; pH 10,0	63,8% (Au)
	<i>Chromobacterium violaceum</i> MTCC 2656	Karty SIM	pH 9,0; glicyna 5 g/L; gęstość biomasy 10 g/L; 150 rpm; 30° C; 7 d	13,79% (Cu); 0,44% (Au); 2,55% (Ag)
	<i>Pseudomonas putida</i>	PCBs	pH 7,3–8,6; gęstość biomasy 5 g/L; glicyna 10 g/L; 150 rpm; 2 d	44% (Au)
	<i>Acidithiobacillus ferrooxidans</i>	Brak danych	pH 2,0; 30 °C, gęstość biomasy 1,5%	97% (Cu); 84% (Zn); 75% (Al)
	<i>Pseudomonas balearica</i> SAE1	PCBs	pH 9,0; gęstość biomasy 10 g/L; 30°C; glicyna 5 g/L	68,5% (Au); 33,8% (Ag)
Grzyby	<i>Aspergillus niger</i>	PCBs	Gęstość biomasy (0,5–20 g/L); 120 rpm; temp. otoczenia; 30 d	100% (Zn); 80,39% (Ni); 85,88% (Cu)
	<i>Trichoderma viride</i>	PCBs z komputerów	pH 5,0; 30 d; 1 g PCB	1% (Pd); 10% (Au)
	<i>Penicillium simplicissimum</i>	PCBs z telefonów komórkowych	Cu: pH 7,0; 3,3-107 zarodników; cukier Ni: pH 2,0; 106 zarodników; melasa	90% (Cu); 89% (Ni)
	<i>Aspergillus tubingensis</i>	PCBs z komputerów	pH 5,0; gęstość biomasy 0,25%–1%; 33 d	34% (Cu); 54% (Zn); 8% (Ni)
	<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	PCBs	5,0-1014 komórek; 10 min	98% (Au)
	<i>Trichoderma atroviride</i>	PCBs z komputerów	pH 5,0; 1 g PCBs; 30 d	1% (Pd); 13% (Au)

Note: PCB – (ang. Printed Circuit Board) płytki obwodu drukowanego lub płytki drukowane

Źródło: Işıldar i in., 2019; Adetunji i in., 2023; Ruan i in., 2014; Chi i in., 2011; Golzar-Ahmadi i Mousovi, 2021; Kumar i in., 2018; Hu i in., 2021; Sahni i in., 2016; Faraji i in., 2018.

kompleksowaniem metali. W procesie biosorpcji o wiele częściej stosuje się martwą biomasę bakterii ze względu na możliwość wielokrotnego wykorzystania oraz wyższe wyniki wydajności procesu adsorpcji i desorpcji (Adetunji i in., 2023, Isildar i in., 2019).

W tabeli 1 zestawiono wybrane gatunki mikroorganizmów stosowanych w biometalurgicznym procesie odzysku metali z elektroodpadów.

Świadomość użytkowników elektroniki na temat recyklingu metali krytycznych dla przemysłu elektronicznego z ZSEE

Cel i metodyka badawcza

Celem badania były przegląd i analiza wiedzy użytkowników elektroniki na temat recyklingu metali z elektroodpadów oraz dostępności różnych form ich utylizacji. Skupiono się przede wszystkim na wiedzy dotyczącej konkretnych terminów, takich jak „e-odpad”, „biosorpcja”, „bioługowanie”, znaczenia danych metali dla przemysłu elektronicznego oraz dostępu do informacji na temat recyklingu metali z ZSEE.

Badanie wykonano za pośrednictwem autorskiej ankiety w listopadzie i grudniu 2023 roku. Docelową grupę badawczą stanowili użytkownicy urządzeń elektronicznych, mieszkający na terenie województwa wielkopolskiego.

Ankiety podzielono na trzy części. W pierwszej części, poza wyżej wymienionymi pytaniami o terminologię, w kwestionariuszu znalazły się także pytania o potencjalne źródła informacji o powyższej terminologii oraz pytania dotyczące scharakteryzowania przykładowych e-odpadów. W drugiej części uczestnicy badania zostali zaznajomieni z definicją „urządzenia elektrycznego lub elektronicznego” i „e-odpadu”, co miało na celu ujednoczenie kontekstu badania i terminologii wykorzystywanej w dalszych pytaniach. Druga część badała zachowania użytkowników w odniesieniu do zepsutej elektroniki, poglądy na temat znaczenia poszczególnych metali wykorzystywanych w przemyśle elektronicznym oraz świadomość i dostęp do informacji na temat prawidłowej utylizacji e-odpadów.

Trzecią część ankiety stanowiły pytania o cechy demograficzno-społeczne respondentów, takie jak płeć, wiek, miejsce zamieszkania oraz wykształcenie.

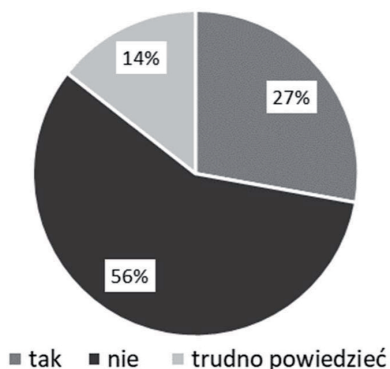
Wyniki

W badaniu wzięło udział 120 osób w wieku: mniej niż 25 lat (60%), 25–40 lat (26%), 41–55 (14%), z czego 53% stanowiły kobiety, a 47%

mężczyźni. 26% respondentów jako miejsce zamieszkania wskazało miasto do 50 tys. mieszkańców, 1% – miasto w przedziale 50–150 tys. mieszkańców, 3% – miasto od 150 tys. do 500 tys. mieszkańców, a 70% – miasto powyżej 500 tys. mieszkańców. Spośród wszystkich respondentów 16% posiadało wykształcenie zawodowe, 35% – średnie, a 49% – wyższe.

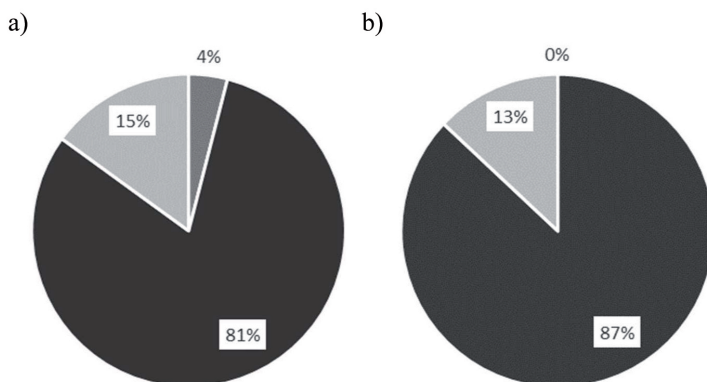
Pytania pierwszej części miały na celu sprawdzenie wiedzy uczestników badania na temat terminologii technik biohydrometalurgicznych.

27% respondentów spotkało się wcześniej z terminem „e-odpad”. Jako źródła informacji na temat „e-odpadów” wymieniano m.in. internet, media społecznościowe, zajęcia na studiach, stronę GOAP, telewizję, wiadomości online, reklamy społeczne. 56% respondentów nie słyszało nigdy terminu „e-odpad”, a 17% nie było w stanie stwierdzić, czy kiedykolwiek spotkało się z tym terminem (rys. 5).



Rys. 5. Czy spotkał/a się Pan/Pani z terminem „e-odpad”?

Źródło: opracowanie własne.

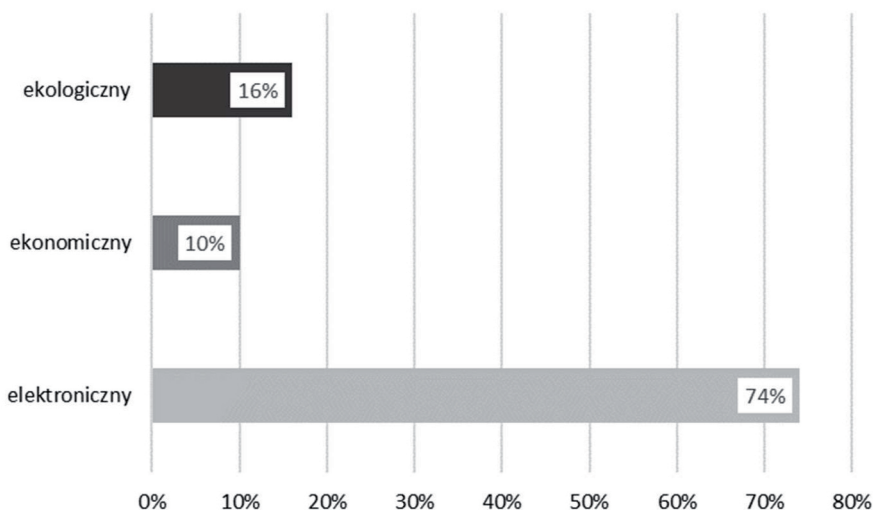


Rys. 6. Czy spotkał/a się Pan/Pani z terminem a) „biosorpcja” b) „biolugowanie”?

Źródło: opracowanie własne.

Termin „biosorpcja” znany był dla 4% badanych (głównie z zajęć na studiach), 81% nigdy o nim nie słyszało, a 15% nie umiało określić swojego stanowiska (rys. 6a). Natomiast termin „bioługowanie” był nieznany dla 87% respondentów, a 13% nie umiało stwierdzić, czy kiedykolwiek słyszało ten termin (rys. 6b).

74% badanych rozwinęło przedrostek „e-” w terminie „e-odpad” jako „elektroniczny”, 10% jako „ekonomiczny”, a 16% jako „ekologiczny” (rys. 7). Najczęściej jako przykład e-odpadów respondenci wymieniali: baterie, komputery, telefony, części składowe elektroniki, lodówki, telewizory, akumulatory, akcesoria komputerowe, żarówki, aparaty fotograficzne, elektryczne kable.

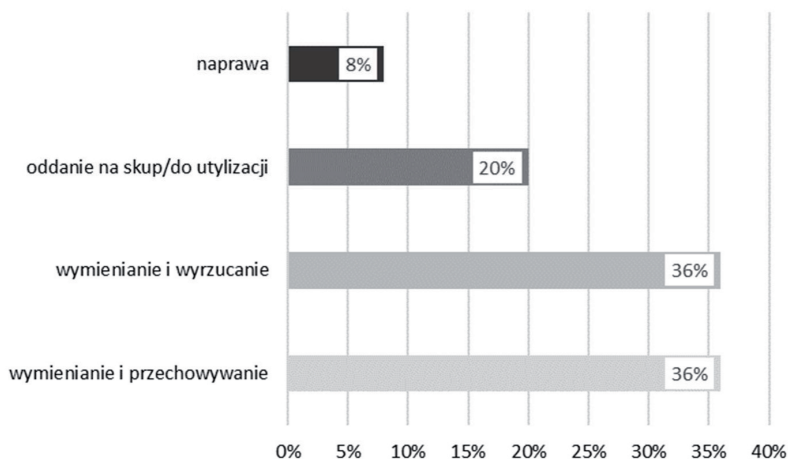


Rys. 7. Co według Pani/Pana określa przedrostek „e-” w terminie „e-odpad”?

Źródło: opracowanie własne.

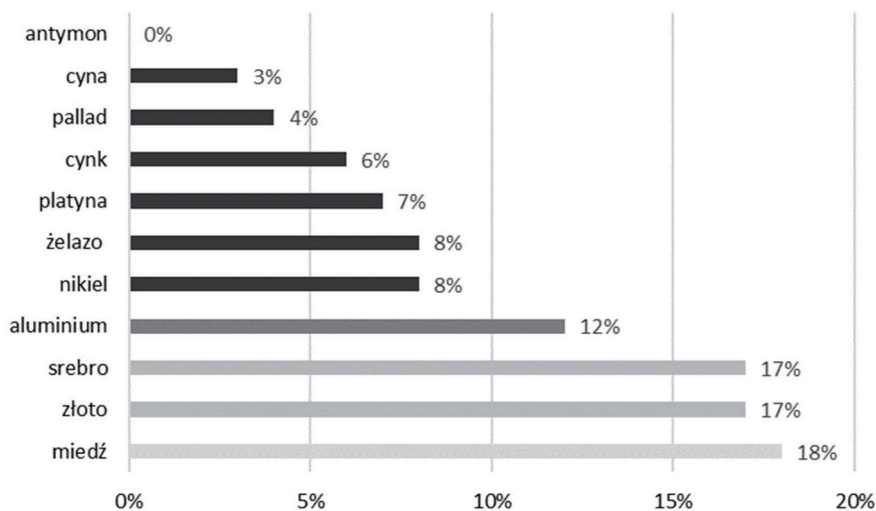
Po zapoznaniu się z definicją e-odpadów i urządzeń elektrycznych oraz elektronicznych respondenci odpowiedzieli na pytania dotyczące m.in. postępowania z popsułą elektroniką, dostępności informacji na temat recyklingu e-odpadów, a także konsekwencji niewłaściwej utylizacji oraz znaczenia poszczególnych metali dla przemysłu elektronicznego.

Najpowszechniejszymi sposobami postępowania z popsułą elektroniką było „wymienianie i przechowywanie” (36%) oraz „wymienianie i wyrzucanie” (36%), następnie „oddanie na skup/do utylizacji” (20%) i „naprawa” (8%) (rys. 8).



Rys. 8. Co najczęściej robi Pani/Pan z popsutą elektroniką?

Źródło: opracowanie własne.

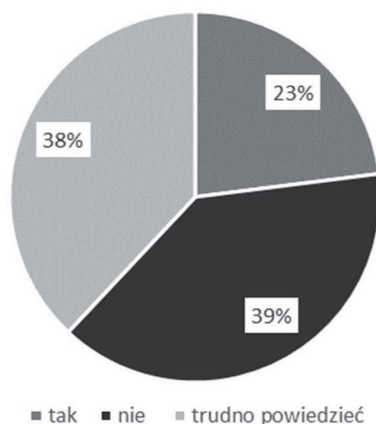


Rys. 9. Znaczenie metali dla przemysłu elektronicznego wg respondentów

Źródło: opracowanie własne.

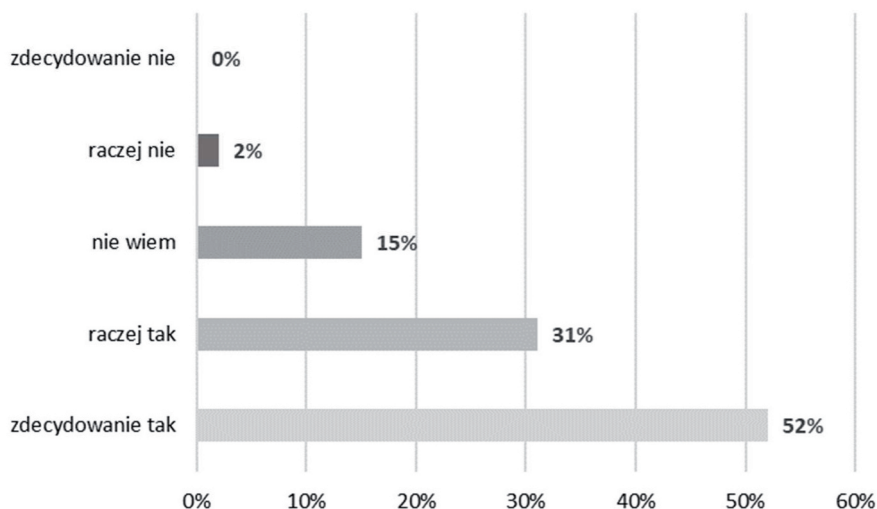
Według respondentów miedź jest najważniejsza dla przemysłu elektronicznego spośród poszczególnych metali (Fe, Ag, Au, Cu, Ni, Sn, Al, Zn, Sb, Pt, Pd). Takiej odpowiedzi udzieliło (18%) badanych. Na drugiej pozycji uplasowało się złoto (17%) i srebro (17%), a na trzeciej – aluminium (12%) (rys. 9).

23% respondentów deklaruje, że wie, jakie konsekwencje dla środowiska niesie za sobą niewłaściwe utylizowanie e-odpadów. 39% nie zna odpowiedzi na to pytanie, a 38% nie umiało stwierdzić, czy posiada wiedzę na ten temat (rys. 10).



Rys. 10. Czy wie Pani/Pan, jakie konsekwencje dla środowiska niesie za sobą niewłaściwe utylizowanie e-odpadów?

Źródło: opracowanie własne.

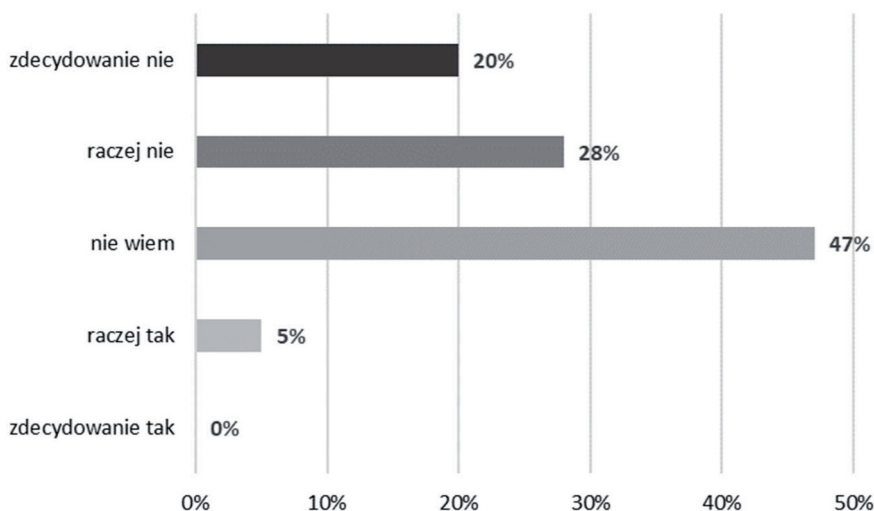


Rys. 11. Czy sądzi Pani/Pan, że edukacja społeczeństwa na temat alternatywnych, bardziej ekologicznych metod odzysku metali jest istotna?

Źródło: opracowanie własne.

83% badanych wskazało potrzebę edukacji społeczeństwa na temat alternatywnych metod odzysku e-odpadów, 2% nie wykazało takiej potrzeby, a 15% nie miało zdania na ten temat (rys. 11).

5% respondentów uważa, że w ich regionie istnieje wystarczająca dostępność informacji na temat bezpiecznego pozbywania się e-odpadów, 47% nie ma zdania na ten temat, a 48% wskazało, że dostępność informacji jest niewystarczająca (rys. 12).



Rys. 12. Czy uważa Pani/Pan, że istnieje wystarczająca dostępność do informacji na temat bezpiecznego pozbywania się e-odpadów w Pani/Pana regionie?

Źródło: opracowanie własne.

Wnioski

Od początku XX wieku wraz z postępem technologicznym zapotrzebowanie na nowoczesne produkty elektryczne i elektroniczne znacząco wzrosło. Masowa produkcja tych produktów przyczyniła się do skrócenia ich cyklu życia, a szybko wprowadzane nowe modele zachęcały do częstszych wymian, zaniedbując opcję naprawy. Trend ten spowodował wzrost ilości odpadów związanych ze sprzętem elektrycznym i elektronicznym. Odpowiedni recykling e-odpadów może zatem dostarczyć dużą ilość cennych metali, jeżeli natomiast nie będzie on przeprowadzany, to ZSEE staną się zmarnowanym strumieniem śmieci. Obecnie duży nacisk kładzie się głównie na opracowanie technik, które będą bardziej przyjazne dla środowiska. Przykładem metod, które mogłyby zastąpić lub udoskonalić obecnie stosowane procesy, są metody biometalurgiczne.

Przeprowadzone badania ankietowe miały zweryfikować wiedzę użytkowników na temat ogólnych oraz bardziej specyficznych metod recyklingu metali krytycznych dla przemysłu elektronicznego. Otrzymane wyniki potwierdziły wstępną hipotezę o niskim poziomie wiedzy użytkowników elektroniki dotyczącej prawidłowego odzysku metali oraz braku dostatecznego dostępu do informacji na ten temat. Dodatkowo można zauważyć, że pomimo posiadania przez większość respondentów wykształcenia wyższego, poziom wiedzy na temat alternatywnych sposobów odzysku metali jest niski. Wskazuje to na brak dostatecznej infrastruktury informacyjnej nawet wśród osób wykształconych.

Bibliografia

1. Adetunji, A. I., Oberholster, P. J., Erasmus, M. (2023). Bioleaching of Metals from E-Waste Using Microorganisms: A Review. *Minerals*, 13(6), 828. <https://doi.org/10.3390/min13060828>
2. Chi, T.D., Lee, J.C., Pandey, B.D., Yoo, K., Jeong, J. (2011). Bioleaching of gold and copper from waste mobile phone PCBs by using a cyanogenic bacterium. *Minerals Engineering*, 24, s. 1219–1222. <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2011.05.009>
3. Cieszyńska, A., (2017). Odzysk platynowców ze zużytego sprzętu elektronicznego i elektrycznego (ZSEE) metodami metalurgicznymi. *Logistyka Odzysku*, 22(1), s. 52–57.
4. Dias, P.R., Cenci, M.P., Bernardes, A.M., Huda, N. (2022). What drives WEEE recycling? A comparative study concerning legislation, collection and recycling. *Waste Management & Research: The Journal for a Sustainable Circular Economy*, 40(10), s. 1527–1538, <https://doi.org/10.1177/0734242X221081660>.
5. Dyrektywa 2002/95/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 23 stycznia 2003r. w sprawie ograniczenia stosowania niektórych niebezpiecznych substancji w sprzęcie elektrycznym i elektronicznym.
6. Dyrektywa 2002/96/WE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 27 stycznia 2003 r. w sprawie zużytego sprzętu elektrycznego i elektronicznego (WEEE).
7. Dyrektywa 2012/19/UE Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 4 lipca 2012 r. w sprawie zużytego sprzętu elektrycznego i elektronicznego (WEEE).
8. Eurostat (2023). Waste statistics – electrical and electronic equipment. Pobrane z: https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Waste_statistics_-_electrical_and_electronic_equipment&oldid=556612#Electrical_and_electronic_equipment_.28EEE.29_put_on_the_market_and_WEEE_processed_in_the_EU (14.03.2024).
9. Faraji, F., Golmohammadzadeh, R., Rashchi, F., Alimardani, N. (2018). Fungal bioleaching of WPCBs using *Aspergillus niger*: Observation, optimization and kinetics. *Journal of Environmental Management*, 217, s. 775–787, <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.04.043>.
10. Forti, V., Baldé, C.P., Kuehr, R., Bel, G. (2020). The Global E-waste Monitor 2020. Quantities, flows, and the circular economy potential. UNU/UNITAR

- SCYCLE, ITU, ISWA. ISBN: 978-92-808-9114-0. Pobrano z: https://www.itu.int/en/ITU-D/Environment/Documents/Toolbox/GEM_2020_def.pdf.
11. Golzar-Ahmadi, M.; Mousavi, S.M. (2021). Extraction of valuable metals from discarded AMOLED displays in smartphones using *Bacillus foraminis* as an alkali-tolerant strain. *Waste Management*, 131, s. 226–236, <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2021.06.006>
 12. Heacock, M., Kelly, C.B., Asante, K.A., Birnbaum, L.S., Bergman, A.L., Bruné, M.-N., Buka, I., Carpenter, D.O., Chen, A., Huo, X., Kamel, M., Landrigan, P.J., Magalini, F., Diaz-Barriga, F., Neira, M., Omar, M., Pascale, A., Ruchirawat, M., Sly, L., Sly, P.D., Van den Berg, M., Suk1, W.A. (2016). E-waste and harm to vulnerable populations: a growing global problem. *Environmental Health Perspectives*, 124(5) s. 550–555, <https://doi.org/10.1289/ehp.1509699>.
 13. Holgersson, S., Steenari, B.-M., Björkman, M., Cullbrand K. (2018). Analysis of the metal content of small-size Waste Electric and Electronic Equipment (WEEE) printed circuit boards-part 1: Internet routers, mobile phones and smartphones. *Resources, Conservation and Recycling*, 133, s. 300–308, <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.02.011>.
 14. Hu, J., Tang, Y., Ai, F., Lin, M., Ruan, J. (2021) Biofilm for leaching precious metals from waste printed circuit boards using biocyanidation technology. *Journal of Hazardous Materials*, 403, s. 123586, <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.123586>.
 15. Işıldar, A., van Hullebuscha, E.D., Lenz, M., Laing, G.D., Marra, A., Cesaro, A., Panda, S., Akcil, A., Kucuker, M.A., Kuchta, K. (2019). Biotechnological strategies for the recovery of valuable and critical raw materials from waste electrical and electronic equipment (WEEE) – A review. *Journal of Hazardous Materials*, 362, s. 467–481, <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2018.08.050>.
 16. Kumar, A., Holuszko, M., Espinosa, D.C.R. (2017). E-waste: An overview on generation, collection, legislation and recycling practices. *Resources, Conservation and Recycling*, 122, s. 32–42, <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.01.018>.
 17. Kumar, A., Saini, H.S., Kumar, S. (2018). Bioleaching of gold and silver from waste printed circuit boards by *Pseudomonas balearica* SAE1 isolated from an e-waste recycling facility. *Current Microbiology*, 75, s. 194–201, <https://doi.org/10.1007/s00284-017-1365-0>.
 18. Ruan, J., Zhu, X., Qian, Y., Hu, J. (2014). A new strain for recovering precious metals from waste printed circuit boards. *Waste Management*, 34, s. 901–907, <https://doi.org/10.1038/srep13481>.
 19. Sahni, A., Kumar, A., Kumar, S. (2016). Chemo-biohydrometallurgy – a hybrid technology to recover metals from obsolete mobile SIM cards. *Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management*, 6, s. 130–133, <https://doi.org/10.1016/j.enmm.2016.09.003>.
 20. Statista (2024). Waste electrical and electronic equipment (WEEE) flow in the European Union in 2021, by management method. Pobrane z <https://www-1statista-1com-1s8fui2jj0001.han3.ue.poznan.pl/statistics/1337536/electronic-waste-flow-european-union-by-operation/#statisticContainer>.
 21. Statistica (2023). Precious metals worldwide – statistics & facts. Pobrane z: <https://www.statista.com/topics/1395/precious-metals/#topicOverview> (14.03.2024).

22. Ustawa z dnia 11 września 2015 r. o zużytych sprzęcie elektrycznym i elektronicznym, Dz.U.2022.1622 t.j.
23. Watari, T., Nansai, K., Nakajima, K. (2020). Review of critical metal dynamics to 2050 for 48 elements. *Resources, Conservation and Recycling*, 155, s. 104669, <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.104669>.
24. Watari, T., Nansai, K., Nakajima, K. (2021). Major metals demand, supply, and environmental impacts to 2100: A critical review. *Resources, Conservation and Recycling*. 164, s. 105107. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2020.105107>.
25. Zhang L., Xu Z. (2016). A review of current progress of recycling technologies for metals from waste electrical and electronic equipment. *Journal of Cleaner Production*, 127, s. 19–36, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.04.004>.
26. Zhavoronkova, G., Zhavoronkov, V., Melenevskaya, D., Panasiuk, I. (2021). Current trends in the world market of precious metals. *International scientific journal "Innovations"*, IX(4), s. 129–133.

ISBN: 978-83-7789-769-0