



MIĘDZYNARODOWA WYŻSZA SZKOŁA LOGISTYKI I TRANSPORTU WE WROCŁAWIU

RADA NAUKOWA DYSCYPLINY NAUK O ZARZĄDZANIU I JAKOŚCI

Jakość opakowań jednostkowych wybranych produktów mrożonych a oczekiwania Klienta 5.0

Rozprawa doktorska

Opracował:

mgr Patrycja Bill-Józefiak

Kierownik naukowy:

prof. dr hab. inż. Zenon Zamiar

Promotor pomocniczy:

dr Marcin Pawęska, prof. MWSLIT

WROCŁAW
marzec 2026

„Jeśli widziałem dalej, to tylko dlatego, że stałem na ramionach olbrzymów.”

Tymi słowami Izaaka Newtona pragnę wyrazić głęboką wdzięczność dla mojego Promotora, prof. dr. hab. inż. Zenona Zamiara i podziękować za cierpliwość oraz wszystkie wskazówki i rady, które prowadziły mnie przez tę krętą drogę.

Dziękuję moim Rodzicom i Siostrze za wiarę we mnie, wsparcie w codziennym życiu i odwagę, którą mi dawali w chwilach, kiedy droga wydawała się najtrudniejsza.

Dziękuję mojemu Mężowi za obecność przy mnie i miłość, które dodawały mi siły, zwłaszcza gdy wątpiłam w siebie i sens tej pracy.

Dziękuję wszystkim moim bliskim, którzy wiedzą, że doktorat to nie tylko praca naukowa, ale przede wszystkim test wytrwałości i emocjonalnej odporności – dziękuję, że przetrwaliście ze mną tę drogę.

„Wdzięczność jest pamięcią serca.” – Jean Massieu

Spis treści

Wstęp	3
1. Założenia badawcze rozprawy doktorskiej	6
1.1. Uzasadnienie wyboru tematu	6
1.2. Cele badań	8
1.3. Problemy badawcze	9
1.4. Hipotezy badawcze	9
1.5. Metody, techniki i narzędzia badawcze	10
1.6. Podmiot i przedmiot badań	14
1.7. Organizacja i przebieg badań	15
2. Charakterystyka opakowań jednostkowych produktów mrożonych	17
2.1. Pojęcie, klasyfikacja i specyfikacja opakowań jednostkowych produktów mrożonych	19
2.2. Funkcje jednostkowych opakowań produktów mrożonych	26
2.3. Opakowania a czynniki obniżające jakość towarów mrożonych w procesach handlu i dystrybucji	41
2.4. Identyfikacja kluczowych cech jakościowych opakowań jednostkowych produktów mrożonych	53
2.5. Wnioski	60
3. Innowacje technologiczne w dobie Przemysłu 5.0	63
3.1. Przemysł 5.0 a wcześniejsze modele przemysłowe	63
3.2. Społeczeństwo 5.0 i nowy typ konsumenta	67
3.3. Opakowania aktywne i inteligentne	70
3.4. Technologie Przemysłu 5.0 stosowane w branży opakowaniowej	75
3.5. Zrównoważone rozwiązania w opakowaniach	79
3.6. Wnioski	89
4. Wpływ opakowań jednostkowych produktów mrożonych na decyzje zakupowe konsumentów	92
4.1. Znaczenie oczekiwań konsumentów w projektowaniu opakowań	92
4.2. Analiza oczekiwań Konsumentów 5.0 na podstawie badań fokusowych	93
4.3. Kluczowe cechy jakościowe opakowań produktów mrożonych a decyzje zakupowe	97

4.4. Ocena cech jakościowych wybranych opakowań jednostkowych produktów mrożonych obecnych na rynku	121
4.5. Wnioski.....	129
5. Najlepsze praktyki i rekomendacje w zakresie funkcjonalności opakowań jednostkowych produktów mrożonych.....	131
5.1. Eksperckie ujęcie najlepszych praktyk i innowacji w opakowaniach jednostkowych produktów mrożonych	131
5.2. Ocena wybranych innowacji opakowaniowych w sektorze spożywczym ...	136
5.3. Rekomendacje dla przedsiębiorstw zajmujących się projektowaniem i produkcją opakowań jednostkowych dla produktów mrożonych.....	142
5.4. Wnioski.....	151
Zakończenie	152
Bibliografia	155
Spis rysunków.....	166
Spis tabel.....	167
Załącznik 1. Kwestionariusz ankiety	168
Załącznik 2. Kwestionariusz wywiadów fokusowych.....	178
Załącznik 3. Kwestionariusz wywiadów indywidualnych pogłębionych.....	180
Streszczenie	182
Abstract.....	183

Wstęp

Jakość jest pojęciem wieloaspektowym, obejmującym zgodność z wymaganiami technicznymi, spełnianie oczekiwań klienta oraz subiektywną percepcję wartości. W literaturze wyróżnia się trzy podstawowe składowe jakości: techniczną, dotyczącą niezawodności i zgodności ze specyfikacją; funkcjonalną, odnoszącą się do właściwości użytkowych produktu; oraz percepcyjną, związaną z oceną klienta i postrzeganą wartością wyrobu^{1, 2}. W ujęciu organizacyjnym jakość nie ogranicza się wyłącznie do cech samego produktu, lecz obejmuje również procesy wytwarzania, kontrolę oraz systemy zarządzania jakością, w tym standardy ISO i wskaźniki KPI, które pozwalają na systematyczne utrzymanie i doskonalenie jakości w ramach koncepcji doskonałości operacyjnej³.

W praktyce ocena jakości obejmuje trzy powiązane wymiary: zgodność ze standardami i regulacjami, spełnianie oczekiwań klienta oraz dążenie do doskonałości operacyjnej. Zgodność ze standardami oznacza przestrzeganie norm technicznych i procedur organizacyjnych, co zwiększa zaufanie interesariuszy i efektywność łańcucha dostaw⁴. Spełnianie oczekiwań klienta odnosi się do percepcji konsumenta oraz cech produktu, takich jak design, materiał czy ergonomia, które znacząco wpływają na postrzeganą wartość i decyzje zakupowe. Doskonałość operacyjna obejmuje natomiast zdolność organizacji do ciągłego doskonalenia procesów, elastycznego zarządzania łańcuchem dostaw oraz efektywnej realizacji działań produkcyjnych i usługowych, co umożliwi utrzymanie wysokiej jakości w praktyce poprzez systematyczne monitorowanie procesów i wskaźników oraz szybką reakcję na zakłócenia^{5, 6}.

Doskonałość produktu obejmuje całościową jakość wyrobu, jego funkcjonalność, trwałość, wartość dodaną oraz doświadczenie użytkownika. W kontekście opakowań

¹ Nwokeocha, I. (2024). *Total Quality Management in Media Outfits and Organizational Performance*. IJEFBS, 2(1), s. 31-42.

² Ayodeji, P., Emmanuel, O., Olajire, E. (2021). *Impact of total quality management on organisational performance*. International Journal of Research in Commerce and Management Studies, 03(03), s. 31-32.

³ Carvalho A.M., Sampaio P., Rebentisch E. (2019). *On Agile Metrics for Operations Management: Measuring and Aligning Agility with Operational Excellence*. IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM), Macao, China, 2019, s. 1601-1605,

⁴ Nwokeocha, I. (2024). *Total Quality Management in Media Outfits and Organizational Performance*. IJEFBS, 2(1), s. 31-42.

⁵ Thi Le Ha N. (2021). *Total Quality Management and Perceived Service Quality: The Impact on Customer Satisfaction and Loyalty*. Glob J Pharmaceu Sci. 9(2) s. 9.

⁶ Harahap, A., Zakaria, M., Syukriah, S., Fadilla, M. (2023). *Design of Safe and Quality Potato Chips Product Packaging Using Quality Function Deployment Method*. International Journal of Engineering Science and Information Technology, 3(2), s. 8-16.

oznacza to ochronę produktu, przejrzystą informację, ergonomię, estetykę oraz komunikację wartości marki⁷. Jakość opakowań uwzględnia zarówno aspekty ogólne, takie jak trwałość materiałów oraz zgodność z normami higienicznymi i ekologicznymi, jak i cechy specyficzne dla poszczególnych produktów. W przypadku produktów mrożonych szczególnie istotne jest zapewnienie bezpieczeństwa i trwałości żywności w całym łańcuchu dostaw.

Rozwój jakości opakowań jednostkowych produktów mrożonych stanowi zagadnienie o rosnącym znaczeniu zarówno w naukach o zarządzaniu i jakości, jak i w praktyce przemysłowej. Współczesny rynek produktów spożywczych charakteryzuje się wysokim tempem rozwoju innowacji, zróżnicowaniem oczekiwań konsumentów oraz dynamicznymi zmianami regulacyjnymi, które wymagają od producentów dostosowywania opakowań do wymogów bezpieczeństwa, funkcjonalności i ekologii. W dobie Przemysłu 5.0, kładącego nacisk na integrację człowieka, technologii i środowiska, rola opakowań jednostkowych staje się wielowymiarowa – obejmuje ochronę jakości produktów, wspieranie doświadczenia użytkownika, minimalizację strat żywności oraz możliwość śledzenia i kontroli warunków przechowywania.

Celem dysertacji było kompleksowe zbadanie uwarunkowań jakości opakowań jednostkowych produktów mrożonych, identyfikację kluczowych cech wpływających na decyzje zakupowe konsumentów oraz ocenę możliwości implementacji innowacyjnych i zrównoważonych rozwiązań w duchu Przemysłu 5.0. Istotnym elementem pracy była analiza zarówno perspektywy konsumentckiej, jak i podejścia praktyków – projektantów i producentów opakowań, a także ekspertów z zakresu ekologii i gospodarki obiegu zamkniętego.

Podjęcie badań było odpowiedzią na ewolucję wymagań jakościowych wobec opakowań jednostkowych produktów mrożonych w kontekście nowych technologii, zrównoważonego rozwoju, rosnącej roli e-commerce oraz wzrostu świadomości konsumentckiej. Z perspektywy wartości orientowanej na klienta (*customer-oriented value*) kluczowe stało się zrozumienie, które cechy opakowań jednostkowych zwiększały ich użyteczność i atrakcyjność dla konsumentów. Założono interdyscyplinarne podejście, łącząc wiedzę z zakresu nauk o zarządzaniu, logistyki, technologii materiałów i marketingu, co umożliwiło pełniejsze uchwycenie mechanizmów kształtujących

⁷ Thi Le Ha N.(2021). *Total Quality Management and Perceived Service Quality: The Impact on Customer Satisfaction and Loyalty*. Glob J Pharmaceu Science, 9(2) s. 9.

projektowanie i funkcjonowanie opakowań jednostkowych na rynku produktów mrożonych.

Struktura rozprawy obejmuje pięć rozdziałów, które zostały uporządkowane w sposób umożliwiający systematyczne przedstawienie problematyki. W pierwszym rozdziale omówiono założenia badawcze, cele i problemy badawcze oraz hipotezy, a także opisano zastosowane metody, techniki i narzędzia badawcze. Rozdział drugi poświęcono charakterystyce opakowań jednostkowych produktów mrożonych, uwzględniając ich klasyfikację, funkcje oraz czynniki wpływające na obniżenie jakości produktów w procesach handlu i dystrybucji, a także dokonano identyfikacji kluczowych cech jakościowych opakowań. Trzeci rozdział stanowi przegląd i ocenę rozwiązań technologicznych stosowanych w branży opakowaniowej w dobie piątej rewolucji przemysłowej, w tym rozwiązań dotyczących zrównoważonego rozwoju. W rozdziale czwartym zbadano oczekiwania konsumentów wobec opakowań jednostkowych produktów mrożonych oraz zidentyfikowano cechy jakościowe istotne przy podejmowaniu przez nich decyzji zakupowych. Ostatni, piąty rozdział, poświęcono przeglądowi najlepszych praktyk i innowacyjnych rozwiązań w projektowaniu i produkcji opakowań jednostkowych, a także sformułowano rekomendacje dla przedsiębiorstw.

Taka konstrukcja pracy umożliwiła ukazanie problematyki w sposób całościowy, łącząc teoretyczne podstawy z analizą praktycznych rozwiązań oraz oceną potrzeb i oczekiwań rynku, co stworzyło solidną podstawę sformułowania wniosków naukowych i praktycznych dotyczących rozwoju jakości opakowań jednostkowych w sektorze produktów mrożonych.

1. Założenia badawcze rozprawy doktorskiej

1.1. Uzasadnienie wyboru tematu

Temat rozprawy koncentruje się na rozwoju jakości opakowań jednostkowych wybranych produktów mrożonych w kontekście oczekiwań Klienta 5.0 i wynika zarówno z obserwacji praktycznych, jak i potrzeb naukowych związanych z zarządzaniem jakością oraz nowymi technologiami. Międzynarodowe łańcuchy dostaw produktów mrożonych często napotykać zakłócenia spowodowane różnorodnymi czynnikami, co może wydłużać czas transportu lub utrudniać utrzymanie właściwej temperatury produktów. Coraz większa popularność zakupów on-line, w tym dostaw produktów mrożonych, naraża je w trakcie dystrybucji na niekorzystne warunki temperaturowe, szczególnie w sezonie letnim. W efekcie znaczenie opakowań jednostkowych dla jakości i bezpieczeństwa produktów mrożonych staje się wyraźne. Obserwacje te wskazują na potrzebę interdyscyplinarnego podejścia, które łączy wiedzę z logistyki, inżynierii materiałowej, zarządzania jakością, towaroznawstwa oraz marketingu.

Autorka rozprawy posiada kilkuletnie doświadczenie zawodowe w obszarze logistyki magazynowej, obejmujące zarządzanie wyrobami gotowymi, w tym strefą zwrotów i produktów zablokowanych ze względów jakościowych. Koordynowała przerób oraz utylizację produktów, co umożliwiło jej praktyczne zrozumienie czynników wpływających na jakość opakowań i bezpieczeństwo produktów w całym łańcuchu dystrybucji. Doświadczenie dydaktyczne autorki obejmuje prowadzenie kursów z zakresu logistyki, zarządzania jakością oraz innowacji technologicznych, co pozwoliło pogłębić interdyscyplinarne spojrzenie na procesy związane z projektowaniem i funkcjonowaniem opakowań jednostkowych. Zainteresowania badawcze autorki koncentrują się na Przemysle 5.0, zrównoważonym rozwoju oraz wartości zorientowanej na klienta, a także na analizie możliwości technologicznych w kontekście potrzeb konsumentów. Regularne korzystanie z dostaw produktów mrożonych do domu umożliwiło obserwowanie opakowań z perspektywy Klienta 5.0, co w połączeniu z wiedzą o nowoczesnych rozwiązaniach technologicznych pozwoliło precyzyjnie sformułować problem badawczy i wskazać obszary, w których integracja logistyki, zarządzania i jakości może poprawić funkcjonalność opakowań produktów mrożonych oraz bezpieczeństwo konsumentów. W tym kontekście temat rozprawy odpowiada

na rosnącą potrzebę integracji wiedzy interdyscyplinarnej, gdzie postępy w logistyce, inżynierii materiałowej i projektowaniu opakowań muszą uwzględniać zachowania oraz oczekiwania konsumentów.

Rozwój technologii i wprowadzenie koncepcji Przemysłu 5.0 oraz Społeczeństwa 5.0 otwierają nowe możliwości projektowania opakowań, w tym inteligentnych, interaktywnych i zrównoważonych materiałowo. Pozwala to tworzyć opakowania, które nie tylko chronią produkt, ale również komunikują jego wartość, monitorują stan świeżości czy umożliwiają personalizację. Konieczne staje się zrozumienie, w jaki sposób te innowacje są odbierane przez konsumentów oraz jakie znaczenie mają w procesach dystrybucji i zarządzania łańcuchem dostaw. Analiza tych zagadnień w kontekście nauk o zarządzaniu i jakości oraz zrównoważonego rozwoju umożliwia kompleksowe spojrzenie na problem, jednocześnie wskazując na lukę badawczą – wciąż niewystarczająco opracowaną perspektywę interdyscyplinarnego podejścia do jakości opakowań w branży produktów mrożonych, wymagającą zarówno analiz naukowych, jak i badań empirycznych.

Luka badawcza w obszarze opakowań jednostkowych produktów mrożonych wynika z braku systemowego podejścia integrującego nauki o zarządzaniu i jakości wraz z ich subdyscyplinami, takimi jak logistyka, marketing oraz zarządzanie jakością. Dotychczasowe badania koncentrowały się zwykle na wybranych aspektach procesowych, marketingowych lub jakościowych, nie uwzględniając kompleksowo wpływu wszystkich czynników na funkcjonowanie i użytkowanie opakowań jednostkowych produktów mrożonych w całym łańcuchu dystrybucji. Brak takiego podejścia ogranicza identyfikację zagrożeń jakościowych oraz wdrażanie innowacyjnych i zrównoważonych rozwiązań technologicznych, co podkreśla potrzebę interdyscyplinarnych badań nad projektowaniem i oceną opakowań jednostkowych, w tym produktów mrożonych.

Rozważania te wskazują, że wybór tematu rozprawy jest uzasadniony zarówno ze względu na jego praktyczne znaczenie, jak i z perspektywy naukowej. Wnioski z analizy jakości opakowań jednostkowych produktów mrożonych w kontekście Przemysłu 5.0 pozwolą na wypełnienie luki badawczej związanej z brakiem systemowego, interdyscyplinarnego podejścia, które łączyłoby różne obszary nauk o zarządzaniu i jakości w celu opracowania nowoczesnych rozwiązań opakowaniowych. Temat stwarza możliwość połączenia obserwacji praktycznych z analizą naukową, uwzględniając zarówno rozwój technologiczny, wymagania rynku, jak i potrzeby konsumentów, a tym

samym stanowi solidną podstawę do badań empirycznych oraz sformułowania wniosków, które mogą mieć zastosowanie w praktyce.

1.2. Cele badań

Sformułowano dwa cele główne rozprawy – poznawczy i utylitarny.

Cel poznawczy to identyfikacja kluczowych cech jakościowych opakowań jednostkowych wybranych produktów mrożonych, które determinują decyzje zakupowe oraz satysfakcję klientów, a także zrozumienie, w jaki sposób piąta rewolucja przemysłowa kształtuje postrzeganie opakowań przez konsumentów.

Cel utylitarny obejmuje opracowanie rekomendacji dla przedsiębiorstw zajmujących się projektowaniem i produkcją opakowań jednostkowych, które uwzględnią oczekiwania klientów oraz będą uwzględniać innowacje technologiczne i zrównoważone rozwiązania.

Cele szczegółowe wyznaczają zakres realizowanych działań w kolejnych etapach badań:

- **Cel szczegółowy 1:** Zidentyfikowanie kluczowych cech jakościowych opakowań jednostkowych produktów mrożonych, wynikających z funkcji pełnionych przez opakowania;
- **Cel szczegółowy 2:** Zbadanie możliwości wykorzystania technologii związanych z Przemysłem 5.0 w zakresie projektowania i produkcji opakowań jednostkowych wyrobów mrożonych w celu rozwoju jakości opakowań;
- **Cel szczegółowy 3:** Rozpoznanie cech jakościowych opakowań jednostkowych produktów mrożonych, które wpływają na decyzje zakupowe konsumentów oraz zidentyfikowanie oczekiwań klientów w zakresie rozwoju jakości wybranych opakowań w dobie Przemysłu 5.0;
- **Cel szczegółowy 4:** Identyfikacja i ocena najlepszych praktyk oraz innowacyjnych rozwiązań w projektowaniu i produkcji opakowań jednostkowych odpowiadających zmieniającym się wymaganiom klientów.

1.3. Problemy badawcze

Główny problem badawczy sformułowano w postaci pytania: W jaki sposób rozwój Przemysłu 5.0 wpływa na jakość opakowań jednostkowych produktów mrożonych oraz ich dostosowanie do oczekiwań Klienta 5.0, z uwzględnieniem aspektów technologicznych i środowiskowych?

Na podstawie głównego problemu określono cztery problemy szczegółowe:

- **Problem szczegółowy 1:** Jakie funkcje pełnią opakowania jednostkowe produktów spożywczych mrożonych i jak wpływają one na cechy jakościowe opakowań?
- **Problem szczegółowy 2:** Jakie innowacje technologiczne i zrównoważone rozwiązania mogą być uwzględnione w projektowaniu i produkcji opakowań jednostkowych, aby spełnić oczekiwania konsumentów?
- **Problem szczegółowy 3:** Jakie cechy jakościowe opakowań jednostkowych produktów mrożonych determinują decyzje zakupowe konsumentów oraz jakie są oczekiwania Klientów 5.0 wobec rozwoju jakości tych opakowań?
- **Problem szczegółowy 4:** Jakie są najlepsze praktyki i innowacyjne rozwiązania w zakresie projektowania i produkcji opakowań jednostkowych, które odpowiadają na oczekiwania Klienta 5.0?

1.4. Hipotezy badawcze

W celu weryfikacji problemów badawczych sformułowano następujące hipotezy:

Hipoteza główna: Implementacja zrównoważonych i innowacyjnych rozwiązań technologicznych w projektowaniu i produkcji opakowań jednostkowych produktów mrożonych istotnie wpływa na postrzeganą jakość produktów co przekłada się na poziom satysfakcji oraz decyzje zakupowe Klientów 5.0.

Hipotezy szczegółowe:

- **Hipoteza szczegółowa 1:** Cechy jakościowe opakowań jednostkowych produktów mrożonych wynikają z pełnionych przez nie funkcji ochronnych, logistycznych, informacyjnych, marketingowych, ekologicznych i użytkowych oraz z oddziaływania czynników występujących na kolejnych etapach łańcucha dostaw.

- **Hipoteza szczegółowa 2:** Zastosowanie rozwiązań charakterystycznych dla Przemysłu 5.0 istotnie zwiększa potencjał podnoszenia funkcjonalnej i środowiskowej jakości opakowań jednostkowych produktów mrożonych;
- **Hipoteza szczegółowa 3:** Cechy jakościowe opakowań jednostkowych produktów mrożonych, w szczególności związane z bezpieczeństwem, funkcjonalnością oraz zrównoważonością środowiskową, istotnie wpływają na decyzje zakupowe Klienta 5.0;
- **Hipoteza szczegółowa 4:** Najlepsze praktyki i innowacyjne rozwiązania w projektowaniu i produkcji opakowań jednostkowych obejmują inteligentne systemy zwiększające bezpieczeństwo żywności, rozwiązania poprawiające funkcjonalność opakowań oraz materiały i technologie przyjazne środowisku.

1.5. Metody, techniki i narzędzia badawcze

Do realizacji celów rozprawy doktorskiej zastosowano metodologię mieszanych metod (*mixed methods*), integrującą podejście ilościowe i jakościowe, co umożliwia wieloaspektowe ujęcie problematyki jakości opakowań jednostkowych produktów mrożonych w kontekście Przemysłu 5.0.

Wykorzystano następujące metody i techniki badawcze:

- **Analiza literatury i uregulowań prawnych** - analiza obejmowała publikacje naukowe, raporty branżowe oraz regulacje prawne dotyczące opakowań i Przemysłu 5.0. Zastosowano metody analizy treści, porównania oraz syntezy danych literaturowych, uwzględniając interdyscyplinarny charakter badań – nauki techniczne, logistykę, marketing, towaroznawstwo, zarządzanie jakością i nauki społeczne. Ta metoda badawcza pozwoliła zbudować solidne podstawy teoretyczne rozprawy i zweryfikować hipotezy szczegółowe 1 i 2. Na jej podstawie zidentyfikowano i uporządkowano istniejącą wiedzę dotyczącą opakowań jednostkowych produktów mrożonych, ich cech jakościowych oraz znaczenia w procesach logistycznych i decyzyjnych konsumentów. Analiza regulacji prawnych umożliwiła osadzenie badań w kontekście wymogów regulacyjnych i standardów branżowych, natomiast przegląd literatury naukowej

i raportów branżowych pozwolił określić aktualne trendy, innowacje technologiczne oraz kierunki rozwoju w dobie Przemysłu 5.0;

- **Badania jakościowe:**

- wywiady częściowo strukturyzowane fokusowe FGI - przeprowadzono trzy spotkania grup fokusowych z konsumentami (z uczniami technikum logistycznego, studentami logistyki oraz z grupą dorosłych), w celu analizy opinii klientów, ich świadomości ekologicznej oraz postrzegania opakowań tradycyjnych, aktywnych i inteligentnych;

- wywiady częściowo strukturyzowane indywidualne pogłębione IDI - eksperci ds. ekologii, zrównoważonego rozwoju i gospodarki odpadami (7 osób), producenci i projektanci opakowań. (6 osób).

Badania jakościowe pozwoliły na praktyczne i pogłębione spojrzenie na perspektywę konsumentów oraz ekspertów branżowych. Wywiady fokusowe (FGI) pozwoliły zrozumieć opinie, preferencje i świadomość ekologiczną konsumentów, a także ich postrzeganie opakowań tradycyjnych, aktywnych i inteligentnych, co stanowiło jeden z fundamentów do identyfikacji najbardziej istotnych cech jakościowych w decyzjach zakupowych. Wywiady indywidualne (IDI) z ekspertami ds. zrównoważonego rozwoju, gospodarki odpadami oraz producentami i projektantami opakowań dostarczyły wiedzy na temat najlepszych praktyk, innowacyjnych rozwiązań technologicznych i możliwości implementacji Przemysłu 5.0 w sektorze opakowań jednostkowych produktów mrożonych. Dzięki tym badaniom możliwe było połączenie perspektywy klienta i producenta, co wzbogaciło analizę jakości opakowań oraz pozwoliło sformułować rekomendacje praktyczne i naukowe dla przemysłu.

- **Studium przypadku** – analiza innowacji technologicznych dla opakowań produktów spożywczych z potencjałem dla rynku produktów mrożonych. Studium przypadku umożliwiło analizę rzeczywistych innowacji w obszarze opakowań produktów spożywczych oraz ocenę ich potencjału adaptacyjnego dla rynku produktów mrożonych. Pozwoliło ono na identyfikację rozwiązań możliwych do implementacji w warunkach łańcucha chłodniczego,

z uwzględnieniem wymagań jakościowych, logistycznych i środowiskowych. Metoda ta umożliwiła również ocenę stopnia zgodności wybranych technologii z założeniami Przemysłu 5.0, w szczególności w zakresie bezpieczeństwa, cyfryzacji oraz zrównoważonego rozwoju. Studium przypadku stanowiło tym samym pomost między częścią teoretyczną i wynikami badań jakościowych a formułowanymi rekomendacjami praktycznymi dla producentów opakowań jednostkowych produktów mrożonych;

- **Badania ilościowe** - w rozprawie wykorzystano technikę ankietowania i narzędzie w postaci kwestionariusza ankiety. Do agregacji danych zastosowano sondaż typu CAWI (*Computer-Assisted Web Interview*) wśród konsumentów produktów mrożonych w Polsce. Kwestionariusz zawierał pytania zamknięte dotyczące: oceny opakowań tradycyjnych i inteligentnych, percepcji marki, aspektów ekologicznych oraz gotowości dopłaty za innowacyjne opakowania. Metoda ta została wybrana ze względu na możliwość szybkiego dotarcia do dużej liczby respondentów, automatyczne gromadzenie danych oraz wygodę dla uczestników badania. Badanie miało charakter przekrojowy, umożliwiając zebranie danych w określonym punkcie czasowym w celu oceny opinii konsumentów na temat jakości opakowań produktów mrożonych, ich zainteresowania opakowaniami inteligentnymi i aktywnymi oraz wpływu czynników marketingowych i ekologicznych na decyzje zakupowe. Próba badawcza: Populację docelową stanowiły osoby powyżej 16 roku życia, które dokonują zakupów produktów mrożonych. Z uwagi na charakter badania CAWI, próba była doborowa celowa, a weryfikacja uczestników realizowana była na podstawie pytania o zakup produktów mrożonych. Kwestionariusz został dołączony do rozprawy jako Załącznik 1.

Dla wyliczenia minimalnej wielkości próby zastosowano standardowy wzór statystyczny dla badań sondażowych [1.1]⁸ z przyjęciem poziomu ufności 95% ($z \alpha = 0,05$) i maksymalnego błędu szacunku 5%. Przy braku danych o odsetku osób o określonej opinii przyjęto $p = 0,5$, co daje największą wariancję i zapewnia najbardziej konserwatywne oszacowanie próby:

$$n = \frac{Z^2 \cdot p \cdot (1-p)}{e^2} \quad [1.1]$$

gdzie:

n – minimalna liczebność próby,

$Z = 1,96$ – wartość statystyki dla poziomu ufności 95%,

$p = 0,5$ – estymowana proporcja odpowiedzi w populacji,

$e = 0,05$ – dopuszczalny błąd szacunku (5%).

$$n = \frac{1,96^2 \cdot 0,5 \cdot (1 - 0,5)}{0,05^2} = \frac{3,8416 \cdot 0,25}{0,0025} = \frac{0,9604}{0,0025} \approx 384$$

Minimalna wielkość próby to 384 respondentów. Zdecydowano o zwiększeniu liczby ankietowanych o ok. 10–20% w celu uwzględnienia niepełnych lub odrzuconych ankiet, co daje docelową liczbę respondentów około 420–460 osób.

Wybrana metoda ilościowa pozwoliła na sformułowanie częściowych wniosków oraz empiryczną weryfikację przyjętych hipotez w oparciu o dane pochodzące od szerokiej grupy konsumentów produktów mrożonych w Polsce. Zastosowanie techniki CAWI umożliwiło zebranie uporządkowanych, porównywalnych odpowiedzi dotyczących oceny opakowań tradycyjnych i inteligentnych, percepcji marki, aspektów ekologicznych oraz gotowości do ponoszenia dodatkowych kosztów za rozwiązania innowacyjne.

Metoda ta umożliwiła również ilościowe określenie zależności między postrzeganą jakością opakowania a czynnikami marketingowymi i środowiskowymi, a także na identyfikację poziomu akceptacji dla rozwiązań wpisujących się w założenia Przemysłu 5.0. Charakter przekrojowy badania pozwolił na uchwycenie aktualnych opinii i preferencji konsumentów w określonym momencie czasowym, co stanowiło istotne uzupełnienie wyników badań jakościowych. W konsekwencji badania ilościowe

⁸ Bryman, A., Bell, E. (2003) *Business Research Methods*, Oxford, Oxford University Press

dostarczyły podstaw do formułowania wniosków o charakterze diagnostycznym i rekomendacyjnym w zakresie projektowania opakowań jednostkowych produktów mrożonych.

W procesie badawczym wykorzystano narzędzia badawcze dostosowane do zróżnicowanego charakteru przyjętych metod. Badania ilościowe przeprowadzono z wykorzystaniem kwestionariusza online (CAWI – załącznik nr 1) opracowanego w środowisku LimeSurvey, co zapewniło standaryzację narzędzia, kontrolę poprawności odpowiedzi oraz możliwość eksportu danych do dalszej analizy. W części jakościowej wykorzystano autorskie scenariusze wywiadów fokusowych (FGI – załącznik nr 2) oraz indywidualnych wywiadów pogłębionych (IDI – załącznik nr 3), które umożliwiły uzyskanie pogłębionych i porównywalnych informacji od różnych grup respondentów. Istotnym uzupełnieniem materiału badawczego były notatki moderatorskie, pozwalające uwzględnić kontekst wypowiedzi, dynamikę interakcji oraz elementy interpretacyjne istotne dla analizy treści.

Analiza danych obejmowała zarówno podejście statystyczne w odniesieniu do wyników badań ilościowych (z wykorzystaniem narzędzi dostępnych w LimeSurvey oraz MS Excel), jak i analizę porównawczą oraz interpretacyjną materiału jakościowego. Metody porównania zastosowano przekrojowo – zarówno w zestawianiu wyników ilościowych, jak i w konfrontowaniu perspektyw różnych grup respondentów oraz w odniesieniu do wniosków z analizy literatury. Tak zaprojektowany zestaw narzędzi i procedur analitycznych umożliwił wielowymiarowe ujęcie problematyki jakości opakowań jednostkowych produktów mrożonych oraz zwiększył rzetelność i spójność procesu weryfikacji hipotez badawczych.

1.6. Podmiot i przedmiot badań

Podmiotem badań byli konsumenci produktów mrożonych oraz producenci i projektanci opakowań. Konsumenci stanowili źródło informacji na temat percepcji jakości opakowań, świadomości ekologicznej, oczekiwań wobec innowacji oraz gotowości do akceptacji nowych rozwiązań technologicznych. Z kolei producenci i eksperci branżowi dostarczyli wiedzy dotyczącej uwarunkowań technologicznych, organizacyjnych i środowiskowych związanych z projektowaniem oraz wdrażaniem opakowań jednostkowych. Uwzględnienie obu grup podmiotów umożliwiło zestawienie

perspektywy rynkowej i technologicznej oraz pełniejsze ujęcie analizowanej problematyki.

Przedmiotem badań były opakowania jednostkowe produktów mrożonych, rozpatrywane w ujęciu interdyscyplinarnym – z perspektywy logistyki, zarządzania oraz jakości. Analizie poddano ich funkcjonalność, bezpieczeństwo, właściwości ochronne, aspekty ekologiczne oraz potencjał implementacji rozwiązań innowacyjnych, w tym technologii aktywnych i inteligentnych. Badaniem objęto zarówno wymiar technologiczny i jakościowy opakowań, jak i ich znaczenie w kontekście zrównoważonego rozwoju oraz w kształtowaniu decyzji zakupowych konsumentów.

1.7. Organizacja i przebieg badań

Badania zrealizowano w sześciu komplementarnych etapach:

- **Etap 1 – analiza literatury i synteza wiedzy** – przegląd literatury naukowej, raportów branżowych oraz regulacji prawnych dotyczących jakości opakowań, innowacji technologicznych i trendów w Przemysle 5.0 w celu uporządkowania podstaw teoretycznych, określenia aktualnych kierunków rozwoju oraz identyfikacji luki badawczej w zakresie systemowego podejścia do opakowań jednostkowych produktów mrożonych;
- **Etap 2 – wywiady fokusowe (FGI)** z konsumentami w trzech grupach: młodzieży szkół ponadpodstawowych, studentów kierunków logistycznych oraz dorosłych - praktyków z branży logistycznej. Celem było poznanie opinii dotyczących jakości, funkcjonalności i estetyki opakowań jednostkowych produktów mrożonych, postrzegania rozwiązań tradycyjnych, aktywnych i inteligentnych, a także poziomu świadomości ekologicznej i technologicznej uczestników;
- **Etap 3 – badanie ilościowe (CAWI)** – sondaż online wśród dorosłych konsumentów produktów mrożonych w celu ilościowego określenia preferencji zakupowych, znajomości technologii opakowaniowych, znaczenia aspektów ekologicznych i marketingowych oraz wrażliwości cenowej w odniesieniu do innowacyjnych opakowań;

- **Etap 4 – pogłębione wywiady z ekspertami (IDI)** – rozmowy z przedstawicielami obszaru ekologii i zrównoważonego rozwoju oraz z producentami i projektantami opakowań. Celem było uzyskanie eksperckiej oceny uwarunkowań technologicznych, środowiskowych i organizacyjnych związanych ze zrównoważonym projektowaniem opakowań jednostkowych produktów mrożonych oraz możliwości wdrażania rozwiązań zgodnych z koncepcją Przemysłu 5.0;
- **Etap 5 – studium przypadku** – analiza wybranych innowacyjnych rozwiązań stosowanych w opakowaniach jednostkowych produktów spożywczych, ukierunkowana na identyfikację technologii i praktyk mogących podnieść jakość, funkcjonalność oraz ekologiczność opakowań produktów mrożonych. Doboru przypadków dokonano w oparciu o kryteria innowacyjności technologicznej, zastosowania elementów funkcjonalnych, zgodności z zasadami zrównoważonego rozwoju oraz możliwości adaptacji w branży mrożonek.
- **Etap 6 - analiza końcowa – triangulacja danych** polegała na zestawieniu wyników uzyskanych w poszczególnych etapach badania, co umożliwiło ich wzajemną weryfikację, identyfikację zależności między perspektywą konsumentów i producentów oraz sformułowanie spójnych wniosków i rekomendacji dotyczących rozwoju jakości opakowań jednostkowych produktów mrożonych w warunkach transformacji technologicznej.

2. Charakterystyka opakowań jednostkowych produktów mrożonych

Opakowanie jest podstawowym narzędziem procesu dystrybucji i przechowywania produktów, pełniąc funkcję ochronną, informacyjną, logistyczną, marketingową, ekologiczną i użytkową. Zgodnie z Encyklopedią PWN, opakowanie to „...przedmiot (zespół przedmiotów) albo materiał chroniące produkt przed ubytkiem (spowodowanym niszczeniem, np. przez insekty, gryzonie, deszcz), kradzieżą oraz zmianą jego jakości w czasie transportu, przechowywania, ekspozycji lub stosowania przez użytkownika...”⁹. Definicja ta podkreśla przede wszystkim funkcję ochronną opakowania w całym cyklu życia produktu, zwracając uwagę na różnorodne zagrożenia mechaniczne, biologiczne i środowiskowe, które mogą wpływać na jego jakość.

Z kolei Słownik języka polskiego PWN definiuje opakowanie następująco: „...opakować — opakowywać «owinać coś szczelnie papierem, folią itp.», opakowanie - to, czym dana rzecz jest opakowana, czasem również z zawartością...”¹⁰. W tym ujęciu nacisk kładziony jest na fizyczny aspekt opakowania, czyli proces jego tworzenia oraz bezpośredni kontakt z produktem, przy czym definicja obejmuje również możliwość traktowania opakowania wraz z zawartością jako całości.

Analiza obu definicji pozwala zauważyć, że opakowanie należy rozumieć jako wielowymiarowy system, który nie tylko zabezpiecza produkt, ale również umożliwia jego transport, przechowywanie i użytkowanie w sposób bezpieczny i efektywny. W kontekście produktów mrożonych, znaczenie opakowania jest szczególnie ważne, ponieważ odpowiednio dobrane materiały i konstrukcja pozwalają zachować walory sensoryczne, wartość odżywczą oraz bezpieczeństwo mikrobiologiczne produktów w całym łańcuchu dystrybucji.

Jednym z kryteriów klasyfikacji opakowań jest ich rola w poszczególnych etapach dystrybucji. Wyróżnia się trzy zasadnicze rodzaje: opakowania jednostkowe, zbiorcze oraz transportowe¹¹. Każdy z nich spełnia odmienną funkcję w ramach systemu logistycznego i stanowi integralny element efektywnego przepływu towarów.

⁹ Encyklopedia PWN, „Opakowanie”, <https://encyklopedia.pwn.pl/haslo/opakowanie;3951217.html> (dostęp: 06.12.2025)

¹⁰ Słownik języka polskiego PWN, „Opakowanie”, (dostęp: 06.12.2025)

¹¹ Ankiel, M., Grzybowska-Brzezińska, M. (2020). *Informative value of packaging as a determinant of food purchase*. *Marketing of Scientific and Research Organizations*, 36(2), s. 31-44.

Opakowania jednostkowe pełnią zasadniczą rolę w relacji z finalnym konsumentem, chroniąc pojedyncze jednostki produktów oraz przekazując podstawowe informacje o ich właściwościach i sposobie użytkowania. W sektorze spożywczym ich odpowiednia konstrukcja i estetyka odgrywają istotną rolę w zachowaniu jakości produktu oraz wspieraniu decyzji zakupowych odbiorców¹². Jednocześnie opakowania jednostkowe muszą być dostosowane do wymagań wynikających z transportu długodystansowego, co wymaga zastosowania odpowiednich materiałów oraz technologii¹³.

Opakowania zbiorcze umożliwiają grupowanie wielu opakowań jednostkowych w większe jednostki logistyczne, co upraszcza transport, magazynowanie oraz dystrybucję. Dzięki swojej konstrukcji sprzyjają ograniczeniu strat i optymalizacji kosztów operacyjnych w łańcuchu dostaw¹⁴. Poprawiają również wykorzystanie przestrzeni ładunkowej i magazynowej, co wpływa na ogólną efektywność systemu logistycznego, włączając w to sklepy detaliczne¹⁵.

Opakowania transportowe zapewniają najwyższy poziom ochrony produktów podczas ich przemieszczania na duże odległości. Charakteryzują się zwiększoną wytrzymałością oraz odpornością na czynniki środowiskowe, w tym zmiany temperatury, wilgotność czy wstrząsy¹⁶. Szczególne znaczenie mają w przypadku towarów wrażliwych, takich jak produkty farmaceutyczne i spożywcze, które wymagają kontrolowanych warunków przechowywania i monitorowania.

¹² Ibidem

¹³ Dunno, K., Whiteside, S., Thomas, R., Cooksey, K., Gerard, P. (2016). *Effects of transportation hazards on barrier properties of gas flushed retort pouches*. Packaging Technology and Science, 29(8-9), s. 431-436.

¹⁴ Cepolina, E., Farina, A. (2015). A new urban freight distribution scheme and an optimization methodology for reducing its overall cost. *European Transport Research Review*, 7(1) s. 2-14

¹⁵ Srinivas, K. R., Padmavathi, T. (2024). Advancement in protective packaging systems for fruits and vegetables., s. 76-95.

¹⁶ Dunno, K., Whiteside, S., Thomas, R., Cooksey, K., Gerard, P. (2016). *Effects of transportation hazards on barrier properties of gas flushed retort pouches*. Packaging Technology and Science, 29(8-9), s. 431-436.

2.1. Pojęcie, klasyfikacja i specyfikacja opakowań jednostkowych produktów mrożonych

Istnieją różne kryteria klasyfikacji opakowań jednostkowych a ich zróżnicowanie odzwierciedla rosnące wymagania rynkowe oraz konieczność dopasowania cech opakowań do właściwości produktów i warunków ich dystrybucji. Przyjęcie takiego podejścia umożliwia kompleksowe ujęcie roli opakowań w procesach produkcyjnych i logistycznych, a także analizę ich znaczenia z perspektywy projektowania i oceny jakości. Jednym z tych kryteriów jest ich zastosowanie w różnych branżach. W sektorze spożywczym występują rozwiązania dostosowane do produktów świeżych i przetworzonych, w tym owoców, warzyw, nabiału czy wyrobów garmazeryjnych, które wymagają stabilności mikroklimatu oraz zabezpieczenia przed czynnikami zewnętrznymi¹⁷.

Szczególne znaczenie w tej grupie mają opakowania jednostkowe przeznaczone do produktów mrożonych, które muszą zachować swoje właściwości w warunkach głębokiego chłodzenia. W przypadku żywności mrożonej znaczenie opakowania jednostkowego jest szczególnie wysokie, gdyż jego efektywność bezpośrednio wpływa na ochronę właściwości fizykochemicznych, organoleptycznych i mikrobiologicznych produktów. Zachowanie jakości żywności w całym cyklu dystrybucji jest możliwe dzięki starannie dobranym materiałom, które odpowiadają regulacjom UE¹⁸, wymogom norm międzynarodowych, takich jak ISO, oraz krajowych regulacji dotyczących bezpieczeństwa i jakości opakowań¹⁹. Konstrukcje te często wymagają zastosowania materiałów o wysokiej barierowości wilgotnościowej i tlenowej oraz precyzyjnego wykonania, co przekłada się na ich specjalistyczny charakter.

Klasyfikacja opakowań jednostkowych w obrębie produktów mrożonych obejmuje między innymi rodzaj materiału i technologię pakowania, a jej zastosowanie umożliwia projektowanie opakowań, które skutecznie chronią produkt, komunikują jego wartość oraz odpowiadają na potrzeby i oczekiwania konsumentów. Szczegółowe zestawienie najczęściej stosowanych materiałów i technik pakowania przedstawiono w

¹⁷ Gilbert, E. A., Polo, M. L., Maffi, J. M., Guastavino, J. F., Vaillard, S. E., Estenoz, D. A. (2022). *The organic chemistry behind the recycling of poly (bisphenol-A carbonate) for the preparation of chemical precursors: A review*. Journal of Polymer Science, 60(24), s. 3284-3317.

¹⁸ Rozporządzenie (WE) nr 1935/2004 Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 27 października 2004 r. w sprawie materiałów i wyrobów przeznaczonych do kontaktu z żywnością oraz uchylające dyrektywy 80/590/EWG i 89/109/EWG

¹⁹ Mikus, M., Galus, S. (2020). *Powlekanie żywności – materiały, metody i zastosowanie w przemyśle spożywczym*. Żywność Nauka Technologia Jakość/Food Science Technology Quality, 125(4), s. 5-24.

Tabeli 1, która porządkuje opakowania jednostkowe produktów mrożonych według ich właściwości technologicznych. Zrozumienie i prawidłowa implementacja tych kategorii w praktyce produkcyjnej stanowi fundament zapewnienia jakości oraz budowania konkurencyjności w dobie dynamicznego rozwoju branży spożywczej i innowacji w duchu Przemysłu 5.0.

Tabela 1. Klasyfikacja opakowań jednostkowych produktów mrożonych z uwzględnieniem materiałów i metod pakowania

Typ materiału / metoda pakowania	Przykłady opakowań	Właściwości kluczowe dla jakości	Zastosowanie w produktach mrożonych
Tworzywa sztuczne	Folie, tacki, pojemniki PET i PP	Lekkość, odporność na wilgoć, trwałość mechaniczna, bariera dla powietrza	Warzywa, owoce, gotowe dania, mięso
Papier i karton	Kartoniki, pudełka, torebki papierowe	Biodegradowalność, możliwość powłok ochronnych, atrakcyjność wizualna	Produkty krótkoterminowe, zestawy deserów, mrożone pieczywo
Metale	Puszki, folie aluminiowe	Bariera dla tlenu i światła, odporność mechaniczna, recykling	Długoterminowe przechowywanie, ryby, mięso, potrawy gotowe
Kompozyty i opakowania wielowarstwowe	Laminaty, karton z powłoką PE	Bariera dla wilgoci, gazów i tłuszczów, odporność na szron i mróz	Produkty wymagające dłuższego przechowywania, gotowe dania, mrożone ryby
Pakowanie próżniowe	Worki próżniowe, tacki próżniowe	Eliminacja powietrza, ograniczenie rozwoju mikroorganizmów	Mięso, ryby, gotowe dania, warzywa
Atmosfera modyfikowana (MAP)	Folie MAP, tacki z gazami	Optymalizacja składu gazów, wydłużenie świeżości	Mięso, ryby, produkty wrażliwe na utlenianie
Standardowe zamknięcia	Torebki, pudełka, pojemniki z klipsem	Podstawowa bariera, możliwość dodatkowych właściwości	Produkty masowe, deserki, mrożone przekąski

Źródło: opracowanie własne na podstawie obserwacji rynku oraz Alamri et al., 2021; Asha & Sivaranjana, 2023; Debnath et al., 2025; Özlü et al., 2024; Singapurwa et al., 2023.

Materiały użyte do produkcji powinny charakteryzować się odpornością na niskie temperatury oraz zdolnością do utrzymania szczelności w warunkach chłodniczych, co bezpośrednio wpływa na stabilność jakościową produktu²⁰. Ponadto, opakowanie

²⁰ Kukułowicz, A., Steinka, I., Siwek, A. (2021). *Produkty pochodzenia wodnego o różnym stopniu przetworzenia jako źródło staphylococcus aureus metycylinoopornych*. Żywnosc Nauka Technologia Jakosc/Food Science Technology Quality, 128(3), s. 55-62.

jednostkowe musi spełniać wymagania estetyczne i funkcjonalne, które warunkują pozytywne doświadczenie konsumenta oraz ułatwiają jego codzienne użytkowanie. Elementy takie jak rodzaj zamknięcia, możliwość wielokrotnego otwierania, ergonomiczny kształt czy czytelna identyfikacja produktu mają znaczenie w kontekście odbioru jakości, a ich odpowiednie zastosowanie może znacząco wpływać na satysfakcję użytkowników, w tym osób starszych lub mających ograniczoną sprawność manualną²¹.

Projektowanie i produkcja opakowań jednostkowych produktów mrożonych uwzględnia rosnące znaczenie ekologii i zrównoważonego rozwoju, które odnoszą się do takiego kształtowania opakowania, aby spełniało ono swoje funkcje ochronne, logistyczne i użytkowe przy jednoczesnym ograniczaniu negatywnego wpływu na środowisko w całym cyklu życia²². Podejście to obejmuje dobór materiałów o mniejszym obciążeniu środowiskowym, w tym biodegradowalnych, nadających się do recyklingu lub pochodzących ze źródeł odnawialnych, a także działania zmierzające do ograniczenia ilości zużytych surowców oraz ułatwienia odzysku materiałów po zakończeniu użytkowania opakowania. W konsekwencji zrównoważone rozwiązania stają się istotnym kierunkiem rozwoju jakości opakowań jednostkowych u producentów żywności mrożonej²³. Znaczenie tego podejścia wynika z faktu, że opakowanie jednostkowe stanowi element systemu dystrybucji i konsumpcji, a tym samym współuczestniczy w generowaniu odpadów opakowaniowych. Wymaga to uwzględnienia nie tylko trwałości i funkcjonalności, lecz również minimalizacji negatywnych skutków środowiskowych związanych z jego wytwarzaniem i zagospodarowaniem po użyciu. Zastosowanie materiałów biodegradowalnych oraz podatnych na recykling sprzyja ograniczeniu obciążenia środowiska i jednocześnie wspiera kształtowanie wizerunku przedsiębiorstwa jako odpowiedzialnego społecznie.

Estetyka i wizerunek opakowania mają równie ważny wpływ na postrzeganą jakość produktu. Atrakcyjny design opakowania zwiększa jego zdolność do przyciągnięcia uwagi konsumentów oraz kształtuje ich percepcję jakościową, co w konsekwencji może decydować o sukcesie rynkowym produktów mrożonych²⁴.

²¹ Świda, J., Migąła-Warchoł, A. (2016). *Ograniczenia funkcji komunikacyjnej opakowań produktów spożywczych użytkowanych przez starszych konsumentów*. *Modern Management Review*. vol. XXI, 23 (3/2016), s. 183-197.

²² Białokurski, S., Wróblewska, W. (2023). *Wybrane charakterystyki produktów a sukces rynkowy nowych produktów spożywczych w opiniach nabywców finalnych*. *EIOL*, 8(4), s. 5-15.

²³ Mikus, M., Galus, S. (2020). *Powlekanie żywności – materiały, metody i zastosowanie w przemyśle spożywczym*. *Żywność Nauka Technologia Jakość/Food Science Technology Quality*, 125(4), s. 5-24.

²⁴ Białokurski, S., Wróblewska, W. (2023). *Wybrane charakterystyki produktów a sukces rynkowy nowych produktów spożywczych w opiniach nabywców finalnych*. *EIOL*, 8(4), s. 5-15.

Konsumenci coraz częściej oceniają produkt nie tylko przez pryzmat jego smaku, ceny czy składu, ale również poprzez wrażenia wizualne i ergonomiczne, jakie zapewnia opakowanie. W tym kontekście opakowanie jednostkowe staje się nośnikiem informacji niematerialnych o jakości, innowacyjności oraz odpowiedzialności producenta. Jego funkcja komunikacyjna obejmuje zarówno przekazanie istotnych informacji dotyczących przechowywania, daty przydatności do spożycia czy składników produktu, jak również wywołanie pozytywnego wrażenia estetycznego, które wpływa na postrzeganie marki i jej wartości.

Znaczenie opakowania jednostkowego w kontekście jakości produktów mrożonych nie ogranicza się więc jedynie do funkcji praktycznych, lecz obejmuje również taktyki marketingowe i *brandingowe* przedsiębiorstw. Integracja funkcji ochronnej, informacyjnej oraz estetycznej wpływa na percepcję jakości produktu wśród konsumentów oraz sprzyja budowaniu ich lojalności wobec marki. Produkty mrożone zapakowane w opakowania atrakcyjne wizualnie i ergonomiczne mają większą szansę na wybór przez konsumentów w warunkach konkurencyjnego rynku, a także pozytywnie wpływają na ogólny odbiór jakości oferowanych produktów²⁵.

Opakowanie jednostkowe ma też wyróżnić produkt w obszarze sprzedaży detalicznej. Dzięki zastosowaniu odpowiednich materiałów, technologii wytwarzania oraz przemyślanego designu możliwe jest utrzymanie jakości fizycznej produktu, zapewnienie bezpieczeństwa żywności oraz wywołanie pozytywnego doświadczenia zakupowego. W ten sposób opakowanie jednostkowe staje się integralną częścią systemu jakościowego przedsiębiorstwa, łącząc funkcje ochronne z marketingowymi i wizerunkowymi, a jego znaczenie w zarządzaniu jakością produktów spożywczych mrożonych staje się coraz bardziej kluczowe w dobie intensywnie rozwijającego się rynku^{26, 27}.

Opakowania jednostkowe stanowią podstawową kwestię w ochronie jakości produktów spożywczych mrożonych, łącząc ochronę fizyczną, komunikację marketingową oraz wpływ na percepcję konsumentką. Ich produkcja wymaga

²⁵ Świda, J., Migala-Warchoł, A. (2016). *Ograniczenia funkcji komunikacyjnej opakowań produktów spożywczych użytkowanych przez starszych konsumentów*. *Modern Management Review* 23 (3/2016) s.183-197.

²⁶ Kukułowicz, A., Steinka, I., Siwek, A. (2021). Produkty pochodzenia wodnego o różnym stopniu przetworzenia jako źródło staphylococcus aureus metycylinoopornych. *Żywność Nauka Technologia Jakość/Food Science Technology Quality*, 128(3), s. 55-62.

²⁷ Mikus, M., Galus, S. (2020). *Powlekanie żywności – materiały, metody i zastosowanie w przemyśle spożywczym*. *Żywność Nauka Technologia Jakość/Food Science Technology Quality*, 125(4), s. 5-24.

holistycznego podejścia, które uwzględnia trwałość materiałów, funkcjonalność, estetykę oraz aspekty ekologiczne. Zrozumienie różnic w funkcjach opakowań jednostkowych w stosunku do zbiorczych i transportowych pozwala skutecznie zarządzać jakością produktów w całym łańcuchu dostaw. Współczesne trendy w zakresie opakowań jednostkowych koncentrują się na integracji innowacyjnych rozwiązań materiałowych i technologicznych z oczekiwaniami konsumentów, co stwarza możliwość budowania trwałej przewagi konkurencyjnej w branży żywności mrożonej, a jednocześnie przyczynia się do promowania zrównoważonego rozwoju w sektorze spożywczym.

Specyfika opakowań jednostkowych produktów mrożonych stanowi szeroki i odrębny obszar badawczy w kontekście zapewnienia jakości, bezpieczeństwa oraz trwałości tych produktów. Wymaga to uwzględnienia zarówno wymagań związanych z temperaturą przechowywania, odpornością na wilgoć, mróz i szok termiczny, jak i wpływu rodzaju opakowania na parametry organoleptyczne oraz mikrobiologiczne żywności mrożonej. Dodatkowo, znaczenie szczelności, łatwości otwierania oraz możliwości ponownego zamknięcia opakowań wpływa na doświadczenia konsumentów oraz ich ocenę jakości produktu. W kontekście Przemysłu 5.0, gdzie innowacje technologiczne i personalizacja stają się coraz bardziej powszechne, specyfika opakowań jednostkowych nabiera szczególnego znaczenia zarówno z perspektywy producenta, jak i odbiorcy końcowego.

Podstawowym wymogiem jest utrzymanie odpowiednich temperatur podczas przechowywania oraz transportu mrożonych produktów. Większość z nich wymaga temperatur nie wyższych niż -18°C , aby zapewnić stabilność mikrobiologiczną oraz zachowanie wartości odżywczych i właściwości sensorycznych²⁸. Nieprzestrzeganie tych warunków prowadzi do degradacji jakości, w tym zmiany tekstury, utraty aromatu czy zmniejszenia zawartości składników odżywczych. Opakowania jednostkowe muszą zatem posiadać właściwości izolacyjne umożliwiające utrzymanie stałej temperatury, a jednocześnie umożliwiać sprawną obsługę w procesach logistycznych. W tym kontekście projektowanie opakowań nie może ograniczać się wyłącznie do aspektu ochrony fizycznej produktu, ale musi również uwzględniać dynamikę procesów dystrybucyjnych i handlowych, w których produkt będzie uczestniczył. Materiały wykorzystywane w opakowaniach muszą zachowywać stabilność mechaniczną w szerokim zakresie

²⁸ Prasetya, D., Sendari, S., Ashar, M., Falah, M., Sujito, S., Handoko, W. (2023). *Implementation of a vacuum sealer to improve the quality and quantity of neng nana's umkm*. Tridarma Pengabdian Kepada Masyarakat (Pkm), 6(1), s. 45-52.

temperatur, w tym w warunkach powtarzających się cykli zamrażania i rozmrażania, które mogą występować w procesach logistycznych i w gospodarstwach domowych. Opakowania wykonane z folii aluminiowej oferują lepszą izolację termiczną w porównaniu do niektórych polimerów, co zapewnia skuteczniejszą ochronę produktów mrożonych przed degradacją jakościową²⁹. Warto przy tym zwrócić uwagę, że wybór materiału opakowaniowego nie jest kwestią jedynie funkcjonalną, ale ma również implikacje ekonomiczne i środowiskowe, zwłaszcza w dobie rosnącego znaczenia zrównoważonego rozwoju.

Odporność na wilgoć to również ważny aspekt specyfiki opakowań jednostkowych. Nadmiar wody lub kondensacja pary wodnej mogą prowadzić do powstawania kryształków lodu, co negatywnie wpływa na teksturę mrożonych produktów, zwłaszcza warzyw, ryb czy owoców morza³⁰. Powstawanie tzw. „spalonego mrozem” produktu, czyli powierzchni wysuszonej i szorstkiej, jest wynikiem penetracji powietrza i wilgoci przez nieszczelne opakowanie, co bezpośrednio obniża satysfakcję konsumenta oraz postrzeganą jakość produktu. Dlatego materiały użyte do produkcji opakowań jednostkowych muszą wykazywać wysoką barierowość zarówno dla wilgoci, jak i dla tlenu, aby zapobiegać niekorzystnym zmianom organoleptycznym oraz chemicznym.

W kontekście transportu i ekspozycji w punktach sprzedaży, opakowania jednostkowe muszą wykazywać wysoką odporność mechaniczną. Produkty mrożone, szczególnie te pakowane w folie cienkie, narażone są na wibracje, uderzenia i przypadkowe deformacje podczas przemieszczania oraz magazynowania³¹. Wytrzymałość mechaniczna opakowań determinuje nie tylko integralność produktu, ale również jego postrzeganą jakość w oczach konsumenta. Właściwe projektowanie opakowań z uwzględnieniem tych czynników może zmniejszyć straty produktów w łańcuchu dostaw, ograniczając jednocześnie koszty ekonomiczne i wpływ na środowisko wynikający z konieczności utylizacji uszkodzonych produktów.

Rodzaj opakowania ma również bezpośredni wpływ na trwałość jakości organoleptycznej produktów mrożonych. Odpowiednio dobrane materiały mogą

²⁹ Lee, H. G., Yoo, S. (2020). *Changes in the physical properties of frozen cooked rice depending on thermal insulation levels of packaging during freeze-thaw*. Journal of Food Science, 85(12), s. 4342-4350.

³⁰ Ibidem.

³¹ Prasetya, D., Sendari, S., Ashar, M., Falah, M., Sujito, S., Handoko, W. (2023). *Implementation of a vacuum sealer to improve the quality and quantity of neng nana's umkm*. Tridarma Pengabdian Kepada Masyarakat (Pkm), 6(1), s. 45-52.

minimalizować straty smakowe, zapachowe czy zmiany tekstury. Opakowania o wysokiej barierowości względem tlenu i wilgoci skutecznie zapobiegają niekorzystnym reakcjom chemicznym i biologicznym, które prowadzą do pogorszenia jakości produktów³². W ostatnich latach obserwuje się wzrost zainteresowania zastosowaniem nowoczesnych materiałów, takich jak kompozyty biodegradowalne czy laminaty wielowarstwowe, które zapewniają zarówno ochronę przed czynnikami zewnętrznymi, jak i spełniają kryteria zrównoważonego rozwoju³³. Nieszczelne opakowania umożliwiają penetrację powietrza, wilgoci i zanieczyszczeń, co obniża jakość przechowywanych produktów i skraca ich przydatność do spożycia. Właściwa szczelność jest szczególnie ważna w przypadku opakowań próżniowych i w atmosferze modyfikowanej, gdzie każde uchybienie w hermetyczności prowadzi do szybszego psucia się żywności³⁴. W tym kontekście regularna kontrola właściwości mechanicznych i barierowych opakowań stanowi ważny aspekt zapewnienia jakości w całym łańcuchu dostaw.

Łatwość otwierania oraz możliwość ponownego zamknięcia opakowania mają znaczący wpływ na doświadczenia konsumentów oraz ich ocenę produktu. Opakowania, które są proste w użyciu, zwiększają komfort użytkowania i poprawiają percepcję jakości. Technologie umożliwiające wielokrotne zamykanie, takie jak suwaki lub klipsy hermetyczne, pozwalają na zachowanie świeżości produktu po pierwszym otwarciu, co dodatkowo ogranicza marnotrawstwo żywności i zwiększa satysfakcję klientów³⁵. Konsumentom coraz częściej oczekują innowacyjnych rozwiązań, które łączą właściwości ochronne z wygodą użytkowania, co staje się narzędziem budowania przewagi konkurencyjnej dla producentów żywności mrożonej. Analiza materiałów używanych w opakowaniach wskazuje, że przetworzone włókna celulozowe i materiały biokompozytowe przyczyniają się do wzrostu zrównoważonej jakości opakowań, redukując wpływ na środowisko w porównaniu do tradycyjnych tworzyw sztucznych³⁶.

³² Pietrosanto, A., Scarfato, P., Di Maio, L., Nobile, M. R., & Incarnato, L. (2020). Evaluation of the suitability of poly (lactide)/poly (butylene-adipate-co-terephthalate) blown films for chilled and frozen food packaging applications. *Polymers*, 12(4), s. 804.

³³ Mikus, M., Galus, S. (2023). *Biopolimerowe materiały aktywne do żywności*. *Zywnosc Nauka Technologia Jakosc/Food Science Technology Quality*, 30(2), s. 18-32.

³⁴ Surjanti, J., Nuswantara, D. A., Mende, D. R., Juniarti, R. P., & Musfidah, H. (2018). *Developing Triple Helix Model for SMEs with Fish-Based Products*. *Research and Analysis Journal*, 1(2), s. 17-28

³⁵ Tsironi, T., Maltezou, I., Tsevdou, M., Katsaros, G., Taoukis, P. (2015). *High-pressure cold pasteurization of gilthead seabream fillets: Selection of process conditions and validation of shelf life extension*. *Food and bioprocess technology*, 8(3), s. 681-690.

³⁶ Ibidem.

Producenci stają przed wyzwaniem pogodzenia funkcjonalności i estetyki opakowania z jego wpływem na ekosystem. Zastosowanie materiałów biodegradowalnych i odnawialnych wymaga jednocześnie zachowania wysokiej odporności mechanicznej, szczelności i właściwości barierowych, co wymusza rozwój innowacyjnych technologii pakowania oraz wdrażanie zaawansowanych metod testowania jakości.

2.2. Funkcje jednostkowych opakowań produktów mrożonych

W rozumieniu logistycznym opakowania jednostkowe stanowią aspekt fundamentalny, realizując funkcję ochronną, logistyczną, informacyjną, marketingową, ekologiczną i użytkową.

Funkcja ochronna opakowań jednostkowych produktów mrożonych stanowi fundament zachowania jakości, bezpieczeństwa i świeżości żywności, od którego zależy percepcja wartości produktu przez konsumenta. W warunkach niskich temperatur produkty mrożone są szczególnie wrażliwe na działanie wielu czynników zewnętrznych – fizycznych, chemicznych oraz mikrobiologicznych. Każde przemieszczenie, nawet krótkotrwałe, może prowadzić do mikrouszkodzeń opakowania, które w konsekwencji wpływają na integralność samego produktu³⁷. Projektowanie opakowań w tym kontekście wymaga zrozumienia, że ochrona mechaniczna, chemiczna i biologiczna musi funkcjonować w sposób zintegrowany, tworząc system, w którym każdy element wspiera pozostałe.

Transport i magazynowanie produktów mrożonych stanowią dla nich źródło szczególnych zagrożeń. Uderzenia, wibracje, zgniatanie czy nieprawidłowe układanie w magazynach chłodniczych mogą skutkować trwałymi odkształceniami opakowań, wgnieceniami lub pęknięciami, które natychmiast obniżają poziom ochrony. Aby przeciwdziałać tym zjawiskom, stosuje się polimery o wysokiej gęstości, często modyfikowane dodatkami poprawiającymi odporność na uderzenia. Materiały te mają zdolność absorbowania energii mechanicznej, dzięki czemu nawet w warunkach dynamicznego transportu produkty zachowują swoje właściwości. Jednocześnie projektowanie geometryczne opakowań, obejmujące odpowiedni kształt i układów

³⁷ Kaul, S., Kaur, K., Kaur, P., & Kaur, J. (2022). *Development and shelf-life assessment of ready-to-bake frozen potato paranthas fortified with iron and zinc*. International Journal of Food Science & Technology, 57(11), s. 7214-7221.

konstrukcyjnych, stabilizuje produkt i minimalizuje przesunięcia oraz wibracje, które mogłyby uszkodzić jego strukturę³⁸.

Równoległe do ochrony mechanicznej opakowania muszą zabezpieczać produkty przed działaniem czynników chemicznych i środowiskowych. Nawet w warunkach głębokiego mrożenia procesy utleniania mogą przebiegać powoli, prowadząc do utraty aromatu, smaku czy wartości odżywczej. Ultrafioletowe promieniowanie, zmiany temperatur oraz niewielkie wahania wilgotności sprzyjają degradacji składników wrażliwych, takich jak witaminy czy naturalne antyoksydanty³⁹. Odpowiednie materiały opakowaniowe charakteryzujące się niską przepuszczalnością dla gazów, a także powłoki filtrujące promieniowanie UV, znacząco spowalniają te procesy. Wprowadzenie do opakowań naturalnych przeciwutleniaczy w formie składników aktywnych pozwala wydłużyć okres przydatności do spożycia, wspierając zachowanie jakości sensorycznej i organoleptycznej produktu⁴⁰.

Nie można pominąć aspektu mikrobiologicznego, który w przypadku mrożonek wymaga szczególnej uwagi. Choć niskie temperatury hamują rozwój większości patogenów, nie eliminują ich całkowicie. Opakowania muszą ograniczać kontakt z czynnikami zewnętrznymi oraz tworzyć barierę, która minimalizuje ryzyko namnażania się mikroorganizmów w całym cyklu życia produktu. *Biopackaging* z naturalnymi substancjami przeciwdrobnoustrojowymi skutecznie ogranicza rozwój bakterii, takich jak *Listeria monocytogenes*, stanowiących realne zagrożenie dla bezpieczeństwa żywności⁴¹.

Jednocześnie inteligentne systemy monitorowania stanu mikrobiologicznego opakowania pozwalają na bieżące reagowanie na potencjalne zagrożenia, zwiększając kontrolę nad jakością i bezpieczeństwem produktów⁴².

³⁸ Gonzales-Barrón, Ú., Pouillot, R., Mota, J., Hasegawa, A., Allende, A., Dong, Q., Sanaa, M. (2024). *A quantitative risk assessment model for listeria monocytogenes in non-ready-to-eat frozen vegetables*. *Foods*, 13(22), s. 3610.

³⁹ Karpińska-Tymoszczyk, M. and Draszanowska, A. (2019). *The effect of natural and synthetic antioxidants and packaging type on the quality of cooked poultry products during frozen storage*. *Food Science and Technology International*, 25(5), s. 429-439.

⁴⁰ Daszkiewicz, T., Purwin, C., Kubiak, D., Fijałkowska, M., Kozłowska, E., Antoszkiewicz, Z. (2018). *Changes in the quality of meat (longissimus thoracis et lumborum) from kamieniec lambs during long-term freezer storage*. *Animal Science Journal*, 89(9), s. 1323-1330.

⁴¹ Skudra, L., Loba, K., & Kunkulberga, D. (2019). *Shelf life assessment of meat pies.*, s. 269-272.

⁴² Odoch, M., Buys, E., & Taylor, J. (2021). *Effects of vacuum packaging storage of minimally processed cassava roots at various temperatures on microflora, tissue structure, starch extraction by wet milling and granule quality*. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 101(15), s. 6347-6354.

Specyfika produktów mrożonych wymusza także ścisłą kontrolę wilgotności wewnątrz opakowania. Wielowarstwowe laminaty, często wzbogacane biokompozytami, charakteryzują się wysoką skutecznością w utrzymaniu bariery dla pary wodnej, zachowując jednocześnie odporność mechaniczną oraz właściwości barierowe dla gazów⁴³.

Świadomość konsumentcka w dzisiejszych czasach dodatkowo podnosi rangę funkcji ochronnej opakowania. Klienci oczekują, że opakowanie nie tylko zabezpieczy produkt, ale także będzie dostarczać informacji o jego jakości, pozwalać na kontrolę świeżości i w pewnym sensie uczestniczyć w zapewnieniu bezpieczeństwa żywności. W takim ujęciu opakowanie przestaje być biernym pojemnikiem, a staje się medium, które integruje ochronę fizyczną, chemiczną i biologiczną z funkcją edukacyjną, informacyjną oraz kontrolną⁴⁴.

Nowoczesne technologie pozwalają jeszcze bardziej wzmocnić funkcję ochronną. Powłoki aktywne, materiały bioaktywne i inteligentne systemy monitorowania nie tylko zabezpieczają produkt, ale wchodzi w interakcję z jego otoczeniem, reagując na zmiany temperatury, wilgotności czy obecność mikroorganizmów. Opakowania takie wpisują się w filozofię Przemysłu 5.0, łącząc ochronę z innowacją i zrównoważonym rozwojem. Stają się narzędziem strategicznym, które zwiększa postrzeganą wartość marki, podnosi satysfakcję konsumentów i stanowi punkt wyjścia dla kolejnych funkcji opakowań⁴⁵.

Analiza funkcji ochronnej pokazuje, że każdy aspekt projektowy, od wyboru materiałów, poprzez konstrukcję, po właściwości aktywne, pełni znaczącą rolę. Mechaniczne zabezpieczenie, ochrona chemiczna, kontrola mikrobiologiczna oraz stabilizacja wilgotności i temperatury tworzą synergiczny system, który nie tylko podnosi jakość produktu, ale również zapewnia konsumentom pewność, że zakupiony produkt zachowa swoje właściwości do momentu przygotowania⁴⁶. W konsekwencji funkcja ochronna opakowań jednostkowych produktów mrożonych nie ogranicza się do jednego wymiaru jakości. To proces złożony, w którym materiały, projektowanie i nowoczesne technologie współgrają w sposób tworzący integralny system ochronny. Jest

⁴³ Madzharov, A. Block, L. (2010). *Effects of product unit image on consumption of snack foods*. Journal of Consumer Psychology, 20(4), s. 398-409.

⁴⁴ Ibidem.

⁴⁵ Kaul, S., Kaur, K., Kaur, P., Kaur, J. (2022). *Development and shelf-life assessment of ready-to-bake frozen potato paranthas fortified with iron and zinc*. International Journal of Food Science & Technology, 57(11), s. 7214-7221.

⁴⁶ Gonzales-Barrón, Ú., Pouillot, R., Mota, J., Hasegawa, A., Allende, A., Dong, Q., Sanaa, M. (2024). *A quantitative risk assessment model for listeria monocytogenes in non-ready-to-eat frozen vegetables*. Foods, 13(22), s. 3610.

fundamentem jakości, jednocześnie umożliwiając rozwój funkcji informacyjnych, logistycznych i marketingowych, wpływając na całościowe doświadczenie konsumentów i wzmacniając wartość rynkową marki⁴⁷.

Funkcja logistyczna i dystrybucyjna opakowań jednostkowych produktów mrożonych wykracza daleko poza podstawowe znaczenie ochrony przed uszkodzeniami mechanicznymi. W kontekście produktów mrożonych, wrażliwość żywności na wahania temperatury oraz ryzyko degradacji organoleptycznej wymusza projektowanie opakowań, które integrują funkcje ochronne z logistycznymi, umożliwiając sprawny transport, magazynowanie i dystrybucję bez utraty wartości produktu.

Należy podkreślić znaczenie odpowiedniego dopasowania wymiarów i kształtu opakowań do łańcucha chłodniczego. Wysokość, szerokość i głębokość pudełek lub toreb mrożonych mają bezpośredni wpływ na wykorzystanie przestrzeni w magazynach i środkach transportu. Optymalne wykorzystanie przestrzeni chłodni czy pojazdów transportowych pozwala nie tylko zmniejszyć koszty operacyjne, ale również ograniczyć negatywny wpływ transportu na środowisko. Standaryzacja wymiarów, choć może wydawać się technicznym szczegółem, w praktyce determinuje możliwość tworzenia stabilnych stosów produktów, minimalizując przesunięcia i wibracje, które mogłyby prowadzić do deformacji opakowań lub uszkodzenia zawartości⁴⁸.

Jest to również warunek wstępny dla automatyzacji procesów logistycznych. Systemy zrobotyzowane w magazynach chłodniczych wymagają, aby opakowania miały spójne rozmiary i parametry geometryczne, co umożliwia precyzyjne układanie, przenoszenie i segregowanie produktów. Brak standaryzacji może skutkować przestojami w pracy automatów lub koniecznością ręcznej interwencji, co zwiększa ryzyko uszkodzeń i podnosi koszty operacyjne⁴⁹. Wdrożenie jednolitych wymiarów opakowań sprzyja również lepszemu zarządzaniu przestrzenią magazynową, optymalizuje układ palet i poprawia ergonomię pracy personelu.

Znaczenie formy opakowań nie ogranicza się jedynie do wypełniania przestrzeni. Kształt wpływa również na ergonomię załadunku i rozładunku oraz łatwość manipulacji przy pakowaniu. Produkty o prostokątnych, modułowych kształtach umożliwiają

⁴⁷ Kaul, S., Kaur, K., Kaur, P., Kaur, J. (2022). *Development and shelf-life assessment of ready-to-bake frozen potato paranthas fortified with iron and zinc*. International Journal of Food Science & Technology, 57(11), s. 7214-7221.

⁴⁸ Qian, Y., Yu, J., Yu, Y., Xie, J., Yang, S. (2022). *Effects of immersing treatment of curcumin and piperine combined with vacuum packaging on the quality of salmon (salmo salar) during cold chain logistics*. Frontiers in Nutrition, vol. 9, s. 2-14.

⁴⁹ Ibidem.

tworzenie stabilnych, zwartych struktur w paletach transportowych, co redukuje ryzyko przewracania się stosów i zwiększa bezpieczeństwo operacji magazynowych. W praktyce oznacza to krótszy czas przygotowania do transportu i mniejszą ilość uszkodzeń mechanicznych podczas operacji logistycznych⁵⁰.

Efektywne składowanie i transport to także kwestia odpowiednich materiałów. Opakowania muszą zapewniać izolację termiczną, ograniczając przepływ ciepła i utrzymując stałą temperaturę w trakcie transportu. Materiały termoizolacyjne, w tym nowoczesne laminaty wielowarstwowe lub polimery z dodatkami absorpcyjnymi ciepła, pozwalają na utrzymanie wymaganego stanu chłodniczego przez dłuższy czas, co przekłada się na minimalizację strat jakościowych i wydłużenie trwałości produktu⁵¹. W połączeniu z systemami kontroli temperatury, takimi jak sensory wbudowane w opakowania, możliwe jest bieżące monitorowanie warunków przechowywania i szybka reakcja w przypadku nieprawidłowości⁵².

Opakowania wpływają również na ograniczenie strat ilościowych i jakościowych w łańcuchu dostaw. Odpowiednie opakowania, które integrują funkcję ochrony mechanicznej z monitorowaniem warunków transportu, znacząco redukują straty, minimalizując zarówno uszkodzenia fizyczne, jak i degradację sensoryczną. Wprowadzenie inteligentnych etykiet RFID oraz czujników temperatury staje się zatem nie tylko elementem kontroli jakości, lecz także narzędziem pozwalającym na optymalizację całego łańcucha logistycznego⁵³.

Zastosowanie nowoczesnych technologii w procesach dystrybucji mrożonek pozwala nie tylko na poprawę efektywności, ale również na integrację z narzędziami monitoringu i analizy danych. Inteligentne systemy magazynowe oraz transportowe umożliwiają śledzenie położenia i stanu produktów w czasie rzeczywistym, co jest nieocenione w przypadku produktów o ograniczonej trwałości. Opakowania, które są kompatybilne z takimi systemami, pozwalają na dokładne planowanie dostaw,

⁵⁰ Cierpiszewski, R. (2021). Wykorzystanie nanokompozytów polimerowych zawierających nanocząstki metali jako materiałów opakowaniowych. *Engineering Sciences and Technologies*, 2021(1(37)), s. 57-74.

⁵¹ Su, J. and Wang, S. (2024). Influence of food packaging color and foods type on consumer purchase intention: the mediating role of perceived fluency. *Frontiers in Nutrition*, vol. 10, s. 02-12.

⁵² Qian, Y., Yu, J., Yu, Y., Xie, J., Yang, S. (2022). Effects of immersing treatment of curcumin and piperine combined with vacuum packaging on the quality of salmon (*salmo salar*) during cold chain logistics. *Frontiers in Nutrition*, vol. 9, s. 2-14.

⁵³ Ma, H., Zhang, J., Wang, J., Qin, Y., Chen, C., Song, Y., Xu, W. (2021). *Covid-19 outbreak caused by contaminated packaging of imported cold-chain products —Liaoning province, China, July 2020*. *China CDC Weekly*, 3(21), s. 441-447.

minimalizację ryzyka strat i optymalizację przepływów logistycznych⁵⁴. Rola opakowań w dystrybucji produktów mrożonych nie ogranicza się wyłącznie do kwestii technicznych. Współczesny konsument oczekuje, że produkt będzie dostarczony w stanie nienaruszonym, a opakowanie będzie świadczyć o jakości i dbałości producenta o każdy etap dostawy. Z tego powodu funkcja logistyczna w naturalny sposób łączy się z funkcją wizerunkową opakowań, stanowiąc składnik koncepcji marketingowej i budowania zaufania klienta.

Funkcja logistyczna opakowań jednostkowych produktów mrożonych jest złożonym zjawiskiem, w którym integracja ochrony mechanicznej, materiałów termoizolacyjnych, standaryzacji wymiarów i inteligentnych systemów monitoringu tworzy spójny i skuteczny system zarządzania łańcuchem dostaw. Odpowiednie projektowanie i wdrażanie innowacyjnych rozwiązań w tej sferze przekłada się nie tylko na poprawę jakości produktów, ograniczenie strat i optymalizację kosztów, ale również na wzmocnienie wartości marki i satysfakcji konsumenta. Współczesne opakowania mrożonek pełnią funkcję logistyczną równorzędną z ochronną, stając się nieodzownym aspektem zrównoważonego rozwoju, efektywnego i bezpiecznego obiegu produktów w łańcuchu dostaw.

Funkcja informacyjna opakowań jednostkowych produktów mrożonych odgrywa coraz istotniejszą rolę w nowoczesnym zarządzaniu łańcuchem dostaw oraz w zapewnianiu bezpieczeństwa żywności. Współczesne opakowania są nośnikami informacji, które nie tylko komunikują konsumentowi podstawowe dane, ale również wspierają przedsiębiorstwa w monitorowaniu i kontrolowaniu jakości produktów na każdym etapie ich dystrybucji. Informacje te obejmują zarówno dane wymagane prawnie, takie jak skład produktu, data przydatności do spożycia, warunki przechowywania czy oznaczenia alergenów, jak i informacje technologiczne oraz logistyczne, które pozwalają na skuteczne zarządzanie przepływem produktów w łańcuchu dostaw. Rodzaje informacji umieszczane na opakowaniach jednostkowych wraz z funkcjonalnością zostały zaprezentowane w tabeli 2. Dzięki tej funkcji konsumenci mogą podejmować świadome decyzje zakupowe, natomiast producenci zyskują narzędzie do bieżącej kontroli jakości, co minimalizuje ryzyko strat oraz niezgodności z przepisami prawa.

⁵⁴ Esposti, M., Toselli, M., Sabia, C., Messi, P., Niederhäusern, S., Bondi, M., Iseppi, R. (2018). Effectiveness of polymeric coated films containing bacteriocin-producer living bacteria for listeria monocytogenes control under simulated cold chain break. Food Microbiology, 76, s. 173-179.

Tabela 2. Funkcje informacyjne opakowań jednostkowych produktów mrożonych w kontekście bezpieczeństwa żywności i logistyki

Rodzaj informacji	Przykłady / narzędzia	Funkcja w łańcuchu dostaw	Korzyści dla konsumenta i producenta
Informacje prawnie wymagane	Skład, data przydatności, warunki przechowywania, alergeny	Zapewnienie zgodności z przepisami, minimalizacja ryzyka reklamacji	Bezpieczeństwo konsumenta, zaufanie do marki
Informacje technologiczne	Kod kreskowy, numer partii, oznaczenia produkcji	Śledzenie produktu, identyfikacja partii, identyfikowalność	Szybka reakcja na problemy jakościowe, eliminacja wadliwych partii
Informacje logistyczne	Indykatory temperatury i czasu, RFID, monitoring w czasie rzeczywistym	Kontrola łańcucha chłodniczego, optymalizacja transportu i magazynowania	Minimalizacja strat jakościowych, lepsze zarządzanie zapasami

Zródło: opracowanie własne na podstawie: Miarka et al., 2019; Verghese et al., 2015; Masamba, 2024; Molina-Besch, Pålsson, 2020.

Podstawowe informacje umieszczane na opakowaniach produktów mrożonych są ściśle regulowane przepisami prawa żywnościowego. Obejmują one między innymi skład produktu, który jest szczególnie istotny dla konsumentów posiadających alergie pokarmowe lub stosujących określone diety. Wskazania dotyczące daty przydatności do spożycia pozwalają ocenić świeżość i jakość produktów, natomiast informacje o warunkach przechowywania stanowią wytyczne konieczne do zachowania odpowiednich parametrów produktu do momentu konsumpcji⁵⁵. Znaczenie funkcji informacyjnej opakowań w zapewnieniu bezpieczeństwa żywności jest szczególnie widoczne w kontekście ostrzeżeń dotyczących alergenów, składników mogących wywoływać reakcje alergiczne oraz wskazań dotyczących odpowiedniego rozmrażania i przygotowania produktów. Intuicyjne oznaczenia, piktogramy oraz systemy kolorystyczne pozwalają konsumentowi szybko i bezbłędnie odczytać istotne informacje, nawet bez specjalistycznej wiedzy żywieniowej. W ten sposób opakowanie staje się nie tylko narzędziem ochrony mechanicznej i chemicznej, ale również aspektem profilaktyki zdrowotnej i edukacji konsumenta, wzmacniając odpowiedzialne i bezpieczne korzystanie z produktów mrożonych.

Znaczenie prawidłowego oznakowania stanowi także narzędzie budowania zaufania wobec marki, zmniejszając ryzyko reklamacji i niezgodności prawnych. W

⁵⁵ Masamba, M. (2024). *Impact of food packaging materials on the shelf-life and quality of packaged food products*. Journal of Food Sciences, 5(2), s. 15-28.

praktyce oznacza to, że opakowania stają się medium, które przekazuje rzetelne informacje o produkcie w sposób czytelny i intuicyjny.

Obok informacji konsumenckich, opakowania jednostkowe pełnią funkcję wspierającą procesy logistyczne i technologiczne w przedsiębiorstwach. Kody kreskowe, numery partii, daty produkcji czy oznaczenia identyfikacyjne pozwalają na dokładne śledzenie przepływu produktów w systemie dystrybucji, ułatwiając zarówno planowanie dostaw, jak i kontrolę jakości. W przypadku wykrycia nieprawidłowości lub zagrożeń dla jakości żywności możliwe jest szybkie zlokalizowanie konkretnych partii wymagających wycofania z obrotu⁵⁶. Takie mechanizmy identyfikowalności, znane jako *traceability*, pozwalają nie tylko zwiększyć bezpieczeństwo produktów, ale także optymalizować procesy magazynowe i transportowe, minimalizując straty i podnosząc efektywność operacyjną przedsiębiorstwa⁵⁷.

Funkcja informacyjna opakowań jednostkowych produktów mrożonych stanowi integralną część zarządzania jakością, bezpieczeństwem i efektywnością operacyjną. Dzięki starannie zaprojektowanym etykietom, inteligentnym indykatorom i integracji z nowoczesnymi technologiami cyfrowymi producenci mogą tworzyć bardziej transparentne i przewidywalne procesy logistyczne, minimalizować ryzyko strat i awarii, a także podnosić poziom bezpieczeństwa żywności. Konsument z kolei zyskuje pewność, że produkt, który trafia na jego stół, jest monitorowany pod względem jakości i bezpieczeństwa, co zwiększa jego zaufanie do marki i pozwala podejmować świadome decyzje zakupowe. Współczesne opakowania jednostkowe mrożonek przekształcają się więc w aktywne narzędzie informacyjne i kontrolne, które łączy funkcje ochronne, edukacyjne, logistyczne i technologiczne w jednym, spójnym systemie.

Funkcja marketingowa opakowań jednostkowych produktów mrożonych odgrywa fundamentalną rolę w strategiach sprzedażowych firm oraz w postrzeganiu produktów przez konsumentów. W warunkach rosnącej konkurencji skutecznie zaprojektowane opakowanie może wyróżniać produkt, przyciągać uwagę klientów i wpływać na decyzje zakupowe⁵⁸. Opakowanie pełni jednocześnie funkcję wizualną i

⁵⁶ Miarka, D., Urbańska, B., & Kowalska, J. (2019). *Traceability as a tool aiding food safety assurance on the example of a food-packing plant*. Accreditation and Quality Assurance, 24(3), s. 237-244.

⁵⁷ Molina-Besch, K. (2016). *Prioritization guidelines for green food packaging development*. British Food Journal, 118(10), s. 2512-2533.

⁵⁸ Kawecka, A. and Cholewa-Wójcik, A. (2017). *Jakość opakowania jako determinanta bezpieczeństwa żywności w kontekście wymagań społecznych konsumentów*. Żywność Nauka Technologia Jakość/Food Science Technology Quality, 112(3), s.138-148.

sensoryczną, budując pozytywne doświadczenia konsumenckie oraz kreując wizerunek marki.

Pierwszy kontakt konsumenta z produktem najczęściej odbywa się właśnie poprzez opakowanie, dlatego jego atrakcyjność wizualna jest niezwykle istotna. Kolorystyka, grafika, typografia oraz materiał użyty do produkcji opakowania wpływają na percepcję jakości i wartości produktu⁵⁹. W przypadku produktów mrożonych, które mogą być postrzegane jako mniej świeże niż produkty świeże, estetyczne i dobrze zaprojektowane opakowanie pełni funkcję zwiększającą zaufanie do marki. Spójność komunikacji wizualnej z innymi działaniami marketingowymi firmy wzmacnia rozpoznawalność marki i jej zapamiętywalność.

Kolory opakowań mają określone znaczenie psychologiczne. Ciepłe barwy, takie jak czerwony, pomarańczowy i żółty, stymulują apetyt i zwiększają atrakcyjność wizualną produktu, podczas gdy kolory zimne, np. niebieski, kojarzą się ze świeżością, czystością i bezpieczeństwem żywności. Wybór kolorów w projekcie opakowania powinien uwzględniać zarówno preferencje kulturowe, jak i psychologiczne aspekty percepcji, aby skutecznie przekazywać odpowiedni komunikat marketingowy.

Forma opakowania, w tym jego kształt i objętość, również wpływa na postrzeganą wartość produktu. Nietypowe lub ergonomiczne kształty zwiększają zauważalność produktu i mogą sugerować innowacyjność oraz wyższą jakość⁶⁰. Jednocześnie forma opakowania powinna wspierać jego funkcjonalność – łatwe przechowywanie w zamrażarce, wygoda użytkowania i bezpieczeństwo transportu – co dodatkowo wzmacnia postrzeganą wartość produktu⁶¹. Konsumenci coraz częściej preferują produkty, których opakowania są intuicyjne, estetyczne i wygodne w użyciu, co jest szczególnie istotne w segmencie mrożonek, gdzie wybór dokonuje się często w krótkim czasie i przy ograniczonej informacji⁶². Czytelne i rzetelne informacje zwiększają poczucie bezpieczeństwa i satysfakcji zakupowej, a także budują zaufanie do marki⁶³.

Funkcja marketingowa i komunikacyjna opakowań jednostkowych produktów mrożonych obejmuje więc szereg kwestii – od estetyki i wizualnej atrakcyjności, przez

⁵⁹ Baruk, A., Białoskurski, S. (2015). *Selected determinants of food product image*. *Żywność Nauka Technologia Jakość/Food Science Technology Quality*, 21(3(100)), s. 5-17.

⁶⁰ Ibidem.

⁶¹ Kawecka, A. and Cholewa-Wójcik, A. (2017). *Jakość opakowania jako determinanta bezpieczeństwa żywności w kontekście wymagań społecznych konsumentów*. *Żywność Nauka Technologia Jakość/Food Science Technology Quality*, 112(3), s. 138-148.

⁶² Ibidem.

⁶³ Vergheze, K., Lewis, H., Lockrey, S., Williams, H. (2015). *Packaging's role in minimizing food loss and waste across the supply chain*. *Packaging Technology and Science*, 28(7), s. 603-620.

zapewnienie czytelnych informacji, aż po wdrażanie nowoczesnych technologii interaktywnych i inteligentnych. Takie podejście pozwala zwiększyć konkurencyjność produktów, budować pozytywne doświadczenia konsumenckie oraz wzmocnić wizerunek marki. W miarę rozwoju technologii i rosnących oczekiwań konsumentów, inwestycje w innowacyjne opakowania mogą przynieść wymierne korzyści w zakresie sprzedaży, lojalności klientów i postrzeganej wartości produktów na rynku.

Funkcja ekologiczna i społeczna opakowań jednostkowych produktów mrożonych zyskuje na znaczeniu w kontekście globalnych wyzwań związanych ze zrównoważonym rozwojem, ochroną środowiska i rosnącą świadomością ekologiczną konsumentów. Decyzje dotyczące materiałów, formy, możliwości recyklingu oraz komunikacji ekologicznej wpływają nie tylko na redukcję negatywnego oddziaływania na środowisko, lecz także kształtują postawy proekologiczne konsumentów, budując odpowiedzialny wizerunek marki i wspierając długofalowe cele społeczno-ekologiczne.

Redukcja negatywnego wpływu opakowań na środowisko stanowi jeden z bardziej znaczących priorytetów w branży spożywczej. Produkty mrożone wymagają opakowań zapewniających odpowiednią ochronę przed uszkodzeniami i działaniem niskich temperatur, co tradycyjnie realizowane było przy użyciu tworzyw sztucznych o ograniczonej biodegradowalności. Wdrażanie materiałów alternatywnych, biodegradowalnych oraz pochodzących z recyklingu pozwala znacząco ograniczyć zanieczyszczenie środowiska i zmniejszyć zużycie zasobów naturalnych^{64,65}.

Producenci coraz częściej sięgają po tworzywa na bazie roślin lub kompozyty biodegradowalne, które w odpowiednich warunkach mogą ulegać naturalnej dekompozycji lub być poddane kompostowaniu, zmniejszając tym samym ilość odpadów trafiających na składowiska⁶⁶.

W kontekście zrównoważonego rozwoju, wybór materiałów odnawialnych staje się strategiczną decyzją. Materiały pochodzące z biomasy, które mogą być przetworzone w procesach recyklingu lub kompostowania, pozwalają na ograniczenie emisji gazów cieplarnianych i zużycia surowców nieodnawialnych. Odpowiedzialne projektowanie

⁶⁴ Cholewa-Wójcik, A. (2016). Weryfikacja możliwości wykorzystania nieparametrycznego testu niezależności do analizy postrzegania wybranych elementów komunikacji wizualnej opakowań. *Humanities and Social Sciences Quarterly*, vol. XXI, 23 (3/2016), s. 9-22.

⁶⁵ Kawecka, A. and Cholewa-Wójcik, A. (2017). *Jakość opakowania jako determinanta bezpieczeństwa żywności w kontekście wymagań społecznych konsumentów*. *Żywność Nauka Technologia Jakość/Food Science Technology Quality*, 112(3), s.138-148.

⁶⁶ Cholewa-Wójcik, A. (2016). Weryfikacja możliwości wykorzystania nieparametrycznego testu niezależności do analizy postrzegania wybranych elementów komunikacji wizualnej opakowań. *Humanities and Social Sciences Quarterly*. vol. XXI, 23 (3/2016), s. 9-22.

opakowań uwzględnia nie tylko trwałość i funkcjonalność produktu, ale także cykl życia materiału i możliwość jego ponownego wykorzystania, wpisując się w model gospodarki o obiegu zamkniętym⁶⁷. W praktyce oznacza to, że produkty mrożone mogą być pakowane w materiały nadające się do recyklingu, a proces produkcji opakowań staje się coraz bardziej przyjazny dla środowiska, minimalizując odpady i emisję szkodliwych substancji⁶⁸.

Opakowania jednostkowe pełnią również funkcję edukacyjną, kształtując postawy proekologiczne konsumentów. Czytelne oznakowanie informujące o możliwości recyklingu, biodegradowalności czy pochodzeniu materiałów pozwala klientom podejmować bardziej świadome decyzje zakupowe⁶⁹. Konsumentom często brakuje informacji na temat realnego wpływu ich wyborów na środowisko, dlatego opakowania mogą pełnić rolę skutecznych nośników edukacji ekologicznej. Proekologiczne komunikaty na etykietach, wspierane przez kampanie marketingowe promujące recykling i odpowiedzialną konsumpcję, sprzyjają wzrostowi świadomości ekologicznej i zmianie zachowań zakupowych w kierunku produktów przyjaznych środowisku⁷⁰.

Rola opakowań w realizacji polityki zrównoważonego rozwoju jest ogromna. Zastosowanie materiałów odnawialnych, biodegradowalnych oraz nadających się do recyklingu nie tylko minimalizuje wpływ na środowisko, lecz także pozwala przedsiębiorstwom wypełniać wymogi regulacyjne i międzynarodowe standardy zrównoważonego rozwoju⁷¹. Współpraca z organizacjami ekologicznymi oraz wdrażanie certyfikatów środowiskowych wzmacniają wiarygodność marki i pozytywnie wpływają na jej wizerunek w oczach konsumentów, którzy coraz częściej oczekują odpowiedzialnych społecznie praktyk biznesowych⁷².

⁶⁷ Nikodemska-Wołowik, A., Smith, B. (2023). *Koncepcja symbolu przedsiębiorstw rodzinnych w ocenie konsumentów. ujęcie semiotyczne.*, s. 376-386.

⁶⁸ Sakowska, A., Guzek, D., Głabska, D., Konarska, M., & Wierzbicka, A. (2014). *Charakterystyka wybranych systemów pakowania mięsa w odniesieniu do preferencji konsumentów i aspektów ekonomicznych.* Zeszyty Naukowe SGGW W Warszawie - Problemy Rolnictwa Światowego, 14(2), s. 203-213.

⁶⁹ Bombol, M. (2023). *Zrównoważona konsumpcja jako doświadczenie konsumentów.*, s. 134-147.

⁷⁰ Nikodemska-Wołowik, A., Smith, B. (2023). *Koncepcja symbolu przedsiębiorstw rodzinnych w ocenie konsumentów. ujęcie semiotyczne.*, s. 376-386.

⁷¹ Tarapata, J. (2015). *Sustainable consumption and consumer ecological behavior.* Nowoczesne Systemy Zarządzania, 10(1), s. 51-59.

⁷² Kucharska, W. (2016). *Wartość marki jako wskaźnik. metody pomiaru / brand value as an indicator. measurement methods.* Prace Naukowe Uniwersytetu Ekonomicznego We Wrocławiu, vol.460, s. 90-100.

Opakowania mają również znaczenie społeczne. Poprzez promowanie odpowiedzialnych zachowań konsumenckich, takich jak recykling, segregacja odpadów czy wybór produktów ekologicznych, wspierają rozwój świadomości społecznej w zakresie ochrony środowiska. Wzrost dostępności informacji o ekologiczności produktów i ich wpływie na planetę umożliwia konsumentom podejmowanie bardziej świadomych decyzji, co w dłuższej perspektywie przyczynia się do zmiany społecznych norm konsumpcyjnych. Funkcja ta jest szczególnie istotna w kontekście globalnych wyzwań, takich jak zmiany klimatyczne, kurczenie się zasobów naturalnych czy problem odpadów opakowaniowych, które wymagają aktywnego zaangażowania zarówno producentów, jak i konsumentów. Wdrożenie ekologicznych opakowań staje się także elementem strategii marketingowej i wizerunkowej firm. Produkty mrożone pakowane w opakowania przyjazne środowisku zyskują przewagę konkurencyjną, trafiają do grup konsumentów poszukujących rozwiązań zrównoważonych i odpowiedzialnych społecznie, a jednocześnie wpisują się w globalny trend dbania o planetę. Zrównoważone opakowania są nie tylko narzędziem ochrony środowiska, lecz także czynnikiem zwiększającym atrakcyjność rynkową produktów, wzmacniając wizerunek firmy jako innowacyjnej, odpowiedzialnej i świadomej ekologicznie.

Funkcja ekologiczna i społeczna opakowań jednostkowych produktów mrożonych obejmuje szeroki zakres działań i zagadnień – od redukcji wpływu opakowań na środowisko, przez zastosowanie materiałów odnawialnych i możliwości recyklingu, po edukację konsumentów i wspieranie społecznych postaw proekologicznych. W dobie rosnących wyzwań ekologicznych, odpowiedzialne projektowanie opakowań przyczynia się zarówno do ochrony zasobów naturalnych, jak i do kształtowania świadomego społeczeństwa, dla którego zrównoważony rozwój staje się coraz bardziej decydującym kryterium wyboru produktów.

Funkcja użytkowa opakowań jednostkowych produktów mrożonych, określana również jako ergonomiczna, odgrywa dużą rolę w kształtowaniu doświadczeń konsumenta oraz w procesie podejmowania decyzji zakupowych. Współczesny konsument oczekuje, że produkt mrożony będzie dostępny w formie, która umożliwia szybki dostęp, intuicyjne porcjowanie oraz wygodne przechowywanie w warunkach domowych. Producenci pragną budować lojalność klientów i zredukować negatywne

doświadczenia związane z frustracją podczas użytkowania powinni położyć nacisk na tę sferę w trakcie projektowania⁷³.

Łatwość otwierania opakowań stanowi podstawowy element ergonomii, który bezpośrednio wpływa na satysfakcję konsumenta. Tradycyjne metody zamykania, wymagające znacznej siły lub dodatkowych narzędzi, mogą prowadzić do poczucia dyskomfortu i zniechęcenia wobec produktu w przyszłości. Rozwiązania ułatwiające dostęp do zawartości, takie jak perforacje, uchwyty czy zintegrowane mechanizmy otwierania, znacząco zwiększają percepcję wygody i użyteczności produktu⁷⁴. Ponadto, możliwość ponownego zamykania opakowania nabiera znaczenia w przypadku produktów przeznaczonych do wielokrotnego użycia. Mechanizmy zamykania oparte na elastycznych materiałach, zamkach błyskawicznych czy klipsach przyczyniają się do wydłużenia trwałości produktu oraz minimalizacji marnotrawstwa żywności, co ma istotne implikacje zarówno dla konsumentów, jak i dla strategii zrównoważonego rozwoju producentów^{75, 76}.

W kontekście przechowywania opakowania ergonomiczne muszą odpowiadać na zmieniające się warunki życia konsumentów. Wzrastająca liczba jedno- i dwuosobowych gospodarstw domowych wpływa na preferencje dotyczące wielkości opakowań, ich kształtu oraz sposobu pakowania. Mniejsze, kompaktowe opakowania umożliwiające elastyczne rozmieszczenie w zamrażalnikach i szafkach stają się standardem oczekiwanym przez współczesnych użytkowników. W przypadku opakowań o większej pojemności, kluczowe staje się umożliwienie ponownego zamknięcia opakowania. Ergonomiczne rozwiązania w zakresie porcjowania produktów również wpływają na postrzeganą wygodę. Wykroje ułatwiające precyzyjne wydzielanie porcji, podział na mniejsze jednostki lub systemy modułarne pozwalają na kontrolowanie zużycia produktu,

⁷³ Noëth, E., Opstal, W., Bois, E. (2024). *Introducing reusable food packaging: customer preferences and design implications for successful market entry*. *Business Strategy and the Environment*, 33(7), s. 6507-6532.

⁷⁴ Fernqvist, F., Olsson, A., Spendrup, S. (2015). *What's in it for me? Food packaging and consumer responses, a focus group study*. *British Food Journal*, 117(3), s. 1122-1135.

⁷⁵ Socaciu, M., Câmpian, V., Dabija, D., Fogarasi, M., Semeniuc, C., Podar, A., Vodnar, D. (2022). *Assessing consumers' preference and loyalty towards biopolymer films for food active packaging*. *Coatings*, 12(11), s. 1770.

⁷⁶ Kaul, S., Kaur, K., Kaur, P., Kaur, J. (2022). *Development and shelf-life assessment of ready-to-bake frozen potato paranthas fortified with iron and zinc*. *International Journal of Food Science & Technology*, 57(11), s. 7214-7221.

co jest wysoko cenione przez konsumentów, szczególnie w kontekście planowania posiłków oraz ograniczania marnotrawstwa żywności⁷⁷.

Dostosowanie opakowań do specyfiki gospodarstw domowych obejmuje również kwestie wizualne i funkcjonalne, które ułatwiają codzienne użytkowanie. Przezroczyste fragmenty opakowania pozwalają na szybkie zidentyfikowanie zawartości bez potrzeby otwierania, co sprzyja oszczędności czasu i redukuje stres związany z poszukiwaniem odpowiedniego produktu w zamrażalniku. Z kolei konstrukcja opakowania powinna uwzględniać ergonomię ręki użytkownika, tak aby chwyt był pewny i wygodny, a otwieranie intuicyjne nawet dla osób starszych lub mających ograniczoną sprawność manualną. Takie podejście sprzyja budowaniu pozytywnej relacji między konsumentem a marką, wzmacniając lojalność oraz chęć ponownego zakupu⁷⁸.

Bezpieczeństwo użytkowania jest innym ważnym elementem funkcji ergonomicznej. Opakowania powinny być projektowane z uwzględnieniem ograniczenia ryzyka odmrożeń, urazów mechanicznych, stosowania materiałów nietoksycznych oraz eliminowania ostrych krawędzi. W przypadku gospodarstw domowych z małymi dziećmi lub osobami starszymi, znaczenie tych rozwiązań staje się jeszcze bardziej istotne, wpływając na decyzje zakupowe oraz postrzeganie jakości produktu⁷⁹. Dodatkowo, przejrzyste informacje o bezpieczeństwie oraz instrukcje użytkowania, umieszczone w formie oznaczeń na opakowaniu, wspierają konsumentów w podejmowaniu świadomych wyborów i minimalizują ryzyko sytuacji niebezpiecznych, co jest spójne z ideą ergonomii w projektowaniu produktów spożywczych.

Funkcja użytkowa opakowań jednostkowych produktów mrożonych obejmuje szeroki zakres aspektów, które łączą wygodę, bezpieczeństwo, dostosowanie do gospodarstw domowych i łatwość interakcji z produktem. Ergonomia opakowań wpływa na satysfakcję konsumenta, jego decyzje zakupowe oraz postrzeganie marki, a jednocześnie wspiera realizację celów związanych z redukcją strat żywności i zwiększaniem efektywności użytkowania produktów. Nacisk na tę funkcję staje się głównym wyznacznikiem nowoczesnego projektowania opakowań jednostkowych, które

⁷⁷ Langellier, B., Brookmeyer, R., Wang, M., Glik, D. (2014). *Language use affects food behaviours and food values among mexican-origin adults in the uUSA*. Public Health Nutrition, 18(2), s. 264-274.

⁷⁸ Noëth, E., Opstal, W., Bois, E. (2024). Introducing reusable food packaging: customer preferences and design implications for successful market entry. *Business Strategy and the Environment*, 33(7), s. 6507-6532.

⁷⁹ Skudra, L., Loba, K., Kunkulberga, D. (2019). *Shelf life assessment of meat pies.*, s. 269-272.

odpowiadają na realne potrzeby konsumentów, integrując kwestie praktyczne z wartościami związanymi z komfortem i bezpieczeństwem użytkownika⁸⁰.

Opakowania jednostkowe produktów mrożonych pełnią w łańcuchu dostaw kilka złożonych funkcji, więc ich projektowanie musi uwzględniać różnorodne potrzeby – od zapewnienia bezpieczeństwa produktów i ułatwienia transportu, po wspieranie decyzji konsumenckich oraz minimalizację wpływu na środowisko. Tabela 3 przedstawia zestawienie najważniejszych funkcji opakowań jednostkowych wraz z opisem ich znaczenia oraz przykładami mechanizmów realizacji.

Tabela 3. Funkcje opakowań jednostkowych produktów mrożonych

Funkcja	Opis i znaczenie	Przykłady / mechanizmy działania
Ochronna	Zapewnia bezpieczeństwo produktów mrożonych, chroni przed uszkodzeniami mechanicznymi, zmianami temperatury i zanieczyszczeniami mikrobiologicznymi.	Opakowania hermetyczne, folie barierowe, systemy zabezpieczające przed uszkodzeniem.
Logistyczna	Ułatwia transport, magazynowanie i dystrybucję poprzez standaryzację kształtu, rozmiaru i oznakowania produktów.	Kody kreskowe, oznaczenia partii, łatwe do układania kształty opakowań.
Informacyjna	Dostarcza konsumentom oraz operatorom łańcucha dostaw niezbędne dane dotyczące składu, dat przydatności, warunków przechowywania i bezpieczeństwa.	Etykiety z alergenami, datami przydatności, instrukcje przechowywania; inteligentne indykatory temperatury i czasu.
Marketingowa i komunikacyjna	Kształtuje wizerunek marki, przyciąga uwagę konsumenta i wspiera decyzje zakupowe poprzez elementy wizualne i interaktywne.	Kolorystyka, grafika, nietypowe kształty,
Ekologiczna i społeczna	Minimalizuje negatywny wpływ na środowisko i wspiera świadomość proekologiczną konsumentów; umożliwia recykling i stosowanie materiałów odnawialnych.	Materiały biodegradowalne, opakowania z recyklingu, oznakowania informujące o wpływie na środowisko.
Użytkowa	Zwiększa wygodę konsumenta w przechowywaniu, porcjowaniu i przygotowywaniu produktów mrożonych.	Opakowania wielodawkowe, zamknięcia strunowe, łatwe do otwierania i zamykania, podział na porcje.

Źródło: opracowanie własne na podstawie literatury przedmiotu (Cholewa-Wójcik, 2016; Kawecka & Cholewa-Wójcik, 2017; Tarapata, 2015; Bombol, 2023; Nikodemska-Wołowik & Smith, 2023; Kucharska, 2016; Verghese et al., 2015).

⁸⁰ Noëth, E., Opstal, W., Bois, E. (2024). *Introducing reusable food packaging: customer preferences and design implications for successful market entry*. *Business Strategy and the Environment*, 33(7), s. 6507-6532.

Analiza funkcji opakowań jednostkowych produktów mrożonych wskazuje, że każdy ich aspekt ma zarówno znaczenie praktyczne, jak i strategiczne. Funkcja ochronna zapewnia integralność i bezpieczeństwo produktu, logistyczna ułatwia magazynowanie i dystrybucję, a informacyjna dostarcza niezbędnych danych dla konsumentów i operatorów łańcucha dostaw. Funkcje marketingowa i komunikacyjna wzmacniają wizerunek marki i wspierają decyzje zakupowe, natomiast funkcje ekologiczna i społeczna odpowiadają na rosnącą świadomość proekologiczną oraz wymogi zrównoważonego rozwoju. Wreszcie funkcja użytkowa zwiększa wygodę konsumenta, wpływając na łatwość przechowywania, porcjowania i przygotowania produktów.

Współistnienie tych wszystkich funkcji sprawia, że projektowanie opakowań jednostkowych wymaga podejścia holistycznego, w którym decyzje dotyczące materiałów, formy czy komunikacji są podejmowane w sposób integralny, a nie fragmentaryczny. W takim ujęciu opakowanie nie jest jedynie fizycznym obiektem chroniącym produkt, lecz dynamicznym elementem strategii marketingowej i wizerunkowej, który kształtuje doświadczenie konsumenta, wspiera politykę zrównoważonego rozwoju oraz buduje przewagę konkurencyjną przedsiębiorstwa.

2.3. Opakowania a czynniki obniżające jakość towarów mrożonych w procesach handlu i dystrybucji

W procesach handlu i dystrybucji jakość produktów mrożonych może być obniżana przez różnorodne czynniki, w tym termiczne i atmosferyczne, technologiczne, biotyczne i te wynikające z działania człowieka.

Procesy dystrybucji towarów, niezależnie od ich charakteru i przeznaczenia, pozostają w ścisłym związku z oddziaływaniem środowiska zewnętrznego, którego nieodłącznym komponentem są czynniki termiczne oraz atmosferyczne. To właśnie one należą do najbardziej wrażliwych i jednocześnie najtrudniejszych do pełnej kontroli elementów determinujących jakość dóbr przemieszczanych w łańcuchu dostaw⁸¹. Utrzymanie stabilnych parametrów termicznych i atmosferycznych jest nie tylko kwestią technologiczną, ale stanowi fundament bezpieczeństwa żywnościowego, farmaceutycznego i przemysłowego. Nawet niewielkie odchylenia od warunków

⁸¹ Ajlouni, S., Balasooriya, H., Dassanayake, K. (2019). *The impact of elevated CO2 and high temperature on the nutritional quality of fruits – a short review*. American Journal of Agricultural Research, 4-26, s. 2-9.

uznawanych za optymalne mogą wywoływać konsekwencje przekładające się na straty jakościowe, ekonomiczne i społeczne⁸².

Temperatura jest najczęściej wskazywana jako czynnik krytyczny, decydujący o trwałości i funkcjonalności produktów wrażliwych. Procesy biologiczne, chemiczne i fizyczne zachodzące w produktach spożywczych przebiegają w sposób szczególnie intensywny w sytuacji, gdy dochodzi do przekroczenia granic wartości uznawanych za bezpieczne⁸³. Nadmierne podwyższenie temperatury prowadzi do przyspieszonej degradacji składników odżywczych, intensyfikacji procesów enzymatycznych oraz zainicjowania rozwoju mikroflory, która obniża wartość użytkową i bezpieczeństwo żywności. Z kolei spadek temperatury poniżej rekomendowanych wartości sprzyja uszkodzeniom strukturalnym, zwłaszcza w przypadku świeżych owoców i warzyw, ulegających niekorzystnym zmianom tekstury oraz utracie jędrności.

Naukowcy podkreślają, że wrażliwość na wahania temperatury nie jest cechą jednolitą dla całej żywności. Niemniej jednak ogólny wniosek, jaki pojawia się w licznych opracowaniach, sprowadza się do konieczności utrzymania stabilnego reżimu temperaturowego, którego przekroczenie nieuchronnie prowadzi do degradacji jakości. W przypadku żywności minimalnie przetworzonej, okres przydatności do spożycia skraca się radykalnie w warunkach podwyższonej temperatury, nawet jeśli zmiana ta ma charakter krótkotrwały⁸⁴. Krótkotrwałe przerwy w chłodzeniu, nawet jeśli nie prowadzą do zauważalnych zmian sensorycznych, mogą skutkować nieodwracalnym pogorszeniem właściwości produktów⁸⁵.

Czynniki termiczne oddziałują nie tylko w sposób bezpośredni na sam towar, lecz również na materiały opakowaniowe. Zbyt wysoka temperatura może prowadzić do deformacji opakowań plastikowych, zmniejszenia ich barierowości czy migracji substancji chemicznych do produktu. Z kolei niskie wartości temperatury mogą wpływać na kruchość i łamliwość materiałów, co obniża poziom ochrony fizycznej towarów. W

⁸² Radziejewska-Kubzdela, E., Czapski, J., Czaczyk, K., Biegańska-Marecik, R. (2013). *The effect of pre-treatment and modified atmosphere packaging on contents of phenolic compounds and sensory and microbiological quality of shredded celeriac*. Journal of the Science of Food and Agriculture, 94(6), s. 1140-1148.

⁸³ Ajlouni, S., Balasooriya, H., & Dassanayake, K. (2019). *The impact of elevated CO₂ and high temperature on the nutritional quality of fruits – a short review*. American Journal of Agricultural Research, 4-26, s. 2-9.

⁸⁴ Ibidem.

⁸⁵ Radziejewska-Kubzdela, E., Czapski, J., Czaczyk, K., Biegańska-Marecik, R. (2013). *The effect of pre-treatment and modified atmosphere packaging on contents of phenolic compounds and sensory and microbiological quality of shredded celeriac*. Journal of the Science of Food and Agriculture, 94(6), s. 1140-1148.

efekcie oddziaływanie czynników termicznych ujawnia się jako złożony problem, obejmujący zarówno sam produkt, jak i jego otoczenie technologiczne. Nie bez znaczenia pozostaje fakt, że zmienność termiczna w procesach dystrybucji jest powiązana z charakterem środowiska geograficznego i klimatycznego. Dystrybucja globalna, obejmująca różne strefy klimatyczne, naraża towary na sekwencyjne i gwałtowne zmiany temperatury, które mogą znacząco skrócić ich trwałość⁸⁶. W praktyce oznacza to, że te same produkty, przemieszczane na trasach krajowych, zachowują swoją jakość znacznie dłużej niż w sytuacji, gdy muszą przebyć długą drogę w zmiennych warunkach klimatycznych.

Temperatura pełni funkcję swoistego regulatora procesów dystrybucyjnych, determinując rytm dostaw, strukturę kosztów oraz wymagania wobec infrastruktury logistycznej. Zmienne i nieprzewidywalne warunki termiczne wymuszają stosowanie złożonych rozwiązań adaptacyjnych, które przekładają się na wzrost kosztów operacyjnych. Tym samym, problematyka czynników termicznych jest analizowana w ujęciu interdyscyplinarnym, łączącym nauki o jakości, logistykę, a także badania nad zrównoważonym rozwojem i ekonomią. Mówiąc o czynnikach atmosferycznych należy stwierdzić, że wrażliwość produktów na czynniki atmosferyczne nie jest jednorodna – inne mechanizmy dotyczą surowców roślinnych, inne natomiast artykułów przetworzonych. Jednak we wszystkich przypadkach zachodzi potrzeba stabilizacji otoczenia atmosferycznego, gdyż jego wahania mogą inicjować procesy degradacyjne, których skutki ujawniają się dopiero w końcowych etapach łańcucha dostaw.

Jednym z podstawowych aspektów jest obecność gazów takich jak tlen, dwutlenek węgla i ozon w atmosferze. Tlen, będąc czynnikiem niezbędnym do procesów oddychania komórkowego, w warunkach przechowywania żywności przyspiesza procesy oksydacyjne, prowadzące do degradacji tłuszczów i utraty właściwości sensorycznych. Dwutlenek węgla, w odpowiednich stężeniach stosowany jako środek konserwujący w opakowaniach w atmosferze modyfikowanej, w nadmiarze może prowadzić do zmian organoleptycznych, zwłaszcza w produktach roślinnych⁸⁷. Z kolei ozon, obecny w atmosferze w niewielkich ilościach, jest silnym utleniaczem i może przyspieszać procesy degradacyjne białek czy barwników. Właściwe proporcje gazów w otoczeniu

⁸⁶ Ibidem.

⁸⁷ Karaca, H. and KURŞUN, E. (2019). *Effect of frozen storage and modified atmosphere packaging followed by cold storage on some quality characteristics of semi-dried persimmons*. *Akademik Gıda*, 17(3), s. 317-328.

przechowalniczym mają istotne znaczenie dla zachowania jakości produktów wrażliwych, a ich zaburzenie prowadzi do skrócenia okresu przydatności do spożycia⁸⁸.

W kontekście atmosfery istotne znaczenie przypisuje się również zmianom ciśnienia. Choć zjawisko to nie jest tak często podnoszone w literaturze jak problem temperatury, jego konsekwencje w procesach pakowania i dystrybucji okazują się znaczące. W systemach pakowania próżniowego oraz w atmosferze modyfikowanej nawet niewielkie odchylenia wartości ciśnienia mogą wpływać na integralność opakowań, prowadząc do ich nieszczelności i utraty funkcji ochronnej. Zmienne ciśnienie atmosferyczne, związane z transportem w różnych strefach wysokościowych, może dodatkowo oddziaływać na produkty wrażliwe, powodując zmiany w strukturze fizycznej towarów. W przypadku przewozów lotniczych problem ten nabiera szczególnego znaczenia, gdyż zmiana ciśnienia w kabinie transportowej nie zawsze odpowiada wartościom optymalnym dla przechowywania produktów wrażliwych.

Wilgotność jest następnym czynnikiem wpływającym na jakość produktów mrożonych, a jej oddziaływanie pozostaje ściśle powiązane z właściwościami ochronnymi opakowań jednostkowych. Higroskopijność żywności, rozumiana jako zdolność do pochłaniania pary wodnej z otoczenia, może prowadzić do zmian strukturalnych, pogorszenia tekstury oraz obniżenia stabilności mikrobiologicznej. Przykładem są produkty liofilizowane, które są szczególnie higroskopijne i po zamrożeniu wykazują tendencję do niestabilności, jeśli nie są hermetycznie zamknięte. Zachowanie niskiej aktywności wody warunkuje trwałość produktów mrożonych, dlatego istotne znaczenie ma ograniczenie wymiany wilgoci pomiędzy produktem a środowiskiem zewnętrznym. Naukowcy wskazują, że ograniczona zdolność kontroli wilgotności przez materiały polimerowe prowadzi do wzrostu podatności produktów na psucie oraz rozwój mikroorganizmów⁸⁹. Jednocześnie wahania temperatury, w połączeniu z niedostateczną izolacyjnością, powodują utratę wody z produktu i pogorszenie jego cech teksturalnych, w tym zwiększenie twardości oraz zmianę pierwotnej struktury⁹⁰. Oznacza to, że właściwości barierowe wilgotnościowe materiałów stanowią istotny element ochrony jakości w warunkach dystrybucji i magazynowania.

⁸⁸ Ibidem.

⁸⁹ Boonsiriwit, A., Xiao, Y., Kathuria, A., Lee, Y. S. (2021). *Effect of moisture-controlled packaging treatment with acid-modified expanded vermiculite-calcium chloride on the quality of fresh mushrooms (Agaricus bisporus) during low-temperature storage*. Journal of the Science of Food and Agriculture, 102(7), s. 3029-3037.

⁹⁰ Lee, H., Yoo, S. (2020). *Changes in the physical properties of frozen cooked rice depending on thermal insulation levels of packaging during freeze-thaw*. Journal of Food Science, 85(12), s. 4342-4350.

Oddziaływanie czynników atmosferycznych nie ogranicza się jedynie do mikroklimatu magazynów i pojazdów. Szeroko rozumiane uwarunkowania klimatyczne wywierają coraz większy wpływ na stabilność procesów dystrybucyjnych. Zmienność sezonowa, skrajne zjawiska pogodowe, a także konsekwencje globalnych zmian klimatu prowadzą do coraz częstszych zakłóceń w funkcjonowaniu łańcuchów dostaw⁹¹. Szczególne znaczenie mają tutaj okresy intensywnych upałów, gwałtownych opadów deszczu czy burz, które wpływają nie tylko na sam produkt, ale również na infrastrukturę transportową i magazynową. Sezonowość dostaw uzależniona od warunków atmosferycznych powoduje konieczność wdrażania elastycznych praktyk zarządzania logistyką, które pozwalają minimalizować straty jakości i zapewniać ciągłość dostaw⁹².

Uwagę zwraca również fakt, że czynniki atmosferyczne często działają synergicznie z termicznymi, co oznacza, że ich wpływ na jakość towarów nie jest prostą sumą oddziaływań, lecz procesem złożonym. Podwyższona temperatura w połączeniu z wysoką wilgotnością tworzy warunki sprzyjające dynamicznemu rozwojowi mikroorganizmów, a także intensyfikacji reakcji chemicznych odpowiedzialnych za degradację żywności⁹³. Z kolei niskie temperatury przy nadmiernej wilgotności prowadzą do kondensacji pary wodnej, a następnie do zjawiska oparzelizny mrożnej, które obniża walory sensoryczne produktów. Takie interakcje wymagają całościowego podejścia badawczego, które pozwala na zrozumienie mechanizmów i projektowanie odpowiednich rozwiązań w zakresie logistyki jakościowej.

Kontrola czynników atmosferycznych powinna być traktowana nie tylko jako wymóg techniczny, ale jako element całościowej metodyki zapewniania jakości w dystrybucji. Stałe monitorowanie składu powietrza, wilgotności i ciśnienia pozwala minimalizować ryzyko nieodwracalnych strat jakościowych, a jednocześnie staje się fundamentem zrównoważonego i bezpiecznego zarządzania łańcuchem dostaw. W tym ujęciu czynniki atmosferyczne należy analizować nie jako tło procesów logistycznych, lecz jako integralny komponent determinujący ich przebieg.

Wrażliwość opakowań, w tym odporność na czynniki zewnętrzne i wytrzymałość mechaniczna decyduje o utrzymaniu jakości produktów mrożonych. Dobór materiałów i konstrukcja opakowania mają bezpośredni wpływ na jego wrażliwość – niewłaściwe

⁹¹ Belguidoum, A., Haichour, R., Lograda, T., Ramdani, M. (2022). *Biomonitoring of air pollution by lichen diversity in the urban area of setif, algeria*. Biodiversitas Journal of Biological Diversity, 23(2).s. 3-15.

⁹² Ibidem.

⁹³ Ibidem.

rozwiązania mogą prowadzić do szybkiej utraty jakości, szczególnie w przypadku produktów mrożonych i łatwo psujących się⁹⁴. Materiały o wysokich właściwościach barierowych, takie jak folie tworzywowe o niskiej przepuszczalności dla tlenu i wilgoci, zmniejszają ryzyko degradacji sensorycznej i utraty wartości odżywczych, a jednocześnie ograniczają negatywny wpływ zmiennych warunków atmosferycznych⁹⁵.

Wrażliwość opakowań ujawnia się także w kontekście ochrony fizycznej produktów. Konstrukcja i forma opakowania decydują o jego zdolności do amortyzowania wstrząsów i nacisków podczas transportu i magazynowania. Zbyt ciasne lub zbyt luźne opakowania zwiększają podatność produktów na negatywne oddziaływania – nadmierne ściskanie powoduje deformacje i utratę jakości, natomiast niedopasowanie sprzyja wymianie powietrza i rozwojowi mikroorganizmów, co może znacząco skrócić trwałość produktów.

Czynniki logistyczne i transportowe stanowią istotny obszar determinujący jakość towarów mrożonych w procesach dystrybucji, gdyż wpływają zarówno na ich trwałość, jak i walory organoleptyczne. Długotrwałe transporty wymagają szczególnej kontroli temperatury, gdyż jej wahania powodują degradację mikrostruktury, zwiększoną utratę wilgotności oraz obniżenie wartości odżywczej produktów⁹⁶.

Równocześnie istotną rolę odgrywa czas transportu, który w przedłużonych przewozach zwiększa ryzyko oddziaływania czynników niekorzystnych dla produktów. Wydłużony czas dystrybucji w połączeniu z niewystarczającym monitoringiem warunków chłodniczych może prowadzić do uszkodzeń mechanicznych, obniżenia parametrów sensorycznych oraz zmniejszenia odporności produktów na rozwój mikroorganizmów, co bezpośrednio wpływa na ich smak i aromat^{97, 98}. W takim kontekście optymalizacja warunków transportowych staje się jednym z głównych wyzwań logistyki mrożonek, a jej realizacja wymaga zarówno precyzyjnego planowania,

⁹⁴ Radziejewska-Kubzdela, E., Czapski, J., Czaczyk, K., Biegańska-Marecik, R. (2013). *The effect of pre-treatment and modified atmosphere packaging on contents of phenolic compounds and sensory and microbiological quality of shredded celeriac*. Journal of the Science of Food and Agriculture, 94(6), s.1140-1148.

⁹⁵ Ajlouni, S., Balasooriya, H., Dassanayake, K. (2019). *The impact of elevated CO₂ and high temperature on the nutritional quality of fruits – a short review*. American Journal of Agricultural Research, 4-26, s. 2-9.

⁹⁶ Wu, J., Zhang, M., Bhandari, B., Yang, C. (2021). *Drip loss control technology of frozen fruits and vegetables during thawing: a review*. International Agrophysics, 35(3), s. 235-250.

⁹⁷ Bao, Y., Ertbjerg, P., Estévez, M., Li, Y., Gao, R. (2021). *Freezing of meat and aquatic food: underlying mechanisms and implications on protein oxidation*. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, 20(6), s. 5548-5569.

⁹⁸ Syanya, F., Mathia, W., Harikrishnan, M. (2023). *Quality and safety concerns of farmed tilapia fish during freezing and frozen storage: review*. Asian Food Science Journal, 22(6), s. 40-58.

jak i zastosowania technologii umożliwiających ciągłą kontrolę środowiska przewozowego.

W ramach logistyki chłodniczej istotne znaczenie przypisuje się technologii transportowej, która pozwala na utrzymanie stałej temperatury i wilgotności w przestrzeni przewozowej. Nowoczesne systemy monitorowania oraz inteligentne urządzenia regulujące warunki chłodnicze wpływają na ograniczenie degradacji jakościowej produktów i pozwalają na bieżąco reagować na wszelkie odchylenia od normy⁹⁹. W tym kontekście odpowiednie opakowania odgrywają rolę nie tylko ochronną, lecz także stabilizującą warunki transportu, poprzez ograniczenie wymiany ciepła i zapewnienie izolacji termicznej, co znacząco przyczynia się do zachowania właściwości mrozonek w drodze do odbiorcy¹⁰⁰. Znaczenie warunków transportowych jest szczególnie widoczne w przypadku produktów wysokowartościowych, np. ryb, owoców morza czy delikatesów, dla których utrzymanie jakości jest niezbędne dla spełnienia wymogów rynkowych i oficjalnych norm jakościowych¹⁰¹. Wykorzystanie nowoczesnych materiałów izolacyjnych, takich jak mikroenkapsulowane materiały zmienno fazowe, pozwala istotnie poprawić parametry chłodni, minimalizując wpływ wahań temperatury i chroniąc wrażliwe produkty¹⁰².

Organizacja łańcucha dostaw w ujęciu logistycznym powinna uwzględniać synchronizację działań transportowych i magazynowych, co pozwala na redukcję ryzyka degradacji jakościowej, ograniczenie niekontrolowanych zmian temperatury oraz minimalizację przestojów w dystrybucji. Tylko holistyczne podejście, obejmujące zarówno odpowiednie planowanie tras, jak i wdrożenie innowacyjnych rozwiązań technologicznych w systemach chłodniczych, umożliwia zapewnienie produktów mrożonych o wysokiej jakości, zachowujących swoje walory sensoryczne i odżywcze do momentu dotarcia do konsumenta. W efekcie, integracja czynników logistycznych i

⁹⁹ Ramanathan, U., Ramanathan, R., Adefisan, A., Costa, T., Cama-Moncunill, X., Samriya, G. (2022). *Adapting digital technologies to reduce food waste and improve operational efficiency of a frozen food company—the case of yumchop foods in the UK*. Sustainability, 14(24), s. 16614-16627.

¹⁰⁰ Cho, C., Lee, H., Jeong, S., & Yoo, S. (2019). *Influence of packaging oxygen transmission rate on physical characteristics of frozen cooked rice under various freezing conditions*. Journal of Food Science, 84(12), s. 3483-3493.

¹⁰¹ Walayat, N., Tang, W., Wang, X., Yi, M., Guo, L., Ding, Y., Ranjha, M. (2023). *Quality evaluation of frozen and chilled fish: a review*. Efood, 4(1), s. 7-15.

¹⁰² Zdun, K., Robakowski, P., Uhl, T. (2024). *Usage of microencapsulated phase-change materials to improve the insulating parameters of the walls of refrigerated trailers*. Energies, 17(6), s. 1439-1451.

transportowych w spójnym systemie dystrybucji stanowi fundament utrzymania konkurencyjności przedsiębiorstw na rynku¹⁰³.

Procesy rekrytalizacji lodu, będące efektem wielokrotnych cykli zamrażania i rozmrażania, stanowią dodatkowe wyzwanie technologiczne. Rekrytalizacja prowadzi do powiększania się kryształów, co skutkuje uszkodzeniami struktury komórkowej i pogorszeniem właściwości organoleptycznych produktów. Zjawisko to jest szczególnie zauważalne w mięsie, rybach oraz owocach i warzywach o dużej zawartości wody. Kontrola rekrytalizacji wymaga nie tylko precyzyjnej regulacji temperatury, ale również zastosowania odpowiednich technologii zamrażania oraz materiałów opakowaniowych, które mogą ograniczyć migrację wilgoci i stabilizować warunki przechowywania¹⁰⁴. Rekrytalizacja może również pośrednio wpływać na rozwój mikroorganizmów poprzez tworzenie stref o podwyższonej wilgotności po rozmrożeniu, które sprzyjają namnażaniu patogenów. Z tego względu kontrola temperatury i minimalizacja cykli zamrażania oraz rozmrażania stanowią fundament systemów zapewniania jakości w łańcuchach dystrybucji mrożonek.

Współczesne materiały opakowaniowe, w tym biopolimery, folie kompozytowe czy powłoki funkcjonalne, umożliwiają ograniczenie wymiany ciepła i wilgoci, co minimalizuje wpływ fluktuacji temperatury na jakość produktów^{105, 106}. Dodatkowo, technologie takie jak mikroperforacja, kontrolowane atmosfery w opakowaniach oraz powłoki antybakteryjne, pozwalają na zachowanie świeżości owoców, warzyw oraz produktów delikatnych, ograniczając degradację organoleptyczną i przedłużając okres przydatności do spożycia^{107, 108}.

Na poziomie przetwórstwa, innowacje technologiczne obejmują również zastosowanie czynników krioprotekcyjnych, które stabilizują strukturę produktów,

¹⁰³ Góral, M., Góral, D., Nakonieczny, P. (2023). *Analysis of transport conditions for frozen food on the way from the shop to home*. *Transport and Telecommunication Journal*, 24(2), s. 97-109.

¹⁰⁴ Yang, Z. (2025). *Magnetic field (mf) assisted freezing in food preservation: principles, applications, and technological progress: an overview*. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 24(4), s.15-27.

¹⁰⁵ Roos, Y. (2021). *Glass transition and re-crystallization phenomena of frozen materials and their effect on frozen food quality*. *Foods*, 10(2), s. 447-461.

¹⁰⁶ Pelletier, N. and Tyedmers, P. (2010). *Life cycle assessment of frozen tilapia fillets from indonesian lake-based and pond-based intensive aquaculture systems*. *Journal of Industrial Ecology*, 14(3), 467-481.

¹⁰⁷ Yang, Z. (2025). *Magnetic field (mf) assisted freezing in food preservation: principles, applications, and technological progress: an overview*. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 24(4), s. 15-27.

¹⁰⁸ Hanafiah, H., Caesar, K., B.D, I., Rahadi, D. (2024). *A comprehensive analysis of logistics strategy and cold chain technology innovation –literature review (case study: paxel indonesia)*. *Journal of Economics Finance and Management Studies*, 07(05), s. 31-49.

zmniejszając straty wody oraz utrzymują walory sensoryczne i odżywcze. Przykłady takich substancji obejmują nanocelulozę, maltodekstrynę oraz różnego rodzaju kompozycje biopolimerowe, które chronią produkty przed uszkodzeniami mechanicznymi i enzymatycznymi wywołanymi przez proces mrożenia¹⁰⁹.

W połączeniu z nowoczesnymi metodami zamrażania, takimi jak kriogeniczne czy nadpróżniowe systemy chłodzenia, możliwe jest zachowanie integralności tkanek wrażliwych produktów, w tym ryb, owoców morza oraz delikatnych owoców, a także ograniczenie powstawania off-flavor i utraty składników odżywczych^{110, 111}. Równolegle, technologie mają również znaczenie dla bezpieczeństwa mikrobiologicznego produktów mrożonych. Metody dezynfekcji, takie jak mgła dezynfekcyjna, promieniowanie UV, a także nowoczesne systemy oczyszczania powietrza w chłodniach, umożliwiają redukcję patogenów i ograniczają ryzyko skażenia mikrobiologicznego w całym łańcuchu dystrybucji^{112, 113}. Inwestycje w systemy monitorowania warunków transportu oraz kontrolę temperatury w czasie rzeczywistym pozwalają na wczesne wykrycie odchyleń od norm i podjęcie działań korygujących, co minimalizuje straty jakościowe i zapewnia bezpieczeństwo konsumentów.

Holistyczne podejście technologiczne obejmuje integrację innowacyjnych metod zamrażania, zaawansowanych systemów pakowania oraz inteligentnego monitorowania warunków przechowywania i transportu. Skuteczna kombinacja tych rozwiązań pozwala przedsiębiorstwom utrzymać wysoką jakość produktów mrożonych, ogranicza straty ekonomiczne, zwiększa trwałość towarów oraz wzmacnia konkurencyjność na rynku. Wdrożenie technologii w sposób kompleksowy, obejmujący zarówno przetwórstwo, magazynowanie, jak i dystrybucję, staje się podstawą efektywnego zarządzania łańcuchem dostaw, przyczyniając się do optymalizacji procesów oraz satysfakcji konsumentów, którzy oczekują produktów świeżych, bezpiecznych i o wysokich walorach organoleptycznych.

¹⁰⁹ Gençdağ, E., Görgüç, A., Yılmaz, F. (2024). *Nanocellulose as a novel cryoprotectant to improve the quality of frozen sour cherries*. Food and Bioprocess Technology, 17(12), s. 4724-4738.

¹¹⁰ Bao, Y., Ertbjerg, P., Estévez, M., Li, Y., Gao, R. (2021). *Freezing of meat and aquatic food: underlying mechanisms and implications on protein oxidation*. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, 20(6), s. 5548-5569.

¹¹¹ Jia, H., Roy, K., Pan, J., Mráz, J. (2022). *Icy affairs: understanding recent advancements in the freezing and frozen storage of fish*. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, 21(2), s. 1383-1408.

¹¹² Hu, C. and Xie, J. (2021). *The effect of multiple freeze-thaw cycles on the microstructure and quality of trachurus murphyi*. Foods, 10(6), s. 1351-1362.

¹¹³ Hu, Q., Ma, P., Wang, Y., Huang, D., Hong, J., Tan, Y., Yu, Z. (2022). *Thermal fogging with disinfectants and antifreezes enables effective industrial disinfection in subzero cold-chain environment*. Journal of Applied Microbiology, 132(4), s. 2673-2682.

Czynniki biotyczne odgrywają fundamentalną rolę w zachowaniu jakości towarów mrożonych w procesach dystrybucji, ponieważ oddziałują bezpośrednio na strukturę, wartość odżywczą oraz właściwości organoleptyczne i bezpieczeństwo produktów. W aspekcie praktycznym obejmują one przede wszystkim aktywność mikroorganizmów, w tym bakterii, grzybów i wirusów, a także funkcjonowanie naturalnych enzymów obecnych w surowcach. Każda z tych grup ma swoje specyficzne mechanizmy działania, które mogą prowadzić do degradacji mrożonych produktów, a zrozumienie tych mechanizmów jest niezbędne do opracowania strategii zapewniających bezpieczeństwo żywności oraz minimalizujących straty jakościowe.

Mikroorganizmy patogenne w produktach mrożonych wykazują złożoną dynamikę, wynikającą z ich zdolności przetrwania w środowisku o niskiej temperaturze. Bakterie takie jak *Listeria monocytogenes*, *Salmonella spp.* oraz *Escherichia coli* mogą przetrwać w zamrożonych produktach i w określonych warunkach, zwłaszcza w czasie okresowych zmian temperatury, stwarzać zagrożenie dla zdrowia konsumentów¹¹⁴. *Listeria monocytogenes* wykazuje zdolność do wzrostu nawet w temperaturze około 4°C, co w praktyce oznacza, że wszelkie wahania w łańcuchu chłodniczym, prowadzące do częściowego rozmrożenia produktów, mogą sprzyjać namnażaniu patogenów i stanowić realne ryzyko epidemiologiczne¹¹⁵. Analiza mechanizmów adaptacyjnych mikroorganizmów wskazuje, że wiele gatunków posiada mechanizmy obronne umożliwiające przetrwanie w warunkach stresu zimna, co obejmuje zmiany metabolizmu, spowolnienie procesów życiowych oraz wytwarzanie biofilmów, które chronią je przed negatywnymi skutkami środowiskowymi. W kontekście dystrybucji mrożonek, zrozumienie tych mechanizmów pozwala na opracowanie skuteczniejszych rozwiązań z zakresu kontroli mikrobiologicznej.

Grzyby, w tym szerokie spektrum pleśni, mogą znacząco wpływać na trwałość i walory sensoryczne mrożonych produktów. Ich rozwój, nawet w środowiskach o ograniczonej dostępności wody, może prowadzić do powstawania mykotoksyn, takich jak aflatoksyny, ochratoksyny i patulina, które mają poważne konsekwencje zdrowotne. Obecność grzybów wpływa przede wszystkim na pogorszenie smaku, zapachu i konsystencji produktów, co w praktyce przekłada się na spadek wartości rynkowej oraz

¹¹⁴ Stevanović, S., Petrović, T., Marković, D., Milovančević, U., Stevanović, S., Urošević, T., Kozarski, M. (2021). *Changes of quality and free radical scavenging activity of strawberry and raspberry frozen under different conditions*. Journal of Food Processing and Preservation, 46(10), s. 51-64.

¹¹⁵ Ibidem.

atrakcyjności dla konsumentów¹¹⁶. Badania mikrobiologiczne wykazały, że grzyby mogą rozwijać się nie tylko na powierzchni, lecz także w strukturze komórkowej produktów, wnikać w tkanki owoców, warzyw czy mięsa, co utrudnia kontrolę jakości w tradycyjnych systemach monitorowania¹¹⁷.

Enzymy naturalnie występujące w surowcach również mają znaczenie w procesach degradacyjnych. Enzymy lipolityczne, proteolityczne i oksydazy mogą prowadzić do rozkładu lipidów, białek oraz innych składników odżywczych, co objawia się powstawaniem niepożądanych smaków, aromatów oraz utratą wartości odżywczej. Produkty bogate w nienasycone kwasy tłuszczowe, takie jak ryby i owoce morza, są szczególnie podatne na oksydację lipidów, co w konsekwencji prowadzi do pojawiania się tzw. *off-flavor*, pogorszenia koloru oraz destabilizacji struktury tkankowej^{118, 119}. Tempo reakcji enzymatycznych zależy od wielu czynników, w tym od wcześniejszego przygotowania produktu, obecności inhibitorów enzymatycznych oraz warunków przechowywania, co w praktyce pozwala na częściową kontrolę procesów degradacyjnych poprzez zastosowanie odpowiednich procedur technologicznych.

Współwystępowanie mikroorganizmów, enzymów i procesów rekrytalizacji może prowadzić do efektu kumulatywnego, w którym negatywne skutki są bardziej dotkliwe niż działanie pojedynczych czynników¹²⁰. Oznacza to, że nawet niewielkie odchylenia od optymalnych warunków przechowywania mogą skutkować znaczną utratą jakości, a zarządzanie tymi procesami wymaga złożonego podejścia naukowego, obejmującego zarówno aspekty mikrobiologiczne, jak i fizykochemiczne produktów mrożonych. Coraz większego znaczenia nabiera więc podejście interdyscyplinarne, w którym wiedza z zakresu mikrobiologii, biochemii, technologii żywności oraz

¹¹⁶ Matabura, V. (2021). *Impact of temperature fluctuations on quality changes of frozen green beans and carrots during storage*. Food Science and Technology International, 29(1), s. 62-74.

¹¹⁷ Neri, L., Faieta, M., Mattia, C., Sacchetti, G., Mastrocola, D., Pittia, P. (2020). *Antioxidant activity in frozen plant foods: effect of cryoprotectants, freezing process and frozen storage*. Foods, 9(12), s. 1886-1899.

¹¹⁸ Ibidem.

¹¹⁹ Bao, Y., Ertbjerg, P., Estévez, M., Li, Y., Gao, R. (2021). *Freezing of meat and aquatic food: underlying mechanisms and implications on protein oxidation*. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, 20(6), s. 5548-5569.

¹²⁰ Jiang, Q., Yin, T., Yang, F., Yu, D., Xu, Y., Tie, H., Xia, W. (2020). *Effect of freezing methods on quality changes of grass carp during frozen storage*. Journal of Food Process Engineering, 43(11), s. 91-100.

inżynierii chłodnictwa jest integrowana w celu opracowania skutecznych metod kontroli czynników biotycznych¹²¹.

Czynniki biotyczne tworzą złożoną sieć interakcji, która obejmuje mikroorganizmy, enzymy oraz procesy fizykochemiczne w produktach mrożonych. Ich właściwe zrozumienie oraz zastosowanie nowoczesnych technologii biotechnologicznych, krioprotekcyjnych i monitorujących pozwala nie tylko na zachowanie jakości i trwałości towarów, lecz także na zapewnienie bezpieczeństwa zdrowotnego konsumentów. W kontekście konkurencyjności rynkowej, produkty, które zachowują wysoką jakość dzięki kontroli czynników biotycznych, zyskują przewagę, a przedsiębiorstwa osiągają lepszą efektywność operacyjną w procesach dystrybucji mrożonek. Holistyczne podejście do zarządzania tymi czynnikami staje się zatem fundamentem skutecznych systemów jakościowych w sektorze żywności mrożonej, integrując wiedzę naukową z praktycznymi metodami zarządzania i monitorowania.

Procesy związane z dystrybucją mrożonych produktów nie mogą być w pełni zrozumiane bez uwzględnienia roli pracowników, których decyzje i działania mają bezpośredni wpływ na jakość dostarczanych towarów. Każdy etap łańcucha dostaw, od przyjęcia produktów w magazynie, poprzez ich składowanie, kompletację zamówień, transport, aż po dostarczenie do punktów sprzedaży, wymaga od pracowników precyzji, konsekwencji i świadomości znaczenia przestrzegania określonych procedur. Niedostateczne zrozumienie procesów logistycznych lub brak kompetencji operacyjnych może prowadzić do degradacji jakości produktów, szczególnie wrażliwych, jak mrożone artykuły spożywcze^{122, 123}. W tym kontekście rola edukacji pracowników i jej związek z wynikami jakościowymi staje się niezwykle istotna, gdyż nawet drobne zaniedbania mogą prowadzić do istotnych strat jakościowych.

Edukacja i odpowiednie szkolenie pracowników obejmują zarówno aspekty techniczne, jak i proceduralne, w tym wiedzę na temat optymalnych temperatur przechowywania, właściwego obchodzenia się z produktami wrażliwymi na wahania warunków chłodniczych, jak również znajomość zagrożeń wynikających z nieprawidłowego transportu. Brak spójnej i rzetelnej edukacji prowadzi nie tylko do

¹²¹ Neri, L., Faieta, M., Mattia, C., Sacchetti, G., Mastrocola, D., Pittia, P. (2020). *Antioxidant activity in frozen plant foods: effect of cryoprotectants, freezing process and frozen storage*. *Foods*, 9(12), s. 1886-1899.

¹²² Tsironi, T., Stoforos, N. G., Taoukis, P. (2020). *Quality and shelf-life modeling of frozen fish at constant and variable temperature conditions*. *Foods*, 9(12), s.24-25.

¹²³ Wang, S., Liu, X., Yang, M., Zhang, Y., Xiang, K., Tang, R. (2015). *Review of time temperature indicators as quality monitors in food packaging*. *Packaging Technology and Science*, 28(10), s. 839-867.

częstszych incydentów związanych z naruszeniem standardów temperaturowych, ale również do powstawania zjawisk takich jak częściowe rozmrożenie i ponowne zamrażanie produktów, które w sposób istotny wpływają na ich teksturę i właściwości organoleptyczne¹²⁴. Wiedza teoretyczna sama w sobie nie wystarcza, dlatego ważne jest wdrażanie systemów szkoleń praktycznych, które pozwalają pracownikom rozumieć skutki ich działań w realnych warunkach operacyjnych.

2.4. Identyfikacja kluczowych cech jakościowych opakowań jednostkowych produktów mrożonych

Do najważniejszych cech jakościowych opakowań jednostkowych produktów mrożonych można zaliczyć efektywność barierową, wytrzymałość mechaniczną, transparentność danych oraz aspekty ekologiczne.

Efektywność barierowa opakowań jednostkowych produktów mrożonych stanowi jeden z najważniejszych determinantów jakości i trwałości żywności w całym cyklu jej przechowywania, transportu oraz dystrybucji. Produkty mrożone charakteryzują się wysoką wrażliwością na zmiany środowiskowe, dlatego właściwości barierowe opakowań muszą być precyzyjnie dostosowane do specyfiki przechowywanych artykułów, ich zawartości wody, składu chemicznego oraz podatności na utlenianie i degradację enzymatyczną¹²⁵.

Efektywność barierowa jest wynikiem synergii materiałowej, konstrukcyjnej oraz technologicznej. Odpowiedni dobór surowców, zastosowanie folii wielowarstwowych, laminatów oraz powłok ochronnych pozwala znacząco zwiększyć odporność opakowań na czynniki zewnętrzne. Wprowadzenie cienkich warstw metali lub polimerów o wysokiej gęstości do struktur opakowań może ograniczyć przenikanie gazów nawet o kilkadziesiąt procent w porównaniu z tradycyjnymi folią jednowarstwową¹²⁶. W praktyce oznacza to wydłużenie okresu przechowywania produktów mrożonych, a tym samym zmniejszenie strat ekonomicznych i poprawę satysfakcji konsumenta.

Zarówno w kontekście badań naukowych, jak i praktyki przemysłowej, niezmiernie istotne jest monitorowanie właściwości barierowych w trakcie całego cyklu

¹²⁴ Tsironi, T., Stoforos, N. G., Taoukis, P. (2020). *Quality and shelf-life modeling of frozen fish at constant and variable temperature conditions*. *Foods*, 9(12), s. 1893.

¹²⁵ Ibidem.

¹²⁶ Ibidem.

życia opakowania. Zmiany temperatury, wilgotności, ciśnienia oraz wstrząsy mechaniczne mogą negatywnie wpływać na zdolność materiałów do ochrony produktu. Badania laboratoryjne oraz testy symulujące warunki transportowe i magazynowe pozwalają ocenić, w jakim stopniu opakowanie zachowuje swoje parametry barierowe w rzeczywistych warunkach eksploatacji. Regularna kontrola właściwości barierowych jest niezbędna, aby zapewnić, że produkty mrożone docierają do konsumenta w stanie nienaruszonym i z zachowaną pełną wartością odżywczą. Opracowanie materiałów o stabilnych właściwościach barierowych w szerokim zakresie temperatur i wilgotności staje się jednym z wyzwań dla przemysłu spożywczego^{127, 128}. Dodatkowo, współczesne opakowania muszą uwzględniać aspekt ekonomiczny i środowiskowy. Efektywność barierowa nie może być rozpatrywana wyłącznie w kategoriach ochrony produktu – istotne jest także minimalizowanie zużycia materiałów oraz ograniczenie emisji zanieczyszczeń związanych z produkcją opakowań. Wdrożenie materiałów o wysokiej skuteczności barierowej pozwala często na stosowanie cieńszych warstw folii, co z kolei zmniejsza ilość zużytych surowców i obniża koszty logistyczne, przy jednoczesnym zachowaniu wysokiej jakości ochrony produktów. Takie podejście wpisuje się w koncepcję zrównoważonego rozwoju w sektorze spożywczym, integrując aspekty jakości, bezpieczeństwa i odpowiedzialności środowiskowej¹²⁹.

W praktyce przemysłowej obserwuje się coraz większe zróżnicowanie rozwiązań barierowych w zależności od rodzaju produktu mrożonego. Produkty bogate w tłuszcz wymagają innego rodzaju ochrony przed utlenianiem niż produkty wysokobiałkowe lub warzywa o dużej zawartości wody. Dlatego projektowanie opakowań jednostkowych wymaga nie tylko znajomości właściwości materiałów, ale również zrozumienia procesów chemicznych i biologicznych zachodzących w samym produkcie. Integracja wiedzy z zakresu technologii żywności, chemii polimerów i inżynierii materiałowej pozwala uzyskać opakowania o optymalnych parametrach barierowych dla różnych kategorii produktów mrożonych¹³⁰.

Wytrzymałość mechaniczna opakowań zależy od kilku czynników, w tym od właściwości zastosowanych materiałów, grubości i rodzaju folii, technologii wytwarzania

¹²⁷ Ibidem.

¹²⁸ Wang, S., Liu, X., Yang, M., Zhang, Y., Xiang, K., Tang, R. (2015). *Review of time temperature indicators as quality monitors in food packaging*. *Packaging Technology and Science*, 28(10), s. 839-867.

¹²⁹ Roos, Y. (2021). *Glass transition and re-crystallization phenomena of frozen materials and their effect on frozen food quality*. *Foods*, 10(2), s. 447.

¹³⁰ Ibidem.

oraz konstrukcji samego opakowania. Procesy globalizacyjne znacząco wydłużyły łańcuchy dostaw. W związku z wieloetapowym, dalekim transportem, często obejmującym zmienne warunki temperatury, wilgotności i ciśnienia atmosferycznego, wytrzymałość mechaniczna opakowań jest szczególnie istotna. W takich warunkach opakowanie nie tylko musi chronić produkt przed bezpośrednimi uszkodzeniami mechanicznymi, ale również utrzymywać stabilność podczas układania w paletach, składowania w chłodniach czy załadunku do kontenerów chłodniczych¹³¹.

Integralność opakowań odgrywa również istotną rolę w kontekście bezpieczeństwa konsumenta. Uszkodzone opakowanie może prowadzić do skażenia mikrobiologicznego lub chemicznego produktu, co w skrajnym przypadku stwarza ryzyko zdrowotne. Dlatego przedsiębiorstwa spożywcze wprowadzają procedury kontroli jakości, które obejmują inspekcję wizualną, badania nieniszczące oraz analizę odporności opakowań na różnorodne obciążenia mechaniczne¹³². Takie podejście pozwala na wczesne wykrycie potencjalnych problemów i minimalizację ryzyka wprowadzenia na rynek produktów o obniżonej jakości.

Współczesny przemysł spożywczy, a w szczególności sektor produktów mrożonych, stoi przed coraz większymi wymaganiami dotyczącymi uwzględniania aspektów ekologicznych oraz zasad zrównoważonego rozwoju w procesie projektowania opakowań jednostkowych. Nie wynika to wyłącznie z presji regulacyjnej i prawnej, ale również z rosnącej świadomości konsumenckiej, która skłania do wyboru produktów przyjaznych środowisku¹³³. W obliczu globalnych wyzwań związanych ze zmianami klimatycznymi, wzrostem produkcji odpadów oraz nadmierną eksploatacją zasobów naturalnych, konieczność integracji praktyk ekologicznych w sektorze opakowań mrożonych staje się elementem zarządzania jakością i odpowiedzialności korporacyjnej.

Projektowanie opakowań w duchu zasad *eco-design* odgrywa istotną rolę w ograniczaniu negatywnego wpływu na środowisko naturalne. Odpowiedni dobór materiałów, redukcja ich nadmiernej grubości oraz stosowanie lekkich, lecz wytrzymałych kompozytów, pozwala ograniczyć ilość odpadów generowanych w całym łańcuchu dostaw. Dodatkowo, optymalizacja kształtu i wymiarów opakowania wpływa na efektywność transportu, umożliwiając lepsze wykorzystanie przestrzeni w pojazdach

¹³¹ Wang, S., Liu, X., Yang, M., Zhang, Y., Xiang, K., Tang, R. (2015). *Review of time temperature indicators as quality monitors in food packaging*. Packaging Technology and Science, 28(10), s. 839-867.

¹³² Tsironi, T., Stoforos, N. G., Taoukis, P. (2020). *Quality and shelf-life modeling of frozen fish at constant and variable temperature conditions*. Foods, 9(12), s. 1893-1899.

¹³³ Ibidem.

dystrybucyjnych i ograniczając emisję spalin. Harmonijne połączenie odpowiedniego projektowania opakowań z logistyką zoptymalizowaną pod kątem zrównoważonego rozwoju przyczynia się do istotnego zmniejszenia śladu węglowego całego procesu dystrybucji produktów mrożonych¹³⁴. Innym istotnym wymiarem odpowiedzialności ekologicznej jest zaangażowanie w recykling i ponowne przetwarzanie opakowań. Projektowanie opakowań w sposób umożliwiający łatwe oddzielenie poszczególnych materiałów, takich jak folie, karton czy fragmenty metalowe, pozwala zwiększyć skuteczność procesu recyklingu. Zamieszczanie na opakowaniach czytelnych komunikatów dotyczących recyklingu, w tym ikon, instrukcji oraz kolorystycznych oznaczeń, przyczynia się do podnoszenia świadomości ekologicznej konsumentów oraz poprawy jakości segregacji odpadów. Firmy stosujące takie praktyki tworzą dodatkową wartość wizerunkową, pokazując, że troszczą się o środowisko zarówno w procesie produkcji, jak i w całym cyklu życia opakowania.

Jasne i zrozumiałe komunikaty o możliwości kompostowania, recyklingu lub ponownego wykorzystania materiałów zwiększają udział produktów ekologicznych w rynku oraz promują świadome wybory konsumenckie. Konsumenti świadomi korzyści ekologicznych wynikających z recyklingu wykazują większą skłonność do zakupu produktów przyjaznych środowisku, a także propagują postawy proekologiczne w swoim otoczeniu. W tym kontekście opakowania jednostkowe produktów mrożonych pełnią rolę nie tylko ochronną, ale również edukacyjną, kształtując świadomość ekologiczną społeczeństwa.

Transparentność działań proekologicznych przedsiębiorstw stanowi istotny element budowania zrównoważonego przemysłu spożywczego. Monitorowanie zużycia materiałów, energii oraz emisji gazów cieplarnianych w procesach produkcji i dystrybucji pozwala ocenić efektywność podejmowanych działań i prezentować wyniki konsumentom oraz inwestorom¹³⁵. Firmy, które systematycznie raportują swoje działania ekologiczne, budują zaufanie wobec marki, co jest istotne zarówno dla konsumentów, jak i dla partnerów biznesowych. Transparentność w zakresie praktyk proekologicznych może również stanowić element przewagi konkurencyjnej, umożliwiając wyróżnienie się na rynku produktów mrożonych. Analiza cyklu życia produktu (*Life Cycle Assessment – LCA*) stanowi narzędzie wspierające zrównoważony rozwój opakowań jednostkowych.

¹³⁴ Ibidem.

¹³⁵ Tsironi, T., Stoforos, N. G., Taoukis, P. (2020). *Quality and shelf-life modeling of frozen fish at constant and variable temperature conditions*. *Foods*, 9(12), s. 1893-1899.

LCA pozwala ocenić wpływ opakowania na środowisko na każdym etapie jego istnienia, począwszy od pozyskania surowców, przez produkcję, transport, użytkowanie, aż po utylizację¹³⁶. Tego typu oceny umożliwiają identyfikację etapów generujących największe obciążenie środowiskowe, co pozwala na podejmowanie decyzji projektowych i produkcyjnych w sposób minimalizujący negatywny wpływ na ekosystem. Wdrożenie analizy cyklu życia jest zgodne z zasadami gospodarki o obiegu zamkniętym i wspiera optymalne wykorzystanie zasobów naturalnych oraz ograniczenie powstawania odpadów.

Zrównoważony rozwój jakości opakowań jednostkowych produktów mrożonych wymaga podejścia systemowego, wielowymiarowego i spójnego z zasadami odpowiedzialnego biznesu. Integracja materiałów biodegradowalnych i odnawialnych, efektywność energetyczna produkcji, recykling i ponowne przetwarzanie, edukacja konsumentów, transparentność działań proekologicznych, analiza cyklu życia produktu oraz innowacje technologiczne tworzą kompleksowy system, który umożliwia minimalizowanie negatywnego wpływu na środowisko przy jednoczesnym zachowaniu jakości i bezpieczeństwa produktów. Wdrażanie takich praktyk pozwala harmonizować cele ekologiczne, społeczne i ekonomiczne, co jest niezbędne w tworzeniu odpowiedzialnego i konkurencyjnego przemysłu.

Zdolność adaptacji opakowań jednostkowych produktów mrożonych do zmieniających się warunków przechowywania i transportu również może być rozpatrywana jako cecha jakościowa, która jest bezpośrednio związana z trwałością i bezpieczeństwem żywności. Warunki środowiskowe, w jakich przechowywane są produkty, mogą ulegać znacznym wahaniom w zależności od lokalizacji, pory roku, rodzaju transportu i rodzaju infrastruktury magazynowej. Opakowania muszą zapewniać integralność produktów i utrzymanie ich jakości pomimo występowania skrajnych i zmiennych warunków, co wymaga starannego doboru materiałów i konstrukcji¹³⁷.

Technologie monitorujące warunki przechowywania stanowią dodatkowy wymiar adaptacyjności. Wbudowane czujniki temperatury i wilgotności pozwalają śledzić warunki środowiskowe produktów w czasie rzeczywistym, co umożliwia szybką reakcję w sytuacjach przekroczenia dopuszczalnych wartości¹³⁸. Rozwiązania takie

¹³⁶ Roos, Y. (2021). *Glass transition and re-crystallization phenomena of frozen materials and their effect on frozen food quality*. Foods, 10(2), s.447.

¹³⁷ Tsironi, T., Stoforos, N. G., Taoukis, P. (2020). *Quality and shelf-life modeling of frozen fish at constant and variable temperature conditions*. Foods, 9(12), s. 1893-1899.

¹³⁸ Ibidem

ograniczają ryzyko utraty jakości i bezpieczeństwa żywności oraz wspierają optymalizację procesów logistycznych¹³⁹.

Analiza kluczowych cech jakościowych opakowań jednostkowych produktów mrożonych pozwala dostrzec ich złożony charakter oraz zależność między pełnionymi funkcjami a jakością przechowywanej żywności. Każda z wyróżnionych cech jakościowych – efektywność barierowa, wytrzymałość mechaniczna i integralność, funkcje informacyjne i komunikacja z konsumentem, aspekty ekologiczne oraz zdolność adaptacji do zmieniających się warunków – wynika bezpośrednio z podstawowych funkcji opakowania, takich jak ochrona, informacja, funkcja marketingowa, ergonomia oraz wpływ na środowisko. Opisywane cechy oraz ich korelacja z funkcjami opakowań zostały przedstawione w Tabeli 4.

¹³⁹ Wang, S., Liu, X., Yang, M., Zhang, Y., Xiang, K., Tang, R. (2015). *Review of time temperature indicators as quality monitors in food packaging*. Packaging Technology and Science, 28(10), s. 839-867.

Tabela 4. Podsumowanie kluczowych cech jakościowych opakowań jednostkowych produktów mrożonych

Cechy jakościowe	Opis	Znaczenie dla produktów mrożonych
Efektywność barierowa	Zdolność opakowania do ograniczania przenikania wilgoci, tlenu i innych gazów. Może obejmować materiały kompozytowe, folie laminowane, biopolimery oraz technologie aktywne i inteligentne.	Zapewnia trwałość, świeżość i bezpieczeństwo żywności, chroni przed degradacją sensoryczną i utratą wartości odżywczej, wydłuża okres przydatności do spożycia (Tsironi et al., 2020; Wang et al., 2015; Roos, 2021)
Wytrzymałość mechaniczna i integralność opakowania	Odporność materiału i konstrukcji na uszkodzenia fizyczne, wstrząsy, naciski, uderzenia. Zachowanie integralności opakowania obejmuje utrzymanie właściwości barierowych.	Chroni produkty przed uszkodzeniami w trakcie transportu i magazynowania, ogranicza straty żywności, wspiera bezpieczeństwo mikrobiologiczne i estetyczne opakowania (Tsironi et al., 2020; Wang et al., 2015; Roos, 2021).
Transparentność danych	Przekazywanie informacji o składzie, wartości odżywczej, alergenach, sposobie przechowywania i przygotowania, dacie ważności	Umożliwia świadome decyzje zakupowe, zwiększa bezpieczeństwo konsumenckie, buduje zaufanie do marki i lojalność klientów (Tsironi et al., 2020; Wang et al., 2015; Roos, 2021)
Aspekty ekologiczne i zrównoważony rozwój	Stosowanie materiałów biodegradowalnych lub kompostowalnych, efektywność energetyczna produkcji, możliwość recyklingu, edukacja konsumentów, transparentność działań proekologicznych.	Redukuje negatywny wpływ na środowisko, odpowiada na oczekiwania konsumentów, wspiera wizerunek marki i zrównoważony rozwój łańcucha dostaw (Tsironi et al., 2020; Wang et al., 2015; Roos, 2021)
Zdolność adaptacji do zmieniających się warunków przechowywania i transportu	Odporność opakowań na zmiany temperatury i wilgotności, wytrzymałość mechaniczna, monitorowanie warunków środowiskowych, elastyczność projektowa i technologiczna.	Zapewnia utrzymanie jakości i bezpieczeństwa produktów w zmiennych warunkach transportu i magazynowania, ogranicza straty żywności i wspiera funkcjonowanie całego łańcucha dostaw (Tsironi et al., 2020; Wang et al., 2015; Roos, 2021)

Źródło: opracowanie własne.

Efektywność barierowa realizuje funkcję ochronną, ograniczając wpływ czynników zewnętrznych, takich jak wilgoć, tlen czy inne gazy, które mogą prowadzić do pogorszenia jakości sensorycznej i wartości odżywczej produktów. Wytrzymałość mechaniczna i integralność opakowania wynikają z potrzeby zapewnienia ochrony fizycznej oraz utrzymania właściwości barierowych, co pozwala na bezpieczny transport i magazynowanie mrożonej żywności. Dostęp do informacji jako cecha jakościowa wynika z funkcji informacyjnej opakowania – umożliwiają przekazanie danych o składzie, wartościach odżywczych, alergenach oraz sposobie przechowywania i przygotowania, co zwiększa bezpieczeństwo użytkowania oraz buduje zaufanie do marki. Aspekty ekologiczne i zrównoważony rozwój odpowiadają funkcji środowiskowej

i odpowiedzialności społecznej, obejmując dobór materiałów, technologie produkcji, recykling oraz edukację konsumencką. Zdolność adaptacji do zmieniających się warunków przechowywania i transportu wynika z funkcji ochronnej w kontekście zmiennych warunków środowiskowych i logistycznych, zapewniając utrzymanie jakości i bezpieczeństwa produktów w całym łańcuchu dostaw.

Zintegrowane uwzględnienie tych cech w procesie projektowania i produkcji opakowań pozwala na spełnienie funkcji opakowań w pełnym zakresie: ochronnej, informacyjnej, marketingowej, ergonomicznej i środowiskowej. W efekcie możliwe jest przedłużenie trwałości produktów mrożonych, poprawa satysfakcji konsumentów, minimalizacja strat w łańcuchu dostaw oraz budowanie pozytywnego wizerunku producentów w kontekście odpowiedzialności społecznej i środowiskowej. Analiza jakościowych cech opakowań, powiązana z pełnionymi przez nie funkcjami, stanowi fundament do optymalizacji funkcjonalności opakowań, bezpieczeństwa produktów i ich wpływu na środowisko, co jest istotne w kontekście rosnących wymagań rynku i konsumentów.

2.5. Wnioski

Opakowania jednostkowe produktów mrożonych funkcjonują jako system, w którym wytrzymałość mechaniczna, właściwości barierowe, ergonomia, estetyka, innowacyjność oraz zrównoważoność tworzą spójną całość. Oznacza to, że ich jakość nie wynika z pojedynczej właściwości materiałowej lub konstrukcyjnej, lecz ze zdolności do jednoczesnej realizacji wielu komplementarnych funkcji w warunkach charakterystycznych dla łańcucha chłodniczego. Szczególne znaczenie ma przy tym utrzymanie integralności opakowania w warunkach niskiej temperatury, zmiennej wilgotności oraz obciążeń mechanicznych występujących podczas transportu, magazynowania i dystrybucji.

Realizacja funkcji ochronnej znajduje bezpośrednie odzwierciedlenie w efektywności barierowej oraz odporności mechanicznej opakowań. Właściwości te determinują zdolność do ograniczania migracji wilgoci i gazów, ochrony przed uszkodzeniami fizycznymi oraz utrzymania stabilnych warunków przechowywania, co warunkuje zachowanie jakości sensorycznej, wartości odżywczej oraz bezpieczeństwa zdrowotnego produktu. W konsekwencji skuteczność funkcji ochronnej należy uznać

za podstawowy wyznacznik jakości w tej grupie opakowań, bez którego realizacja pozostałych funkcji traci znaczenie praktyczne. Znaczenie funkcji logistycznej przejawia się w zdolności opakowań do zachowania swoich właściwości w całym cyklu dystrybucji, obejmującym wielokrotne operacje manipulacyjne, zmienne warunki środowiskowe oraz długotrwałe przechowywanie w warunkach zamrażalniczych. Zdolność adaptacji do tych warunków stanowi istotną cechę jakościową, warunkującą zarówno bezpieczeństwo produktu, jak i efektywność procesów logistycznych. Tym samym jakość opakowań pozostaje ściśle powiązana z ich rolą we wspieraniu ciągłości i niezawodności łańcucha dostaw. Funkcja informacyjna znajduje odzwierciedlenie w zakresie i wiarygodności danych przekazywanych użytkownikowi, co nabiera szczególnego znaczenia w przypadku produktów wymagających ścisłego przestrzegania określonych warunków przechowywania. Zapewnienie czytelnych informacji dotyczących sposobu przechowywania, terminu przydatności do spożycia oraz integralności opakowania zwiększa bezpieczeństwo konsumenta i ogranicza ryzyko niewłaściwego użytkowania produktu. Rozwój technologii inteligentnych dodatkowo rozszerza zakres tej funkcji, umożliwiając monitorowanie historii temperaturowej oraz warunków przechowywania. Funkcja użytkowa i marketingowa wpływa na postrzeganą jakość poprzez kształtowanie wygody użytkownika oraz odbioru produktu przez konsumenta. Rozwiązania konstrukcyjne ułatwiające otwieranie, zamykanie i porcjowanie zwiększają funkcjonalność opakowania, natomiast elementy wizualne i komunikacyjne wzmacniają jego rolę jako nośnika wartości produktu. W rezultacie jakość opakowania obejmuje nie tylko aspekty techniczne, lecz również jego zdolność do wspierania pozytywnych doświadczeń użytkownika. Rosnące znaczenie funkcji ekologicznej prowadzi do traktowania zrównoważoności jako integralnego elementu jakości opakowań. Wykorzystanie materiałów nadających się do recyklingu, ograniczanie zużycia surowców oraz dostosowanie opakowań do wymagań gospodarki o obiegu zamkniętym stanowi odpowiedź na współczesne wyzwania środowiskowe oraz zmieniające się wymagania rynku. W konsekwencji aspekt środowiskowy przestaje pełnić rolę dodatkowego kryterium oceny, stając się jednym z podstawowych wyznaczników jakości współczesnych opakowań.

Przeprowadzona analiza literatury wykazała, że cechy jakościowe opakowań jednostkowych produktów mrożonych pozostają bezpośrednio powiązane z realizowanymi przez nie funkcjami oraz z oddziaływaniem czynników występujących na kolejnych etapach łańcucha dostaw, w szczególności temperatury, wilgotności oraz

obciążeń mechanicznych. Oznacza to, że jakość opakowań należy rozpatrywać w ujęciu systemowym, uwzględniającym zarówno właściwości materiałowe i konstrukcyjne, jak i warunki ich użytkowania. Uzyskane wyniki pozwoliły na identyfikację kluczowych cech jakościowych opakowań jednostkowych produktów mrożonych, obejmujących efektywność barierową, integralność mechaniczną, wiarygodność informacyjną, funkcjonalność użytkową, zgodność z wymaganiami środowiskowymi oraz zdolność adaptacji do warunków łańcucha chłodniczego. Stanowi to potwierdzenie przyjętej hipotezy szczegółowej 1, zakładającej funkcjonalne i środowiskowe uwarunkowanie jakości opakowań jednostkowych produktów mrożonych.

3. Innowacje technologiczne w dobie Przemysłu 5.0

Współczesne procesy przemysłowe i konsumenckie ulegają znaczącej transformacji w kontekście dynamicznego rozwoju technologii cyfrowych oraz rosnącej świadomości ekologicznej społeczeństwa. Jest to efektem ewolucyjnych zmian w modelach przemysłowych, pojawienia się nowego typu konsumenta w ramach koncepcji Społeczeństwa 5.0, technologii wspierających rozwój opakowań, a także zrównoważonych rozwiązań mających na celu poprawę jakości produktów i ograniczenie ich wpływu na środowisko naturalne.

3.1. Przemysł 5.0 a wcześniejsze modele przemysłowe

Historia przemysłu od XVIII wieku do współczesności ukazuje ciągły proces transformacji, w którym technologie i struktury społeczne wzajemnie na siebie oddziaływały, kształtując złożone powiązania między procesami produkcyjnymi, systemami ekonomicznymi a relacjami społecznymi¹⁴⁰. Transformacje te nie ograniczały się jedynie do innowacji technologicznych; zmiany w sposobie życia, urbanizacji i organizacji pracy tworzyły kontekst społeczny, w którym rozwój przemysłowy nabierał sensu.

Pierwsza rewolucja przemysłowa, określana jako Przemysł 1.0 lub „wiek pary”, wprowadziła mechanizację produkcji na niespotykaną wcześniej skalę. Maszyny parowe zastąpiły pracę ręczną, znacznie zwiększając wydajność wytwarzania w stosunku do tradycyjnych manufaktur¹⁴¹. Procesy produkcyjne zaczęły być coraz bardziej zorganizowane, co umożliwiło względną powtarzalność wyrobów i stopniowy rozwój systematycznych metod kontroli jakości¹⁴².

Druga rewolucja przemysłowa, zwana Przemysłem 2.0, przyniosła elektryfikację produkcji, która stała się kluczowym czynnikiem przyspieszającym wytwarzanie i umożliwiającym masową produkcję¹⁴³. Energia elektryczna pozwoliła na standaryzację komponentów i wprowadzenie taśmy montażowej, co znacząco zwiększyło

¹⁴⁰ Hamad, B., Jawad, M. (2024). *The fourth industrial revolution: a historical, conceptual review*. Journal of Economics, Administrative Sciences, 30(141), s. 154-172.

¹⁴¹ Yap, C. (2019). *Sustainable seafood resources by applying Industry 4.0: a short note*. Global Journal of Nutrition, Food Science, 2(4), s. 17-29.

¹⁴² Hamad, B., Jawad, M. (2024). *The fourth industrial revolution: a historical, conceptual review*. Journal of Economics, Administrative Sciences, 30(141), s. 154-172.

¹⁴³ Schmidt, R., Möhring, M., Härting, R., Reichstein, C., Neumaier, P., Jozinović, P. (2015). *Industry 4.0 - potentials for creating smart products: empirical research results.*, s. 16-27.

powtarzalność i przewidywalność wyrobów. Rozwój standaryzacji dotyczył także opakowań – ich regularne wymiary ułatwiały transport i magazynowanie, a oznaczenia jakości i trwałości produktów stanowiły podstawę dla pierwszych praktyk związanych z kontrolą jakości^{144, 145}. Fabryki zaczęły funkcjonować według precyzyjnie ustalonych procedur, co sprzyjało systematycznemu monitorowaniu jakości i efektywności wytwarzania. Wdrożenie elektryfikacji oraz masowej produkcji stworzyło podstawy do dalszego doskonalenia procesów, umożliwiając stopniowy rozwój standardów jakościowych i przygotowując grunt pod bardziej złożone systemy produkcyjne, jakie pojawiły się w kolejnych etapach rozwoju przemysłu.

Trzecia rewolucja przemysłowa, znana jako Przemysł 3.0, rozpoczęła się w drugiej połowie XX wieku i wprowadziła cyfryzację oraz automatyzację procesów produkcyjnych¹⁴⁶. Komputery i systemy sterowania umożliwiły precyzyjne monitorowanie oraz kontrolę jakości na każdym etapie wytwarzania, co zwiększało niezawodność produktów. W tym okresie zaczęto szerzej stosować projektowanie wspomaganie komputerowo (CAD) oraz produkcję wspomaganą komputerowo (CAM), co pozwalało na bardziej złożone i dokładne opracowywanie komponentów i wyrobów końcowych¹⁴⁷.

Rozwój handlu międzynarodowego i rosnąca konkurencja w sprzedaży wymuszały wyższe standardy jakości, ponieważ produkty musiały sprostać oczekiwaniom coraz bardziej wymagających klientów oraz regulacjom różnych rynków. Automatyzacja produkcji i cyfryzacja procesów umożliwiały firmom bardziej konsekwentne utrzymanie jakości i lepsze dostosowanie wyrobów do wymagań konsumentów¹⁴⁸. W tym okresie przedsiębiorstwa zaczęły także systematycznie monitorować zużycie materiałów i minimalizować straty, co przygotowywało grunt pod przyszłe strategie odpowiedzialnej produkcji. Choć zrównoważony rozwój nie był jeszcze głównym celem, eksperymenty z efektywnością energetyczną i ograniczaniem odpadów stanowiły fundament dla późniejszego rozwoju standardów jakościowych i logistycznych.

¹⁴⁴ Ibidem.

¹⁴⁵ Hamad, B., Jawad, M. (2024). *The fourth industrial revolution: a historical, conceptual review*. Journal of Economics, Administrative Sciences, 30(141), s. 154-172.

¹⁴⁶ Ciulli, E. (2019). *Tribology, industry: from the origins to 4.0*. Frontiers in Mechanical Engineering, 5, s. 31-40.

¹⁴⁷ Kohnová, L., Salajová, N. (2019). *Industrial revolutions, their impact on managerial practice: learning from the past*. Problems, Perspectives in Management, 17(2), s. 462-478.

¹⁴⁸ Liu, Y., Xu, X. (2016). *Industry 4.0, cloud manufacturing: a comparative analysis*. Journal of Manufacturing Science, Engineering, 139(3), s. 58-70.

Czwarta rewolucja przemysłowa, Przemysł 4.0, przyniosła integrację procesów produkcyjnych z technologiami informacyjnymi oraz rozwój systemów cyber-fizycznych i Internetu rzeczy (IoT). Produkcja stała się inteligentna, umożliwiającą monitorowanie i optymalizację procesów w czasie rzeczywistym oraz szybkie dostosowanie do zmieniającego się popytu.

W tym okresie pojawiły się koncepcje inteligentnych opakowań – wyposażonych w tagi RFID czy sensory monitorujące temperaturę i wilgotność produktów¹⁴⁹. Pozwalały one śledzić stan produktów wrażliwych, takich jak żywność czy farmaceutyki, oraz wspierały działania mające na celu utrzymanie jakości. W praktyce technologie te pozostawały w fazie eksperymentów i prototypów, ograniczone przez koszty, brak standardów i konieczność adaptacji procesów logistycznych.

Model Przemysłu 4.0 koncentrował się przede wszystkim na zwiększeniu wydajności, przewidywalności działań i redukcji kosztów. Systemy oparte na IoT umożliwiały monitorowanie przepływu surowców, półproduktów i wyrobów gotowych, a analiza dużych zbiorów danych wspierała optymalizację harmonogramów produkcji i tras transportowych¹⁵⁰. Pomimo tego ograniczona elastyczność zautomatyzowanych linii produkcyjnych i magazynów oraz standaryzacja procesów utrudniały szybkie reagowanie na nagłe zmiany w popycie, kryzysy surowcowe czy zmiany preferencji konsumentów¹⁵¹. Rolą człowieka pozostawał głównie nadzór i interwencja w sytuacjach krytycznych, co wymagało nowych kompetencji technicznych i cyfrowych.

Przemysł 5.0 pojawił się szybko, stanowiąc doprecyzowanie kierunku wyznaczonego przez Przemysł 4.0. Zachowuje technologie cyfrowe, automatyzację i systemy inteligentne, ale przesunął ich zastosowanie w stronę zrównoważonego rozwoju, społecznej odpowiedzialności przedsiębiorstw (CSR) oraz większej uwagi na potrzeby konsumenta^{152, 153}.

W modelu *human-centric* człowiek staje się centralnym elementem procesów produkcyjnych i logistycznych. Roboty współpracujące (coboty), sztuczna inteligencja

¹⁴⁹ Hamad, B., Jawad, M. (2024). *The fourth industrial revolution: a historical, conceptual review*. Journal of Economics, Administrative Sciences, 30(141), s. 154-172.

¹⁵⁰ Gajdzik, B., Grabowska, S., Saniuk, S., Wieczorek, T. (2020). *Sustainable development, industry 4.0: a bibliometric analysis identifying key scientific problems of the sustainable Industry 4.0*. Energies, 13(16), s. 4254.

¹⁵¹ Pinheiro, P., Putnik, G., Castro, A., Castro, H., Dal, B., Romero, F. (2019). *Industry 4.0, industrial revolutions: an assessment based on complexity*. Fme Transaction, 47(4), s. 831-840.

¹⁵² Ibidem.

¹⁵³ Maddikunta, P., Pham, Q., Prabadevi, B., Deepa, N., Dev, K., Gadekallu, T., Liyanage, M. (2022). *Industry 5.0: a survey on enabling technologies, potential applications*. Journal of Industrial Information Integration, 26, s. 89-100.

i cyfrowe bliźniaki wspierają pracowników w podejmowaniu decyzji, odciażają od powtarzalnych zadań oraz umożliwiają koncentrację na działaniach twórczych i strategicznych¹⁵⁴. Dzięki temu przedsiębiorstwa mogą dynamicznie reagować na zmiany w zamówieniach, kryzysy w łańcuchu dostaw oraz utrzymywać wysoką jakość produktów wrażliwych. Rozwój jakości staje się kluczowy – przedsiębiorstwa nie mogą już polegać wyłącznie na wydajności czy powtarzalności procesów. Konkurencja rynkowa wymaga, aby produkty wyróżniały się wartością dodaną: trwałością, funkcjonalnością, bezpieczeństwem i możliwością łatwego recyklingu. Inteligentne opakowania, wyposażone w sensory monitorujące warunki przechowywania, kody RFID czy QR, umożliwiają nie tylko kontrolę jakości w czasie rzeczywistym, ale też zwiększają transparentność dla konsumenta¹⁵⁵.

Zrównoważony rozwój w Przemysle 5.0 obejmuje optymalizację zużycia energii, minimalizację odpadów oraz wdrażanie transportu niskoemisyjnego^{156, 157}. Inteligentne systemy monitorowania i predykcji pozwalają przewidywać zakłócenia w łańcuchu dostaw, zwiększając odporność całego systemu logistycznego¹⁵⁸. Technologie cyfrowe, takie jak blockchain, umożliwiają śledzenie pochodzenia produktów, warunków ich przechowywania oraz całego przebiegu łańcucha dostaw, wzmacniając zaufanie konsumentów i podkreślając wartość dodaną produktów¹⁵⁹.

Integracja człowieka i technologii pozwala przedsiębiorstwom tworzyć elastyczne, odporne i etyczne systemy produkcji, w których cele ekonomiczne, społeczne i ekologiczne współistnieją harmonijnie. Pracownicy nie są już jedynie operatorami maszyn – stają się współtwórcami procesów, łącząc wiedzę, doświadczenie i intuicję z możliwościami inteligentnych systemów. W efekcie przedsiębiorstwa mogą oferować

¹⁵⁴ Shehzad, N., Ramtiyal, B., Jabeen, F., Mangla, S., Vijayvargy, L. (2024). *Metaverse adoption as a cornerstone for sustainable healthcare firms in the industry 5.0 epoch*. Journal of Enterprise Information Management, 37(4), s. 1254-1281.

¹⁵⁵ Hamad, B., Jawad, M. (2024). *The fourth industrial revolution: a historical, conceptual review*. Journal of Economics, Administrative Sciences, 30(141), s. 154-172.

¹⁵⁶ Kasinathan, P., Pugazhendhi, R., Elavarasan, R., Ramachandaramurthy, V., Vinoth, R., Subramanian, S., Alsharif, M. (2022). *Realization of sustainable development goals with disruptive technologies by integrating industry 5.0, society 5.0, smart cities, villages*. Sustainability, 14(22), 15258, s. 721-734.

¹⁵⁷ Crnjac, M., Mladineo, M., Gjeldum, N., Celent, L. (2022). *From industry 4.0 towards industry 5.0: a review, analysis of paradigm shift for the people, organization, technology*. Energies, 15(14), 5221, s. 28-39.

¹⁵⁸ Rinat, K., Thakur, G., Gupta, M., Madhuri, T., Bansal, S. (2024). *Comparative analysis of big data computing in industry 4.0, industry 5.0: an experimental study*. Bio Web of Conferences, 86, 01068.

¹⁵⁹ Crnjac, M., Mladineo, M., Gjeldum, N., Celent, L. (2022). *From industry 4.0 towards industry 5.0: a review, analysis of paradigm shift for the people, organization, technology*. Energies, 15(14), 5221, s. 28-39.

produkty o wysokiej jakości i wartości dodanej, wyróżniające się na konkurencyjnym rynku^{160, 161, 162}.

3.2. Społeczeństwo 5.0 i nowy typ konsumenta

Współczesne społeczeństwa funkcjonują w warunkach dynamicznych przemian technologicznych, społecznych i gospodarczych, które redefiniują relacje między jednostką a otoczeniem, organizacjami i instytucjami publicznymi. Rosnąca cyfryzacja, automatyzacja procesów, analiza danych oraz rozwój sztucznej inteligencji wpływają nie tylko na produkcję i usługi, lecz również na edukację, ochronę zdrowia, mobilność społeczną i ogólną jakość życia. W literaturze coraz częściej podkreśla się potrzebę łączenia innowacji technologicznych z troską o dobrostan człowieka i zrównoważony rozwój, uwzględniający aspekty społeczne, ekologiczne oraz ekonomiczne. W tym kontekście kluczowe znaczenie zyskuje koncepcja Społeczeństwa 5.0, proponująca nowe spojrzenie na rozwój technologiczny, w którym centralnym punktem jest człowiek, jego potrzeby oraz harmonijna współpraca ludzi i technologii¹⁶³.

Społeczeństwo 5.0 wykracza poza tradycyjne modele rozwoju gospodarczego, które koncentrowały się głównie na wzroście produkcji i generowaniu zysków przedsiębiorstw. W tym ujęciu technologie, takie jak sztuczna inteligencja, Internet Rzeczy czy zautomatyzowane systemy produkcji, nie są celem samym w sobie, lecz tworzą infrastrukturę umożliwiającą transformację życia społecznego, edukacji, gospodarki i usług publicznych. Integracja technologii z codziennym funkcjonowaniem społeczeństw pozwala skutecznie reagować na współczesne wyzwania ekologiczne, ekonomiczne i społeczne, zwiększając efektywność energetyczną oraz ograniczając negatywny wpływ działalności człowieka na środowisko¹⁶⁴.

¹⁶⁰ Maddikunta, P., Pham, Q., Prabadevi, B., Deepa, N., Dev, K., Gadekallu, T., Liyanage, M. (2022). *Industry 5.0: a survey on enabling technologies, potential applications*. Journal of Industrial Information Integration, 26, s. 18-31.

¹⁶¹ Mottaeva, A., Lygina, O., Bolatova, B., Bayakhmetova, A. (2023). *Application of the principles of green economy to increase the stability of clustered complexes*. E3s Web of Conferences, 460.

¹⁶² Wahyudi, E., Subanidja, S. (2022). *The effect of leadership style strategy, innovation strategy on competitive advantages, implementation of industry 4.0*. Jurnal Riset Perbankan Manajemen Dan Akuntansi, 5(1), s. 12-19.

¹⁶³ Zajkowska, M. (2015). *Sustainable marketing – from the traditional to the innovative mainstream of marketing management*. Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Szczecińskiego Problemy Zarządzania Finansów I Marketingu, 41, s. 359-370.

¹⁶⁴ Ibidem.

Koncepcja Społeczeństwa 5.0 kładzie również nacisk na innowacje w sektorze produkcji i usług. Technologie wspierają efektywność operacyjną przy jednoczesnym minimalizowaniu wpływu działalności człowieka na środowisko. Przykładowo, koncepcje zarządzania takie jak *Green BPM* (zielone zarządzanie procesami biznesowymi), pokazują, że organizacje mogą zwiększać wydajność, jednocześnie ograniczając negatywny wpływ swojej działalności, m.in. poprzez identyfikację oraz optymalizację procesów pod kątem zużycia energii, emisji CO₂, gospodarki odpadami, wykorzystania surowców oraz wdrażanie praktyk zrównoważonego projektowania i eksploatacji w duchu *Life Cycle Thinking* – obejmującego cały cykl życia produktów i procesów. Uwzględnianie kryteriów zrównoważonego rozwoju w procesach decyzyjnych pozwala firmom budować przewagę konkurencyjną oraz kształtować świadomość społeczną konsumentów. Społeczeństwo 5.0 promuje także strategie łączące innowacje technologiczne z odpowiedzialnością społeczną i środowiskową, co w konsekwencji poprawia reputację przedsiębiorstw, zwiększa lojalność klientów i generuje wartość dodaną dla całego społeczeństwa. Wykorzystanie narzędzi cyfrowych, danych oraz inteligentnych systemów produkcyjnych umożliwia dostosowanie produktów i usług do potrzeb nowoczesnych konsumentów, przy uwzględnieniu kryteriów ekologicznych, zdrowotnych i społecznych¹⁶⁵.

Równolegle ewoluuje koncepcja Klienta 5.0, kształtowanego przez powszechny dostęp do informacji, rozwój technologii oraz rosnącą świadomość społeczną i ekologiczną. Konsument przestaje pełnić rolę biernego odbiorcy produktów i usług, stając się aktywnym uczestnikiem procesu tworzenia wartości. Oczekuje przy tym pełnej transparentności działań przedsiębiorstw, elastyczności w dostosowywaniu oferty oraz zaangażowania firm w realizację potrzeb społecznych i środowiskowych¹⁶⁶. Nowoczesne środowisko technologiczne umożliwia szybkie porównywanie ofert, analizę opinii oraz śledzenie informacji dotyczących jakości, pochodzenia i wpływu produktów na środowisko, co wymusza na firmach zapewnienie przejrzystości działań i intuicyjnego dostępu do danych.

Współczesny konsument ceni elastyczność i personalizację usług, oczekując możliwości dopasowania produktów, kanałów komunikacji czy form dostawy

¹⁶⁵ Misztal, A. (2016). *Wpływ unijnej polityki regionalnej na zrównoważony rozwój Euroregionów zachodniego pogranicza Polski.*, Repozytorium Uniwersytetu Łódzkiego.

¹⁶⁶ Prakash, G. (2019). *Understanding service quality: insights from the literature.* Journal of Advances in Management Research, 16(1), 64-90.

do indywidualnych preferencji. W sektorze żywności mrożonej może to obejmować wybór rozmiaru porcji, sposobu transportu lub warunków przechowywania. Konsument 5.0 uczestniczy również w procesie współtworzenia wartości, dostarczając informacje zwrotne, które wykorzystywane są do optymalizacji produktów, usług i opakowań. Takie podejście wymaga efektywnej współpracy między działami badań i rozwoju, logistyki, marketingu i sprzedaży^{167, 168}.

Rozwój opakowań w tym kontekście koncentruje się na bezpieczeństwie żywności, funkcjonalności, estetyce, zrównoważonym rozwoju oraz transparentności danych. Inteligentne systemy monitorowania temperatury, materiały aktywne i ekologiczne stają się kluczowym elementem tworzenia wartości dla konsumenta^{169, 170, 171, 172}. W handlu elektronicznym integracja logistyki, opakowań i technologii pozwala na bieżące monitorowanie warunków transportu i przechowywania produktów, zapewniając pełną transparentność oraz wzmacniając zaufanie klientów¹⁷³. Zrównoważone opakowania, materiały biodegradowalne, recykling oraz optymalizacja transportu odpowiadają na rosnące wymagania ekologiczne i społeczne. Ich integracja z cyfryzacją procesów logistycznych oraz systematycznym monitorowaniem danych tworzy spójny system, w którym innowacje technologiczne i praktyki CSR generują wartość dodaną oraz przewagę konkurencyjną^{174, 175, 176}.

¹⁶⁷ Prakash, G. (2019). *Understanding service quality: insights from the literature*. Journal of Advances in Management Research, 16(1), 64-90.

¹⁶⁸ Vredenburg, J., Bell, S. (2014). *Variability in health care services: the role of service employee flexibility*. Australasian Marketing Journal (Amj), 22(3), 168-178.

¹⁶⁹ Mahgoub, S., El-Mekkawy, R., El-Hack, M., El-Ghareeb, W., Suliman, G., Alowaimer, A., Swelum, A. (2019). *Inactivation of listeria monocytogenes in ready-to-eat smoked turkey meat by combination with packaging atmosphere, oregano essential oil, cold temperature*. Amb Express, 9(1).

¹⁷⁰ Mukherjee, A., Malik, R., Roy, S., Kar, P., Bal, T., Ghosh, B. (2025). *Fabrication of polyvinylalcohol-zinc oxide paper ash composite: a novel, sustainable, antimicrobial food packaging material*. Journal of Vinyl, Additive Technology, 31(5), 1032-1053.

¹⁷¹ Barbosa, B., Shojaei, A., Miranda, H. (2023). *Packaging-free practices in food retail: the impact on customer loyalty*. Baltic Journal of Management, 18(4), 474-492.

¹⁷² Casales-Garcia, V., Heras, A., Sendra, A., Abril, L. (2024). *Sustainable emotional design based on industry 4.0 for industrial nougat packaging*. Sustainability, 16(4), 1378.

¹⁷³ Tokarski, D., Motowidlak, U. (2023). *Analysis of the types, effects of possible errors in the implementation of ecological reusable packaging into e-commerce using FMEA*. Economics, Environment, 85(2), 221-235.

¹⁷⁴ Setiawan, L., Romulo, A. (2024). *Utilization of kano model, quality function deployment to identify key attributes for developing sorghum functional beverages*. Iop Conference Series Earth, Environmental Science, 1413(1), s.789-799.

¹⁷⁵ Noëth, E., Opstal, W., Bois, E. (2024). *Introducing reusable food packaging: customer preferences, design implications for successful market entry*. Business Strategy, the Environment, 33(7), s. 6507-6532.

¹⁷⁶ Alamri, M. S., Qasem, A. A., Mohamed, A. A., Hussain, S., Ibraheem, M. A., Shamlan, G.,..., Qasha, A. S. (2021). *Food packaging's materials: A food safety perspective*. Saudi journal of biological sciences, 28(8), s. 4490-4499.

3.3. Opakowania aktywne i inteligentne

Rozwój technologii w branży opakowaniowej w ostatnich latach pozwala na przejście od tradycyjnych funkcji ochronnych opakowań do systemów aktywnie wspierających zarządzanie jakością i bezpieczeństwo produktów mrożonych. Opakowania jednostkowe przestają być jedynie barierą fizyczną chroniącą produkt – stają się nośnikiem informacji o stanie żywności oraz elementem monitorowania całego łańcucha dostaw. W tym kontekście szczególne znaczenie mają opakowania aktywne i inteligentne, które integrują funkcje monitorowania, reagowania i komunikowania stanu produktu.

Rozwój opakowań aktywnych wynika z rosnących wymagań wobec bezpieczeństwa i jakości żywności, zwłaszcza produktów mrożonych. Tradycyjne opakowanie chroniło produkt pasywnie, izolując go od otoczenia. Współczesne rozwiązania aktywne pełnią jednak funkcję interaktywną – reagują na stan produktu i otoczenia, wydłużając jego przydatność do spożycia oraz zachowując właściwości sensoryczne i odżywcze¹⁷⁷.

W produktach mrożonych najczęściej stosuje się mechanizmy biologiczne i chemiczne, takie jak powłoki z nanoproszkami srebra eliminującymi drobnoustroje czy absorbery tlenu i wilgoci, które ograniczają rozwój mikroorganizmów i procesy oksydacyjne^{178, 179, 180}. Równie istotne są biopolimery wzbogacane naturalnymi ekstraktami roślinnymi, np. olejkami eterycznymi z oregano lub tymianku, które hamują rozwój bakterii w produktach o krótkiej trwałości, umożliwiając wydłużenie cyklu dystrybucyjnego i redukcję strat w łańcuchu chłodniczym^{181, 182}.

¹⁷⁷ Ahmed, J., Arfat, Y., Bher, A., Mulla, M., Jacob, H., Auras, R. (2018). *Active chicken meat packaging based on polylactide films, bimetallic ag-cu nanoparticles, essential oil*. Journal of Food Science, 83(5), s. 1299-1310.

¹⁷⁸ Ibidem.

¹⁷⁹ Chauhan, U., Chauhan, E., Chauhan, P. (2022). *Role of active packaging in the food industry: a review*. Journal of Pharmaceutical Research International, s. 20-32.

¹⁸⁰ Becerril, R., Nerin, C., Silva, F. (2020). *Encapsulation systems for antimicrobial food packaging components: an update*. Molecules, 25(5), s.1134-1146.

¹⁸¹ Paul, V., Saloni, S., Vikranta, U., Nandan, A., Agarwal, A., Tripathi, A. (2024). *Starch-pha blend-based biopolymers with potential food applications*. Starch - Stärke, 76, s.11-19.

¹⁸² Ramesh, S., Jancy, S., Radhakrishnan, P. (2020). *Cellulose nanoparticles synthesised from potato peel for the development of active packaging film for enhancement of shelf life of raw prawns (penaeus monodon) during frozen storage*. International Journal of Food Science, Technology, 56(8), s. 3991-3999.

Obecnie rozwijane są również aktywne opakowania oparte na biodegradowalnych polimerach, takich jak skrobia, PLA czy chitozan. Materiały te łączą funkcje ochronne z proekologicznymi, wpisując się w strategię zrównoważonego rozwoju branży spożywczej. W sektorze mrożonek pozwalają one na wydłużenie trwałości produktów przy jednoczesnym ograniczeniu użycia tworzyw sztucznych, co odpowiada zarówno na wymagania konsumentów, jak i regulacje rynkowe^{183, 184}.

Inteligentne opakowania indykatorowe w ostatnich latach stały się jednym z najbardziej dynamicznie rozwijających się obszarów innowacji w przemyśle spożywczym, a szczególnie w sektorze żywności mrożonej. W przeciwieństwie do klasycznych opakowań ochronnych, których głównym zadaniem było tworzenie bariery pomiędzy środowiskiem zewnętrznym a produktem, opakowania indykatorowe zostały zaprojektowane jako narzędzie aktywnej komunikacji między żywnością a użytkownikiem. Ich funkcja polega na dostarczaniu czytelnej i bezpośredniej informacji o warunkach przechowywania i transporcie, a także o możliwych nieprawidłowościach w utrzymaniu łańcucha chłodniczego¹⁸⁵. Rozwój tej technologii wynika z rosnących oczekiwań konsumentów wobec jakości i bezpieczeństwa produktów, ale także z wyzwań, jakie stawia globalny rynek. Produkty mrożone są szczególnie wrażliwe na zmiany temperatury – już krótkotrwałe odchylenia od wymaganych parametrów mogą prowadzić do poważnych strat jakościowych. Dlatego właśnie sektor produktów mrożonych stał się naturalnym obszarem wdrażania inteligentnych wskaźników. Klasyfikacje wybranych rodzajów wskaźników przedstawiono w Tabeli 5.

¹⁸³ Rosenow, P., Fernández-Ayuso, C., López-García, P., Minguéz-Enkovaara, L. (2025). *Design, new materials, production challenges of bioplastics-based food packaging*. *Materials*, 18(3), s. 673.

¹⁸⁴ Marcos, B., Sárraga, C., Castellari, M., Kappen, F., Schennink, G., Arnau, J. (2014). *Development of biodegradable films with antioxidant properties based on polyesters containing α -tocopherol, olive leaf extract for food packaging applications*. *Food Packaging, Shelf Life*, 1(2), s. 140-150.

¹⁸⁵ Drago, E., Campardelli, R., Pettinato, M., Perego, P. (2020). *Innovations in smart packaging concepts for food: an extensive review*. *Foods*, 9(11), s.1628.

Tabela 5. Podział i charakterystyka indykatorów stosowanych w opakowaniach produktów mrożonych

Rodzaj indykatora	Mechanizm działania	Przykładowe zastosowanie
Indykatory czasu–temperatury (TTI)	Dyfuzja barwnika, reakcje enzymatyczne, procesy mikrobiologiczne	Monitorowanie całego cyklu chłodniczego mrożonek (ryby, mięso, warzywa)
Indykatory świeżości	Reakcje na aminy biogenne, lotne związki siarki, etylen	Ocena świeżości ryb, mięsa, owoców morza, owoców i warzyw
Indykatory rozmrożenia	Zmiana struktury polimeru lub aktywacja barwnika po przekroczeniu 0°C	Weryfikacja ciągłości łańcucha chłodniczego w dystrybucji
Indykatory wilgoci	Reakcja na obecność wody w opakowaniu	Kontrola szczelności przy transporcie ryb i owoców morza
Indykatory światła UV	Zmiana barwy po ekspozycji na promieniowanie	Ochrona produktów wrażliwych na degradację witamin (np. mrożone warzywa liściaste)

Zródło opracowanie własne na podstawie Drago et al., 2020; Cho et al., 2019; Pramitasari et al., 2022; Mohan et al., 2019; Chen et al., 2020.

Najbardziej rozpowszechnioną kategorią wskaźników są systemy **monitorujące temperaturę**. Zostały one stworzone z myślą o szczególnych wymaganiach żywności mrożonej, dla której stabilność warunków przechowywania jest absolutnym priorytetem. Wskaźniki temperatury funkcjonują zazwyczaj na zasadzie zmiany barwy, co pozwala na szybkie i intuicyjne odczytanie informacji. W momencie, gdy produkt zostaje narażony na zbyt wysoką temperaturę, etykieta lub nadruk ulega widocznej transformacji kolorystycznej. Taki prosty sygnał staje się kluczowym elementem oceny jakości – zwłaszcza w sytuacjach, gdy nie istnieją inne bezpośrednie sposoby weryfikacji stabilności produktu¹⁸⁶. W praktyce wskaźniki temperatury mogą być zintegrowane z zewnętrzną powierzchnią opakowania lub stanowić osobny element umieszczany na etykiecie. Konsumenci bardzo szybko uczą się interpretacji tych sygnałów, co sprawia, że rozwiązanie to nie wymaga dodatkowych działań edukacyjnych ani skomplikowanej obsługi. Z perspektywy łańcucha dostaw pełnią one także rolę kontrolną – już na etapie transportu możliwe jest wychwycenie nieprawidłowości i zapobieganie dalszemu obrotowi produktem, który uległ rozmrożeniu.

¹⁸⁶ Ibidem.

Kolejną kategorię stanowią **wskaźniki czasu**, które odzwierciedlają okres ekspozycji na nieodpowiednie warunki środowiskowe. Ich zadaniem jest nie tylko wskazanie, że produkt został poddany niekorzystnym zmianom, ale również oszacowanie, jak długo trwało oddziaływanie tych czynników. W sektorze mrożonek jest to szczególnie istotne, ponieważ czas ma bezpośredni wpływ na rozwój procesów degradacyjnych w tkankach mięsa czy owoców morza. Tego rodzaju indykatory mogą działać na zasadzie chemicznej reakcji, która postępuje w określonym tempie w zależności od warunków przechowywania. Zmiana barwy etykiety w miarę upływu czasu jest sygnałem, że produkt przekroczył dopuszczalne granice bezpieczeństwa¹⁸⁷. Konsument otrzymuje zatem informację, której nie zapewnia sama data minimalnej trwałości. Wskaźniki czasu stanowią zatem narzędzie realnej oceny, a nie wyłącznie prognozy – pozwalają stwierdzić, czy dany produkt faktycznie nadaje się do spożycia¹⁸⁸. Zastosowanie takich rozwiązań okazuje się niezwykle przydatne przy produktach, które mogły być poddane przemrożeniu lub powtórnemu zamrażaniu. Te procesy nie zawsze prowadzą do widocznych zmian wizualnych, ale istotnie obniżają wartość odżywczą i bezpieczeństwo żywności. Wskaźniki czasu niwelują ten problem, dostarczając jednoznacznej informacji o historii przechowywania.

Trzecim typem są **wskaźniki reagujące na zmiany atmosfery** wewnątrz opakowania. W przypadku mrożonek ich znaczenie rośnie wraz z rozwojem technologii pakowania w atmosferze modyfikowanej. Produkty przechowywane w warunkach kontrolowanego składu gazów – z obniżoną zawartością tlenu lub podwyższonym poziomem dwutlenku węgla – zachowują jakość przez dłuższy czas¹⁸⁹. Jednak każde naruszenie integralności opakowania czy niewłaściwe warunki logistyczne mogą prowadzić do wzrostu stężenia tlenu, co sprzyja utlenianiu i rozwojowi mikroorganizmów. Wskaźniki gazowe reagują właśnie na takie zmiany, sygnalizując użytkownikowi, że atmosfera ochronna została naruszona. W przypadku warzyw czy dań gotowych zamrożonych w atmosferze modyfikowanej, możliwość oceny gazów jeszcze przed otwarciem opakowania daje ogromną przewagę w zakresie bezpieczeństwa. Dzięki

¹⁸⁷ Ibidem.

¹⁸⁸ Pramitasari, R., Gunawicahya, L., Anugrah, D. (2022). *Development of an indicator film based on cassava starch–chitosan incorporated with red dragon fruit peel anthocyanin extract*. *Polymers*, 14(19), s. 4142-4153.

¹⁸⁹ Ibidem.

temu zarówno konsument, jak i sprzedawca, mogą uniknąć ryzyka związanego ze spożyciem produktu o obniżonej jakości¹⁹⁰.

Coraz większe zainteresowanie wzbudzają wskaźniki bazujące na naturalnych barwnikach, w tym szczególnie antocyjanach. Ich zaletą jest możliwość reagowania na zmiany temperatury i pH, co czyni je wielofunkcyjnymi narzędziami monitorowania jakości. Dodatkowo, fakt że są to związki pochodzenia naturalnego, sprawia, że doskonale wpisują się w globalne trendy zrównoważonego rozwoju. Antocyjany wykazują szeroką skalę barw, co ułatwia czytelność sygnału. W momencie pogorszenia warunków przechowywania konsument dostaje jasną informację w postaci zmiany koloru, która nie wymaga żadnych dodatkowych interpretacji. Dzięki temu produkty wyposażone w takie wskaźniki są łatwiej akceptowane przez klientów i zyskują przewagę konkurencyjną¹⁹¹. Ostatnią, ale wyjątkowo perspektywiczną grupą są wskaźniki oparte na nanomateriałach. Szczególne zainteresowanie budzą rozwiązania oparte na nanocząstkach złota wzmocnionych chitosanem, które pozwalają na precyzyjne monitorowanie warunków przechowywania. Takie systemy mogą dostarczać informacji o naruszeniu łańcucha chłodniczego z wyjątkową dokładnością, a ich czułość znacząco przewyższa tradycyjne rozwiązania¹⁹². Choć wciąż znajdują się na etapie badań, ich potencjał jest ogromny. Wdrożenie tego rodzaju wskaźników w przyszłości może całkowicie zmienić standardy w przemyśle mrożonek, wprowadzając narzędzie nie tylko do kontroli, ale także do bieżącego zarządzania jakością w czasie rzeczywistym.

Nie mniej istotny niż aspekt technologiczny jest wymiar rynkowy. Konsumentom coraz częściej oczekują przejrzystości i kontroli nad jakością kupowanych produktów. Opakowania indykatorowe w oczywisty sposób odpowiadają na te potrzeby. Produkty oznaczone inteligentnymi wskaźnikami budzą większe zaufanie i są chętniej wybierane przez klientów. Z perspektywy przemysłu takie rozwiązania przyczyniają się do zmniejszenia strat żywności wynikających z niekontrolowanych przerw w łańcuchu chłodniczym. Mniejsza liczba reklamacji i odrzutów oznacza wymierne korzyści ekonomiczne. Co więcej, wdrożenie systemów inteligentnych wskaźników staje się

¹⁹⁰ Cho, C., Lee, H., Jeong, S., Yoo, S. (2019). *Influence of packaging oxygen transmission rate on physical characteristics of frozen cooked rice under various freezing conditions*. Journal of Food Science, 84(12), s. 3483-3493.

¹⁹¹ Pramitasari, R., Gunawicahya, L., Anugrah, D. (2022). *Development of an indicator film based on cassava starch-chitosan incorporated with red dragon fruit peel anthocyanin extract*. Polymers, 14(19), s. 4142.

¹⁹² Mohan, C., Gunasekaran, S., Ravishankar, C. (2019). *Chitosan-capped gold nanoparticles for indicating temperature abuse in frozen stored products*. NPJ Science of Food, 3(1), s. 58-71.

zgodne z polityką zrównoważonego rozwoju i strategią ograniczania marnotrawstwa żywności, co z kolei ma pozytywny wpływ na wizerunek marki¹⁹³.

3.4. Technologie Przemysłu 5.0 stosowane w branży opakowaniowej

Rozwój Przemysłu 5.0 w branży opakowaniowej stwarza możliwość pełnej cyfryzacji i integracji procesów związanych z produkcją, magazynowaniem i dystrybucją produktów mrożonych. Internet Rzeczy (*IoT*) odgrywa tu kluczową rolę, umożliwiając ciągłe monitorowanie stanu przestrzeni ładunkowej. Czujniki umieszczone w chłodniach, kontenerach czy samochodach transportowych mierzą temperaturę, wilgotność, drgania oraz poziom zamrożenia produktów, a dane te przesyłane są w czasie rzeczywistym do centralnego systemu zarządzania^{194, 195}. Dzięki temu możliwe jest natychmiastowe wykrycie odchylenia od wymogów przechowywania – np. przerwy w łańcuchu chłodniczym – które mogłyby wpłynąć na jakość mrożonek. Systemy te mogą również automatycznie generować alerty dla operatorów logistyki, co minimalizuje ryzyko uszkodzenia produktów i pozwala zachować ich wartość sensoryczną i odżywczą^{196, 197}. Tego rodzaju monitorowanie przestrzeni ładunkowej nie tylko poprawia bezpieczeństwo, ale również zwiększa efektywność operacyjną, umożliwiając optymalizację rozmieszczenia produktów w chłodniach i kontenerach w zależności od ich wymagań temperaturowych. W kontekście integracji technologii Przemysłu 5.0 szczególnego znaczenia nabierają systemy automatycznej identyfikacji i gromadzenia danych, w tym kody QR oraz technologia RFID, które łączą fizyczny przepływ produktów mrożonych z ich cyfrową reprezentacją w systemach informacyjnych. Rozwiązania te umożliwiają jednoznaczną identyfikację opakowań jednostkowych, partii produkcyjnych oraz jednostek logistycznych, co stanowi podstawę zapewnienia identyfikowalności w całym

¹⁹³ 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), s. 517-525.

¹⁹⁴ Dhiman, T., Madan, P. (2025). *The role of Internet of Things (IoT) in enhancing real-time visibility, efficiency in Supply Chain 4.0*. OAJMR, 1(2), s. 18-26.

¹⁹⁵ Vasquez, J., Arroyo, M., Maguiña, M., Asto, M., Quincho, L., Cabrera, A. (2023). *Internet of things technologies applied in the supply chain. a systematic review*. Gestión De Operaciones Industriales, 2(1), s. 8-26.

¹⁹⁶ Yousefi, H., Su, H., Imani, S., Alkhalidi, K., Filipe, C., Didar, T. (2019). *Intelligent food packaging: a review of smart sensing technologies for monitoring food quality*. Acs Sensors, 4(4), s. 808-821.

¹⁹⁷ Surkunde, A., Jarad, R., Yadav, M., Suryavanshi, P., Bhavsar, P., Moholkar, P. (2024). *Transforming supply chain management with big data, iot innovations*. Interantional Journal of Scientific Research in Engineering, Management, 08(12), s. 1-7.

łańcuchu dostaw. Kody QR, dzięki wysokiej pojemności informacyjnej i możliwości szybkiego odczytu z wykorzystaniem urządzeń mobilnych, umożliwiają dostęp do danych dotyczących pochodzenia produktu, parametrów logistycznych czy historii dystrybucji. Wspiera to transparentność procesów oraz ułatwia dostęp do informacji wszystkim uczestnikom łańcucha dostaw, co stanowi jeden z kluczowych elementów cyfrowej transformacji logistyki żywności.

Szersze możliwości w zakresie automatyzacji monitorowania oferuje technologia RFID, która umożliwia bezkontaktową i jednoczesną identyfikację wielu obiektów, bez konieczności ich bezpośredniej widoczności. Ma to szczególne znaczenie w warunkach łańcucha chłodniczego, gdzie produkty mrożone przechowywane są w zamkniętych przestrzeniach magazynowych lub transportowych. Zastosowanie tagów RFID przystosowanych do pracy w niskich temperaturach umożliwia bieżące śledzenie lokalizacji produktów oraz automatyczne rejestrowanie operacji logistycznych, co ogranicza ryzyko błędów i zwiększa wiarygodność danych. Integracja technologii identyfikacyjnych z systemami logistycznymi umożliwia jednocześnie bieżące monitorowanie przepływu towarów oraz poprawę koordynacji procesów magazynowania i dystrybucji¹⁹⁸.

Zarówno kody QR, jak i RFID stanowią istotny element infrastruktury Internetu Rzeczy, umożliwiając powiązanie fizycznych produktów z systemami cyfrowymi gromadzącymi dane o ich przepływie i warunkach transportu. Informacje te mogą być integrowane z danymi pochodzącymi z czujników monitorujących przestrzeń ładunkową, w tym temperaturę, czas transportu czy warunki przechowywania, co pozwala na kompleksową kontrolę ciągłości łańcucha chłodniczego. Takie podejście zwiększa przejrzystość operacji logistycznych oraz umożliwia szybką identyfikację potencjalnych nieprawidłowości, co ma istotne znaczenie dla zapewnienia jakości i bezpieczeństwa produktów mrożonych¹⁹⁹.

W kolejnym etapie dane generowane przez technologie RFID i QR mogą być integrowane z systemami IoT. Dane gromadzone w ramach IoT mogą być następnie integrowane z technologią *blockchain*, tworząc zdecentralizowane, rozproszone rejestry

¹⁹⁸ Tokarski, D., Motowidlak, U. (2023). *Analysis of the types, effects of possible errors in the implementation of ecological reusable packaging into e-commerce using FMEA*. Economics, Environment, 85(2), s. 221-235.

¹⁹⁹ Ibidem.

wszystkich operacji logistycznych^{200, 201}. Każdy etap transportu – od momentu załadunku, przez transport drogowy lub morski, po przyjęcie w magazynie dystrybucyjnym – jest dokumentowany w formie cyfrowej, co uniemożliwia manipulację danymi i zwiększa transparentność procesów. W przypadku mrozonek, dla których kontrola temperatury jest krytyczna, *blockchain* w połączeniu z IoT pozwala na weryfikację, czy produkty były przechowywane i transportowane zgodnie z normami. Dodatkowo integracja tych technologii umożliwia automatyczne sprawdzanie zgodności z wymogami regulacyjnymi i standardami jakości, co jest istotne dla producentów działających na rynkach wymagających ścisłej kontroli bezpieczeństwa żywności^{202, 203}.

Kolejnym wymiarem Przemysłu 5.0 jest sztuczna inteligencja i analiza *Big Data*, które wspierają podejmowanie decyzji w czasie rzeczywistym na podstawie danych zebranych przez IoT i systemy *blockchain*. AI umożliwia przewidywanie ryzyka degradacji produktów, optymalizację poziomów zapasów oraz planowanie tras transportowych w oparciu o prognozowany popyt i zmienne warunki środowiskowe^{204, 205}. Systemy uczenia maszynowego analizują ogromne ilości danych, wykrywając subtelne wzorce, które mogą wskazywać na potencjalne problemy – np. zbyt częste otwieranie chłodni w czasie transportu, które wpływa na jakość mrozonek. Dzięki temu możliwe jest szybkie reagowanie na zakłócenia i prewencyjne podejmowanie działań korygujących, co znacząco zmniejsza straty i poprawia satysfakcję konsumentów. AI wspiera także symulacje zachowania produktów w różnych warunkach logistycznych – od drgań podczas transportu po zmiany temperatury w magazynach – umożliwiając projektowanie bardziej odpornych opakowań i lepsze planowanie łańcucha dostaw,²⁰⁶.

Technologie addytywne, w tym druk 3D, są kolejnym narzędziem umożliwiającym integrację innowacyjnych rozwiązań w logistyce produktów mrożonych. Druk 3D pozwala projektować i prototypować opakowania

²⁰⁰ Gopathoti, K. (2024). *Trustworthy, open supply chain management with Blockchain, Internet of Things*. International Journal of Scientific Methods in Intelligence Engineering Networks, 02(03), s. 34-40.

²⁰¹ Tasic, I., Cano, M. (2024). *An orchestrated iot-based blockchain system to foster innovation in agritech*. Iet Collaborative Intelligent Manufacturing, 6(2), s. 91-108.

²⁰² Morandé, S., Arshi, T., Gul, K., Amini, M., Tewari, V. (2023). *Tracing the future.*, s.156-174.

²⁰³ Kale, M., Rathod, P. (2023). *Agriculture food supply chain management system based on blockchain, IoT*. International Journal of Advanced Research in Science Communication, Technology, s. 757-760.

²⁰⁴ Varón, D., Tur-Viñes, V., Rabasa, A., Polotskaya, K. (2020). *An adaptive machine learning methodology applied to neuromarketing analysis: prediction of consumer behaviour regarding the key elements of the packaging design of an educational toy*. Social Sciences, 9(9), s. 162.

²⁰⁵ Gunaratne, N., Fuentes, S., Gunaratne, T., Torrico, D., Francis, C., Ashman, H., Dunshea, F. (2019). *Effects of packaging design on sensory liking, willingness to purchase: a study using novel chocolate packaging*. Heliyon, 5(6). s. 489

²⁰⁶ Ibidem.

zoptymalizowane pod kątem wytrzymałości mechanicznej i właściwości termicznych, a także zintegrować elementy wspomagające monitorowanie stanu przestrzeni ładunkowej – np. specjalne uchwyty dla czujników lub komory wentylacyjne poprawiające cyrkulację chłodnego powietrza^{207, 208}.

Technologie addytywne umożliwiają także personalizację opakowań i komponentów, takich jak wkładki zabezpieczające produkty lub elementy poprawiające ergonomię załadunku i rozładunku. Ponadto, druk 3D minimalizuje odpady materiałowe dzięki precyzyjnemu nakładaniu materiału warstwa po warstwie i pozwala testować różne konfiguracje opakowań w krótkim czasie, co przyspiesza proces wdrażania innowacji i zwiększa elastyczność produkcji^{209, 210}.

Pełna integracja technologii Przemysłu 5.0 – IoT, RFID/QR, *blockchain*, AI, *big data* i druku 3D – umożliwia tworzenie w pełni monitorowanych, elastycznych i odpornych łańcuchów dostaw dla produktów mrożonych. Połączenie monitorowania przestrzeni ładunkowej z analizą predykcyjną pozwala nie tylko minimalizować straty, ale również zapewnia spójne doświadczenie konsumenckie, zwiększa zaufanie do marki i ułatwia zgodność z regulacjami. W efekcie przedsiębiorstwa uzyskują przewagę konkurencyjną, a Klient 5.0 otrzymuje produkt wysokiej jakości, bezpieczny, transparentnie dostarczony i zoptymalizowany pod kątem zrównoważonego rozwoju^{211, 212, 213}.

²⁰⁷ Witek-Krowiak, A., Szopa, D., Anwajler, B. (2024). *Advanced packaging techniques—a mini-review of 3d printing potential*. *Materials*, 17(12), s. 2997.

²⁰⁸ Vilela, C., Moreirinha, C., Domingues, E., Figueiredo, F., Almeida, A., Freire, C. (2019). *Antimicrobial, conductive nanocellulose-based films for active, intelligent food packaging*. *Nanomaterials*, 9(7), s. 980-999.

²⁰⁹ Chen, J., Ren, Y., Seow, J., Liu, T., Bang, W., Yuk, H. (2012). *Intervention technologies for ensuring microbiological safety of meat: current, future trends*. *Comprehensive Reviews in Food Science, Food Safety*, 11(2), s. 119-132.

²¹⁰ Chavan, P., Yadav, R., Sharma, P., Jaiswal, A. (2023). *Laser light as an emerging method for sustainable food processing, packaging, testing*. *Foods*, 12(16), s. 2983.

²¹¹ Sallam, K., Mohamed, M., Mohamed, A. (2023). *Internet of things (iot) in supply chain management: challenges, opportunities, best practices*. *Sustain. Mach. Intell. J.*, 2., s. 17-31.

²¹² Aribi, H., Ghidaoui, M., Fattouch, S. (2023). *Monitoring environmental performance of agricultural supply chains using internet of things.*, s. 273-292.

²¹³ Rizki, M., Zarory, H., Luthfi, A. (2023). *Development of warehouse management system using IoT for halal supply chain*. *International Journal of Science, Society*, 5(5), s. 507-514.

3.5. Zrównoważone rozwiązania w opakowaniach

Unia Europejska, dążąc do transformacji gospodarczej w kierunku zrównoważonego rozwoju i gospodarki o obiegu zamkniętym, rozwija ramy regulacyjne mające na celu ograniczenie negatywnego wpływu opakowań na środowisko przy jednoczesnym zachowaniu bezpieczeństwa żywności i funkcjonalności opakowań. W kontekście opakowań jednostkowych produktów mrożonych, gdzie wymagania dotyczące bariery wilgoci i tlenu są szczególnie wysokie, regulacje UE mają kluczowe znaczenie zarówno dla rynku wewnętrznego, jak i dla handlu międzynarodowego.

Centralnym aktem regulacyjnym jest Pakiet opakowań i odpadów opakowaniowych – *Packaging and Packaging Waste Regulation* (PPWR), który zastępuje dyrektywę 94/62/WE²¹⁴. PPWR wprowadza obowiązkowe cele recyklingu, ocenę śladu węglowego oraz wymagania dotyczące projektowania opakowań z myślą o pełnej recyklowalności i minimalizacji odpadów. W przypadku żywności mrożonej regulacje te wpływają na dobór materiałów oraz konstrukcję opakowań, wymagając równocześnie zachowania wysokich standardów ochrony produktu w łańcuchu chłodniczym. Efektem jest konieczność dostosowania projektów do systemów recyklingu i kryteriów zrównoważoności, co ma bezpośredni wpływ na koszty produkcji i strategie materiałowe przedsiębiorstw działających na rynku UE^{215, 216}.

Równoległe do PPWR obowiązują regulacje dotyczące materiałów w kontakcie z żywnością, obejmujące ograniczenia migracji substancji chemicznych (*Specific Migration Limits* – SML), zasadę inertywności materiałów oraz dobre praktyki wytwarzania (*Good Manufacturing Practice* - GMP). W praktyce oznacza to, że materiały stosowane w opakowaniach jednostkowych produktów mrożonych muszą łączyć bezpieczeństwo zdrowotne, funkcjonalność i zrównoważoność, a ich wybór determinuje dopuszczalność importu i eksportu opakowań oraz produktów mrożonych w obrębie UE i poza nią²¹⁷.

²¹⁴ Regulation (EU) 2025/40 of the European Parliament and of the Council of 19 December 2024 on packaging and packaging waste, amending Regulation (EU) 2019/1020 and Directive (EU) 2019/904, and repealing Directive 94/62/EC https://environment.ec.europa.eu/topics/waste-and-recycling/packaging-waste/packaging-packaging-waste-regulation_en [01.02.2026]

²¹⁵ Angelovska, J., Stankov, N. A. (2025). *Packaging Waste Generation, Recycling in the Eu: Trends, Targets, Insights for a Circular Economy*. Challenges, Processes, Policies for a Circular Economy That Works for Consumers, s. 40-63.

²¹⁶ Klein, M., Neumair, C., Tacker, M., Apprich, S. (2025). *Technical Recyclability, Carbon Footprint of Packaging for Butter, Yogurt, Spreads*. *Recycling*, 10(2), s. 31.

²¹⁷ Møller, H., Rubach, S., Hanssen, O. J. (2010). *Evaluation of sustainable packaging in the norwegian shopping basket 2001–2007*. *Packaging Technology, Science*, 23(3), s. 135-144.

Dodatkowo, standardy raportowania zrównoważonego rozwoju, takie jak CSRD (*Corporate Sustainability Reporting Directive*) i powiązane ESRS (*European Sustainability Reporting Standards*), wprowadzają obowiązek sprawozdawczości dotyczącej opakowań, ich recyklingu i wpływu środowiskowego w łańcuchach dostaw. W handlu międzynarodowym jednolite raportowanie zwiększa przejrzystość i zaufanie między partnerami spoza UE, a także ułatwia ocenę zgodności środowiskowej i społecznej importowanych i eksportowanych produktów^{218, 219}.

Pomimo tych ram, UE nie wypracowała jeszcze jednolitych standardów technicznych dla zrównoważonych opakowań żywnościowych, w tym dla produktów mrożonych. Brak szczegółowych wymogów dotyczących minimalnego poziomu materiałów pochodzących z recyklingu, metod oceny recyklingu laminatów czy parametrów LCA sprawia, że przedsiębiorcy działający w tym sektorze napotykają niepewność regulacyjną. Różnice w interpretacji wymogów między państwami członkowskimi mogą prowadzić do trudności w projektowaniu uniwersalnych opakowań oraz wpływać na koszty i strategie handlowe w obrębie UE i w relacjach z partnerami spoza Wspólnoty^{220, 221}.

Projektowanie opakowań przeznaczonych do produktów mrożonych wymaga uwzględnienia specyficznych warunków funkcjonowania łańcucha chłodniczego, w którym temperatura przechowywania i transportu jest utrzymywana zazwyczaj poniżej -18°C . Utrzymanie stabilnych warunków termicznych determinowane jest nie tylko właściwościami samego materiału, ale również jego strukturą, grubością i sposobem formowania. Niewystarczająca izolacja może prowadzić do powstawania kondensacji pary wodnej na powierzchni produktu, co z kolei wpływa na pogorszenie jego cech sensorycznych, czego konsekwencją jest m.in. zbrylanie, utrata jędrności lub zmiana barwy²²². Materiały opakowaniowe odgrywają rolę w kontrolowaniu wilgotności

²¹⁸ Ljutić, I., Veledar, B., Gadžo, A., Knežević, M. (2024). *European Sustainability Reporting Standards: Lack of Progress, Alignment, Harmonization in Western Balkans*. *Economic Analysis*, 57(2), s. 36-48.

²¹⁹ Corapi, E. (2023). *Current Issues on the Transition to a Sustainable Economy in the European, Italian, Middle East Framework: Green Bonds Standards, Greenwashing*. *European Business Law Review*, 34(Issue 7), s. 1167-1192.

²²⁰ Angelovska, J., Stankov, N. A. (2025). *Packaging Waste Generation, Recycling in the Eu: Trends, Targets, Insights for a Circular Economy*. *Challenges, Processes, Policies for a Circular Economy That Works for Consumers*, s. 40-63.

²²¹ Petrenko, L., Puzko, S., Lavrenko, V., Герного, Ю. (2024). *Fostering Sustainable Packaging Industry: Global Trends, Challenges*. *European Journal of Sustainable Development*, 13(2), s. 63.

²²² Panfil-Kunczewicz, H., Lis, A., Majewska, M. (2014). *Effect of active packaging on microbiological shelf-life, sensory parameters of tvorog cheeses*. *Zywnosc Nauka Technologia Jakosc/Food Science Technology Quality*, 20(93), s. 190-204.

wewnątrz opakowania, gdyż nadmierna migracja wody może przyspieszać proces tzw. wysuszenia zamrażalniczego²²³. Właściwy dobór barier ma więc znaczenie nie tylko technologiczne, ale także ekonomiczne, ponieważ ograniczenie wymiany ciepła może zredukować częstotliwość pracy agregatów chłodniczych, co przekłada się na niższe zużycie energii w transporcie i magazynowaniu²²⁴.

Zachowanie integralności materiału opakowaniowego w niskich temperaturach jest kluczowym czynnikiem wpływającym na bezpieczeństwo zdrowotne i jakość mrożonych produktów. Mrożenie i długotrwałe przechowywanie wymagają stosowania tworzyw charakteryzujących się stabilnością strukturalną oraz ograniczoną migracją składników chemicznych do żywności. Wskazuje się, że właściwości te mają znaczenie szczególnie w produktach poddanych zamrażaniu wieloskładnikowemu, gdzie istnieje ryzyko reakcji między komponentami a opakowaniem²²⁵. Jednocześnie bariera wobec tlenu jest istotna z uwagi na możliwość zachodzenia procesów oksydacyjnych, które prowadzą do jełczenia tłuszczów oraz zmiany tekstury i zapachu. Rozwijanie systemów opakowań aktywnych, w których materiał wzbogacony jest o związki o działaniu przeciwutleniającym lub pochłaniającym wilgoć, umożliwi przedłużenie okresu przydatności przechowalniczej produktu²²⁶. Rozwiązania te wpisują się w tendencję poszukiwania opakowań pełniących funkcje ochronne nie tylko pasywnie, lecz również poprzez aktywną stabilizację środowiska wewnątrz opakowania²²⁷.

Rosnąca presja regulacyjna oraz potrzeba redukcji ilości odpadów skłaniają do wdrażania zasad „reduce / replace / redesign”. Ograniczanie masy opakowania pozwala zmniejszać zużycie surowców oraz energii w procesach produkcyjnych i logistycznych, natomiast zastępowanie tworzyw o dużym śladzie węglowym materiałami o niższym wpływie środowiskowym umożliwia poprawę wskaźników zrównoważenia bez pogarszania właściwości barierowych²²⁸.

²²³ Jeznach, M., Biliska, B., Tul-Krzyszczuk, A., Pawlak, A. (2017). *Rola opakowań aktywnych w ograniczaniu marnotrawstwa mięsa w gospodarstwach domowych*. *Zywnosc Nauka Technologia Jakosc/Food Science Technology Quality*, 113(4), s.126-136.

²²⁴ Pająk, P., Rożnowski, J. (2024). *Skrobia ziemniaczana i inne biopolimery jako alternatywa dla tworzyw sztucznych – przepisy prawne, możliwości i wyzwania dla branży opakowaniowej*. *Zywnosc Nauka Technologia Jakosc/Food Science Technology Quality*, 31(1), s. 23-46.

²²⁵ Pająk, P., Fortuna, T., Przetaczek-Rożnowska, I. (2013). *Protein-, polysaccharide-based edible packagings: profile, applications*. *Zywnosc Nauka Technologia Jakosc/Food Science Technology Quality*, s. 5-18.

²²⁶ Mikus, M., Galus, S. (2023). *Biopolimerowe materiały aktywne do żywności*. *Zywnosc Nauka Technologia Jakosc/Food Science Technology Quality*, 30(2), s. 18-32.

²²⁷ Duncan, T. (2011). *Applications of nanotechnology in food packaging, food safety: barrier materials, antimicrobials, sensors*. *Journal of Colloid, Interface Science*, 363(1), s. 1-24.

²²⁸ Wojciechowska, P. (2019). *Materiały hybrydowe w innowacjach opakowaniowych*, s. 109

Modernizacja konstrukcji może obejmować m.in. projektowanie struktur materiałowych o zoptymalizowanej grubości, dodawanie warstw funkcjonalnych lub stosowanie kompozytów bio-pochodnych, co pozwala na redukcję odpadów i bardziej efektywne zagospodarowanie surowców w całym cyklu życia opakowania ²²⁹. Projektowanie opakowań do produktów mrożonych wymaga więc łączenia wymagań fizykochemicznych z odpowiedzialnością środowiskową. Rozwiązania, które równocześnie chronią stabilność jakościową żywności, ograniczają migrację gazów oraz wspierają efektywność energetyczną systemów chłodniczych, mogą stanowić realny krok w stronę zmniejszania wpływu opakowań na środowisko. Integracja zasad zrównoważonego projektowania z kryteriami barierowymi i trwałościowymi staje się jednym z kluczowych kierunków rozwoju opakowań dla mrożonek.

Rozwój materiałów opakowaniowych w kierunku zrównoważonego rozwoju staje się szczególnie istotny w przypadku produktów mrożonych, gdzie wymagania funkcjonalne stawiają wysokie bariery dla zastosowania materiałów ekologicznych. Biopolimery, takie jak poli(laktyd) (PLA), polihydroksyalkanoaty (PHA), skrobia modyfikowana oraz chitozan, wykazują potencjał w zastępowaniu tworzyw petrochemicznych, jednocześnie spełniając wymagania wytrzymałościowe i barierowe ²³⁰. PLA cechuje się dobrą przetwarzalnością w procesie wytłaczania i formowania, jednak w warunkach wysokiej wilgotności lub przy długotrwałym przechowywaniu w niskich temperaturach może dochodzić do osłabienia właściwości mechanicznych materiału, co ogranicza jego zastosowanie w opakowaniach dla głęboko mrożonych produktów ²³¹. Chitozan, pozyskiwany z chityny, dzięki swoim właściwościom antybakteryjnym i barierowym wobec tlenu oraz wilgoci, stanowi materiał zwiększający bezpieczeństwo mikrobiologiczne przechowywanej żywności, a jednocześnie nadaje się do współpracy z innymi biopolimerami w tworzeniu kompozytów bioaktywnych ²³². Skrobia modyfikowana, z uwagi na możliwość dostosowywania właściwości mechanicznych i elastyczności, pozwala na opracowywanie materiałów odpornych na niskie temperatury oraz zmiany

²²⁹ Cierpiszewski, R. (2021). *Wykorzystanie nanokompozytów polimerowych zawierających nanocząstki metali jako materiałów opakowaniowych*. Engineering Sciences, Technologies, 2021(1(37)), s. 57-74.

²³⁰ Phupoksakul, T., Leuangasukrer, M., Somwangthanaroj, A., Tananuwong, K., Janjarasskul, T. (2017). *Storage stability of packaged baby formula in poly(lactide)-whey protein isolate laminated pouch*. Journal of the Science of Food, Agriculture, 97(10), s. 3365-3373.

²³¹ Ibidem.

²³² Babaei-Ghazvini, A., Acharya, B., Korber, D. (2021). *Antimicrobial biodegradable food packaging based on chitosan, metal/metal-oxide bio-nanocomposites: a review*. Polymers, 13(16), s. 2790.

wilgotności, co jest istotne w projektowaniu opakowań funkcjonalnych i biodegradowalnych²³³.

Monomateriały projektowane pod kątem recyklingu, w tym polietylen (PE) i polipropylen (PP), umożliwiają efektywne przetwarzanie i ponowne wykorzystanie surowców. Ich stosowanie zmniejsza ryzyko kontaminacji materiałowej w procesie recyklingu, co jest szczególnie istotne w branży spożywczej, gdzie wymogi sanitarno-higieniczne są rygorystyczne²³⁴. Monomateriały z recyklingu, takie jak rPET, po odpowiednim procesie oczyszczania zachowują właściwości barierowe i mechaniczne umożliwiające ponowne zastosowanie w opakowaniach do kontaktu z żywnością²³⁵. Dodatkowo, rozwój mono-materiałów otwiera możliwości projektowania opakowań w duchu cyrkularności, w której materiał może być wielokrotnie przetwarzany bez istotnej utraty jakości.

Tworzywa pochodzące z recyklingu, dopuszczone do kontaktu z żywnością, mają znaczący wpływ na ograniczenie zużycia surowców pierwotnych oraz redukcję śladu środowiskowego produkcji opakowań. Materiały takie jak rPET wykazują stabilność wymiarową, odporność mechaniczną i zachowują właściwości barierowe niezbędne dla produktów mrożonych²³⁶. Nowoczesne technologie recyklingu umożliwiają również modyfikację właściwości tych tworzyw, tak aby łączyły w sobie funkcjonalność opakowania z ekologiczną odpowiedzialnością²³⁷. Badania nad biokompozytami wskazują na możliwość tworzenia materiałów o poprawionych parametrach barierowych i mechanicznych przy zachowaniu biodegradowalności, co pozwala na opracowywanie opakowań dostosowanych do specyfiki produktów mrożonych oraz wymogów środowiskowych²³⁸.

²³³ Yue, C., Wang, W., Hou, H., Cui, B. (2024). *A highly hydrophobic sustainable starch/gelatin-beeswax biodegradable film: easy to industrial scale-up, recyclable, suitable for multiple packaging application scenarios*. *Acs Sustainable Chemistry, Engineering*, 12(19), s. 7351-7362.

²³⁴ Șomoghi, R., Mihai, S., Oancea, F. (2025). *An overview of bio-based polymers with potential for food packaging applications*. *Polymers*, 17(17), s. 2335.

²³⁵ Li, X., Meng, L., Zhang, Y., Qin, Z., Meng, L., Li, C., Liu, M. (2022). *Research, application of polypropylene carbonate composite materials: a review*. *Polymers*, 14(11), s. 2159.

²³⁶ Armentano, I., Fortunati, E., Burgos, N., Dominici, F., Luzi, F., Fiori, S., Kenny, J. (2015). *Processing, characterization of plasticized pla/phb blends for biodegradable multiphase systems*. *Express Polymer Letters*, 9(7), s. 583-596.

²³⁷ Koreshkov, M., Antreich, S., Bismarck, A., Fritz, I., Reimhult, E., Takatsuna, Y., Zirbs, R. (2024). *Sustainable food packaging using modified sio2 nanofillers in biodegradable polymers*. *Materials Chemistry Frontiers*, 8(16), s. 2754-2763.

²³⁸ Vlad-Bubulac, T., Hamciuc, C., Serbezeanu, D., Suflet, D., Rusu, D., Lisă, G., Rimbu, C. (2023). *Organophosphorus reinforced poly(vinyl alcohol) nanocomposites doped with silver-loaded zeolite 1 nanoparticles as sustainable materials for packaging applications*. *Polymers*, 15(11), s. 2573.

Tabela 6. Zestawienie wybranych materiałów i ich charakterystyka

Material	Typ	Właściwości barierowe	Właściwości funkcjonalne	Ograniczenia / uwagi	Źródło
Polilaktyd (PLA)	Biopolimer	Umiarkowana bariera na wilgoć i gaz	Dobra przetwarzalność, sztywność	Niska odporność na wilgoć w niskich temperaturach	Phupoksa kul et al., 2017
Polihydroksyalkanoaty (PHA)	Biopolimer	Dobra bariera na tlen i CO ₂	Biodegradowalność, wytrzymałość mechaniczna	Koszt produkcji wyższy niż dla PLA	Yue et al., 2024
Chitozan	Biopolimer	Wysoka bariera na tlen i wilgoć	Antybakteryjny, przydatny w kompozytach	Ograniczona dostępność surowca	Babaei-Ghazvini et al., 2021
Skrobia modyfikowana	Biopolimer	Umiarkowana bariera na zmiany wilgotności i niską temperaturę	Możliwość modyfikacji właściwości mechanicznych	Wrażliwość na wilgoć, wymaga kompozytowania	Yue et al., 2024
Polietylen (PE)	Monomateriał	Dobra bariera na wilgoć	Elastyczny, łatwy do przetwarzania	Ograniczona bariera na tlen	Şomoghi et al., 2025
Polipropylen (PP)	Monomateriał	Umiarkowana bariera na gaz i wilgoć	Odporność mechaniczna, wysoka trwałość	Trudniejszy do barwienia i laminowania	Şomoghi et al., 2025
rPET	Monomateriał z recyklingu	Dobra bariera na tlen i CO ₂	Stabilność wymiarowa, możliwość ponownego użycia	Wymaga oczyszczenia i kontroli jakości	Li et al., 2022; Armentano et al., 2015

Źródło: Opracowanie własne.

W Tabeli 6 przedstawiono charakterystykę wybranych materiałów. Integracja biopolimerów, monomateriałów i tworzyw pochodzących z recyklingu umożliwia osiągnięcie kompromisu między wymaganiami funkcjonalnymi, barierowymi i środowiskowymi. Materiały te pozwalają na zachowanie jakości żywności, ograniczenie migracji substancji, zapewnienie trwałości opakowań w niskich temperaturach oraz

redukcję ilości odpadów, co wpisuje się w strategię zrównoważonego projektowania w duchu Przemysłu 5.0. Efektywne wykorzystanie tych materiałów wymaga jednak stałego monitorowania właściwości oraz wdrażania innowacyjnych rozwiązań w procesie produkcji i modyfikacji materiałów.

Opakowania jednostkowe produktów mrożonych wymagają zastosowania technologii poprawiających zarówno barierowość, jak i funkcjonalność materiału, aby chronić produkt w ekstremalnych warunkach niskotemperaturowych. Powłoki antyoksydacyjne i przeciwmikrobiologiczne stanowią efektywną strategię ograniczania degradacji produktu. Stosowanie ekstraktów roślinnych, takich jak cynamaldehyd czy katechiny, w kompozytach polimerowych pozwala na ograniczenie utleniania lipidów i rozwój mikroorganizmów, co bezpośrednio przekłada się na wydłużenie trwałości mrożonych produktów spożywczych²³⁹. *Electrospraying* umożliwia nanoszenie powłok w postaci jednorodnej, cienkiej warstwy, dzięki czemu nie zwiększa się grubość opakowania, a jednocześnie zachowane są optymalne właściwości barierowe i aktywne funkcje ochronne²⁴⁰.

Nanowarstwy, w szczególności SiO₂ i Al₂O₃, umożliwiają tworzenie skutecznych barier dla pary wodnej, tlenu i innych gazów, co jest niezbędne do zachowania jakości sensorycznej produktów mrożonych²⁴¹. Warstwy te mogą być nanoszone na powierzchnię polimerów lub integrowane w strukturze hybrydowej, co pozwala łączyć wysoką barierowość z elastycznością i odpornością mechaniczną opakowania. Wykorzystanie technologii PVD i CVD umożliwia kontrolę grubości powłoki na poziomie nanometrów, a także pozwala na wprowadzanie funkcji dodatkowych, takich jak działanie przeciwbakteryjne lub kontrola migracji tlenu²⁴². W opakowaniach jednostkowych mrozonek nanowarstwy wspierają również utrzymanie integralności produktu podczas transportu i magazynowania w łańcuchu chłodniczym.

²³⁹ Villegas, C., Talón, E., Chiralt, A., Torres, A., Romero, J., Galotto, M., Guarda, A. (2025). *Improving the oxidative stability of sunflower oil through supercritical impregnation-assisted pla/cinnamaldehyde active packaging*. *Acs Food Science, Technology*, 5(1), s. 350-358.

²⁴⁰ Archaviboonyobul, T., Jinkam, T., Sane, S., Chariyachotilert, S., Kongcharoenkiat, S. (2013). *Water resistance, barrier properties improvement of paperboard by poly(lactic acid) electrospraying*. *Packaging Technology, Science*, 27(5), s. 341-352.

²⁴¹ Hämäläinen, R., Kivinen, P., Koppolu, R., Nissinen, E., Anghelescu-Hakala, A. (2025). *Bio-based aqueous dispersions based on unsaturated pla polymers for barrier packaging applications*. *Polymers*, 17(18), s. 2467-2481.

²⁴² Archaviboonyobul, T., Jinkam, T., Sane, S., Chariyachotilert, S., Kongcharoenkiat, S. (2013). *Water resistance, barrier properties improvement of paperboard by poly(lactic acid) electrospraying*. *Packaging Technology, Science*, 27(5), s. 341-352.

Koekstruzja i laminacja stanowią podstawę do tworzenia opakowań wielowarstwowych, które łączą różne funkcje w jednej strukturze. Warstwa wewnętrzna może pełnić funkcję ochrony przed tlenem i wilgocią, warstwa środkowa zapewnia wytrzymałość mechaniczną, natomiast zewnętrzna warstwa może posiadać właściwości antibakteryjne lub antyoksydacyjne²⁴³. Koekstruzja umożliwia integrację bioaktywnych komponentów, takich jak naturalne związki przeciwdziałające utlenianiu, z polimerami syntetycznymi, co pozwala na stworzenie funkcjonalnych opakowań mrożonek przy minimalnym zużyciu materiałów²⁴⁴. Laminacja zaprojektowana z myślą o recyklingu umożliwia łatwe rozdzielanie warstw w procesach wtórnego przetwarzania, zachowując przy tym wysoką barierowość i trwałość opakowania.

Hybrydowe systemy powłokowe, które łączą nanowarstwy z powłokami bioaktywnymi oraz warstwami funkcjonalnymi, pozwalają na uzyskanie synergistycznych efektów. Takie podejście umożliwia jednocześnie poprawienie odporności na tlen i wilgoć, ograniczenie procesów mikrobiologicznych oraz zachowanie elastyczności i wytrzymałości mechanicznej. Ponadto, możliwość wprowadzania struktur gradientowych w warstwach nanowarstwowych pozwala dostosować właściwości barierowe w zależności od położenia w opakowaniu, co zwiększa efektywność ochrony mrożonych produktów²⁴⁵. Włączenie powłok funkcjonalnych, nanowarstw oraz technologii koekstruzji i laminacji w projektowanie opakowań jednostkowych produktów mrożonych pozwala na znaczną poprawę ochrony jakościowej i sensorycznej produktu, przy jednoczesnym ograniczeniu negatywnego wpływu opakowania na środowisko. Wydajne stosowanie tych technologii umożliwia projektowanie materiałów funkcjonalnych i zrównoważonych, które zapewniają trwałość, bezpieczeństwo mikrobiologiczne oraz zgodność z zasadami recyklingu, wspierając innowacyjne rozwiązania zgodne z ideą Przemysłu 5.0.

Wdrażanie gospodarki o obiegu zamkniętym w kontekście opakowań jednostkowych produktów mrożonych wymaga zmiany podejścia do całego cyklu życia materiałów. Proces recyklingu, zarówno mechaniczny, jak i chemiczny, pozwala

²⁴³ Shamsuri, A., Jamil, S. (2020). *Functional properties of biopolymer-based films modified with surfactants: a brief review*. Processes, 8(9), s. 1039-1050.

²⁴⁴ Lim, K., Kim, D., Kong, J., Choi, B., Seo, W., Yu, J., Choi, W. (2020). *Ultralow water permeation barrier films of triad a-sinx:h/n-sioxny/h-siox structure for organic light-emitting diodes*. Acs Applied Materials, Interfaces, 12(28), s. 32106-32118.

²⁴⁵ Archaviboonyobul, T., Jinkam, T., Sane, S., Chariyachotilert, S., Kongcharoenkiat, S. (2013). *Water resistance, barrier properties improvement of paperboard by poly(lactic acid) electrospinning*. Packaging Technology, Science, 27(5), s. 341-352.

przekształcić odpady powstałe w wyniku produkcji i konsumpcji w surowce gotowe do ponownego wykorzystania. Folie termokurczliwe, które chronią produkty w łańcuchu chłodniczym, mogą zostać poddane procesom oczyszczania i przetworzenia, co zmniejsza obciążenie środowiska i ogranicza zależność od surowców pierwotnych. Analizy cyklu życia materiałów opakowaniowych potwierdzają, że odzysk tworzyw znacząco wpływa na redukcję emisji gazów cieplarnianych i innych negatywnych skutków dla ekosystemów²⁴⁶.

Materiałowa prostota jest kluczem do efektywnego recyklingu. Opakowania wykonane z materiałów jednorodnych, takich jak PE-PE czy PP-PP, ułatwiają cały proces odzysku, ponieważ brak mieszanki różnych polimerów pozwala uniknąć trudności związanych z separacją i ogranicza straty materiałowe. Jednocześnie zastosowanie tworzyw pochodzących z recyklingu, w tym rPET, staje się elementem strategii zrównoważonego rozwoju. Surowce wtórne, po odpowiednim oczyszczeniu i kontroli jakości, mogą być ponownie wykorzystane do produkcji nowych opakowań, zachowując wymagania dotyczące barierowości, wytrzymałości i bezpieczeństwa kontaktu z żywnością²⁴⁷. Taki proces przyczynia się nie tylko do ograniczenia zużycia surowców pierwotnych, lecz również do zmniejszenia negatywnego wpływu na środowisko naturalne w całym cyklu produkcyjnym.

Wielowarstwowe materiały, które zapewniają wysoką ochronę produktów mrożonych przed wilgocią, tlenem i zmianami tekstury, stawiają wyzwania w kontekście recyklingu. Pomimo swoich zalet w ochronie jakości żywności, złożona struktura warstw utrudnia proces odzysku. W tym przypadku zastosowanie metod delaminacji oraz systemów znakowania i segregacji umożliwia poprawę efektywności recyklingu. Innowacyjne podejścia pozwalają uzyskać kompromis między skuteczną ochroną produktów a możliwością ponownego wykorzystania materiału, co jest kluczowe w strategiach GOZ^{248, 249}. Równoległe do kwestii materiałowych, znaczenie mają aspekty regulacyjne i systemowe. Wdrożenie wymogów dotyczących projektowania opakowań w pełni recyklowalnych może przyspieszyć transformację branży opakowań

²⁴⁶ Walichnowska, P., Flizikowski, J., Tomporowski, A., Opielak, M., Cieślik, W. (2025). *The environmental analysis of the post-use management scenarios of the heat-shrinkable film*. Polymers, 17(5), s. 690.

²⁴⁷ Franz, R., Welle, F. (2022). *Recycling of post-consumer packaging materials into new food packaging applications—critical review of the european approach, future perspectives*. Sustainability, 14(2), s. 824.

²⁴⁸ Barros, C., Carneiro, O., Machado, A. (2024). *Feasibility of incorporating recycled multilayer ldpe/evoh films into flexible packaging*. Polymer Engineering, Science, 64(8), s. 3530-3542.

²⁴⁹ Kaiser, K., Schmid, M., Schlummer, M. (2017). *Recycling of polymer-based multilayer packaging: a review*. Recycling, 3(1), 1-18.

jednostkowych mrozonek w kierunku zrównoważonego rozwoju. Wspieranie inicjatyw, które upraszczają procesy logistyczne w zakresie zbierania, segregowania i ponownego przetwarzania odpadów, umożliwi skuteczniejsze zamknięcie cyklu materiałowego²⁵⁰. W tym kontekście regulacje prawne stają się nie tylko narzędziem ochrony środowiska, lecz również mechanizmem wspierającym efektywność ekonomiczną procesów²⁵¹.

Efektywne wprowadzenie GOZ wymaga spojrzenia na cały łańcuch dostaw jako zintegrowany system, w którym technologie materiałowe, procesy recyklingu i działania logistyczne współgrają ze sobą. Dobór odpowiednich materiałów, zastosowanie nowoczesnych metod przetwarzania oraz optymalizacja systemów zbierania odpadów tworzą synergiczny efekt. Dzięki temu opakowania jednostkowe produktów mrożonych nie tylko chronią jakość żywności w niskich temperaturach, lecz również przyczyniają się do zmniejszenia ilości odpadów, ograniczenia zużycia surowców pierwotnych i redukcji negatywnego wpływu na środowisko. W praktyce oznacza to, że zrównoważone projektowanie w kontekście GOZ staje się integralną częścią strategii branży opakowań jednostkowych.

Materiały o wysokiej barierowości i odporności na ekstremalne warunki temperaturowe pozwalają nie tylko na zachowanie jakości produktów mrożonych w łańcuchu chłodniczym, lecz także determinują możliwość ich dalszego wykorzystania w procesach recyklingu²⁵². Stosowanie polimerów jednorodnych, takich jak PE i PP, ułatwia segregację i ponowne przetwarzanie, w przeciwieństwie do kompozycji wielomateriałowych, które wymagają zaawansowanych metod, takich jak delaminacja²⁵³. Technologie poprawiające właściwości barierowe materiałów, takie jak nanowarstwy SiO₂ i Al₂O₃, powłoki antyoksydacyjne czy techniki koekstruzji i laminacji, mają istotny wpływ na równoważenie wymagań funkcjonalnych i środowiskowych²⁵⁴. Powłoki te umożliwiają zwiększenie trwałości materiału przy jednoczesnym ograniczeniu jego masy, co sprzyja późniejszej recyklowalności. Integracja materiałów aktywnych lub bioaktywnych w strukturach opakowań pozwala osiągnąć efekt synergii – poprawia

²⁵⁰ Waal, I. (2023). *The legal transition towards a more circular plastic packaging chain: a case study of the Netherlands*. European Energy, Environmental Law Review, 32(Issue 5), s. 226-247.

²⁵¹ Hahladakis, J., Iacovidou, E. (2018). *Closing the loop on plastic packaging materials: what is quality, how does it affect their circularity?*. The Science of the Total Environment, 630, s.1394-1400.

²⁵² Vasylius, M., Tadžijevas, A., Šapalas, D., Kartašovas, V., Janutėnienė, J., Mažeika, P. (2023). *Degradation of mechanical properties of a-pet films after uv aging*. Polymers, 15(20), s. 4166.

²⁵³ Barros, C., Carneiro, O., Machado, A. (2024). *Feasibility of incorporating recycled multilayer ldpe/evoh films into flexible packaging*. Polymer Engineering, Science, 64(8), s.3530-3542.

²⁵⁴ Hämäläinen, R., Kivinen, P., Koppolu, R., Nissinen, E., Angheliescu-Hakala, A. (2025). *Bio-based aqueous dispersions based on unsaturated pla polymers for barrier packaging applications*. Polymers, 17(18), s.2467.

właściwości ochronne produktu, zachowując zgodność z zasadami gospodarki o obiegu zamkniętym²⁵⁵.

Obecny kierunek rozwoju obejmuje zwiększenie kompatybilności materiałów z procesami recyklingu, rozwój biopolimerów o poprawionych właściwościach barierowych oraz integrację rozwiązań hybrydowych, które łączą trwałość z recyklowalnością^{256, 257}. Analizy cyklu życia (LCA) potwierdzają, że stosowanie materiałów pochodzących z recyklingu, takich jak rPET, przyczynia się do zmniejszenia negatywnego wpływu opakowań jednostkowych na środowisko, jednocześnie utrzymując ich funkcjonalność w niskotemperaturowym przechowywaniu²⁵⁸. Tego typu kierunki rozwoju technologicznego nie są spekulacyjne – opierają się na istniejących badaniach i wdrożeniach w branży opakowań jednostkowych produktów mrożonych, potwierdzając realne możliwości zrównoważonego projektowania materiałowego.

3.6. Wnioski

Przeprowadzona analiza literatury umożliwiła ocenę możliwości wykorzystania technologii charakterystycznych dla piątej rewolucji przemysłowej w projektowaniu i produkcji opakowań jednostkowych produktów mrożonych w celu poprawy ich jakości. W odróżnieniu od wcześniejszych modeli rozwoju przemysłowego koncepcja ta koncentruje się nie tylko na automatyzacji i efektywności procesów, lecz również na integracji rozwiązań cyfrowych z potrzebami użytkownika oraz zasadami zrównoważonego rozwoju. W rezultacie opakowanie jednostkowe przestaje być wyłącznie pasywnym elementem ochronnym, a staje się aktywnym komponentem systemu wspierającego zarządzanie jakością produktu, przepływem informacji oraz ograniczaniem oddziaływania na środowisko.

Przegląd publikacji wykazał, że szczególne znaczenie w tym zakresie mają rozwiązania umożliwiające gromadzenie, przetwarzanie i udostępnianie danych, takie jak

²⁵⁵ Villegas, C., Talón, E., Chiralt, A., Torres, A., Romero, J., Galotto, M., ..., Guarda, A. (2025). *Improving the oxidative stability of sunflower oil through supercritical impregnation-assisted pla/cinnamaldehyde active packaging*. *Acs Food Science, Technology*, 5(1), s. 350-358.

²⁵⁶ Franz, R., Welle, F. (2022). *Recycling of post-consumer packaging materials into new food packaging applications—critical review of the european approach, future perspectives*. *Sustainability*, 14(2), s. 824.

²⁵⁷ Shamsuri, A., Jamil, S. (2020). *Functional properties of biopolymer-based films modified with surfactants: a brief review*. *Processes*, 8(9), s.1039.

²⁵⁸ Gabirondo, E., Meléndez-Rodríguez, B., Arnal, C., Lagarón, J., Ilarduya, A., Sardón, H., Torres-Giner, S. (2020). *Organocatalyzed closed-loop chemical recycling of thermo-compressed food packaging films of poly(ethylene furanoate)*. *Polymer Chemistry*, 20/12, s. 1571-1580.

systemy RFID, kody QR, Internet Rzeczy oraz narzędzia oparte na technologii blockchain. Ich zastosowanie pozwala na monitorowanie warunków przechowywania i transportu produktów mrożonych, identyfikację potencjalnych nieprawidłowości oraz zwiększenie przejrzystości łańcucha dostaw. W konsekwencji przyczyniają się one do zwiększenia niezawodności opakowań, poprawy bezpieczeństwa żywności oraz ograniczenia strat wynikających z pogorszenia jakości produktu. Jednocześnie rozwiązania te odpowiadają na rosnące oczekiwania Klienta 5.0 w zakresie dostępu do informacji o produkcie, jego pochodzeniu oraz wpływie na środowisko, co wskazuje na ich istotne znaczenie w procesie dostosowywania opakowań do wymagań współczesnego rynku.

Istotnym kierunkiem rozwoju, zidentyfikowanym na podstawie literatury, jest również zastosowanie narzędzi cyfrowych wspierających proces projektowania i doskonalenia opakowań, w tym modelowania komputerowego, symulacji oraz technologii addytywnych. Umożliwiają one opracowywanie konstrukcji lepiej dopasowanych do specyfiki produktów mrożonych, uwzględniających zarówno wymagania mechaniczne i barierowe, jak i konieczność ograniczania zużycia materiałów. Pozwala to na bardziej świadome kształtowanie parametrów opakowania oraz podejmowanie decyzji projektowych w oparciu o analizę danych, zwiększając potencjał poprawy jakości funkcjonalnej oraz efektywności materiałowej.

Przeprowadzona analiza i ocena potwierdziła również rosnące znaczenie zrównoważonych rozwiązań materiałowych i konstrukcyjnych, obejmujących stosowanie materiałów nadających się do recyklingu, redukcję masy opakowania oraz projektowanie zgodne z zasadami gospodarki o obiegu zamkniętym. W przypadku opakowań przeznaczonych do produktów mrożonych działania te muszą uwzględniać specyficzne wymagania związane z koniecznością zapewnienia odpowiedniej barierowości, odporności na niskie temperatury oraz zachowania bezpieczeństwa żywności. Literatura wskazuje, że rozwiązania właściwe dla piątej rewolucji przemysłowej wspierają realizację tych celów poprzez optymalizację konstrukcji, lepsze dopasowanie materiałów do warunków eksploatacji oraz zwiększenie kontroli nad funkcjonowaniem opakowania w całym cyklu życia.

Jednocześnie analiza wykazała, że rozwój zrównoważonych opakowań odbywa się w warunkach niepełnej harmonizacji wymagań i standardów, co stanowi dodatkowe wyzwanie dla ich projektowania i wdrażania. Zróżnicowanie podejść technologicznych, materiałowych oraz organizacyjnych powoduje konieczność uwzględniania wielu

czynników wpływających na końcową jakość rozwiązania opakowaniowego. Wskazuje to na istotną rolę technologii cyfrowych jako narzędzi wspierających integrację danych, analizę parametrów eksploatacyjnych oraz doskonalenie opakowań w sposób odpowiadający zarówno wymaganiom funkcjonalnym, jak i środowiskowym.

W świetle przeprowadzonej analizy i oceny należy stwierdzić, że innowacje charakterystyczne dla piątej rewolucji przemysłowej, w tym technologie identyfikacyjne, systemy monitorowania, narzędzia cyfrowego projektowania oraz rozwój nowych materiałów, tworzą realne możliwości zwiększenia jakości opakowań jednostkowych produktów mrożonych. Umożliwiają one poprawę właściwości ochronnych, zwiększenie funkcjonalności informacyjnych oraz bardziej efektywne wykorzystanie zasobów materiałowych, przy jednoczesnym uwzględnieniu oczekiwań Klienta 5.0. W przeciwieństwie do wcześniejszych modeli jego potrzeby nie ograniczają się wyłącznie do podstawowych funkcji ochronnych opakowania, lecz obejmują także dostęp do informacji, przejrzystość łańcucha dostaw, bezpieczeństwo użytkowania oraz zgodność z zasadami zrównoważonego rozwoju.

Uzyskane wyniki analizy literatury pozwalają uznać, że rozwiązania charakterystyczne dla piątej rewolucji przemysłowej istotnie zwiększają potencjał podnoszenia funkcjonalnej i środowiskowej jakości opakowań jednostkowych produktów mrożonych. Wskazuje to na ich znaczącą rolę w rozwoju nowoczesnych rozwiązań opakowaniowych, zdolnych do spełniania zarówno wymagań jakościowych i logistycznych, jak i rosnących oczekiwań środowiskowych oraz informacyjnych. Potwierdza to zasadność uwzględniania tych rozwiązań w procesie projektowania i produkcji opakowań tej grupy produktów, co pozwala na pozytywną weryfikację hipotezy szczegółowej 2.

4. Wpływ opakowań jednostkowych produktów mrożonych na decyzje zakupowe konsumentów

Istotną dla dalszych badań i rozważań jest identyfikacja cech jakościowych opakowań jednostkowych produktów mrożonych, które mają największy wpływ na decyzje zakupowe konsumentów, a także określenie ich oczekiwań wobec kierunków rozwoju opakowań w dobie Przemysłu 5.0. Wspomniana identyfikacja opiera się na wynikach badań empirycznych przeprowadzonych z zastosowaniem komplementarnych metod jakościowych i ilościowych, co umożliwiło wielowymiarowe ujęcie badanego zjawiska. Badania jakościowe, realizowane w formie wywiadów w grupach fokusowych, pozwoliły na pogłębione rozpoznanie postaw, opinii i percepcji konsumentów wobec opakowań produktów mrożonych oraz lepsze zrozumienie mechanizmów stojących za ich decyzjami zakupowymi. Z kolei badanie ilościowe w postaci sondażu konsumentckiego umożliwiło identyfikację skali i natężenia analizowanych zjawisk, a także weryfikację zależności pomiędzy wybranymi cechami jakościowymi opakowań a zachowaniami zakupowymi respondentów.

4.1. Znaczenie oczekiwań konsumentów w projektowaniu opakowań

Badania konsumentckie umożliwiają identyfikację czynników jakościowych opakowań, które są postrzegane przez użytkowników jako istotne na etapie wyboru produktu. Pozwalają one na rozpoznanie hierarchii cech takich jak funkcjonalność, czytelność informacji, bezpieczeństwo użytkowania, oddziaływanie ekologiczne czy innowacyjność rozwiązań technologicznych. W kontekście piątej rewolucji przemysłowej szczególnego znaczenia nabiera także analiza akceptacji konsumentów wobec opakowań inteligentnych i aktywnych, które łączą funkcje ochronne z możliwością monitorowania jakości i warunków przechowywania żywności.

Zastosowanie badań konsumentckich w niniejszej rozprawie wpisuje się w podejście zorientowane na użytkownika (*human-centric design*), charakterystyczne dla koncepcji Przemysłu 5.0. Pozwala ono na uwzględnienie perspektywy odbiorcy końcowego już na etapie projektowania i doskonalenia funkcjonujących opakowań, a nie jedynie na etapie oceny ich efektywności rynkowej. Takie podejście sprzyja tworzeniu rozwiązań lepiej dostosowanych do realnych potrzeb użytkowników, a jednocześnie

zgodnych z celami zrównoważonego rozwoju. W badaniach nad zachowaniami konsumentów zasadne jest łączenie metod jakościowych i ilościowych, co umożliwia zarówno pogłębione zrozumienie motywacji i oczekiwań nabywców, jak i ocenę skali oraz znaczenia poszczególnych czynników decyzyjnych. Metody jakościowe pozwalają na eksplorację postaw, skojarzeń i opinii konsumentów, natomiast badania ilościowe umożliwiają ich uogólnienie i weryfikację w szerszej populacji. Zwiększa to rzetelność i wiarygodność uzyskanych wyników oraz stanowi solidną podstawę do formułowania wniosków aplikacyjnych.

Uwzględnienie badań konsumenckich w analizie jakości opakowań jednostkowych produktów mrożonych pozwala zatem na kompleksowe ujęcie problematyki, łączące perspektywę technologiczną i projektową z rzeczywistymi oczekiwaniami rynku. Stanowi to punkt wyjścia do dalszych analiz empirycznych, obejmujących identyfikację oczekiwań konsumentów oraz ocenę wpływu wybranych cech jakościowych opakowań na decyzje zakupowe w warunkach Przemysłu 5.0.

Badania te obejmowały analizę świadomości ekologicznej, postrzegania funkcjonalności i atrakcyjności opakowań oraz oczekiwań konsumentów wobec innowacyjnych rozwiązań, takich jak opakowania inteligentne i aktywne, i były realizowane w kolejnych etapach procesu badawczego.

4.2. Analiza oczekiwań Konsumentów 5.0 na podstawie badań fokusowych

Analiza oczekiwań konsumentów wobec opakowań jednostkowych produktów mrożonych została oparta na wynikach badań jakościowych przeprowadzonych w formie trzech wywiadów grupowych (fokusowych). Spotkania zostały zróżnicowane pod względem wieku uczestników, poziomu samodzielności zakupowej oraz doświadczeń związanych z logistyką i procesem dystrybucji produktów. W badaniu uczestniczyła młodzież w wieku 15–16 lat (uczniowie technikum logistycznego), studenci kierunku logistyka w wieku 23–25 lat oraz dorośli konsumenci w wieku 25–51 lat. Zastosowanie metody fokusowej umożliwiło pogłębione rozpoznanie sposobu postrzegania jakości opakowań jednostkowych produktów mrożonych oraz identyfikację różnic w podejściu do innowacyjnych i zrównoważonych rozwiązań opakowaniowych. Uzyskane wypowiedzi pozwoliły też lepiej zrozumieć znaczenie opakowania w procesie podejmowania decyzji zakupowych przez konsumentów, szczególnie w kontekście rosnącej roli kanałów sprzedaży online.

Wypowiedzi młodzieży szkół logistycznych wskazują na relatywnie wysoką świadomość istnienia opakowań produktów mrożonych jako odrębnego nośnika informacji i jakości, mimo że badani nie podejmują samodzielnych decyzji zakupowych. Uczestnictwo w rozpakowywaniu dostaw realizowanych przez rodziców sprawia jednak, że młodszy respondenci mają bezpośredni kontakt z opakowaniem w momencie, w którym szczególnie wyraźnie ujawniają się jego cechy użytkowe. W tej grupie uwagę zwracano przede wszystkim na stan opakowania po dostawie, jego szczelność oraz brak śladów rozmrożenia produktu. Istotne znaczenie miały również informacje wizualne, takie jak piktogramy, oznaczenia ekologiczne oraz komunikaty sugerujące bezpieczeństwo przechowywania. Opakowanie było postrzegane jako element, który „pokazuje”, czy produkt był właściwie traktowany w transporcie, nawet jeśli młodszy uczestnicy nie posługiwali się jeszcze terminologią branżową.

W grupie studentów studiów stacjonarnych logistyki, którzy dokonują zakupów samodzielnie, wypowiedzi były bardziej analityczne i odnosiły się do opakowania jako części szerszego systemu dystrybucji. Respondenci częściej wskazywali na znaczenie trwałości materiału, odporności na uszkodzenia mechaniczne oraz dopasowania opakowania do warunków magazynowania i transportu. Jakość była tu rozumiana nie tylko przez pryzmat ochrony produktu, lecz także przez pryzmat przewidywalności zachowania opakowania w całym łańcuchu dostaw. W tej grupie zauważalna była większa ostrożność wobec zakupów mrożonek online, wynikająca zarówno z czynników ekonomicznych, jak i obaw o utrzymanie odpowiedniej temperatury. Jednocześnie respondenci wykazywali zainteresowanie rozwiązaniami umożliwiającymi lepszą kontrolę warunków dostawy, wskazując, że obecność czytelnego wskaźnika temperatury mogłaby zwiększyć ich zaufanie do tego kanału sprzedaży.

Najbardziej zróżnicowane wypowiedzi pojawiły się wśród grupy dorosłych, studentów studiów niestacjonarnych, łączących doświadczenie akademickie z praktyką zawodową oraz regularnym korzystaniem z zakupów online. W tej grupie opakowanie było jednoznacznie postrzegane jako element wpływający na ocenę całej usługi, a nie wyłącznie samego produktu. Respondenci zwracali uwagę na to, że w przypadku dostaw do domu brak możliwości bezpośredniej kontroli produktu w momencie zakupu powoduje przeniesienie odpowiedzialności za jakość na opakowanie. Szczelność, czytelność informacji oraz sygnały świadczące o zachowaniu ciągłości chłodniczej były traktowane jako warunek akceptacji produktu, a nie dodatkowa wartość. Jednocześnie

uczestnicy tej grupy wykazywali największą otwartość na innowacyjne rozwiązania, pod warunkiem, że ich działanie jest intuicyjne i nie wymaga specjalistycznej wiedzy.

We wszystkich trzech grupach pojawiał się wątek opakowań inteligentnych i aktywnych, jednak sposób ich postrzegania był wyraźnie zróżnicowany. Uczniowie technikum reagowali na te rozwiązania entuzjastycznie, traktując je jako nowoczesne i „wiarygodne wizualnie”, szczególnie gdy zmiana koloru była łatwa do zaobserwowania. Pomimo braku pełnej samodzielności zakupowej, udział tej grupy był uzasadniony ze względu na fakt, że stanowi ona przyszłych konsumentów oraz aktywnych użytkowników produktów, a ich percepcja opakowań kształtuje przyszłe wzorce konsumpcyjne.

Studenci studiów stacjonarnych podchodzili do nich bardziej krytycznie, podkreślając potrzebę jasnego wyjaśnienia działania oraz obawy dotyczące wpływu ceny na dostępność takich rozwiązań. Z kolei grupa dorosłych oceniła opakowania inteligentne przede wszystkim przez pryzmat ich przydatności w realnych warunkach rynkowych, wskazując, że mogłyby one stanowić narzędzie ograniczające niepewność związaną z dostawami mrozonek w okresach wysokich temperatur.

Kwestie związane ze zrównoważonością były obecne w każdej z grup, choć ich znaczenie miało różny charakter. Najmłodszy uczestnicy deklaruowali wysoką wrażliwość na oznaczenia ekologiczne, traktując je jako element pozytywnego wizerunku produktu. W grupach studenckich częściej pojawiała się refleksja dotycząca relacji pomiędzy materiałem opakowania, jego trwałością a realnym wpływem na środowisko. Respondenci wskazywali, że w przypadku produktów mrożonych oczekują rozwiązań, które łączą ograniczenie ilości odpadów z zachowaniem wysokiego poziomu ochrony produktu, nawet jeśli oznacza to kompromis pomiędzy ekologią a innymi cechami jakościowymi.

Zebrane wypowiedzi pozwalają stwierdzić, że oczekiwania konsumentów określanych mianem Konsumentów 5.0 kształtują się na styku bezpieczeństwa, transparentności oraz odpowiedzialności środowiskowej. Różnice pomiędzy grupami dotyczą przede wszystkim poziomu akceptacji innowacji oraz wrażliwości cenowej, jednak wspólnym mianownikiem pozostaje potrzeba zwiększenia zaufania do produktu, szczególnie w warunkach sprzedaży online. Syntetyczne zestawienie najważniejszych obserwacji z badań fokusowych przedstawiono w Tabeli 7.

Tabela 7. Postawy i preferencje konsumentów wobec ekologii oraz opakowań inteligentnych i aktywnych w grupach fokusowych

Grupa badawcza	Postrzeżenie ekologii opakowań	Postrzeżenie opakowań inteligentnych/aktywnych	Najważniejsze cechy opakowań wpływające na decyzje zakupowe	Uwagi dodatkowe
Grupa 1 – młodzież (15–16 lat, 10 osób)	Młodzież zwraca uwagę na oznaczenia typu „recykling” czy „bio”, rozumie ideę ochrony środowiska, chętnie rozmawia o ekologicznych rozwiązaniach, choć podejmowanie decyzji zakupowych w dużej mierze zależy od rodziców.	Duże zainteresowanie nowymi technologiami, entuzjastyczne nastawienie do wskaźników TTI i zmian koloru w zależności od temperatury; traktują to jako „fajne i nowoczesne”.	Design opakowania, kolorystyka, czytelność informacji, ciekawostki technologiczne, atrakcyjność wizualna.	Decyzje zakupowe zależne od rodziców; postawy proekologiczne deklaratywne, ale świadome.
Grupa 2 – studenci stacjonarni (23–25 lat, 10 osób)	Ekologia jest ważna, ale nie jest decydującym czynnikiem; bardziej zwracają uwagę na trwałość i praktyczność opakowań w transporcie.	Zainteresowanie technologiami aktywnymi/TTI; potrafią wskazać ich praktyczne zastosowanie w utrzymaniu jakości produktu.	Funkcjonalność, wytrzymałość, bezpieczeństwo produktu, praktyczne aspekty transportu i przechowywania.	Świadome podejście użytkowe – ekologia w kontekście przydatności i rzeczywistej ochrony produktu.
Grupa 3 – dorośli (25–51 lat, 9 osób)	Ekologia traktowana praktycznie; uczestnicy analizują realny wpływ materiałów na środowisko i na funkcjonalność opakowania.	Doceniają inteligentne i aktywne opakowania, szczególnie jeśli widać wyraźną różnicę w jakości produktów mrożonych.	Bezpieczeństwo, ochrona jakości, wytrzymałość, możliwość monitorowania świeżości produktu, nowoczesne materiały użyte w praktyczny sposób.	Świadome podejście użytkowe – równoważą ekologię z funkcjonalnością i bezpieczeństwem produktu.

Źródło: Opracowanie własne na podstawie wyników badań FGI przeprowadzonych w ramach badań własnych, 2025.

Wnioski płynące z badań fokusowych stanowią jakościowe tło dla dalszej analizy empirycznej i pozwalają lepiej zinterpretować wyniki badania ilościowego. W kolejnym podrozdziale dokonana zostanie pogłębiona ocena cech jakościowych opakowań jednostkowych produktów mrożonych na podstawie wyników sondażu konsumenckiego, co umożliwi ilościowe określenie siły ich wpływu na decyzje zakupowe konsumentów.

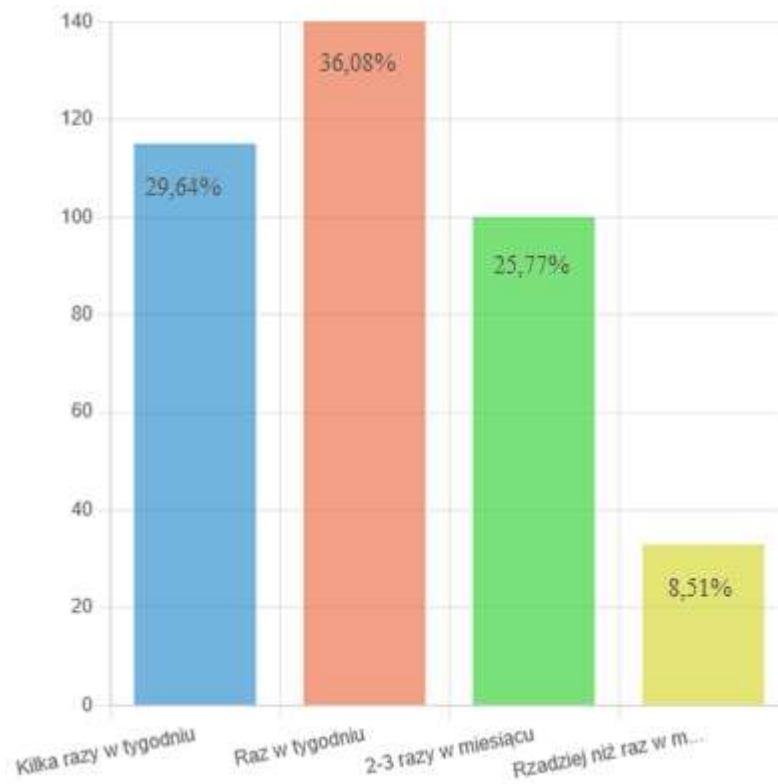
4.3. Kluczowe cechy jakościowe opakowań produktów mrożonych a decyzje zakupowe

Badanie sondażowe (CAWI) przeprowadzono w celu zidentyfikowania kluczowych cech jakościowych opakowań jednostkowych produktów mrożonych oraz ich wpływu na decyzje zakupowe konsumentów. Badanie zostało przeprowadzone na tle dynamicznych zmian zachodzących w systemach produkcji i dystrybucji żywności, charakterystycznych dla koncepcji Przemysłu 5.0, w której szczególny nacisk kładzie się na bezpieczeństwo, zrównoważony rozwój oraz technologie zorientowane na użytkownika końcowego. W badaniu uwzględniono również poziom znajomości dostępnych technologii i ich funkcjonalności. Wyniki badań umożliwiają identyfikację czynników opakowaniowych istotnych z perspektywy konsumentów, takich jak bezpieczeństwo żywności, transparentność informacji, zastosowanie inteligentnych i aktywnych rozwiązań technologicznych oraz ich wpływ na poziom zaufania i gotowość do poniesienia dodatkowych kosztów.

Badaniem objęto 388 konsumentów w wieku od 16 do ponad 60 lat, z czego ponad połowę badanej próby stanowili ludzie młodzi, poniżej 30 roku życia. Grupa ta jest szczególnie istotna, ponieważ to młodzi ludzie kształtują trendy zakupowe i oczekiwania wobec produktów i ich opakowań. Pod względem płci, próba była stosunkowo zrównoważona, z nieznaczną przewagą mężczyzn. Taka struktura pozwala na uwzględnienie różnorodnych perspektyw w analizie decyzji zakupowych.

Jeśli chodzi o wykształcenie, dominowały osoby ze średnim i wyższym wykształceniem, co może wpływać na większą świadomość technologiczną i ekologiczną w kontekście opakowań inteligentnych i aktywnych. Większość respondentów mieszkała w dużych miastach powyżej 500 tys. mieszkańców, co wskazuje na większy kontakt z nowoczesnymi trendami rynkowymi, dostęp do e-commerce oraz potencjalnie wyższe oczekiwania wobec jakości opakowań, innowacji i transparentności produktów.

Struktura demograficzna próby sugeruje, że wyniki badań najlepiej odzwierciedlają opinie młodych, miejskich konsumentów ze średnim i wyższym wykształceniem, którzy są bardziej otwarci na innowacje w zakresie opakowań i nowoczesne rozwiązania zwiększające bezpieczeństwo oraz przejrzystość informacji o produktach mrożonych.

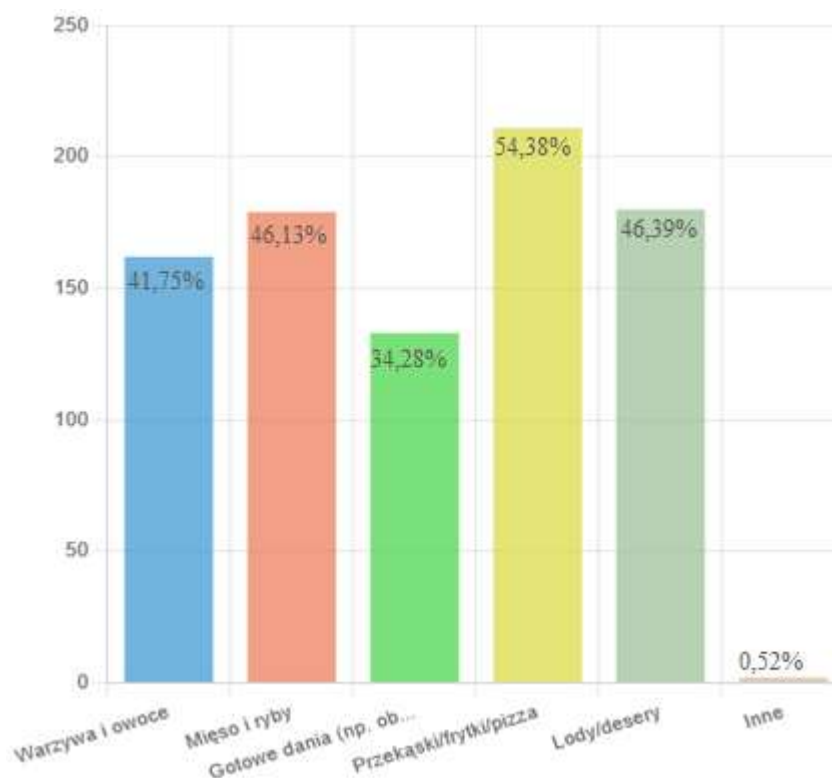


Rys. 1. Wykres częstotliwości zakupu produktów mrożonych

Źródło: Opracowanie wyników badań własnych.

Analiza danych przedstawionych na rysunku 1 pozwala stwierdzić, że produkty mrożone stanowią istotny i regularny element koszyka zakupowego badanych konsumentów. Zdecydowana większość respondentów deklaruje zakup mrożonek co najmniej raz w tygodniu lub kilka razy w miesiącu, co świadczy o powszechności tej kategorii produktów w codziennej konsumpcji. Niewielki odsetek osób kupujących mrożonki sporadycznie potwierdza, że są one produktem o stabilnym popycie, niezależnym od okazjonalnych potrzeb.

Wysoka częstotliwość zakupu produktów mrożonych uzasadnia znaczenie jakości opakowań jednostkowych jako elementu mającego realny wpływ na decyzje zakupowe. Im częstszy kontakt konsumenta z produktem, tym większe znaczenie mają cechy opakowania związane z bezpieczeństwem, funkcjonalnością i zaufaniem, co wpisuje się w założenia Przemysłu 5.0.

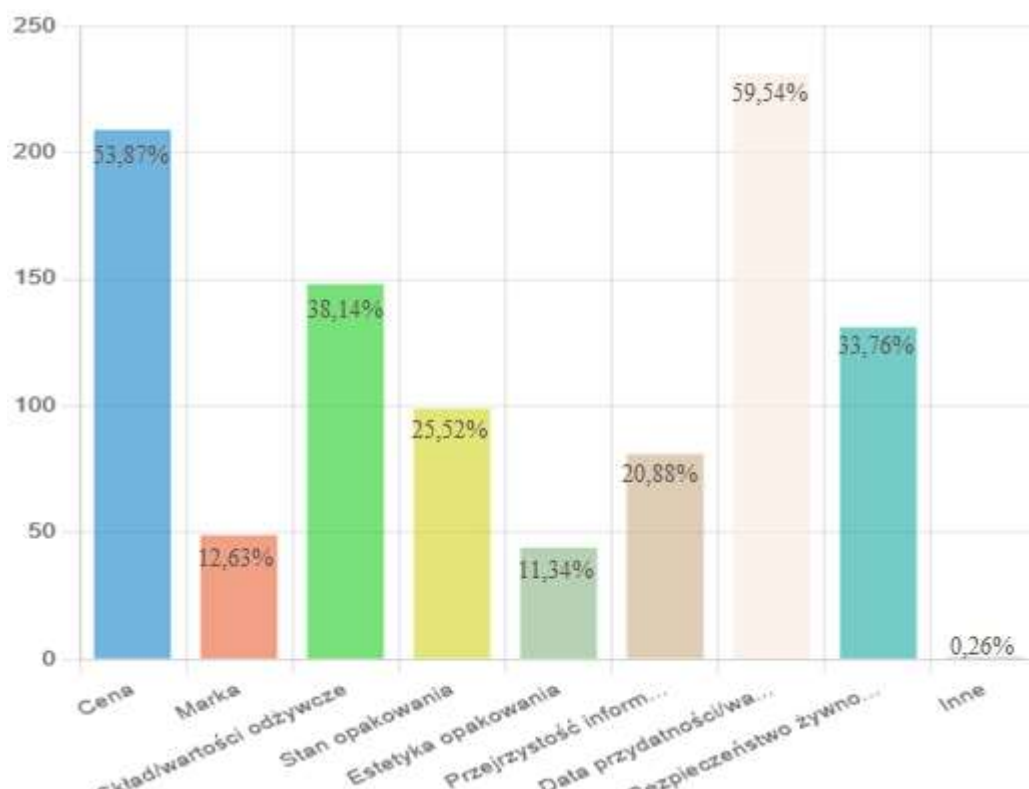


Rys. 2. Wykres najczęściej wybieranych kategorii produktów mrożonych

Źródło: Opracowanie wyników badań własnych.

Wyniki zaprezentowane na rysunku 2 wskazują na zróżnicowaną strukturę kupowanych produktów mrożonych – od produktów podstawowych (warzywa, owoce, mięso, ryby) po produkty wysoko przetworzone (gotowe dania, przekąski, pizza, lody). Taka struktura zakupów oznacza, że konsumenci oczekują od opakowań zarówno ochrony jakości surowców wrażliwych, jak i zapewnienia bezpieczeństwa żywności w przypadku produktów przetworzonych o dłuższym łańcuchu logistycznym.

Zróżnicowanie kategorii mrozonek wzmacnia znaczenie uniwersalnych cech jakościowych opakowań, takich jak bezpieczeństwo, kontrola warunków przechowywania i czytelność informacji. W kontekście Przemysłu 5.0 oznacza to potrzebę projektowania opakowań adaptacyjnych, odpowiadających na różne profile produktów i oczekiwań konsumentów.

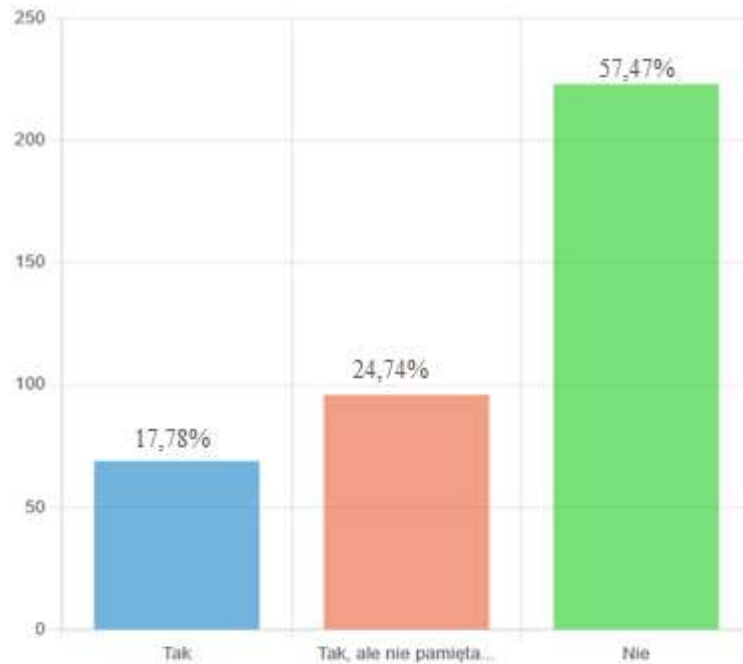


Rys. 3. Wykres kryteriów branych pod uwagę przy zakupie produktów mrożonych

Źródło: Opracowanie wyników badań własnych.

Czynniki jakościowe, takie jak data przydatności, bezpieczeństwo żywności, skład produktu oraz stan opakowania, odgrywają kluczową rolę w decyzjach zakupowych konsumentów, obok ceny (rysunek 3). Przejrzystość informacji zamieszczanych na opakowaniu również jest istotna, podczas gdy estetyka ma relatywnie mniejsze znaczenie, co sugeruje, że w przypadku produktów mrożonych funkcjonalność i bezpieczeństwo przeważają nad walorami wizualnymi.

Wyniki potwierdzają, że bezpieczeństwo żywności i jakość opakowania stanowią kluczowe determinanty decyzji zakupowych. W dobie Przemysłu 5.0 konsumenci oczekują opakowań pełniących aktywną rolę informacyjną i ochronną, a nie jedynie funkcję marketingową.

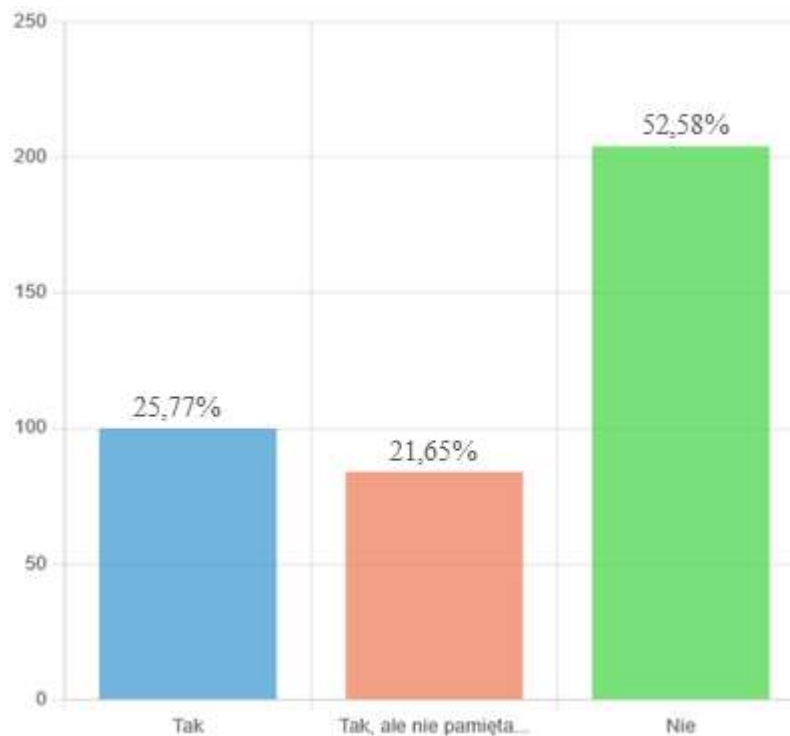


Rys. 4. Wykres znajomości pojęcia „opakowania inteligentnego”

Źródło: Opracowanie wyników badań własnych.

Ponad 40% respondentów zadeklarowało zetknięcie się z pojęciem opakowania inteligentnego, choć nie zawsze potrafi je precyzyjnie zdefiniować (rysunek 4). Jednocześnie większość badanych deklaruje brak znajomości tego pojęcia, co świadczy o wczesnym etapie upowszechnienia tego typu rozwiązań na rynku konsumenckim.

Niska, lecz rosnąca świadomość opakowań inteligentnych wskazuje na istotny potencjał rozwojowy tych technologii. W kontekście Przemysłu 5.0 wskazuje to na potrzebę edukacji konsumentów oraz jasnego komunikowania funkcji opakowań inteligentnych jako narzędzi zwiększających bezpieczeństwo i zaufanie.

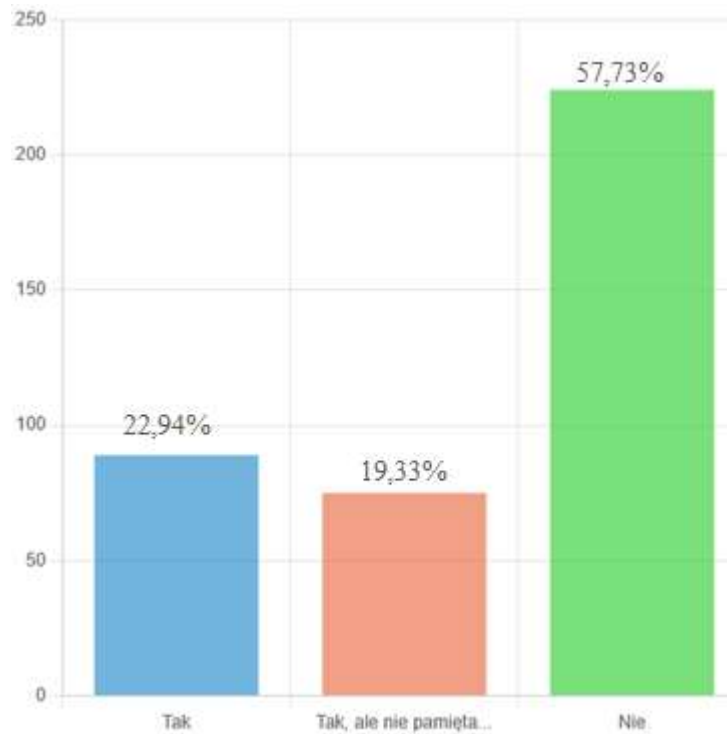


Rys. 5. Wykres znajomości wskaźników czasu/temperatury (TTI)

Źródło: Opracowanie wyników badań własnych.

W strukturze odpowiedzi przedstawionych na rysunku 5 technologia TTI jest znana mniej niż połowie respondentów, przy czym znacząca grupa deklaruje brak wiedzy lub niepewność co do jej znaczenia. Pomimo tego faktu, poziom rozpoznawalności TTI jest porównywalny z innymi innowacyjnymi rozwiązaniami opakowaniowymi.

Ograniczona znajomość TTI nie eliminuje potencjału tej technologii, lecz podkreśla potrzebę jej lepszego zakomunikowania. W świetle Przemysłu 5.0 TTI mogą pełnić kluczową rolę w transparentnym informowaniu konsumentów o bezpieczeństwie produktu.

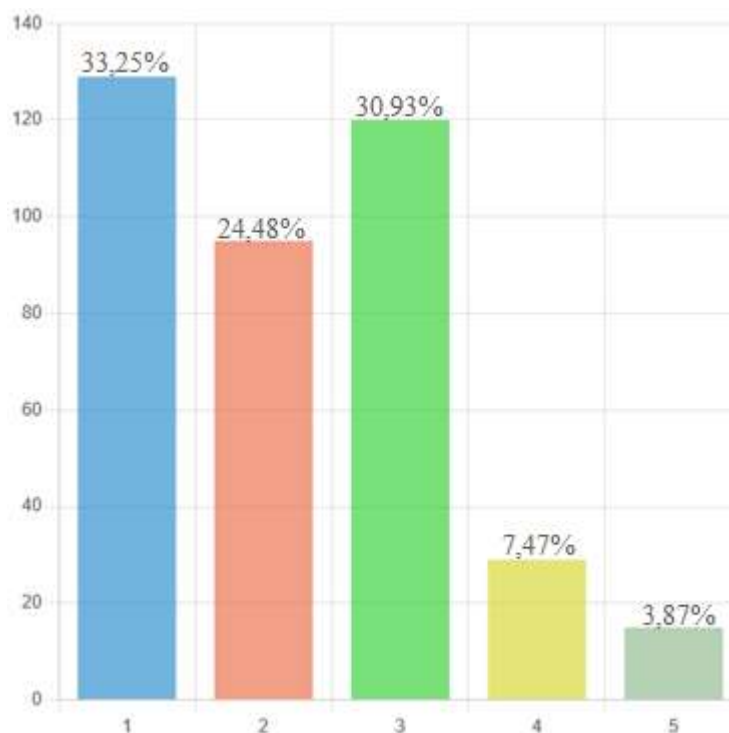


Rys. 6. Wykres znajomości pojęcia „opakowania aktywnego”

Źródło: Opracowanie wyników badań własnych.

Z danych z rysunku 6 wynika, że poziom świadomości konsumentów dotyczący opakowań aktywnych jest niższy w porównaniu z opakowaniami inteligentnymi. Brak wiedzy może wpływać na ostrożność konsumentów w ocenie ich przydatności oraz wartości dodanej.

Niski poziom rozpoznawalności opakowań aktywnych sugeruje, że ich potencjał jakościowy nie jest w pełni wykorzystywany rynkowo. Z perspektywy Przemysłu 5.0 istotne jest powiązanie tych rozwiązań z realnymi korzyściami dla konsumenta, zwłaszcza w zakresie bezpieczeństwa i trwałości produktu.

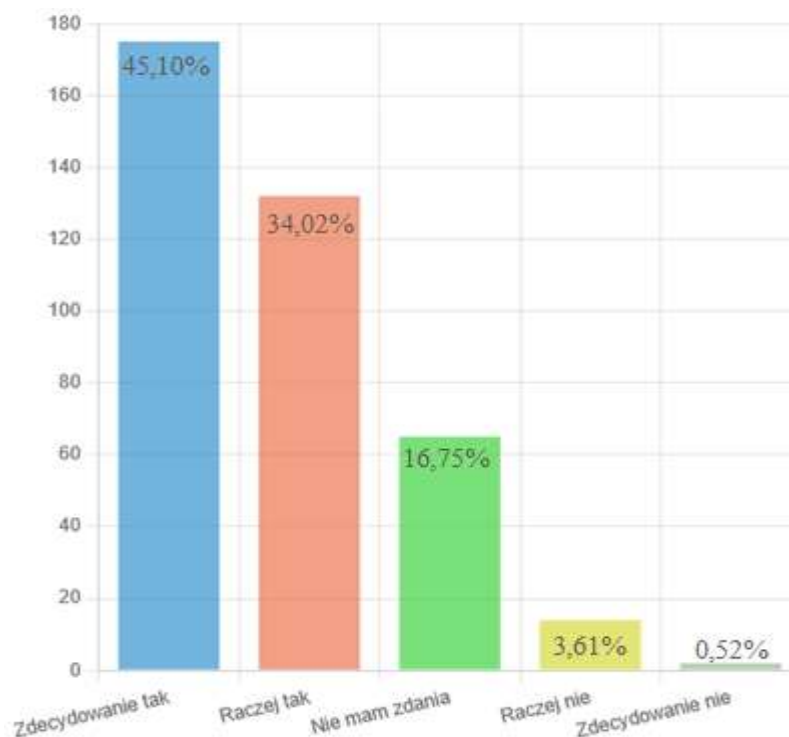


Rys. 7. Wykres oceny wiedzy w obszarze technologii monitorowania świeżości żywności (TTI, folie aktywne, czujniki). 1 - brak wiedzy, 3 - przeciętna, 5 – zaawansowana

Źródło: Opracowanie wyników badań własnych.

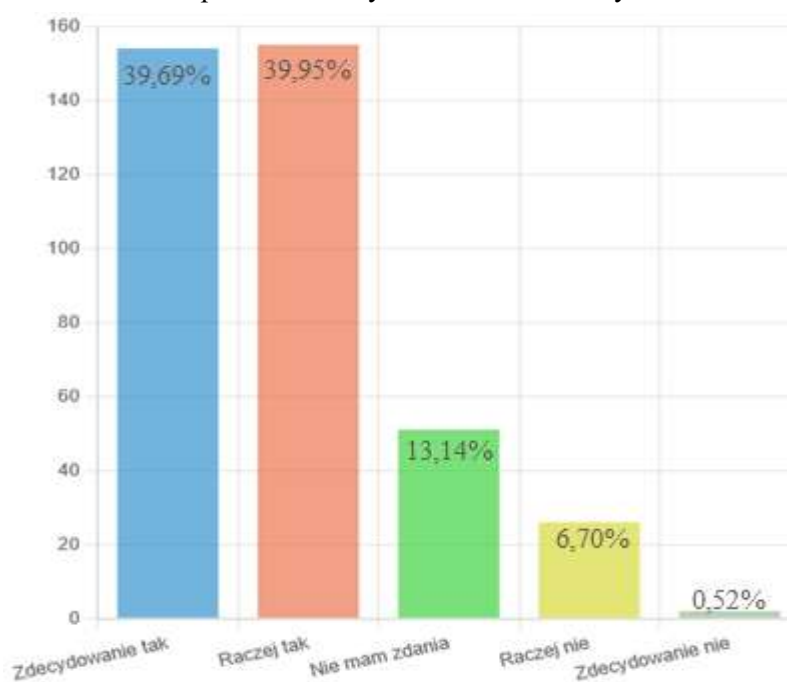
Rysunek 7 przedstawia poziom samooceny wiedzy respondentów. Kompetencje technologiczne w zakresie opakowań aktywnych i inteligentnych oceniono jako niskie do umiarkowanego. Przewaga ocen niskich i przeciętnych potwierdza, że konsumenci nie czują się specjalistami w tym obszarze.

Wyniki te wpisują się w koncepcję Przemysłu 5.0, w której technologia powinna wspierać użytkownika końcowego bez konieczności posiadania specjalistycznej wiedzy. Opakowania inteligentne i aktywne powinny być intuicyjne i zrozumiałe, aby skutecznie wpływać na decyzje zakupowe.



Rys. 9. Wykres wpływu inteligentnego opakowania (TTI) na zaufanie konsumenta wobec produktu mrożonego

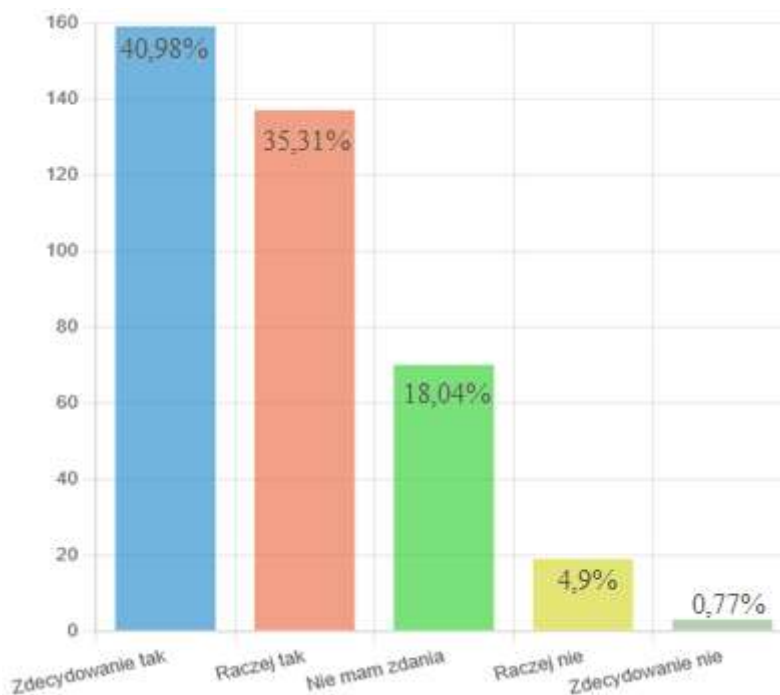
Źródło: Opracowanie wyników badań własnych.



Rys. 8. Wykres wpływu folii / powłoki aktywnej przedłużającej trwałość na zaufanie konsumenta wobec produktu mrożonego

Źródło: Opracowanie wyników badań własnych.

Dane z rysunków 8 i 9 jednoznacznie wskazują, że zastosowanie opakowań inteligentnych i aktywnych znacząco wpływa na zaufanie konsumentów do produktów mrożonych. Niewielki odsetek odpowiedzi negatywnych potwierdza szeroką akceptację tego typu rozwiązań. Opakowania aktywne i inteligentne są postrzegane jako element poprawy jakości i bezpieczeństwa produktu, co czyni je istotnym czynnikiem wpływającym na decyzje zakupowe konsumentów.



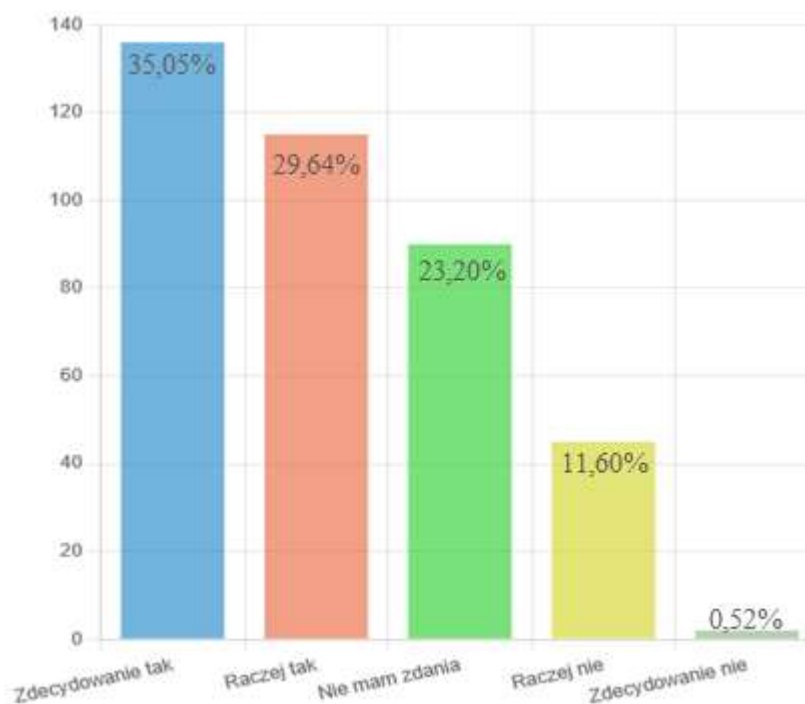
Rys. 10. Wykres wpływu inteligentnych/aktywnych opakowań na postrzegane ryzyko zakupu produktów nieświeżych

Źródło: Opracowanie wyników badań własnych.

Respondenci w przeważającej mierze uznają inteligentne i aktywne opakowania za skuteczne narzędzie ograniczające ryzyko zakupu produktu nieświeżego lub zepsutego w wyniku niewłaściwych warunków przechowywania (rysunek 10). Niewielki udział odpowiedzi negatywnych oraz postaw neutralnych może wynikać z ograniczonej wiedzy na temat funkcjonowania tego typu rozwiązań.

Postrzeganie opakowań inteligentnych i aktywnych jako elementu zarządzania ryzykiem jakościowym potwierdza ich znaczenie w budowaniu bezpieczeństwa żywności i zaufania konsumentów. W ujęciu Przemysłu 5.0 rozwiązania te wspierają

odpowiedzialną konsumpcję poprzez zwiększenie kontroli nad jakością produktu w całym łańcuchu dostaw.

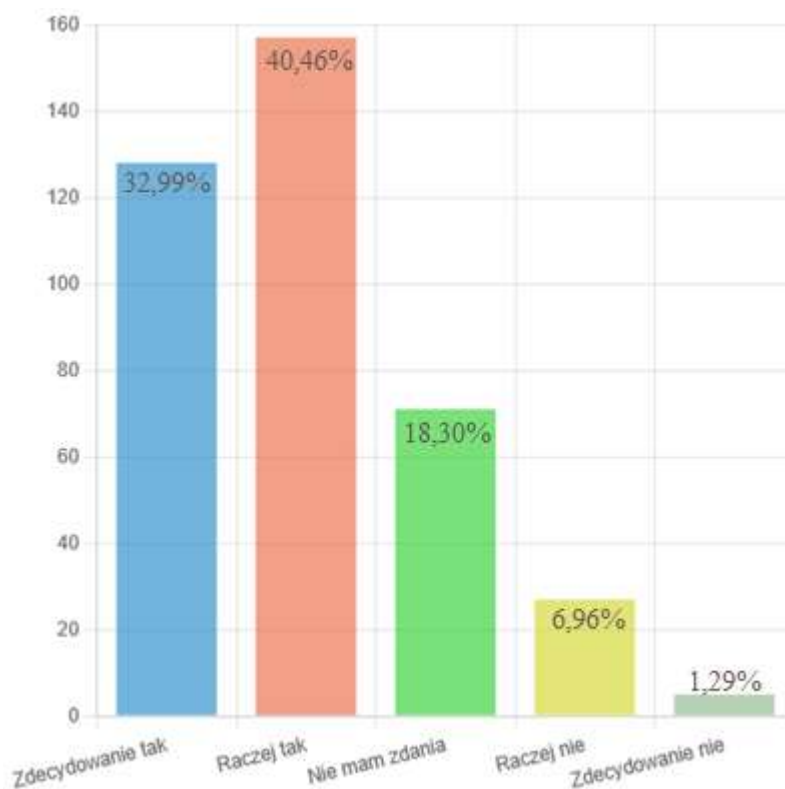


Rys. 11. Wykres poziomego zaufania do wskaźnika TTI w porównaniu z tradycyjną datą przydatności

Źródło: Opracowanie wyników badań własnych.

Z analizy odpowiedzi przedstawionych na rysunku 11 wynika, że respondenci w przeważającej mierze darzą większym zaufaniem informacje pochodzące ze wskaźnika czasu–temperatury (TTI) niż samą tradycyjną datę przydatności do spożycia. Dominują odpowiedzi potwierdzające, że dynamiczne oznaczenia, odzwierciedlające rzeczywiste warunki przechowywania produktu, są postrzegane jako bardziej wiarygodne źródło informacji o jakości i bezpieczeństwie żywności. Jednocześnie zauważalna jest grupa respondentów przyjmujących postawę neutralną, co może wynikać z ograniczonej znajomości działania technologii TTI.

Zaufanie konsumentów do wskaźników TTI potwierdza stopniowe przesuwanie się percepcji jakości z rozwiązań statycznych na technologie monitorujące rzeczywiste warunki przechowywania. W kontekście Przemysłu 5.0 opakowania inteligentne pełnią coraz istotniejszą rolę jako narzędzie wspierające bezpieczeństwo żywności, transparentność informacji oraz racjonalne decyzje zakupowe konsumentów.

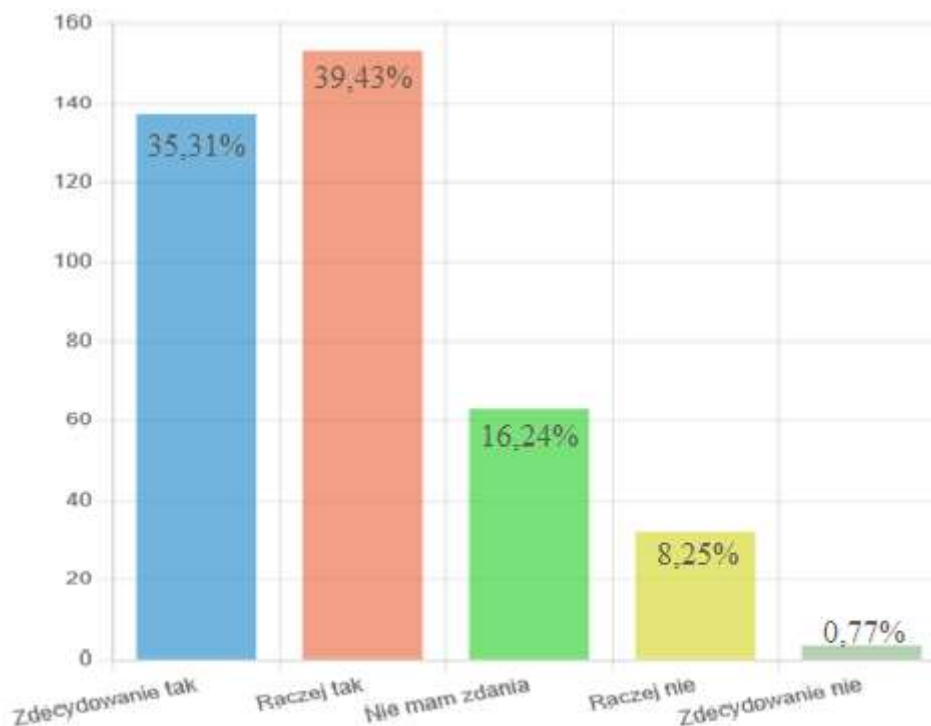


Rys. 12. Wykres postrzeganej roli opakowań inteligentnych/aktywnych w ograniczaniu marnowania żywności

Źródło: Opracowanie wyników badań własnych.

W większości respondenci dostrzegają potencjał opakowań inteligentnych i aktywnych w ograniczaniu marnowania żywności (rysunek 12). Przeważają opinie, że nowoczesne rozwiązania opakowaniowe, takie jak monitorowanie świeżości czy warunków przechowywania, mogą skutecznie wspierać racjonalne gospodarowanie żywnością. Jednocześnie część badanych przyjmuje postawę neutralną, co może wynikać z ograniczonej wiedzy na temat funkcjonowania tych technologii.

Postrzeganie opakowań inteligentnych jako narzędzia ograniczającego straty żywności potwierdza rosnące znaczenie zrównoważonego rozwoju w decyzjach konsumenckich. W kontekście Przemysłu 5.0 opakowanie staje się elementem wspierającym odpowiedzialną konsumpcję i integrującym cele technologiczne z aspektami społecznymi i środowiskowymi.

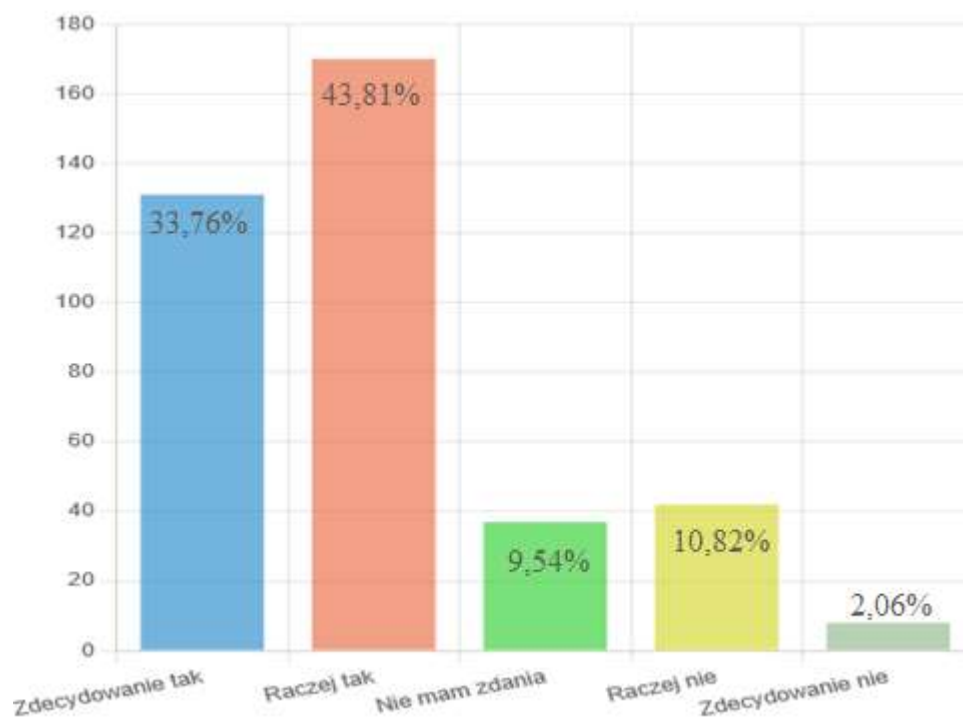


Rys. 13. Wykres wpływu opakowań aktywnych i inteligentnych na decyzje zakupowe konsumentów

Źródło: Opracowanie wyników badań własnych.

Analiza danych z rysunku 13 pokazuje, że zastosowanie opakowań inteligentnych i aktywnych może wpływać na wybór marki produktów mrożonych. Dominacja odpowiedzi pozytywnych sugeruje, że innowacyjne rozwiązania opakowaniowe są postrzegane jako sygnał wyższej jakości, nowoczesności oraz większej dbałości producenta o bezpieczeństwo konsumenta. Tym samym opakowanie przestaje pełnić wyłącznie funkcję ochronną, a zaczyna odgrywać rolę narzędzia budowania przewagi konkurencyjnej.

Opakowania inteligentne i aktywne mogą stanowić istotny czynnik różnicujący marki na rynku mrożonek. W realiach Przemysłu 5.0 innowacyjność opakowania wspiera proces budowania zaufania do marki oraz jej wizerunku jako odpowiedzialnej technologicznie i prokonsumenckiej.

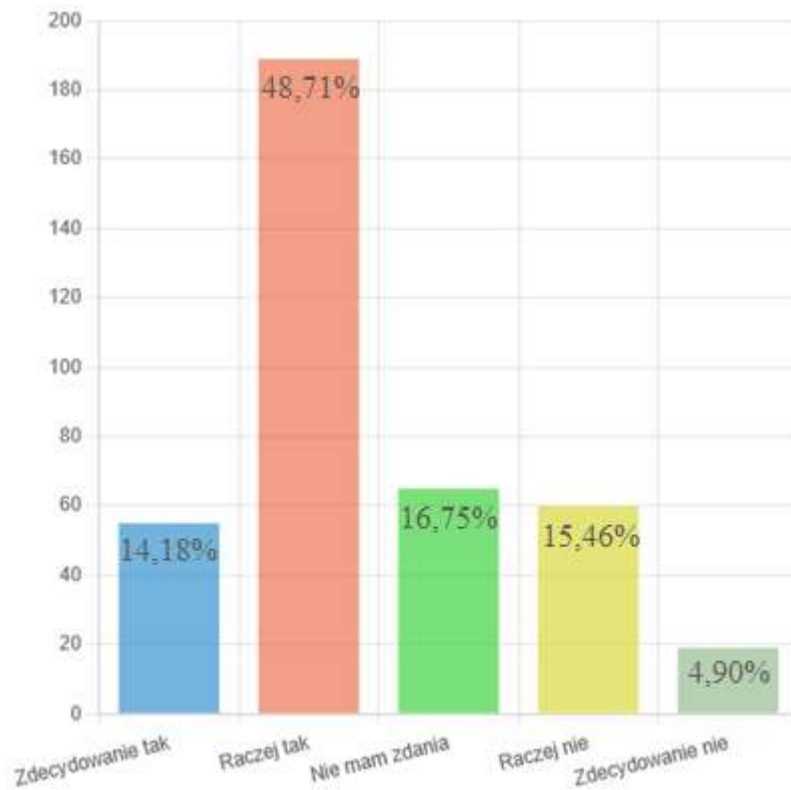


Rys. 14. Wykres znaczenia opakowania produktu w decyzjach zakupowych konsumentów

Źródło: Opracowanie wyników badań własnych.

Opakowanie produktu stanowi istotny element procesu decyzyjnego konsumentów (rysunek 14). Przewaga odpowiedzi potwierdzających jego znaczenie świadczy o tym, że konsumenci zwracają uwagę nie tylko na sam produkt, lecz również na jego formę, funkcjonalność oraz przekazywane informacje. Ma to szczególne znaczenie w przypadku produktów mrożonych, gdzie opakowanie pełni kluczową rolę w zapewnieniu bezpieczeństwa i jakości.

Istotność opakowania w decyzjach zakupowych potwierdza jego strategiczną rolę jako nośnika cech jakościowych produktu. W ujęciu Przemysłu 5.0 opakowanie funkcjonuje jako interfejs pomiędzy technologią a konsumentem, integrując funkcje ochronne, informacyjne i wizerunkowe.

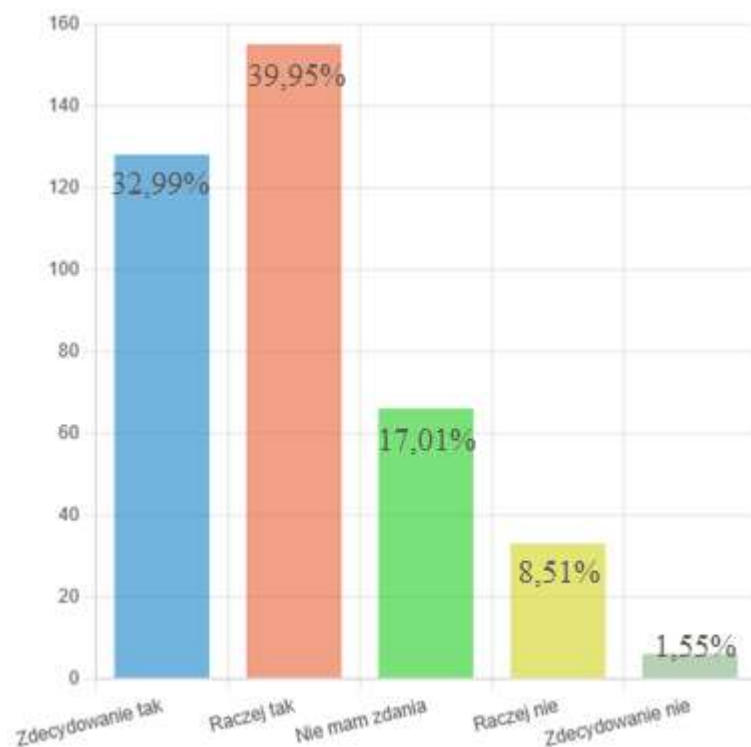


Rys. 15. Wykres wpływu ekologicznego opakowania na decyzje zakupowe konsumentów

Źródło: Opracowanie wyników badań własnych.

Większość respondentów deklaruje, że ekologiczne opakowania mają pozytywny wpływ na ich decyzje zakupowe (rysunek 15). Aspekty związane ze zrównoważonym rozwojem odgrywają w tym procesie istotną rolę.

Ekologiczne rozwiązania w opakowaniach mogą zwiększać atrakcyjność produktów i stanowić element przewagi konkurencyjnej na rynku, jednocześnie wpisując się w oczekiwania konsumentów w zakresie odpowiedzialnej konsumpcji.

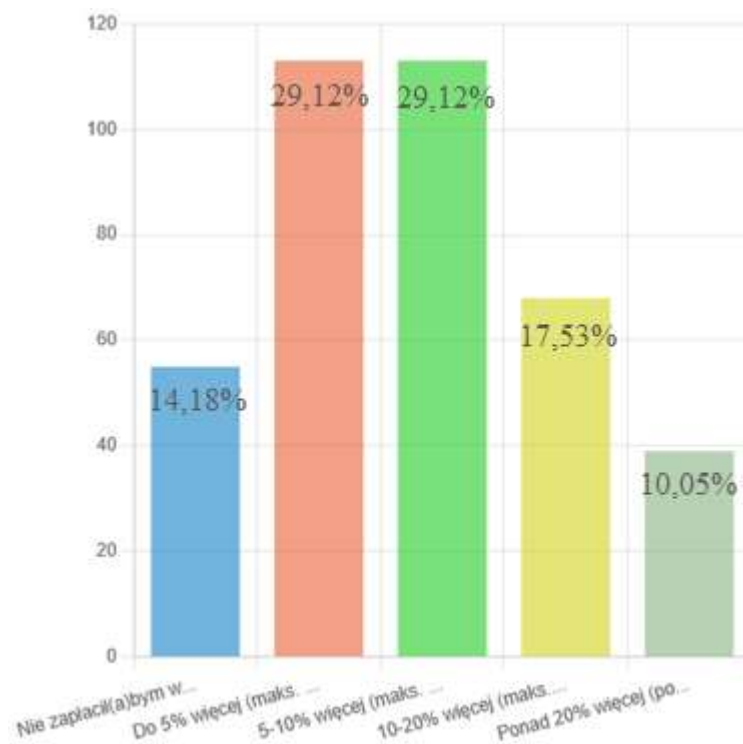


Rys. 16. Wykres wpływu informacji o ekologicznych i inteligentnych rozwiązaniach w opakowaniu na atrakcyjność marki

Źródło: Opracowanie wyników badań własnych.

Informowanie o zastosowaniu ekologicznych oraz inteligentnych rozwiązań w opakowaniu zwiększa atrakcyjność marki w oczach konsumentów (rysunek 16). Transparentna komunikacja w zakresie innowacji i zrównoważonego rozwoju pozytywnie wpływa na postrzeganie producenta oraz wzmacnia jego wiarygodność.

Informacje o ekologii i innowacyjności opakowań stanowią istotny element budowania wartości marki. W kontekście Przemysłu 5.0 podkreśla to znaczenie opakowania jako narzędzia komunikacji odpowiedzialnych praktyk produkcyjnych oraz orientacji na potrzeby świadomego konsumenta.

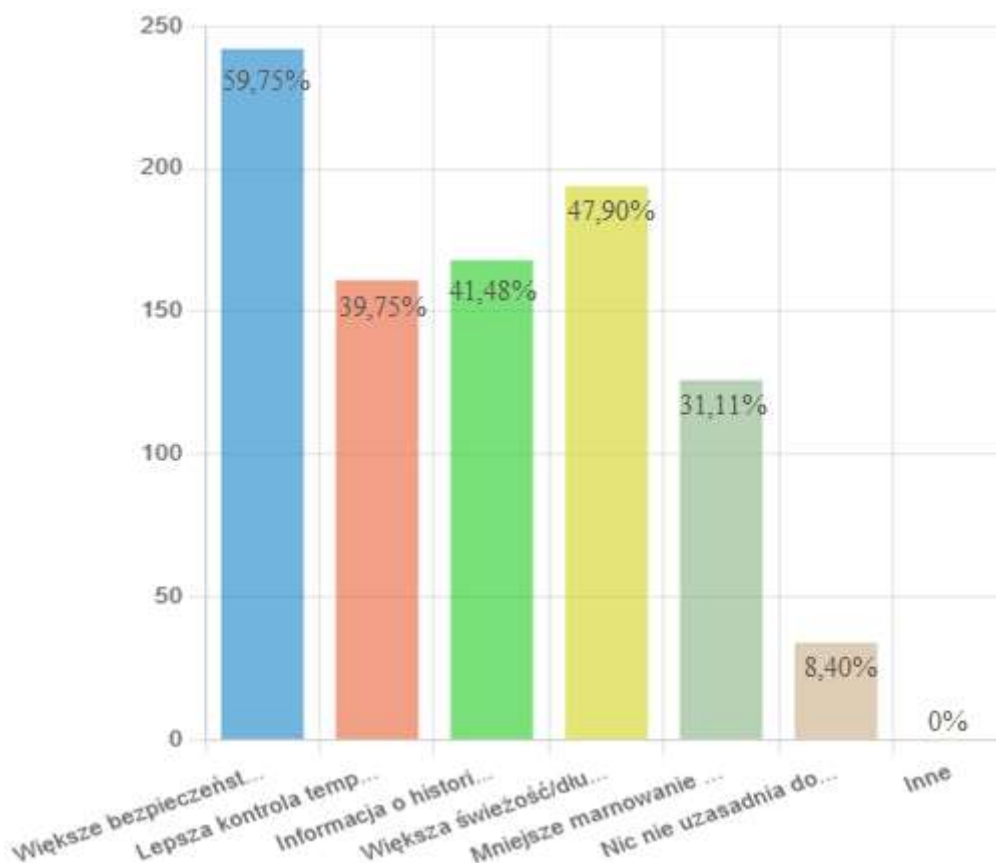


Rys. 17. Wykres gotowości konsumenta do dopłaty za inteligentne / aktywne opakowanie

Źródło: Opracowanie wyników badań własnych.

Z danych przedstawionych na rysunku 17 wynika zróżnicowana, lecz wyraźna gotowość konsumentów do poniesienia dodatkowych kosztów za zastosowanie inteligentnych i aktywnych opakowań. Część badanych akceptuje wyższą cenę produktu w zamian za zwiększone bezpieczeństwo, lepszą kontrolę jakości oraz ograniczenie ryzyka zakupu produktu nieświeżego.

Gotowość do dopłaty za opakowania inteligentne potwierdza, że cechy jakościowe takie jak bezpieczeństwo, transparentność i zrównoważoność mają dla konsumentów realną wartość ekonomiczną. W dobie Przemysłu 5.0 opakowanie staje się inwestycją w jakość, a nie jedynie kosztem jednostkowym produktu.

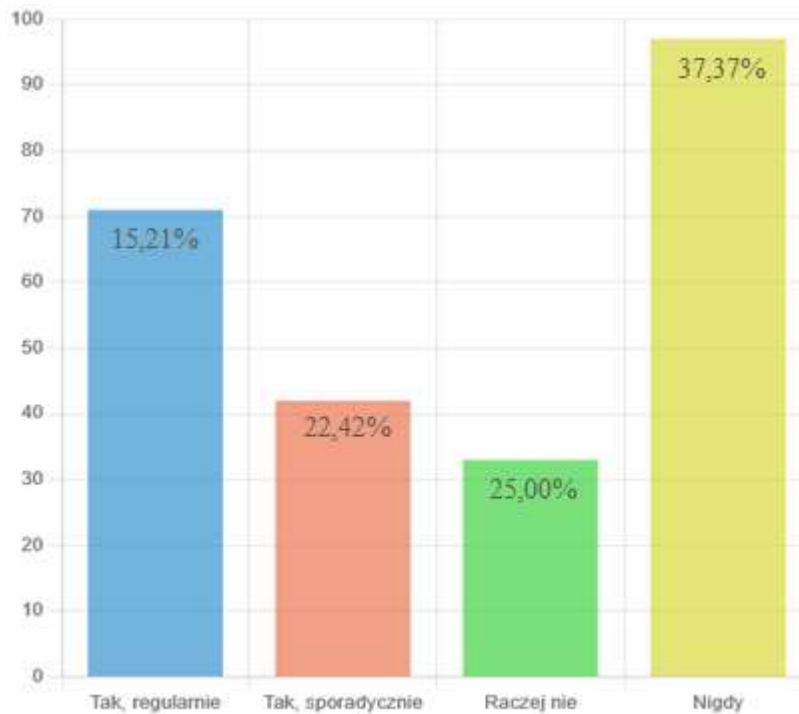


Rys. 18. Wykres czynników uzasadniających dopłatę za opakowanie inteligentne / aktywne

Źródło: Opracowanie wyników badań własnych.

Respondenci uzasadniają dopłatę za opakowania inteligentne i aktywne przede wszystkim korzyściami związanymi z bezpieczeństwem żywności oraz jakością produktu (rysunek 18). Funkcje umożliwiające kontrolę warunków przechowywania i dostęp do informacji o historii produktu odzwierciedlają rosnące zapotrzebowanie na transparentność w łańcuchu dostaw. Zauważalna jest także rola aspektów związanych z ograniczaniem marnowania żywności, natomiast relatywnie niewielka grupa badanych nie dostrzega uzasadnienia dla dodatkowych kosztów.

Gotowość do dopłaty za opakowania inteligentne i aktywne jest przede wszystkim motywowana postrzeganiem poprawy bezpieczeństwa i kontroli jakości produktu. Wyniki te potwierdzają, że w dobie Przemysłu 5.0 wartość ekonomiczna opakowania nie wynika wyłącznie z jego funkcji ochronnej, lecz z integracji technologii wspierających bezpieczeństwo, transparentność i zrównoważony rozwój.

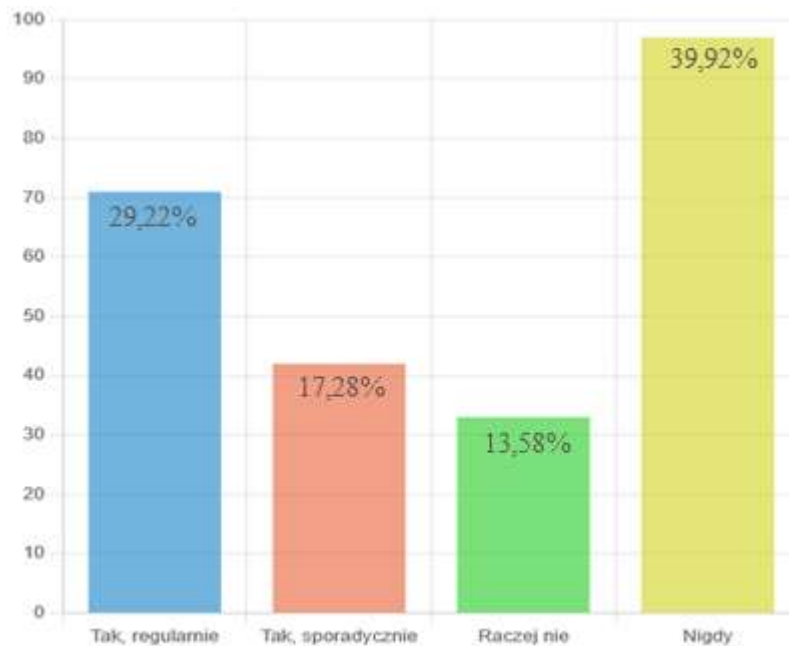


Rys. 19. Wykres częstotliwości zamawiania produktów spożywczych online z dostawą do domu

Źródło: Opracowanie wyników badań własnych.

Rysunek 19 pokazuje, że respondenci wykazują zróżnicowaną aktywność w zakresie zamawiania produktów spożywczych online. Część badanych korzysta z zakupów internetowych regularnie lub sporadycznie, podczas gdy znacząca grupa wciąż woli nie korzystać z tej formy zakupów. Wyniki te odzwierciedlają różny stopień adaptacji e-commerce wśród konsumentów.

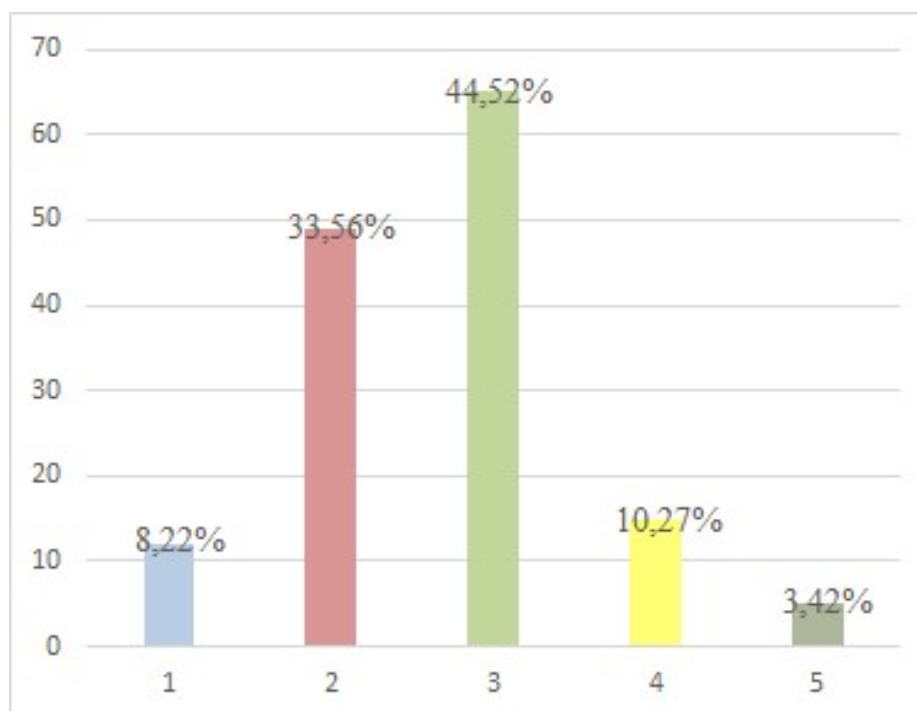
Wzrost popularności e-commerce to jeden z czynników wpływających na oczekiwania wobec opakowań i zmianie w postrzegania jakości opakowań, zwłaszcza w kontekście transportu produktów mrożonych.



Rys. 20. Wykres częstotliwości zamawiania produktów mrożonych online

Źródło: Opracowanie wyników badań własnych.

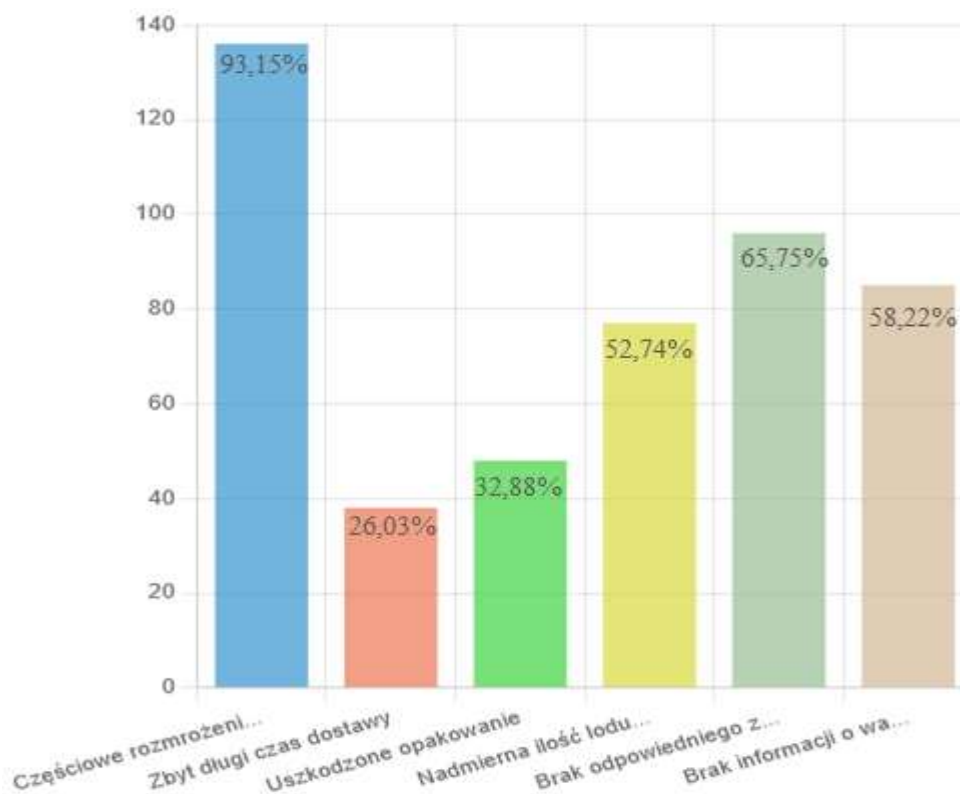
Blisko 40% konsumentów korzystających z zakupów spożywczych online nie decyduje się na produkty mrożone (rysunek 20). Takie zachowanie podkreśla znaczenie bezpiecznych i funkcjonalnych opakowań jednostkowych, które zapewniają trwałość, świeżość i bezpieczeństwo produktów podczas transportu, a tym samym mogą zwiększać komfort, zaufanie konsumentów i wspierać dalszą adaptację tego segmentu w *e-commerce*.



Rys. 21. Wykres oceny jakości dostawy produktów mrożonych. 1 – bardzo słabo, 3 – przeciętnie, 5 – bardzo dobrze

Źródło: Opracowanie wyników badań własnych

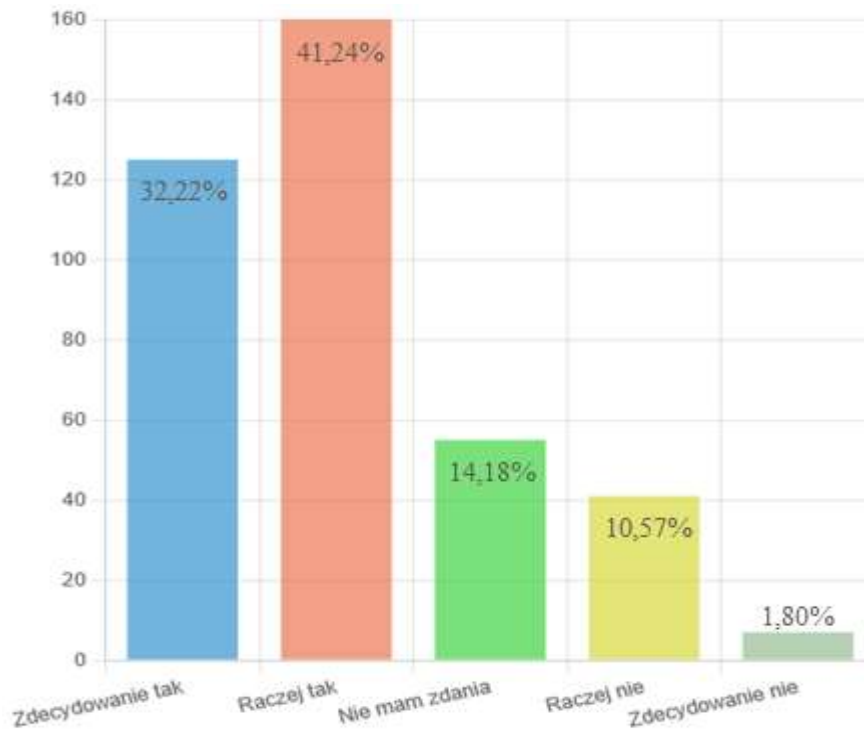
Jakość dostawy produktów mrożonych została oceniona różnie przez respondentów, z przewagą ocen przeciętnych (rysunek 21). Wyniki te uwypuklają znaczenie bezpiecznych i praktycznych opakowań jednostkowych, które chronią produkty i wspierają pozytywne doświadczenie zakupowe, szczególnie w przypadku *e-commerce*.



Rys. 22. Wykres najczęstszych problemów w dostawie produktów mrożonych

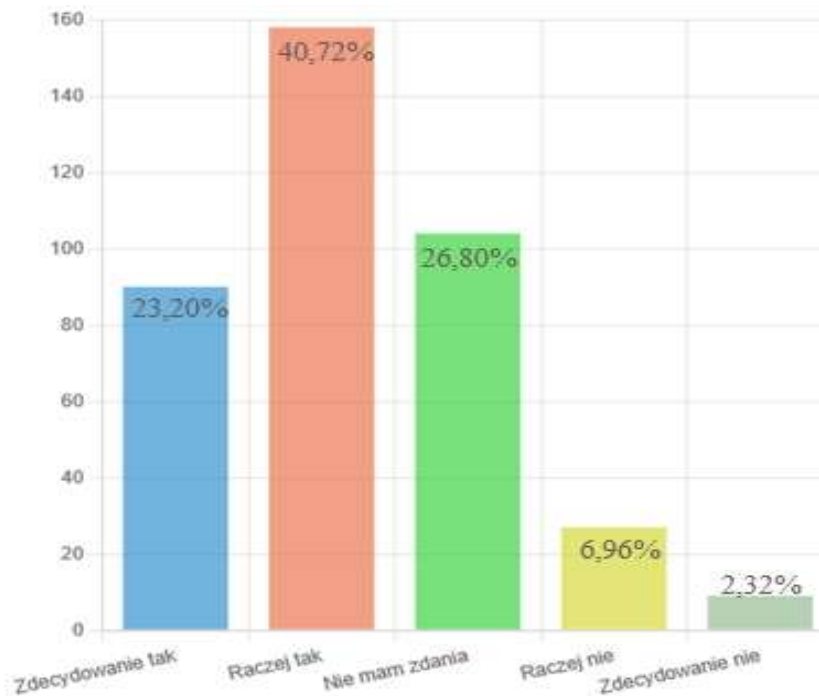
Źródło: Opracowanie wyników badań własnych.

Respondenci doświadczają wielu problemów związanych z transportem produktów mrożonych (rysunek 22). Najczęściej wskazywano częściowe rozmrożenie produktów, brak odpowiedniego zabezpieczenia termicznego oraz brak informacji o warunkach transportu. Równie istotne były nadmierna ilość lodu lub szronu oraz uszkodzenia opakowań, które mogą wpływać zarówno na estetykę produktu, jak i na jego bezpieczeństwo żywnościowe. Problemy te wskazują, że obecne rozwiązania logistyczne nie zawsze zapewniają optymalną ochronę jakości produktów mrożonych podczas dostawy do konsumenta, co uwydatnia znaczenie funkcjonalnych i wytrzymałych opakowań jednostkowych.



Rys. 23. Wykres oceny użyteczności śledzenia temperatury mrozonek

Źródło: Opracowanie wyników badań własnych.



Rys. 24. Wykres akceptowalności monitorowania produktów przez producenta (np. z wykorzystaniem blockchain)

Źródło: Opracowanie wyników badań własnych.

Dane przedstawione na rysunkach 23 i 24 odzwierciedlają różny stopień akceptacji technologii umożliwiających śledzenie jakości produktów mrożonych. Możliwość sprawdzenia historii temperatur produktu, np. poprzez kod QR, została uznana przez większość respondentów za przydatną, natomiast monitoring prowadzony przez producenta, np. z wykorzystaniem blockchain, spotkał się z nieco mniejszym, choć również pozytywnym zainteresowaniem. Wyniki te uwypuklają rolę inteligentnych opakowań jednostkowych, które nie tylko chronią produkty, ale również wspierają konsumentów w podejmowaniu świadomych decyzji zakupowych i zwiększają przejrzystość całego łańcucha dostaw.

Inteligentne systemy śledzenia produktów zwiększają zaufanie do jakości i bezpieczeństwa żywności, przy czym największą akceptację zyskują rozwiązania umożliwiające konsumentowi samodzielny dostęp do danych (np. QR). W kontekście Przemysłu 5.0 podkreśla to znaczenie transparentności i interakcji konsumenta z produktem. Implementacja takich rozwiązań wspiera świadome decyzje zakupowe, ogranicza ryzyko zakupu produktów nieświeżych i podnosi postrzeganą wartość opakowań w całym łańcuchu dostaw.

Przeprowadzone badanie pozwoliło zidentyfikować kluczowe oczekiwania konsumentów wobec opakowań produktów mrożonych. Respondenci wskazali na istotne znaczenie funkcjonalności, bezpieczeństwa żywności, kontroli warunków przechowywania oraz informacji o produkcie – zarówno w aspekcie czytelności, jak i transparentności dotyczącym historii przechowywania. Wysoka akceptacja nowoczesnych rozwiązań, takich jak opakowania inteligentne i aktywne, oraz zainteresowanie możliwością monitorowania temperatury i stanu produktu, potwierdzają rosnącą rolę opakowań jako narzędzia zarządzania jakością i bezpieczeństwem konsumpcji.

Opakowania produktów mrożonych pełnią kluczową rolę nie tylko w ochronie samego produktu, ale również w zapewnieniu integralności łańcucha dostaw. W kontekście Przemysłu 5.0 oznacza to potrzebę wdrażania inteligentnych i aktywnych opakowań, które mogą monitorować warunki przechowywania i transportu, minimalizować ryzyko uszkodzeń, poprawiać bezpieczeństwo żywności i zwiększać zaufanie konsumentów do zakupów online. Ponadto, transparentność danych o warunkach transportu, np. poprzez systemy śledzenia temperatury, może stać się istotnym czynnikiem decyzyjnym dla konsumentów, zwiększając postrzeganą wartość produktu i marki.

Uzyskane wyniki jednoznacznie wskazują, że cechy jakościowe opakowań, w szczególności związane z bezpieczeństwem żywności, funkcjonalnością użytkową oraz aspektami środowiskowymi, stanowią istotny czynnik wpływający na decyzje zakupowe konsumentów. Respondenci wykazali wysoką wrażliwość na rozwiązania zwiększające kontrolę jakości produktu, takie jak wskaźniki TTI, możliwość monitorowania temperatury czy funkcjonalność ponownego zamknięcia opakowania. Jednocześnie istotne znaczenie przypisywano aspektom ekologicznym, które wpływały na postrzeganą wartość produktu oraz wizerunek marki. Wyniki pozwalają zatem na pozytywną weryfikację hipotezy szczegółowej 3, zgodnie z którą cechy jakościowe opakowań jednostkowych produktów mrożonych istotnie wpływają na decyzje zakupowe Klienta 5.0.

4.4. Ocena cech jakościowych wybranych opakowań jednostkowych produktów mrożonych obecnych na rynku

Druga część badania sondażowego metodą CAWI została poświęcona szczegółowej ocenie cech jakościowych wybranych opakowań produktów mrożonych dostępnych na rynku. Respondenci mieli za zadanie ocenić zarówno aspekty funkcjonalne, estetyczne, jak i ekologiczne poszczególnych opakowań, co pozwalało uzyskać pełniejszy obraz postrzeganej jakości i wartości konsumenckiej produktów. W badaniu uwzględniono trzy typy opakowań: paluszki rybne w opakowaniu tekturowym w formie prostopadłościanu, warzywa na patelnię w opakowaniu foliowym w formie woreczka lub saszetki oraz owoce morza w opakowaniu typu doypack z zamknięciem strunowym. Każdy z tych typów odznacza się odmiennymi właściwościami użytkowymi i estetycznymi, co pozwoliło na porównanie ich walorów i ograniczeń z perspektywy konsumentów.

Wyniki dotyczące pierwszego opakowania, tj. tekturowego opakowania paluszków rybnych zostały przedstawione w Tabeli 8.

Tabela 8. Ocena cech jakościowych opakowania paluszków rybnych mrożonych

Kryterium	Ocena				
	1 - bardzo słabe	2 - słabe	3 - przeciętne	4 - dobre	5 - bardzo dobre
Trwałość (odporność na uszkodzenia, transport, mrożenie)	6,96%	32,73%	43,30%	13,40%	3,61%
Czytelność informacji (skład, instrukcje, wartości odżywcze)	6,96%	22,94%	34,02%	22,94%	13,14%
Atrakcyjność wizualna	3,61%	19,33%	39,43%	23,97%	13,66%
Funkcjonalność (otwieranie, zamykanie, przechowywanie)	7,99%	29,64%	32,47%	20,36%	9,54%
Zaufanie do świeżości / jakości produktu (podczas zakupu i w trakcie użytkowania)	7,47%	31,19%	35,82%	17,27%	8,25%
Jak oceniasz opakowanie pod względem ekologicznym?	4,38%	10,31%	30,67%	26,80%	27,84%

Zródło: Opracowanie wyników badań własnych.

Opakowanie mrożonych paluszków rybnych, wykonane z tektury w formie prostopadłościanu i pozbawione możliwości ponownego zamknięcia, zostało przez respondentów ocenione w sposób umiarkowany, z wyraźnym zróżnicowaniem pomiędzy oceną cech logistyczno-ochronnych a funkcjonalnością użytkową. Uzyskane wyniki wskazują, że opakowanie to spełnia podstawowe funkcje w łańcuchu dostaw, jednak z perspektywy konsumenta końcowego nie odpowiada w pełni na potrzeby związane z wygodą użytkowania i kontrolą jakości po otwarciu.

W odniesieniu do trwałości opakowania, rozumianej jako odporność na uszkodzenia mechaniczne, transport i warunki mrożenia, dominowały oceny przeciętne. Jednocześnie zauważalna była obecność ocen słabych i bardzo słabych, co może wskazywać na postrzeganą podatność opakowania tekturowego na deformacje oraz ograniczoną odporność na wilgoć w warunkach zamrażania. Wyniki te sugerują, że mimo poprawnych właściwości logistycznych, konsumenci nie postrzegają tego typu opakowania jako rozwiązania zapewniającego wysoki poziom ochrony produktu.

Czytelność informacji na opakowaniu została oceniona korzystniej niż jego trwałość. Znaczny udział ocen dobrych i bardzo dobrych wskazuje, że powierzchnia tekturowego opakowania umożliwia czytelną prezentację składu, instrukcji przygotowania oraz informacji żywieniowych. Jednocześnie utrzymujący się wysoki udział ocen przeciętnych sugeruje, że czytelność informacji jest postrzegana jako standard rynkowy, a nie cecha wyróżniająca ten typ opakowania. W przypadku

atrakcyjności wizualnej respondenci najczęściej wskazywali oceny przeciętne oraz dobre. Taki rozkład odpowiedzi wskazuje, że opakowanie spełnia oczekiwania estetyczne w stopniu umiarkowanym, lecz nie stanowi istotnego czynnika różnicującego produkt na tle konkurencji. Może to wynikać z zachowawczego charakteru graficznego oraz silnego przywiązania konsumentów do znanych form opakowań dla tej kategorii produktowej.

Znacznie bardziej krytyczne oceny dotyczyły funkcjonalności opakowania, obejmującej łatwość otwierania, możliwość zamykania oraz wygodę przechowywania. Dominacja ocen przeciętnych oraz wysoki udział ocen negatywnych wskazują, że brak możliwości ponownego zamknięcia opakowania jest postrzegany jako istotna wada, szczególnie w kontekście dużych, rodzinnych porcji (XL). Wyniki te potwierdzają, że z perspektywy użytkownika końcowego opakowanie nie wspiera racjonalnego porcjowania produktu ani bezpiecznego przechowywania po otwarciu.

Podobny, umiarkowany poziom ocen dotyczył zaufania do świeżości i jakości produktu. Dominacja ocen przeciętnych sugeruje, że respondenci nie utożsamiają opakowania tekturowego z aktywną ochroną jakości mrozonek po zakupie. Brak elementów umożliwiających kontrolę warunków przechowywania lub szczelne zamknięcie opakowania może obniżać poczucie bezpieczeństwa konsumentów, co pozostaje spójne z wcześniejszymi wynikami badania dotyczącymi rosnącego znaczenia opakowań inteligentnych i aktywnych.

Najwyżej ocenionym kryterium była ocena ekologiczna opakowania. Znaczny udział ocen dobrych i bardzo dobrych wskazuje, że respondenci postrzegają opakowanie tekturowe jako rozwiązanie bardziej przyjazne środowisku w porównaniu do opakowań foliowych. Jednocześnie obecność ocen przeciętnych sugeruje, że sama obecność materiału papierowego nie jest wystarczająca do jednoznacznie pozytywnej oceny ekologiczności, szczególnie w kontekście braku funkcjonalności użytkowej.

Opakowanie tekturowe paluszków rybnych jest postrzegane przez konsumentów jako rozwiązanie akceptowalne pod względem ekologicznym, jednak niewystarczające z perspektywy funkcjonalności użytkowej. Uzyskane wyniki wskazują na wyraźną rozbieżność pomiędzy efektywnością tego typu opakowania w procesach logistycznych a oczekiwaniami użytkowników końcowych dotyczącymi wygody, możliwości porcjowania oraz kontroli jakości po otwarciu. W realiach Przemysłu 5.0 uwidacznia się potrzeba projektowania opakowań, które integrują walory środowiskowe z rozwiązaniami zwiększającymi bezpieczeństwo żywności, transparentność informacji

oraz komfort użytkowania, odpowiadając tym samym na rosnące wymagania świadomych konsumentów.

Drugim ocenianym przez respondentów przykładem było opakowanie bardzo popularnych „warzyw na patelnię”, wykonane z tworzywa foliowego, w formie elastycznego woreczka (saszetki), typowego dla tej kategorii produktów mrożonych. Ten typ opakowania jest powszechnie stosowany na rynku ze względu na niską masę, elastyczność oraz dobre dopasowanie do produktu, a także efektywność kosztową i logistyczną. Z perspektywy konsumenta stanowi on jednak rozwiązanie odmienne funkcjonalnie niż klasyczne opakowania kartonowe. Szczegółowe wyniki oceny zostały przedstawione w Tabeli 9.

Tabela 9. Ocena cech jakościowych opakowania mrożonych warzyw "na patelnię"

Kryterium	1 - bardzo słabe	2 - słabe	3 - przeciętne	4 - dobre	5 - bardzo dobre
Trwałość (odporność na uszkodzenia, transport, mrożenie)	4,90%	11,86%	42,78%	26,55%	13,92%
Czytelność informacji (skład, instrukcje, wartości odżywcze)	1,80%	6,19%	30,93%	40,21%	20,88%
Atrakcyjność wizualna	2,32%	5,15%	27,84%	39,18%	25,52%
Funkcjonalność (otwieranie, zamykanie, przechowywanie)	9,02%	19,59%	45,10%	19,07%	7,22%
Zaufanie do świeżości / jakości produktu (podczas zakupu i w trakcie użytkowania)	3,61%	12,11%	43,56%	28,87%	11,86%
Jak oceniasz opakowanie pod względem ekologicznym?	17,53%	28,87%	35,05%	12,63%	5,93%

Źródło: Opracowanie wyników badań własnych.

Opakowanie warzyw na patelnię, wykonane z tworzywa foliowego, zostało przez respondentów ocenione w sposób zróżnicowany, przy czym w większości analizowanych kryteriów dominowały oceny przeciętne i dobre. Taki rozkład odpowiedzi wskazuje, że konsumenci postrzegają ten typ opakowania jako rozwiązanie funkcjonalne, lecz niepozbawione istotnych ograniczeń. W przypadku trwałości opakowania, rozumianej jako odporność na uszkodzenia, transport i mrożenie, najczęściej wskazywaną oceną była wartość przeciętna. Jednocześnie zauważalny udział ocen dobrych i bardzo dobrych sugeruje, że opakowanie foliowe spełnia podstawowe wymagania ochronne w łańcuchu logistycznym. Niewielki, lecz istotny odsetek ocen negatywnych może jednak świadczyć o obawach konsumentów dotyczących podatności opakowania na uszkodzenia mechaniczne, szczególnie w warunkach transportu i przechowywania.

Czytelność informacji została oceniona wyraźnie korzystniej niż trwałość. Dominacja ocen dobrych i bardzo dobrych wskazuje, że respondenci w większości nie mają trudności z odnalezieniem kluczowych informacji dotyczących składu, sposobu przygotowania czy wartości odżywczych. Jednocześnie obecność ocen przeciętnych może sugerować, że ograniczona powierzchnia opakowania foliowego nie zawsze pozwala na czytelną i przejrzystą prezentację informacji, co pozostawia przestrzeń do dalszych usprawnień. W odniesieniu do atrakcyjności wizualnej, respondenci najczęściej oceniali opakowanie jako dobre lub bardzo dobre. Wynik ten wskazuje, że estetyka opakowania foliowego, oparta na intensywnej kolorystyce i graficznej prezentacji produktu, skutecznie przyciąga uwagę konsumentów. Jednocześnie znaczny udział ocen przeciętnych sugeruje, że aspekt wizualny nie stanowi jednoznacznego czynnika wyróżniającego ten typ opakowania na tle konkurencji.

Najbardziej krytycznie ocenionym obszarem okazała się funkcjonalność, obejmująca łatwość otwierania, możliwość zamykania oraz wygodę przechowywania. Dominacja ocen przeciętnych oraz istotny udział ocen słabych i bardzo słabych wskazują, że respondenci dostrzegają ograniczenia tego typu opakowania w codziennym użytkowaniu. Niski udział ocen bardzo dobrych sugeruje, że brak rozwiązań umożliwiających ponowne zamknięcie opakowania negatywnie wpływa na komfort użytkowania oraz możliwość porcjowania produktu. Zaufanie do świeżości i jakości produktu, zarówno na etapie zakupu, jak i w trakcie użytkowania, zostało ocenione głównie jako przeciętne lub dobre. Taki rozkład odpowiedzi wskazuje na umiarkowany poziom zaufania konsumentów do tego rodzaju opakowania. Obecność ocen negatywnych może świadczyć o ograniczonym poczuciu kontroli nad warunkami przechowywania produktu po otwarciu opakowania, co pozostaje spójne z wcześniejszymi wynikami dotyczącymi potrzeby monitorowania jakości mrozonek.

Najniżej ocenionym kryterium była ekologiczność opakowania. Dominacja ocen przeciętnych, słabych i bardzo słabych jednoznacznie wskazuje, że opakowanie foliowe jest postrzegane przez konsumentów jako rozwiązanie problematyczne z punktu widzenia ochrony środowiska. Niewielki udział ocen wysokich sugeruje, że respondenci rzadko utożsamiają ten typ opakowania z działaniami proekologicznymi, mimo potencjalnych korzyści logistycznych wynikających z niskiej masy materiału.

Opakowanie warzyw na patelnię jest oceniane przez respondentów jako rozwiązanie umiarkowanie efektywne, szczególnie w zakresie trwałości oraz czytelności informacji produktowych. Jednocześnie zauważalne są ograniczenia związane

z funkcjonalnością użytkową, zwłaszcza po częściowym zużyciu produktu, co wpływa na komfort przechowywania w warunkach domowych. Relatywnie niska ocena aspektu ekologicznego wskazuje, że konsumenci coraz wyraźniej dostrzegają sprzeczność pomiędzy wygodą opakowań elastycznych a ich wpływem środowiskowym. Kształtuje to potrzebę poszukiwania rozwiązań opakowaniowych, które łączą lekkość i elastyczność materiałów foliowych z poprawą funkcjonalności oraz bardziej jednoznaczną komunikacją działań proekologicznych.

Tabela 10. Ocena cech jakościowych opakowania strunowego typu doypack

Kryterium	1 - bardzo słabe	2 - słabe	3 - przeciętne	4 - dobre	5 - bardzo dobre
Trwałość (odporność na uszkodzenia, transport, mrożenie)	3,35%	7,99%	27,06%	43,04%	18,56%
Czytelność informacji (skład, instrukcje, wartości odżywcze)	4,38%	13,40%	48,20%	24,74%	9,28%
Atrakcyjność wizualna	4,90%	10,82%	30,67%	34,79%	18,81%
Funkcjonalność (otwieranie, zamykanie, przechowywanie)	3,35%	4,38%	17,78%	26,55%	47,94%
Zaufanie do świeżości / jakości produktu (podczas zakupu i w trakcie użytkowania)	3,09%	7,73%	31,44%	28,09%	29,64%
Jak oceniasz opakowanie pod względem ekologicznym?	11,86%	29,38%	38,66%	12,11%	7,99%

Zródło: Opracowanie wyników badań własnych.

Ostatnie oceniane opakowanie to *doypack* z zamknięciem strunowym, zastosowany w przypadku mrożonych owoców morza. Zbiorcze wyniki oceny zestawiono w Tabeli 10. Zostało ono przez respondentów ocenione jako rozwiązanie w najwyższym stopniu odpowiadające współczesnym oczekiwaniom konsumentów w zakresie jakości użytkowej opakowań produktów mrożonych. Uzyskane wyniki wskazują, że badani postrzegają ten typ opakowania jako dobrze dostosowany do specyfiki produktu, zarówno pod względem ochrony fizycznej w trakcie transportu i przechowywania w warunkach mroźniczych, jak i komfortu użytkowania w gospodarstwie domowym.

Wysokie oceny trwałości świadczą o tym, że *doypack* jest uznawany za skuteczną barierę chroniącą produkt przed uszkodzeniami mechanicznymi oraz niekorzystnym wpływem warunków zewnętrznych. Jest to szczególnie istotne w przypadku owoców morza, które należą do grupy produktów o wysokiej wrażliwości jakościowej i wymagają stabilnych warunków przechowywania. Pozytywna percepcja trwałości opakowania

wzmacnia jednocześnie poczucie bezpieczeństwa żywności, które – jak wykazano we wcześniejszej części analizy – stanowi jeden z kluczowych czynników wpływających na decyzje zakupowe konsumentów.

Najwyraźniej akcentowanym atutem analizowanego opakowania pozostaje jego funkcjonalność. Możliwość wielokrotnego otwierania i zamykania sprzyja racjonalnemu porcjowaniu produktu oraz ułatwia jego dalsze przechowywanie po pierwszym użyciu. Tego rodzaju rozwiązania ograniczają ryzyko pogorszenia jakości produktu w trakcie użytkowania, a jednocześnie wpisują się w postulaty redukcji marnowania żywności, które były silnie akcentowane przez respondentów w odniesieniu do opakowań inteligentnych i aktywnych. W tym sensie *doypack* strunowy pełni funkcję opakowania „quasi-inteligentnego”, zwiększając kontrolę konsumenta nad produktem bez konieczności stosowania zaawansowanych technologii. Oceny zaufania do świeżości i jakości produktu wskazują, że konstrukcja opakowania, jego szczelność oraz możliwość ponownego zamknięcia mają bezpośredni wpływ na postrzeganie jakości żywności zarówno w momencie zakupu, jak i w trakcie użytkowania. Jednocześnie umiarkowane oceny czytelności informacji sugerują, że choć opakowanie spełnia podstawowe funkcje informacyjne, istnieje potencjał do lepszego wykorzystania jego powierzchni w zakresie komunikowania sposobu przygotowania, warunków przechowywania czy informacji o jakości i pochodzeniu produktu.

Atrakcyjność wizualna *doypacka* oceniana jest pozytywnie, co wskazuje, że elastyczna forma opakowania sprzyja nowoczesnej estetyce i postrzeganiu produktu jako wygodnego i dopasowanego do dynamicznego stylu życia konsumentów. Jednocześnie aspekt ekologiczny pozostaje najsłabiej ocenianym elementem, co potwierdza ambiwalentny stosunek respondentów do opakowań wielomateriałowych. Choć są one wysoko oceniane pod względem funkcjonalnym, budzą wątpliwości związane z możliwością recyklingu i wpływem na środowisko.

W kontekście założeń Przemysłu 5.0 analizowane opakowanie strunowe typu *doypack* można uznać za przykład rozwiązania silnie zorientowanego na użytkownika końcowego, odpowiadającego na potrzeby bezpieczeństwa, wygody i kontroli jakości. Jednocześnie wyniki badania wskazują na konieczność dalszego rozwoju tego typu opakowań w kierunku bardziej zrównoważonych materiałów oraz bardziej transparentnej komunikacji środowiskowej, tak aby wysoki poziom funkcjonalności mógł iść w parze z rosnącymi oczekiwaniami konsumentów w zakresie odpowiedzialnej konsumpcji.

Analiza trzech typów opakowań produktów mrożonych ujawnia wyraźne różnicowanie w sposobie postrzegania ich jakości przez konsumentów oraz pozwala wskazać kluczowe obszary decydujące o akceptacji rynkowej poszczególnych rozwiązań. Respondenci oceniają opakowania nie jako neutralne nośniki produktu, lecz jako integralny element jego jakości, wpływający na bezpieczeństwo użytkowania, wygodę oraz zaufanie do samego produktu spożywczego. Tekturowe opakowanie paluszków rybnych, o klasycznej formie prostopadłościanu, jest postrzegane jako rozwiązanie stabilne i czytelne, dobrze realizujące funkcję informacyjną oraz komunikacyjną. Jego przewagą pozostaje klarowność przekazu i relatywnie pozytywne skojarzenia środowiskowe, wynikające z zastosowania papieru i kartonu. Jednocześnie ograniczona funkcjonalność po otwarciu oraz brak możliwości ponownego zamknięcia obniżają ocenę użytkową tego typu opakowania, co ma znaczenie zwłaszcza w kontekście produktów porcjowanych i przechowywanych przez dłuższy czas w warunkach mroźniczych. Popularne opakowanie foliowe, stosowane w przypadku warzyw na patelnię, zostało ocenione w sposób bardziej ambiwalentny. Z jednej strony spełnia ono podstawowe wymagania ochronne i jest powszechnie rozpoznawalne przez konsumentów, z drugiej jednak nie oferuje rozwiązań zwiększających komfort użytkowania ani kontroli nad produktem po pierwszym otwarciu. Funkcjonalność tego opakowania oraz jego postrzeganie ekologiczne stanowią wyraźne ograniczenie, co sugeruje, że standardowe rozwiązania foliowe przestają odpowiadać rosnącym oczekiwaniom konsumentów w zakresie wygody i odpowiedzialności środowiskowej. Najwyższe oceny uzyskało opakowanie strunowe typu doypack, zastosowane dla mrożonych owoców morza. Respondenci jednoznacznie docenili jego funkcjonalność, trwałość oraz wpływ na poczucie kontroli nad świeżością i jakością produktu. Możliwość wielokrotnego otwierania i zamykania opakowania znacząco podnosi jego wartość użytkową i sprzyja racjonalnemu gospodarowaniu żywnością. Jednocześnie umiarkowane oceny aspektu ekologicznego wskazują, że nawet najlepiej oceniane rozwiązania funkcjonalne nie są wolne od wątpliwości związanych z wpływem na środowisko.

Zestawienie wyników analizowanych opakowań pokazuje, że konsumenci coraz wyraźniej różnicują ocenę poszczególnych cech jakościowych, przypisując im odmienne znaczenie w zależności od rodzaju produktu i formy opakowania. Funkcjonalność, poczucie bezpieczeństwa oraz zaufanie do jakości stają się czynnikami o znaczeniu porównywalnym z estetyką i czytelnością informacji, podczas gdy aspekt ekologiczny

pozostaje obszarem napięcia między deklarowanymi oczekiwaniami a akceptacją rozwiązań dostępnych na rynku.

4.5. Wnioski

Przeprowadzone badania empiryczne umożliwiły identyfikację oraz ocenę znaczenia cech jakościowych opakowań jednostkowych produktów mrożonych w procesie podejmowania decyzji zakupowych przez współczesnych konsumentów funkcjonujących w warunkach Przemysłu 5.0. Na podstawie uzyskanych wyników wykazano, że opakowanie jednostkowe stanowi istotny element kształtujący percepcję jakości produktu oraz poziom zaufania konsumenta, wykraczając poza swoją tradycyjną funkcję ochronną i logistyczną.

W szczególności stwierdzono, że kluczowe znaczenie w ocenie opakowań mają cechy związane z bezpieczeństwem produktu, funkcjonalnością użytkową oraz możliwością kontroli jego jakości. Do najistotniejszych czynników determinujących pozytywną ocenę opakowania należały szczelność, trwałość materiału, możliwość wielokrotnego zamknięcia oraz przejrzystość informacji zamieszczonych na opakowaniu. Cechy te wpływały bezpośrednio na poczucie bezpieczeństwa konsumenta oraz ograniczenie ryzyka postrzeganego w procesie zakupu.

Jednocześnie wykazano, że istotnym elementem wpływającym na percepcję jakości opakowania są aspekty środowiskowe. Opakowania postrzegane jako bardziej ekologiczne budziły większe zaufanie konsumentów oraz wpływały pozytywnie na postrzeganie odpowiedzialności producenta. Oznacza to, że zrównoważoność środowiskowa stanowi istotny komponent oceny jakości opakowań przez Klienta 5.0, który w procesie decyzyjnym uwzględnia nie tylko cechy funkcjonalne, lecz również konsekwencje środowiskowe podejmowanych wyborów.

Analiza porównawcza badanych typów opakowań wykazała, że najwyżej ocenianym rozwiązaniem było opakowanie typu *doypack* z zamknięciem strunowym, które w największym stopniu odpowiadało oczekiwaniom konsumentów w zakresie funkcjonalności oraz wygody użytkowania. Jednocześnie opakowanie tekturowe uzyskało najwyższe oceny w zakresie postrzeganej ekologiczności, natomiast opakowanie foliowe zostało ocenione najniżej w tym obszarze. Wyniki te potwierdzają,

że konsumenci dokonują oceny opakowań w sposób wielowymiarowy, integrując kryteria funkcjonalne, jakościowe oraz środowiskowe.

Na podstawie przeprowadzonych badań udzielono odpowiedzi na problem szczegółowy 3, dotyczący wpływu cech jakościowych opakowań jednostkowych produktów mrożonych na decyzje zakupowe Klienta 5.0. Wykazano, że cechy jakościowe opakowania stanowią istotny determinant wyborów konsumenckich, wpływając zarówno na ocenę produktu, jak i poziom zaufania wobec producenta. Oznacza to, że opakowanie jednostkowe stanowi integralny element procesu kształtowania wartości produktu z perspektywy współczesnego konsumenta.

Uzyskane wyniki pozwoliły również na pozytywną weryfikację hipotezy szczegółowej 3, zgodnie z którą cechy jakościowe opakowań jednostkowych produktów mrożonych, w szczególności związane z bezpieczeństwem, funkcjonalnością oraz zrównoważonością środowiskową, istotnie wpływają na decyzje zakupowe Klienta 5.0. Na podstawie przeprowadzonych analiz hipoteza ta została pozytywnie zweryfikowana. Wykazano, że opakowania charakteryzujące się wyższym poziomem bezpieczeństwa, większą funkcjonalnością oraz zgodnością z zasadami zrównoważonego rozwoju były oceniane bardziej pozytywnie i preferowane przez konsumentów w procesie wyboru produktu.

5. Najlepsze praktyki i rekomendacje w zakresie funkcjonalności opakowań jednostkowych produktów mrożonych

W dobie Przemysłu 5.0 zarządzanie jakością opakowań jednostkowych produktów mrożonych wymaga wielowymiarowego podejścia, które integruje funkcjonalność, bezpieczeństwo, estetykę oraz aspekty zrównoważonego rozwoju. Niniejszy rozdział koncentruje się na identyfikacji i ocenie najlepszych praktyk oraz innowacyjnych rozwiązań stosowanych w branży opakowaniowej produktów mrożonych, ze szczególnym uwzględnieniem zarówno doświadczeń ekspertów, jak i obserwacji rynkowych oraz rozwiązań technologicznych z sektora spożywczego. Został skonstruowany w sposób umożliwiający kompleksowe spojrzenie na proces projektowania i produkcji opakowań jednostkowych, począwszy od opinii specjalistów zajmujących się ekologią, zrównoważonym rozwojem i przemysłem opakowaniowym, poprzez analizę konkretnych innowacji opakowaniowych wdrażanych w sektorze żywności, aż po formułowanie praktycznych rekomendacji dla przedsiębiorstw. Dzięki temu możliwe jest powiązanie wyników badań empirycznych z istniejącymi trendami rynkowymi i technologicznymi oraz ocenienie ich przydatności w kontekście zmieniających się oczekiwań Konsumentów 5.0. Rozdział ten stanowi pomost pomiędzy teorią a praktyką, pozwalając na wskazanie obszarów, w których innowacje technologiczne, inteligentne opakowania i zrównoważone materiały mogą być skutecznie zintegrowane w procesie projektowania i produkcji, a także umożliwia wypracowanie rekomendacji mających zastosowanie w realnych warunkach przemysłowych.

5.1. Eksperckie ujęcie najlepszych praktyk i innowacji w opakowaniach jednostkowych produktów mrożonych

W ramach badań jakościowych przeprowadzono pogłębione wywiady indywidualne (IDI) z przedstawicielami dwóch dziedzin: ekspertami ds. ekologii, zrównoważonego rozwoju i gospodarki odpadami oraz specjalistami z branży projektowania i produkcji opakowań. Wywiady miały charakter częściowo ustrukturyzowany, a ich treść rejestrowano w formie notatek moderatorskich. Wywiady miały charakter częściowo ustrukturyzowany, co umożliwiło zarówno porównywalność odpowiedzi, jak i rozwinięcie wątków specyficznych dla doświadczenia poszczególnych uczestników. Wyniki zostały opracowane w formie notatek moderatorskich i poddane

analizie jakościowej, pozwalającej na zidentyfikowanie kluczowych praktyk, barier oraz perspektyw rozwoju opakowań jednostkowych produktów mrożonych.

Pierwszą analizowaną grupą ekspertów byli specjaliści z zakresu ekologii i zrównoważonego rozwoju, konsultanci producentów żywności i opakowań, szczególnie związani z wdrożeniami strategii gospodarki w obiegu zamkniętym oraz zapewnianiem zgodności z regulacjami UE – łącznie 7 osób. Wiedza ta umożliwia ocenę wpływu przepisów prawnych, dostępnych technologii i oczekiwań rynkowych na projektowanie i produkcję opakowań mrożonek, które łączą funkcjonalność, bezpieczeństwo z wymaganiami i oczekiwaniami ekologicznymi.

Analiza wywiadów wskazuje, że regulacje unijne, w szczególności Dyrektywa SUP (*Single-Use Plastics*) oraz przepisy dotyczące rozszerzonej odpowiedzialności producenta (EPR), wywierają istotny wpływ na dobór materiałów i strukturę opakowań. Przepisy te wymuszają ograniczenie stosowania tworzyw jednorazowych, promują recykling oraz wymagają czytelnego oznakowania, umożliwiającego konsumentom prawidłową segregację odpadów. Normy te przyczyniają się także do eliminacji wielowarstwowych materiałów utrudniających przetwarzanie, co jest kluczowe w kontekście produktów mrożonych, gdzie zapewnienie właściwych barier termicznych i ochronnych jest wymagane.

W obszarze technologii i materiałów obiecujących dla zrównoważonych opakowań jednostkowych eksperci zwracali uwagę na zastosowanie monomateriałowych folii PET, laminatów nadających się do recyklingu oraz biotworzyw. Równocześnie istotne są powłoki funkcjonalne, które poprawiają ochronę produktu, a także rozwiązania hybrydowe łączące biodegradowalność z barierowością, niezbędną dla zachowania jakości mrożonek. Dodatkowo wskazywano na rozwój materiałów umożliwiających integrację wskaźników TTI lub innych sensorów, co pozwala na monitorowanie świeżości i warunków przechowywania produktu, bez ograniczania możliwości recyklingu. Mimo postępu technologicznego, producenci napotykają liczne wyzwania. Do głównych barier należą wysokie koszty materiałów ekologicznych, ograniczona dostępność surowców spełniających wymagania termiczne dla mrożonek, brak jednolitych standardów w UE oraz niska świadomość konsumentów w zakresie segregacji odpadów. Eksperci podkreślali również konieczność znalezienia kompromisu pomiędzy funkcjonalnością opakowania a jego zrównoważonym charakterem, co stanowi istotne ograniczenie przy projektowaniu nowych produktów.

W kontekście integracji opakowań inteligentnych z materiałami przyjaznymi środowisku, uczestnicy badania wskazali, że jest to technicznie wykonalne, ale wymaga innowacyjnych rozwiązań, takich jak cienkie naklejki lub nadruki sensorów, które nie komplikują procesu recyklingu. Tego typu podejście pozwala łączyć monitorowanie świeżości i temperatury produktu z ekologiczną konstrukcją opakowania. Prognozy ekspertów na najbliższe 5–10 lat obejmują wzrost wymagań prawnych dotyczących biodegradowalności i recyklingu, standaryzację materiałów opakowaniowych w UE oraz powszechne wdrażanie opakowań inteligentnych. Przewiduje się rozwój koncepcji „smart & green”, w której innowacyjność technologiczna i zrównoważony charakter opakowań będą ze sobą ściśle powiązane. Rosnące znaczenie estetyki zrównoważonej sprawi, że konsumenci będą coraz bardziej świadomi wyglądu i ekologiczności opakowania, co stanie się istotnym czynnikiem konkurencyjnym dla producentów.

W ramach badań jakościowych przeprowadzono także pogłębione wywiady indywidualne (IDI) z przedstawicielami przemysłu opakowaniowego, w tym projektantami oraz producentami opakowań jednostkowych dla produktów mrożonych, łącznie 6 ekspertów. Uzyskano szereg istotnych informacji dotyczących praktycznych aspektów projektowania i produkcji opakowań jednostkowych produktów mrożonych, wdrażania innowacji technologicznych oraz adaptacji do oczekiwań Konsumentów 5.0.

Respondenci podkreślali, że w codziennej działalności dominują opakowania monomateriałowe, laminaty recyklowalne oraz tacki papierowe powlekane cienką folią barierową. Dobór tych rozwiązań wynika z konieczności zapewnienia trwałości i ochrony produktów przed uszkodzeniami mechanicznymi, wilgocią oraz zmianami temperatury, przy jednoczesnym uwzględnieniu wymogów regulacyjnych i oczekiwań klientów w zakresie ekologii. Równocześnie zauważono, że coraz większe znaczenie zyskują materiały hybrydowe, które łączą właściwości barierowe z biodegradowalnością, co umożliwia producentom realizację strategii zrównoważonego rozwoju bez kompromisu w zakresie jakości mrożonek.

Analiza wywiadów wykazała, że przedsiębiorstwa aktywnie wdrażają technologie Przemysłu 5.0, w tym automatyzację linii pakujących, cyfryzację procesów produkcyjnych, monitoring w czasie rzeczywistym (IoT) oraz druk 3D wykorzystywany do prototypowania opakowań. Respondenci wskazywali, że integracja tych rozwiązań zwiększa precyzję, powtarzalność oraz bezpieczeństwo opakowań, a także umożliwia wprowadzanie innowacyjnych funkcji, takich jak inteligentne wskaźniki TTI monitorujące świeżość produktu. Wdrożenie takich technologii wymaga jednak adaptacji

infrastruktury produkcyjnej oraz przeprowadzenia szczegółowych testów kompatybilności materiałów z dodatkowymi sensorami.

W zakresie innowacji uczestnicy wskazywali na kilka kluczowych kierunków: rozwój opakowań inteligentnych i aktywnych, integrację powłok funkcjonalnych zwiększających trwałość produktu, stosowanie materiałów hybrydowych łączących właściwości barierowe z ekologicznymi oraz wykorzystanie druku 3D do projektowania prototypów i personalizacji opakowań. W opinii projektantów i producentów, wdrażanie tych innowacji jest konieczne, aby sprostać rosnącym wymaganiom rynku, zwiększyć konkurencyjność produktów mrożonych oraz spełnić oczekiwania konsumentów dotyczące bezpieczeństwa, jakości i zrównoważonego charakteru opakowań.

Jednocześnie wyłaniają się istotne bariery techniczne i ekonomiczne. Wśród najczęściej wskazywanych znalazły się: wysokie koszty materiałów ekologicznych i inteligentnych, ograniczona dostępność surowców spełniających wymogi termiczne i barierowe dla mrozonek, konieczność dostosowania linii produkcyjnych do nowych technologii oraz wysokie nakłady inwestycyjne związane z automatyzacją i integracją sensorów. Respondenci zauważali również, że wdrażanie innowacyjnych rozwiązań wymaga równoczesnego uwzględnienia regulacji UE oraz wymagań zrównoważonego rozwoju, co wymusza ścisłą współpracę między działami R&D, produkcji i prawno-regulacyjnymi. W opinii przedstawicieli przemysłu, konsumenci coraz częściej oczekują opakowań, które nie tylko zapewniają bezpieczeństwo i funkcjonalność produktów mrożonych, ale również posiadają cechy ekologiczne i innowacyjne. Respondenci przewidują, że w nadchodzących latach rosnąć będzie znaczenie opakowań typu „smart & green”, łączących inteligentne funkcje monitorujące jakość z materiałami przyjaznymi środowisku.

Analiza pogłębionych wywiadów indywidualnych (IDI) przeprowadzonych w ramach badań jakościowych pozwoliła na wyodrębnienie kluczowych praktyk, barier oraz perspektyw rozwojowych w projektowaniu i produkcji opakowań jednostkowych produktów mrożonych. Zestawienie wyników badania zbiorczo przedstawiono w Tabeli 11.

Tabela 11. Syntetyczne zestawienie wyników badań IDI z grup 1 i 2

Obszar	Eksperti ds. ekologii i zrównoważonego rozwoju	Eksperti z przemysłu opakowaniowego
Doświadczenie i rola respondentów	Doradztwo w zakresie ekologii przemysłowej, gospodarki odpadami i strategii circular economy; wsparcie producentów w zapewnieniu zgodności z regulacjami UE	Projektowanie i produkcja opakowań jednostkowych dla produktów mrożonych; wdrażanie technologii Przemysłu 5.0, w tym automatyzacji, druku 3D i IoT
Regulacje i wytyczne	Dyrektywa SUP i przepisy EPR ograniczają tworzywa jednorazowe, promują recykling i wymagają czytelnego oznakowania; eliminacja wielowarstwowych materiałów utrudniających recykling	Uwzględnienie wymagań prawnych UE w procesach projektowania; implementacja procedur zgodnych z obowiązującymi normami bezpieczeństwa i jakości
Materiały i technologie obiecujące	Monomateriałowe folie PET, laminaty recyklowalne, biotworzywa, powłoki funkcjonalne; możliwość integracji wskaźników TTI i sensorów monitorujących świeżość	Automatyzacja i cyfryzacja produkcji; druk 3D dla prototypów i elementów opakowań; integracja opakowań inteligentnych i aktywnych wskaźników TTI
Bariery i wyzwania	Wysokie koszty materiałów ekologicznych, ograniczona dostępność surowców spełniających wymagania termiczne dla mrozonek, brak jednolitych standardów w UE, niska świadomość konsumentów w zakresie segregacji odpadów	Koszty inwestycyjne w nowe technologie, konieczność modernizacji linii produkcyjnych, skomplikowana integracja technologii cyfrowych z materiałami ekologicznymi, ograniczenia techniczne w zapewnieniu barier termicznych i ochronnych
Integracja opakowań inteligentnych z materiałami zrównoważonymi	Technicznie wykonalna; zalecane cienkie naklejki lub nadruki sensorów, aby nie utrudniać recyklingu	Wdrażana stopniowo w procesach produkcyjnych; wymaga adaptacji linii i testów funkcjonalności w warunkach rzeczywistych
Oczekiwania konsumentów	Świadomość ekologiczna, łatwość segregacji, trwałość opakowania, monitorowanie świeżości	Wysoka funkcjonalność i atrakcyjny design, kompatybilność z wymaganiami ekologii i bezpieczeństwa, możliwość śledzenia świeżości poprzez technologie smart
Perspektywy rozwoju	Wzrost wymagań prawnych dotyczących biodegradowalności i recyklingu; standaryzacja materiałów; rozwój koncepcji „smart & green”	Powszechne wdrażanie opakowań inteligentnych i aktywnych; integracja innowacyjnych rozwiązań z ekologicznymi materiałami; dostosowanie projektów do rosnących oczekiwań konsumentów

Źródło: Opracowanie własne na podstawie wyników pogłębionych wywiadów indywidualnych (IDI) przeprowadzonych w ramach badań własnych, 2025.

Wyniki analizy wykazały, że eksperci ds. ekologii oraz konsultanci w zakresie zrównoważonego rozwoju wskazywali na konieczność integracji zasad gospodarki w obiegu zamkniętym, zgodności z regulacjami UE oraz wprowadzania materiałów przyjaznych środowisku. Kluczowe znaczenie mają monomateriałowe folie PET, laminaty recyklowalne, biotworzywa oraz powłoki funkcjonalne zwiększające trwałość produktu. Eksperci podkreślali też znaczenie technologii umożliwiających integrację wskaźników TTI oraz innych sensorów monitorujących świeżość i warunki przechowywania, przy zachowaniu zdolności recyklingu. Jednocześnie wskazywano na bariery takie jak wysokie koszty materiałów ekologicznych, ograniczoną dostępność surowców spełniających wymagania termiczne oraz brak standaryzacji w skali UE.

Z kolei przedstawiciele przemysłu opakowaniowego koncentrowali się na praktycznych aspektach wdrażania innowacji technologicznych. Respondenci podkreślali rolę automatyzacji, cyfryzacji, druku 3D oraz monitoringu IoT w podnoszeniu jakości, bezpieczeństwa i funkcjonalności opakowań. Istotne okazały się również innowacje w zakresie opakowań inteligentnych i aktywnych wskaźników TTI. Wskazywano jednak na ograniczenia techniczne i ekonomiczne, w tym wysokie koszty inwestycyjne, konieczność dostosowania linii produkcyjnych oraz złożoność integracji technologii cyfrowych z materiałami przyjaznymi środowisku.

Wyniki obu grup wskazują na istotną zgodność między wymaganiami ekologicznymi, regulacyjnymi a praktycznymi możliwościami przemysłu opakowaniowego. Obie perspektywy potwierdzają, że przyszłość opakowań jednostkowych produktów mrożonych będzie wymagała synergii między innowacjami technologicznymi a zrównoważonymi materiałami, przy jednoczesnym uwzględnieniu funkcjonalności, bezpieczeństwa i estetyki opakowań.

5.2. Ocena wybranych innowacji opakowaniowych w sektorze spożywczym

Aby poszerzyć perspektywę oceny, należy uwzględnić również wybrane innowacyjne rozwiązania stosowane w opakowaniach jednostkowych innych produktów spożywczych, które – ze względu na swoją funkcjonalność, skalowalność oraz zgodność z trendami Przemysłu 5.0 – wykazują istotny potencjał adaptacyjny w segmencie produktów mrożonych.

W ramach innowacyjnych rozwiązań komunikacji i transparentności informacji o produkcie, sieć detaliczna Carrefour wraz z firmą Nestlé wdrożyły pilotaż wykorzystania

technologii blockchain na opakowaniach jednostkowych znanego produktu spożywczego. W komunikacie prasowym z kwietnia 2019 r. obydwie firmy poinformowały, że na wybranych opakowaniach instant puree Mousline pojawił się kod QR, dzięki któremu konsument może uzyskać dostęp do szczegółowych danych dotyczących łańcucha dostaw i procesów produkcyjnych. Po zeskanowaniu kodu smartfonem użytkownik uzyskuje informacje o miejscu i czasie wytwarzania, kontroli jakości, czasie i miejscu magazynowania, a także danych dotyczących odmian ziemniaków użytych w produkcji. Celem rozwiązania jest zwiększenie przejrzystości i wiarygodności informacji o produkcie dla odbiorcy końcowego, co wspiera budowanie zaufania oraz świadome decyzje zakupowe²⁵⁹.

Technologia blockchain, stojąca za tym rozwiązaniem, pochodzi z platformy *IBM Food Trust*, której członkami byli Nestlé (od 2017 r.) i Carrefour (dołączył w 2018 r.). Jej zastosowanie na opakowaniach jednostkowych pozwala nie tylko na udostępnienie informacji o produkcie, ale również na zapewnienie ich wiarygodności i niemożliwości falsyfikacji, co jest szczególnie ważne w kontekście jakości i bezpieczeństwa żywności oraz oczekiwań współczesnych konsumentów

Takie rozwiązanie stanowi przykład inteligentnej i interaktywnej komunikacji produktu, która z jednej strony wykorzystuje cyfrowe narzędzia (QR, *blockchain*), a z drugiej bezpośrednio wzbogaca doświadczenie klienta związane z oceną jakości i pochodzenia żywności.

Jednym z interesujących rozwiązań w obszarze opakowań jednostkowych z elementami inteligentnymi są wskaźniki świeżości Food Fresh™ (rys. 25), opracowane przez firmę Vanprob. Technologie te obejmują regulowane *timery*, które umożliwiają ustawienie daty „zużyć w ciągu” w zależności od wymagań produktu — od kilku dni do nawet kilku tygodni czy miesięcy. Dzięki temu wskaźniki stanowią praktyczne narzędzie monitorowania stanu produktów po ich otwarciu, co jest szczególnie istotne dla zapewnienia bezpieczeństwa i jakości żywności.

²⁵⁹ Nestlé/ Carrefour, komunikat prasowy, kwiecień 2019 <https://www.nestle.com/sites/default/files/asset-library/documents/media/news-feed/nestle-carrefour-mousline-puree-blockchain-pr-april-2019.pdf>



Rys. 25. Food fresh indicator

Źródło: <https://academy.foodsafetyworks.com/blog/smart-packaging-for-food-products-an-impetus-to-food-safety> (dostęp: 17.12.2025)

Wskaźniki Food Fresh™ są stosowane jako etykiety PET o grubości poniżej 50 mikronów, które można nakładać na różnego rodzaju opakowania jednostkowe, w tym słoiki, produkty pakowane próżniowo oraz kartony. Aplikacja odbywa się przy użyciu standardowego aplikatora etykiet, co umożliwia łatwe włączenie wskaźników do istniejących linii produkcyjnych. Technologia ta pozwala konsumentom w prosty sposób ocenić przydatność produktu do spożycia, jednocześnie integrując funkcjonalność monitorowania świeżości z minimalną ingerencją w konstrukcję opakowania. W kontekście produktów mrożonych, rozwiązanie Food Fresh™ może zostać zaadaptowane do opakowań jednostkowych dań gotowych, warzyw lub innych mrożonek, szczególnie w przypadku produktów wrażliwych na zmiany temperatury po otwarciu opakowania. Minimalna grubość etykiety oraz możliwość jej precyzyjnego umieszczenia sprawiają, że integracja wskaźnika nie zaburza procesu recyklingu ani właściwości barierowych opakowania.

Timestrip® Food Temperature Indicators (rysunek 26) stanowią przykład innowacyjnego rozwiązania w monitorowaniu warunków przechowywania żywności, które może znaleźć zastosowanie w opakowaniach jednostkowych produktów mrożonych. Wskaźniki te umożliwiają kontrolę przekroczeń dopuszczalnej temperatury w trakcie transportu, magazynowania oraz krótkotrwałej ekspozycji produktu, co jest szczególnie istotne dla artykułów gotowych do spożycia oraz mrożonek. Wskaźnik

pozostaje nieaktywny do momentu aktywacji i może być przechowywany w temperaturze pokojowej. Po przyklejeniu do opakowania jednostkowego, wskaźnik monitoruje czas, w którym żywność potencjalnie niebezpieczna dla zdrowia była wystawiona na temperatury w zakresie 5–60°C. Wskaźnik jest jednorazowego użytku, a zmiana stanu jest nieodwracalna, co zapewnia wiarygodność obserwacji. Dodatkowo etykieta jest odporna na zachlapania i posiada datę ważności, co umożliwia kontrolę jakości jeszcze przed użyciem produktu.



Rys. 26. Timestrip® Food wskaźnik temperatury

Źródło <https://timestrip.com/indicator-labels/temperature-indicators/timestrip-plus> (dostęp: 01.12.2025)

Timestrip® Food pozwala na stosowanie tzw. zasady 2-godzinnej / 4-godzinnej, rekomendowanej dla żywności gotowej do spożycia, która określa bezpieczny czas przechowywania produktu poza chłodzeniem: poniżej 2 godzin – produkt może być spożyty lub ponownie schłodzony, między 2 a 4 godzin – nadal nadaje się do użycia, powyżej 4 godzin – produkt należy wyrzucić. Wdrażanie tego typu wskaźników w opakowaniach jednostkowych mrozonek umożliwia monitorowanie jakości po rozmrożeniu, zwiększa bezpieczeństwo konsumenta i wspiera przestrzeganie wymogów sanitarnych. Rozwiązanie Timestrip® jest stosunkowo proste w implementacji i może być zintegrowane zarówno z pojedynczymi opakowaniami, jak i opakowaniami zbiorczymi, co czyni je praktycznym narzędziem dla producentów i dystrybutorów żywności mrożonej. Przykład ten pokazuje, w jaki sposób technologia wskaźników temperatury może łączyć funkcjonalność opakowania z innowacyjnymi rozwiązaniami w zakresie bezpieczeństwa i jakości produktów.

Opakowanie na mrożone owoce jagodowe typu doypack stanowi przykład praktycznego rozwiązania przeznaczonego do większych porcji produktów jednostkowych, zapewniając jednocześnie wygodę użytkowania i ochronę jakości produktu (rysunek 27). Torby foliowe, wykonane z wytrzymałych wielowarstwowych materiałów polietylenowych i polipropylenowych, oferują wysoką odporność na czynniki zewnętrzne, takie jak wilgoć, tlen czy zanieczyszczenia, co minimalizuje ryzyko degradacji owoców i utraty ich wartości odżywczych w trakcie przechowywania. Konstrukcja materiałowa ogranicza powstawanie kryształków lodu i zabezpiecza strukturę miękkich owoców, zachowując ich teksturę i walory sensoryczne po rozmrożeniu.



Rys. 27 Opakowania strunowe typu doypack – nacisk na funkcjonalność

Źródło: <https://www.asc.co.jp/en/products/5794/> (dostęp: 17.12.2025)

Istotnym elementem funkcjonalnym jest zamek strunowy, który umożliwia wielokrotne otwieranie i zamykanie opakowania, co pozwala konsumentom porcjować produkt w zależności od potrzeb bez obniżania jego świeżości. Dzięki temu rozwiązaniu duże porcje owoców mogą być przechowywane w zamrażarce w sposób uporządkowany i bezpieczny, minimalizując straty wynikające z niepełnego wykorzystania opakowania. Dodatkowo, konstrukcja typu doypack zapewnia stabilność opakowania w pozycji

panionowej, co ułatwia jego magazynowanie i ekspozycję w punktach sprzedaży detalicznej. Całość tworzy opakowanie łączące trwałość, ochronę produktu i wygodę użytkownika, odpowiadając na rosnące wymagania konsumentów dotyczące funkcjonalności oraz jakości opakowań jednostkowych produktów mrożonych.

Analizowane innowacje opakowaniowe w sektorze spożywczym ukazują, w jaki sposób nowoczesne technologie i przemyślane rozwiązania materiałowe mogą zwiększać funkcjonalność, bezpieczeństwo oraz transparentność produktów. Przykład zastosowania technologii blockchain na opakowaniach pokazuje, że integracja kodów QR umożliwiających dostęp do pełnej historii łańcucha dostaw i procesu produkcji wzmacnia zaufanie konsumentów oraz wspiera świadome decyzje zakupowe. Z kolei wskaźniki świeżości i TTI prezentują możliwości monitorowania stanu produktów zarówno po otwarciu, jak i podczas transportu, dostosowując się do wymagań konsumentów oczekujących kontroli jakości w czasie rzeczywistym.

Rozwiązania te dowodzą, że inteligentne i aktywne opakowania mogą pełnić funkcję interaktywnego narzędzia komunikacji z użytkownikiem, jednocześnie nie ingerując znacząco w konstrukcję opakowania ani procesy recyklingu. Przykład doypacka podkreśla znaczenie ergonomii i wielokrotnego użytkowania w codziennym użytkowaniu, łącząc trwałość materiałów z wygodą porcjowania i magazynowania. W kontekście Przemysłu 5.0 wszystkie przedstawione innowacje wpisują się w potrzebę projektowania opakowań holistycznych, łączących aspekty techniczne, ekologiczne i użytkowe, a jednocześnie wzmacniających zaufanie konsumenta oraz redukujących ryzyko marnowania żywności.

Integracja nowoczesnych technologii monitorowania, przejrzystej komunikacji informacji o produkcie oraz ergonomicznych rozwiązań materiałowych stanowi kierunek rozwoju, który może być adaptowany w segmencie opakowań jednostkowych produktów mrożonych. W praktyce oznacza to, że przedsiębiorstwa mogą wykorzystać zarówno inteligentne wskaźniki, jak i zrównoważone materiały oraz konstrukcje poprawiające funkcjonalność, aby lepiej odpowiadać na oczekiwania konsumentów 5.0, łącząc innowacyjność z bezpieczeństwem i wygodą użytkownika.

5.3. Rekomendacje dla przedsiębiorstw zajmujących się projektowaniem i produkcją opakowań jednostkowych dla produktów mrożonych

W świetle przeprowadzonych badań oraz analizy opinii konsumentów i ekspertów, kluczowym elementem dalszego rozwoju opakowań jednostkowych produktów mrożonych jest tworzenie rozwiązań, które jednocześnie odpowiadają na oczekiwania funkcjonalne, środowiskowe i bezpieczeństwa żywności. Zidentyfikowane w badaniach preferencje konsumentów wskazują na potrzebę projektowania opakowań bardziej zintegrowanych i inteligentnych, uwzględniających zarówno aspekty praktyczne, jak i transparentność informacji o produkcie. W ramach poniższych rekomendacji przedstawiono potencjalne kierunki innowacji, które mogą zostać adaptowane w sektorze mrożonek z uwzględnieniem zasad Przemysłu 5.0.

Wdrażanie mechanizmów umożliwiających wielokrotne otwieranie i zamykanie opakowania stanowi istotny kierunek poprawy doświadczenia konsumentckiego i jednocześnie redukcji strat żywności. Rozwiązania takie jak zamki strunowe, klipsy czy dedykowane pokrywki pozwalają konsumentom na porcjowanie produktu w zależności od aktualnych potrzeb, co jest szczególnie istotne w przypadku większych opakowań, które tradycyjnie sprzedawane są w formie porcjowanych „worków XXL”. W badaniach fokusowych oraz sondażowych wyraźnie uwidoczniło się, że brak możliwości hermetycznego zamknięcia opakowania prowadzi do szybszego pogorszenia jakości produktów po pierwszym otwarciu, co w konsekwencji zwiększa ryzyko marnowania żywności. Na rysunku 28 przedstawiono propozycję opakowania na produkty mrożone, sprzedawane w większych gramaturach. Zastosowanie strunowego doypacka pozwoli na utrzymanie świeżości i bezpieczeństwa w przypadku porcjowania produktu.



Rys. 28 Opakowanie typu doypack z zamknięciem strunowym dla produktów wieloporcjowych

Źródło: <https://www.vecteezy.com/photo/32502884-packaging-of-frozen-french-fries-semi-finished-fast-food-zip-packaging-ai-generated-image> [11.12.2025r]

Z punktu widzenia ochrony środowiska i efektywności gospodarczej, funkcjonalne opakowanie, które umożliwi wielokrotne użytkowanie, może znacząco przyczynić się do ograniczenia ilości odpadów spożywczych generowanych w gospodarstwach domowych. Wprowadzenie takich rozwiązań odpowiada zarówno na oczekiwania konsumentów świadomych ekologicznie, jak i na presję regulacyjną w zakresie ograniczania strat żywności, która w kontekście Przemysłu 5.0 staje się elementem zintegrowanej strategii projektowej. Dzięki zwiększonej funkcjonalności opakowań możliwe jest także lepsze zarządzanie porcjami w gospodarstwach domowych, co w połączeniu z czytelnymi oznaczeniami i wskaźnikami świeżości może prowadzić do znaczącej poprawy w zakresie bezpieczeństwa konsumpcji oraz redukcji ryzyka utraty wartości odżywczej produktów.

Integracja opakowań jednostkowych z inteligentnymi wskaźnikami, takimi jak TTI (*Time-Temperature Indicator*) czy etykiety monitorujące świeżość produktu, stanowi kluczowy kierunek zwiększania transparentności i bezpieczeństwa żywności. Wskaźniki tego typu umożliwiają konsumentowi szybkie i intuicyjne sprawdzenie czy produkt był przechowywany w odpowiednich warunkach temperaturowych oraz czy pozostaje

przydatny do spożycia, co znacząco zwiększa zaufanie do jakości oferowanych mrożonek.

Badania sondażowe wykazały wyraźną gotowość konsumentów do korzystania z takich rozwiązań, szczególnie w postaci prostych do odczytania kodów QR lub wskaźników wizualnych, które nie wymagają dodatkowej technologii ani specjalistycznej wiedzy. Z perspektywy Przemysłu 5.0, implementacja wskaźników może być stosunkowo łatwo zintegrowana z linią produkcyjną, przy minimalnym wpływie na dotychczasową konstrukcję opakowania, a jednocześnie dostarcza cenne dane producentom na temat warunków transportu i magazynowania.

Zastosowanie takich narzędzi pozwala nie tylko konsumentom podejmować świadome decyzje zakupowe, ale również przedsiębiorstwom monitorować łańcuch dostaw w czasie rzeczywistym i podejmować działania korygujące w przypadku nieprawidłowości. W ten sposób opakowanie jednostkowe przestaje być jedynie statycznym pojemnikiem ochronnym, a staje się aktywnym elementem systemu zarządzania jakością produktu, łącząc aspekty funkcjonalne, bezpieczeństwa żywności oraz cyfrowej interakcji z konsumentem.

Współczesne oczekiwania konsumentów oraz regulacje prawne w zakresie ograniczenia odpadów i poprawy recyklingu wymuszają zmianę podejścia do doboru materiałów opakowaniowych. Wprowadzenie materiałów monomateriałowych, laminatów łatwo poddających się recyklingowi oraz biotworzyw pozwala nie tylko zmniejszyć negatywny wpływ opakowań na środowisko, ale także spełnić rosnące wymagania dotyczące przejrzystości informacji o produkcie. Konsumenti coraz częściej reagują pozytywnie na deklaracje ekologiczne, zwłaszcza jeśli są one połączone z funkcjonalnością i trwałością opakowania, co zostało potwierdzone zarówno w badaniach sondażowych, jak i analizie wybranych rozwiązań rynkowych.

Zastosowanie materiałów zrównoważonych w połączeniu z inteligentnymi wskaźnikami TTI lub etykietami monitorującymi temperaturę pozwala na harmonijne połączenie aspektów środowiskowych i bezpieczeństwa żywności. Materiały takie powinny jednocześnie zapewniać wysoką odporność na czynniki zewnętrzne, takie jak wilgoć, tlen czy wahania temperatury, aby chronić produkt podczas transportu i przechowywania. Wdrożenie monomateriałów i laminatów recyklowalnych może także wspierać działania producentów w zakresie transparentnej komunikacji o procesach recyklingu i obiegu surowców, co zwiększa świadomość ekologiczną konsumentów i sprzyja budowaniu pozytywnego wizerunku marki. Jednocześnie warto zaznaczyć,

że takie rozwiązania wymagają uwzględnienia ograniczeń technologicznych, w tym kompatybilności z procesami automatyzacji, linii pakujących oraz wymaganiami termicznymi produktów mrożonych.

W dobie Przemysłu 5.0 konsumenci oczekują nie tylko jakości samego produktu, ale również przejrzystych i łatwo dostępnych informacji umożliwiających świadome decyzje zakupowe. Badania sondażowe wykazały, że czytelność składu, wartości odżywczych oraz instrukcji przygotowania stanowi jeden z kluczowych czynników wpływających na ocenę jakości opakowania. W przypadku produktów mrożonych, gdzie istotne są również kwestie bezpieczeństwa i świeżości, transparentna komunikacja staje się elementem wzmacniającym zaufanie konsumenta do marki. Rekomendacje w tym obszarze obejmują przede wszystkim optymalizację rozmieszczenia informacji na powierzchni opakowania, stosowanie wyraźnych czcionek, ikon oraz kontrastowych kolorów ułatwiających szybkie odczytanie danych. Warto również rozważyć integrację technologii cyfrowych, takich jak kody QR czy DataMatrix, które pozwalają udostępnić szczegółowe informacje o pochodzeniu produktu, warunkach transportu czy procesach kontroli jakości. Takie rozwiązania zwiększają przejrzystość komunikatu, jednocześnie nie obciążając fizycznej powierzchni opakowania nadmiarem tekstu. Przykładowa etykieta na opakowanie ze wskaźnikiem TTI i kodem DataMatrix została przedstawiona na rysunku 29.



Rys. 29. Etykieta ze wskaźnikiem świeżości TTI i kodem typu DataMatrix

Źródło: <https://ifdesign.com/en/winner-ranking/project/tti-systemetikett/34503> [14.12.2025]

Dodatkową kwestią jest możliwość implementacji interaktywnych wskaźników lub aplikacji mobilnych, które pozwalają konsumentowi monitorować parametry produktu, np. historię temperatury czy datę przydatności po otwarciu. Takie innowacje łączą funkcjonalność opakowania z transparentną komunikacją i w pełni odpowiadają na oczekiwania konsumentów 5.0, którzy coraz częściej dokonują zakupów w oparciu o rzetelne i wiarygodne informacje o produktach.

Projektowanie opakowań jednostkowych produktów mrożonych w kontekście Przemysłu 5.0 wymaga równoczesnego uwzględnienia funkcjonalności użytkowej oraz aspektów ekologicznych i środowiskowych. Kluczowe staje się ograniczenie negatywnego wpływu opakowań na środowisko, przy jednoczesnym zachowaniu wysokiej jakości produktu i wygody dla konsumenta. Sugeruje się przede wszystkim minimalizację zużycia materiału przy zachowaniu wymaganej wytrzymałości i bariery termicznej. Wprowadzenie materiałów monomateriałowych, laminatów recyklowalnych czy biotworzyw pozwala zwiększyć efektywność recyklingu, a zastosowanie cienkich powłok funkcjonalnych umożliwia ochronę jakości produktu przy ograniczeniu ilości użytego surowca.

Istotnym aspektem jest również integracja rozwiązań wspierających gospodarkę obiegu zamkniętego (circular economy), takich jak możliwość ponownego użycia opakowania lub jego łatwe przetworzenie po zużyciu. Takie podejście nie tylko odpowiada na rosnące oczekiwania konsumentów w zakresie ekologii, ale również wpisuje się w strategiczne wytyczne dotyczące ograniczania odpadów opakowaniowych i zrównoważonego rozwoju w przemyśle spożywczym.

Rosnąca rola handlu internetowego wymusza projektowanie opakowań jednostkowych w taki sposób, aby zapewnić im wysoką odporność na różnorodne czynniki mechaniczne i termiczne pojawiające się podczas transportu. Kluczowe znaczenie mają zarówno właściwości materiałowe, jak i konstrukcyjne – wytrzymałe folie, laminaty czy wielowarstwowe tworzywa chronią produkt przed uszkodzeniami oraz przed niepożądanymi zmianami temperatury, minimalizując ryzyko pogorszenia jakości żywności. Stabilność opakowań w pozycji pionowej ułatwia ich przechowywanie zarówno w magazynach, jak i w domowych zamrażarkach, ograniczając straty związane z nieodpowiednim składowaniem.

Tworzenie opakowań powinno być procesem silnie zorientowanym na użytkownika, w którym uwzględnia się nie tylko deklarowane preferencje konsumentów, ale również obserwowane zachowania zakupowe i użytkowe. Istotne jest, aby informacje

o produkcie – skład, wartości odżywcze czy instrukcje przygotowania – były przekazywane w sposób czytelny, natomiast elementy wizualne i ergonomiczne odpowiadały oczekiwaniom estetycznym oraz praktycznym. Systematyczne badania konsumenckie umożliwiają weryfikację, czy zastosowane rozwiązania spełniają potrzeby rynku, a także pozwalają identyfikować potencjalne bariery w użytkowaniu, np. trudności w otwieraniu opakowania lub jego niewłaściwe dopasowanie do przestrzeni zamrażarki. Uwzględnianie takich spostrzeżeń w procesie projektowym sprzyja tworzeniu produktów, które są zarówno funkcjonalne, jak i atrakcyjne wizualnie, a także wspierają świadome wybory konsumentów, jednocześnie wzmacniając wizerunek producenta jako firmy odpowiedzialnej i innowacyjnej.

W oparciu o przeprowadzone badania preferencji konsumentów, analizy wypowiedzi ekspertów i przeglądu najlepszych praktyk rynkowych, opracowano dwa rozwiązania w formie zestawów wytycznych projektowych, które łączą funkcjonalność użytkową, bezpieczeństwo żywności, zrównoważone materiały oraz integrację inteligentnych technologii, pozwalając tym samym na stworzenie nowoczesnych modeli opakowań dostosowanych do wymagań Konsumenta 5.0 i jakości opakowań.

Pierwsze proponowane opakowanie jednostkowe dedykowane jest dla frytek mrożonych w opakowaniach wieloporcjowych o masie 500–1500 g, uwzględniając specyfikę użytkowania, czyli wielokrotne otwieranie, porcjowanie produktu oraz długotrwałe przechowywanie w warunkach zamrażania. Konstrukcja typu doypack ze stabilizującym dnem i zamknięciem strunowym ZIP zapewnia ergonomię użytkowania, ochronę przed wilgocią oraz stabilność przechowywania w pozycji pionowej, co jest kluczowe dla wygody konsumenta.

Parametry opakowania zależne od gramatury produktu, dla 500g przykładowe wymiary 270 mm (wysokość), 190mm (szerokość), 80mm głębokość podstawy. Materiał opakowania stanowi monomateriałowy PE o podwyższonych właściwościach barierowych, o grubości 110–120 μm , co gwarantuje odporność na temperatury do -30°C , wysoką odporność mechaniczną oraz możliwość recyklingu. Materiał jest w pełni kompatybilny z przemysłowymi liniami pakującymi, co ułatwia wdrożenie w produkcji. Alternatywnie materiał PET z 30% zawartości rPET pochodzącego z recyklingu.

W opakowaniu zastosowano element inteligentny w postaci wskaźnika TTI (*Time Temperature Indicator*), umożliwiający wizualną kontrolę zachowania ciągłości łańcucha chłodniczego. Dzięki temu zwiększa się bezpieczeństwo konsumenta oraz

poziom zaufania do produktu. Opakowanie wyposażono również w element cyfrowy – kod QR – zapewniający konsumentowi szybki dostęp do informacji o produkcji, instrukcji przygotowania oraz danych środowiskowych. Dodatkowo w procesach logistycznych możliwe jest użycie kodu DataMatrix do automatycznej identyfikowalności produktu, co usprawnia magazynowanie i śledzenie partii. Wybór kodów QR i DataMatrix wynika z potrzeby integracji funkcji logistycznej i informacyjnej w ramach rozwoju jakości opakowania, zapewniając zarówno dostępność informacji dot. przechowywania, jak i wsparcie procesów produkcyjno-logistycznych. Proponowanym elementem funkcjonalnym w opakowaniu jest zamknięcie strunowe ZIP umożliwiające wielokrotne otwieranie i zamykanie opakowania. Wdrożenie propozycji jest możliwe na standardowych liniach *form-fill-seal* bez konieczności znaczącej modernizacji infrastruktury produkcyjnej. Rekomendacje projektowe dotyczące opakowania dla frytek mrożonych zostały zestawione w Tabeli 12.

Tabela 12. Autorski model opakowania jednostkowego dla frytek mrożonych

Element opakowania	Parametry / opis	Funkcja / korzyść
Opakowanie główne (doypack)	Monomateriał PE lub PET/rPET o podwyższonych właściwościach barierowych, grubość 110–120 µm, wymiary: wys. 270 mm × szer. 190 mm × głębokość dna 80 mm	Ochrona przed wilgocią i uszkodzeniami, stabilność przechowywania w pozycji pionowej, ergonomia użytkowania, możliwość porcjowania produktu
Element funkcjonalny	Zamknięcie strunowe typu ZIP	Wielokrotne otwieranie i zamykanie, utrzymanie świeżości produktu, komfort użytkowania, ograniczenie strat żywności
Element inteligentny	Wskaźnik TTI (Time-Temperature Indicator)	Wizualna kontrola ciągłości łańcucha chłodniczego, zwiększenie bezpieczeństwa i zaufania konsumenta
Element cyfrowy	Kod DataMatrix/QR	Dostęp do informacji o produkcji, instrukcji przygotowania i danych środowiskowych, szybka i intuicyjna komunikacja z konsumentem
Proces produkcji	Standardowe linie form-fill-seal	Możliwość wdrożenia bez istotnych zmian w infrastrukturze produkcyjnej
Zrównoważone materiały	Monomateriał PE-PE / PET-rPET	Kompatybilność z recyklingiem, odporność na temperatury do – 30 °C, minimalizacja wpływu na środowisko

Źródło: Opracowanie własne.

Drugie rozwiązanie dedykowane jest dla paluszków rybnych w opakowaniach jednostkowych o masie 250–500g. Produkt charakteryzuje się wysoką podatnością na uszkodzenia mechaniczne oraz wrażliwością na wilgoć, dlatego kluczowe jest zachowanie integralności struktury podczas transportu, magazynowania i użytkowania przez konsumenta.

W ramach autorskiego modelu opakowania zaproponowano rozwiązanie hybrydowe, łączące worek foliowy monomateriałowy PE z kartonowym rękawem (sleeve). Worek foliowy zapewnia skuteczną barierę przeciw wilgoci, chroni jakość produktu i zabezpiecza przed powstawaniem oparzeliny mrozowej. Kartonowy rękaw pełni funkcję ochronną przed uszkodzeniami mechanicznymi, stabilizuje opakowanie w procesach logistycznych oraz stanowi nośnik informacji dla konsumenta, umożliwiając atrakcyjną prezentację marki i czytelne oznaczenie danych produktowych.

Przykładowe wymiary opakowania wynoszą: długość 220 mm, szerokość 80 mm oraz wysokość 30 mm. Kartonowy rękaw wykonany jest z włókien celulozowych o gramaturze 250–300 g/m², natomiast worek foliowy z monomateriałowego PE-PE o grubości 60–80 μm. Tak dobrane materiały gwarantują odpowiednią ochronę mechaniczną i barierową, a jednocześnie są kompatybilne z przemysłowymi liniami pakującymi oraz łatwe do przetworzenia w procesach recyklingu. Alternatywą jest użycie PET z 30% udziałem rPET. W przyszłości, gdy koszty produkcji ulegną obniżeniu należy rozważyć zastosowanie Polihydroksyalkanoatu (PHA).

W opakowaniu przewidziano integrację elementu inteligentnego w postaci wskaźnika temperatury typu TTI, umożliwiającego kontrolę warunków przechowywania produktu. Z punktu widzenia cyfrowego, zastosowano kod DataMatrix, który zapewnia identyfikowalność produktu oraz dostęp do informacji o jego pochodzeniu i historii transportu. Wybór kodu DataMatrix został uzasadniony potrzebą wysokiej gęstości danych na ograniczonej powierzchni opakowania oraz zapewnieniem kompatybilności z systemami przemysłowymi i logistycznymi.

Element funkcjonalny obejmuje perforację typu easy-open, pozwalającą konsumentowi na szybkie i wygodne otwarcie opakowania bez konieczności użycia narzędzi. Wdrożenie takiego rozwiązania możliwe jest przy użyciu standardowych maszyn pakujących typu flow-pack i kartoniarek, co nie wymaga istotnych modyfikacji infrastruktury produkcyjnej. Tabela 13 zawiera syntetyczne zestawienie rekomendacji projektowych dla opakowania mrożonych paluszków rybnych.

Tabela 13. Autorski model opakowania jednostkowego dla mrożonych paluszków rybnych

Element opakowania	Parametry / opis	Funkcja / korzyść
Opakowanie zewnętrzne (<i>carton sleeve</i>)	Włókna celulozowe, gramatura 250–300 g/m ² , wymiary: dł. 220 mm × szer. 150 mm × wys. 50 mm	Ochrona mechaniczna produktu, stabilność logistyczna, nośnik informacji i komunikacji marketingowej
Opakowanie wewnętrzne (<i>worek foliowy</i>)	Monomateriał rPET, grubość 60–80 μm	Bariera przed wilgocią, ochrona jakości produktu, zabezpieczenie przed oparzeliną mrozową
Element inteligentny	Wskaźnik temperatury TTI (Time-Temperature Indicator)	Monitorowanie warunków przechowywania, zwiększenie bezpieczeństwa i zaufania konsumenta
Element cyfrowy	Kod DataMatrix/QR	Identyfikowalność produktu, dostęp do informacji o pochodzeniu i historii transportu; wysoka gęstość danych na ograniczonej powierzchni
Element funkcjonalny	Perforacja typu easy-open	Łatwe i szybkie otwieranie opakowania przez konsumenta, wygoda użytkowania
Proces produkcji	Standardowe maszyny pakujące typu flow-pack oraz kartoniarki	Możliwość wdrożenia bez istotnych modyfikacji linii produkcyjnej
Zrównoważone materiały	Monomateriał PE-PE, karton z włókien celulozowych	Wsparcie recyklingu i gospodarki obiegu zamkniętego, minimalizacja wpływu na środowisko przy zwiększonej ochronie jakości, ograniczenie marnowania żywności

Źródło: Opracowanie własne.

Przedstawione autorskie rekomendacje, oparte zarówno na analizie najlepszych praktyk rynkowych, jak i wynikach badań konsumenckich, stanowią spójną propozycję projektową opakowań jednostkowych, łączącą funkcjonalność, bezpieczeństwo produktu, zrównoważone materiały oraz inteligentne technologie, co może służyć jako punkt odniesienia dla przyszłych wdrożeń przemysłowych i innowacji w sektorze mrożonek.

5.4. Wnioski

Analiza najlepszych praktyk i innowacyjnych rozwiązań w projektowaniu oraz produkcji opakowań jednostkowych produktów mrożonych pozwoliła zidentyfikować kluczowe elementy, które w erze Przemysłu 5.0 wpływają na satysfakcję i zaangażowanie współczesnego konsumenta. Nowoczesne opakowania powinny integrować aspekty funkcjonalne, ekologiczne i inteligentne, tworząc spójny system spełniający oczekiwania użytkowników oraz obowiązujące regulacje prawne.

Świadomość ekologiczna konsumentów oraz rosnące wymagania dotyczące recyklingu i biodegradowalności materiałów podkreślają potrzebę stosowania monomateriałowych folii, laminatów recyklowalnych czy biotworzyw. Wprowadzanie takich materiałów powinno być skoordynowane z zachowaniem właściwości barierowych i trwałości opakowań, szczególnie w przypadku produktów wrażliwych na temperaturę i wilgoć, takich jak mrożonki.

Integracja elementów inteligentnych – wskaźników TTI, sensorów monitorujących świeżość czy kodów QR – umożliwia kontrolę stanu produktu oraz wzmacnia zaufanie konsumenta poprzez transparentną komunikację. Badania wskazują, że opakowania pozwalające śledzić jakość i pochodzenie produktu skutecznie podnoszą postrzeganą wartość i bezpieczeństwo artykułów mrożonych.

Wdrażanie innowacji wymaga uwzględnienia ograniczeń technicznych i ekonomicznych, takich jak koszty materiałów ekologicznych, modernizacja linii produkcyjnych czy integracja technologii cyfrowych. Stopniowe wprowadzanie inteligentnych funkcji, np. w formie cienkich naklejek wskaźników TTI lub nadruków sensorów, pozwala minimalizować zakłócenia w recyklingu oraz procesach produkcyjnych.

Identyfikacja najlepszych praktyk oraz analiza innowacyjnych rozwiązań wskazują, że skuteczne projektowanie opakowań jednostkowych wymaga podejścia holistycznego. Łączenie funkcjonalności, bezpieczeństwa użytkownika, atrakcyjności wizualnej, ekologii i inteligentnych technologii tworzy kompleksowe doświadczenie konsumentów. Opracowane wnioski i autorskie rekomendacje (tabele 12 i 13) dostarczają praktycznego zestawu wytycznych projektowych, które mogą być wdrażane w sektorze mrozonek, integrując innowacyjność, funkcjonalność i zrównoważony rozwój oraz stanowiąc realną odpowiedź na wymagania Klienta 5.0. Stanowią one również punkt wyjścia do dalszych badań wdrożeniowych, testów rynkowych i monitorowania

efektywności projektowanych opakowań w praktyce. Przedstawione wnioski i rekomendacje wskazują również, że innowacyjne, funkcjonalne i ekologiczne rozwiązania w projektowaniu opakowań jednostkowych stanowią spójną odpowiedź na potrzeby Konsumenta 5.0, jednocześnie tworząc praktyczne wytyczne dla przemysłu mrożonek, co pozwala na pozytywną weryfikację hipotezy szczegółowej 4.

Zakończenie

Ewolucja jakości opakowań jednostkowych produktów mrożonych stanowi proces wielowymiarowy, wykraczający poza tradycyjne ujęcie materiałowe i funkcjonalne, wymagający uwzględnienia uwarunkowań technologicznych, rynkowych i społecznych. Zastosowanie podejścia interdyscyplinarnego, łączącego perspektywę nauk o zarządzaniu, logistyki, jakości oraz koncepcji Przemysłu 5.0, umożliwiło kompleksową analizę mechanizmów kształtujących postrzeganie i użytkowanie opakowań przez konsumentów oraz ich wpływ na decyzje zakupowe. Realizacja celów pracy pozwoliła na identyfikację kluczowych determinant jakości opakowań jednostkowych oraz określenie roli nowoczesnych technologii i materiałów zrównoważonych w procesie projektowania i produkcji.

Badania empiryczne i analiza literatury wykazały, że koncepcja Przemysłu 5.0 stanowi istotny czynnik transformujący standardy jakości opakowań. Technologie inteligentne, takie jak wskaźniki świeżości TTI, systemy monitorowania warunków przechowywania czy rozwiązania umożliwiające identyfikowalność produktu w łańcuchu dostaw, przyczyniają się do poprawy funkcjonalności, interaktywności i bezpieczeństwa opakowań. Jednocześnie trwałość, ergonomia, funkcjonalność, estetyka oraz aspekty środowiskowe pozostają kluczowymi kryteriami oceny opakowań przez konsumentów, a integracja technologii, wymagań użytkowników i zasad zrównoważonego rozwoju stanowi obecnie główny kierunek rozwoju sektora opakowań produktów mrożonych.

Przeprowadzone badania empiryczne, obejmujące zarówno metody ilościowe, jak i jakościowe, wykazały rosnące znaczenie transparentności informacji, wygody użytkowania oraz możliwości kontroli jakości produktu przez konsumenta. Wyniki te pozostają spójne z obserwacjami wynikającymi z analizy literatury oraz opiniami ekspertów i wskazują na potrzebę wdrażania rozwiązań zwiększających funkcjonalność opakowań przy jednoczesnym zachowaniu ich zgodności z wymaganiami

środowiskowymi i technologicznymi. Zidentyfikowano również istotną rolę materiałów zrównoważonych, w tym monomateriałów oraz materiałów podlegających recyklingowi i pochodzących z recyklingu, jako elementów budujących wartość produktu i przewagę konkurencyjną przedsiębiorstw.

Istotnym wnioskiem wynikającym z przeprowadzonych analiz jest konieczność zachowania równowagi pomiędzy innowacyjnością technologiczną, funkcjonalnością opakowania oraz jego wpływem środowiskowym. Skuteczne wdrażanie rozwiązań inteligentnych i ekologicznych wymaga uwzględnienia zarówno oczekiwań konsumentów, jak i uwarunkowań technologicznych oraz ekonomicznych przedsiębiorstw, co pozwala nie tylko na poprawę jakości opakowań, lecz również na zwiększenie efektywności zarządzania jakością w całym cyklu życia produktu.

Zrealizowane badania posiadają jednak określone ograniczenia, w tym zakres przestrzennego badania ilościowego ograniczony do konsumentów w Polsce oraz celowy dobór ekspertów, co może ograniczać możliwość pełnej generalizacji wyników. Ponadto badania miały charakter przekrojowy, co nie pozwalało na ocenę długoterminowych efektów wdrażania innowacyjnych rozwiązań opakowaniowych ani nie uwzględniono szczegółowej analizy kosztów wdrożeń technologii inteligentnych i materiałów zrównoważonych, które w praktyce stanowią istotny czynnik decyzyjny dla producentów oraz klientów. W związku z tym zasadne jest prowadzenie dalszych badań obejmujących szerszy zakres geograficzny, różnorodne kategorie produktów spożywczych oraz analizę ekonomicznych aspektów wdrażania nowych technologii i materiałów. Rekomenduje się również badania pilotażowe w rzeczywistych procesach produkcyjnych oraz ocenę efektywności ekonomicznej, ekologicznej i funkcjonalnej innowacji opakowaniowych, a także rozwój badań w kierunku dynamicznej analizy zachowań konsumentów w interakcji z inteligentnymi opakowaniami, w tym w kanale e-commerce, co pozwoli lepiej zrozumieć realny wpływ innowacji na decyzje zakupowe i satysfakcję użytkowników.

Analiza wyników empirycznych i wywiadów eksperckich potwierdza, że zastosowanie opakowań inteligentnych oraz materiałów zrównoważonych stanowi istotny czynnik odpowiadający na rosnące oczekiwania klientów wobec jakości, bezpieczeństwa i funkcjonalności opakowań. Synergia oczekiwań konsumentów z praktykami projektowymi zwiększa postrzeganą wartość produktu oraz wspiera efektywne zarządzanie opakowaniami w całym łańcuchu dostaw, od produkcji po dystrybucję i użytkowanie końcowe.

Wkładem naukowym pracy jest identyfikacja kluczowych determinant jakości opakowań jednostkowych produktów mrożonych w warunkach transformacji związanej z rozwojem koncepcji Przemysłu 5.0 oraz określenie zależności pomiędzy zastosowaniem technologii inteligentnych, materiałów zrównoważonych a percepcją jakości przez konsumentów, a także integracja perspektywy technologicznej, jakościowej i konsumentckiej, co stanowi istotne rozszerzenie dotychczasowego stanu wiedzy w zakresie zarządzania jakością opakowań. Uzyskane wyniki stanowią podstawę do formułowania rekomendacji praktycznych dla projektowania opakowań, uwzględniających wymagania technologiczne, środowiskowe i rynkowe, przy czym implementacja najlepszych praktyk powinna uwzględniać ograniczenia techniczne i ekonomiczne linii produkcyjnych, a także iteracyjny charakter wdrażania innowacji.

W praktyce oznacza to, że rozwój opakowań jednostkowych produktów mrożonych zmierza w kierunku integracji funkcjonalności ochronnej, aspektów ekologicznych oraz rozwiązań cyfrowych, zgodnie z założeniami Przemysłu 5.0, co odzwierciedla zmieniające się oczekiwania konsumentów oraz rosnące znaczenie jakości jako czynnika determinującego konkurencyjność przedsiębiorstw na współczesnym rynku. Uzyskane wyniki badań jednoznacznie potwierdzają hipotezę główną, zgodnie z którą implementacja zrównoważonych i innowacyjnych technologii w projektowaniu i produkcji opakowań jednostkowych produktów mrożonych istotnie wpływa na postrzeganą jakość produktów oraz przekłada się na poziom satysfakcji i decyzje zakupowe Klientów 5.0.

Bibliografia

Pozycje zwarte

1. Abekoon, T., Buthpitiya, B. L. S. K., Sajindra, H., Samarakoon, E. R. J., Jayakody, J. A. D. C. A., Kantamaneni, K., Rathnayake, U. (2024). *A comprehensive review to evaluate the synergy of intelligent food packaging with modern food technology, artificial intelligence field*. Discover Sustainability, 5(1), 160.
2. Ahmed, J., Arfat, Y., Bher, A., Mulla, M., Jacob, H., Auras, R. (2018). *Active chicken meat packaging based on polylactide films, bimetallic ag-cu nanoparticles, essential oil*. Journal of Food Science, 83(5), 1299-1310. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.14121>
3. Ajlouni, S., Balasooriya, H., Dassanayake, K. (2019). *The impact of elevated co2, high temperature on the nutritional quality of fruits – a short review*. American Journal of Agricultural Research. <https://doi.org/10.28933/ajar-2018-12-1608>
4. Alamri, M. S., Qasem, A. A., Mohamed, A. A., Hussain, S., Ibraheem, M. A., Shamlan, G., Qasha, A. S. (2021). *Food packaging's materials: A food safety perspective*. Saudi journal of biological sciences, 28(8), 4490-4499.
5. Angelovska, J., Stankov, N. A. (2025). *Packaging Waste Generation, Recycling in the Eu: Trends, Targets, Insights for a Circular Economy*. Challenges, Processes, Policies for a Circular Economy That Works for Consumers, 40-63. <https://doi.org/10.47743/eco4all.2025.1.3>
6. Ankiel, M., Grzybowska-Brzezińska, M. (2020). *Informative value of packaging as a determinant of food purchase*. Marketing of Scientific, Research Organizations, 36(2), 31-44. <https://doi.org/10.2478/minib-2020-0015>
7. Archaviboonyobul, T., Jinkarn, T., Sane, S., Chariyachotilert, S., Kongcharoenkiat, S. (2013). *Water resistance, barrier properties improvement of paperboard by poly(lactic acid) electrospaying*. Packaging Technology, Science, 27(5), 341-352. <https://doi.org/10.1002/pts.2034>
8. Aribi, H., Ghidaoui, M., Fattouch, S. (2023). *Monitoring environmental performance of agricultural supply chains using internet of things.*, 273-292. <https://doi.org/10.4018/979-8-3693-0225-5.ch014>
9. Armentano, I., Fortunati, E., Burgos, N., Dominici, F., Luzi, F., Fiori, S., Kenny, J. (2015). *Processing, characterization of plasticized pla/phb blends for biodegradable multiphase systems*. Express Polymer Letters, 9(7), 583-596. <https://doi.org/10.31144/expresspolymlett.2015.55>
10. Ayodeji, P., Emmanuel, O., Olajire, E. (2021). *Impact of Total Quality Management on organisational performance*. International Journal of Research in Commerce and Management Studies, 03(03), 31-32. <https://doi.org/10.38193/ijrcms.2021.3302>
11. Babaei-Ghazvini, A., Acharya, B., Korber, D. (2021). *Antimicrobial biodegradable food packaging based on chitosan, metal/metal-oxide bio-nanocomposites: a review*. Polymers, 13(16), 2790. <https://doi.org/10.3390/polym13162790>
12. Bao, Y., Ertbjerg, P., Estévez, M., Li, Y., Gao, R. (2021). *Freezing of meat, aquatic food: underlying mechanisms, implications on protein oxidation*. Comprehensive Reviews in Food Science, Food Safety, 20(6), 5548-5569. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12841>
13. Barbosa, B., Shojaei, A., Miranda, H. (2023). *Packaging-free practices in food retail: the impact on customer loyalty*. Baltic Journal of Management, 18(4), 474-492. <https://doi.org/10.1108/bjm-10-2022-0386>
14. Barros, C., Carneiro, O., Machado, A. (2024). *Feasibility of incorporating recycled multilayer ldpe/evoh films into flexible packaging*. Polymer Engineering, Science, 64(8), 3530-3542. <https://doi.org/10.1002/pen.26779>

15. Barska, A., Wyrwa, J. (2017). *Innovations in the Food Packaging Market--Intelligent Packaging--a Review*. Czech Journal of Food Sciences, 35(1).
16. Baruk, A., Białoskurski, S. (2015). *Selected determinants of food product image*. Żywność Nauka Technologia Jakość/Food Science Technology Quality, 21(3(100)). <https://doi.org/10.15193/zntj/2015/100/051>
17. Becerril, R., Nerín, C., Silva, F. (2020). *Encapsulation systems for antimicrobial food packaging components: an update*. Molecules, 25(5), 1134. <https://doi.org/10.3390/molecules25051134>
18. Belguidoum, A., Haichour, R., Lograda, T., Ramdani, M. (2022). *Biomonitoring of air pollution by lichen diversity in the urban area of setif, algeria*. Biodiversitas Journal of Biological Diversity, 23(2). <https://doi.org/10.13057/biodiv/d230240>
19. Białoskurski, S. (2014). *Oferta produktów spożywczych a oczekiwania nabywców finalnych – wyniki badań*. Przegląd Organizacji, 36-42. <https://doi.org/10.33141/po.2014.03.06>
20. Białoskurski, S., Wróblewska, W. (2023). *Wybrane charakterystyki produktów a sukces rynkowy nowych produktów spożywczych w opiniach nabywców finalnych*. Ekonomia i Organizacja Logistyki, 8(4), 5-15. <https://doi.org/10.22630/eiol.2023.8.4.25>
21. Bombol, M. (2023). *Zrównoważona konsumpcja jako doświadczenie konsumentów.*, 134-147. <https://doi.org/10.15611/2023.65.7.05>
22. Bono, G., Okpala, C., Badalucco, C., Milisenda, G., Vitale, S. (2016). *Influence of freezing, oxygen-free packaging methods on lipid oxidation, other flesh quality parameters of norway lobster (nephrops norvegicus)*. European Journal of Lipid Science, Technology, 119(3). <https://doi.org/10.1002/ejlt.201600035>
23. Boonsiriwit, A., Xiao, Y., Kathuria, A., Lee, Y. S. (2021). *Effect of moisture-controlled packaging treatment with acid-modified expanded vermiculite–calcium chloride on the quality of fresh mushrooms (Agaricus bisporus) during low-temperature storage*. Journal of the Science of Food, Agriculture, 102(7), 3029-3037. <https://doi.org/10.1002/jsfa.11644>
24. Bryman, A., Bell, E. 2003. *Business Research Methods*, Oxford, Oxford University Press
25. Butot, S., Zuber, S., Moser, M., Baert, L. (2022). *Data on transfer of human coronavirus sars-cov-2 from foods, packaging materials to gloves indicate that fomite transmission is of minor importance*. Applied, Environmental Microbiology, 88(7). <https://doi.org/10.1128/aem.02338-21>
26. Carvalho A., Sampaio P., Rebentisch E., (2019). *On Agile Metrics for Operations Management: Measuring and Aligning Agility with Operational Excellence*. IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM), Macao, China, 2019, pp. 1601-1605, doi: 10.1109/IEEM44572.2019.8978806.
27. Casales-Garcia, V., Heras, A., Sendra, A., Abril, L. (2024). *Sustainable emotional design based on industry 4.0 for industrial nougat packaging*. Sustainability, 16(4), 1378. <https://doi.org/10.3390/su16041378>
28. Cepolina, E., Farina, A. (2015). *A new urban freight distribution scheme, an optimization methodology for reducing its overall cost*. European Transport Research Review, 7(1). <https://doi.org/10.1007/s12544-014-0149-x>
29. Chauhan, U., Chauhan, E., Chauhan, P. (2022). *Role of active packaging in the food industry: a review*. Journal of Pharmaceutical Research International, 20-32. <https://doi.org/10.9734/jpri/2022/v34i50b36439>
30. Chavan, P., Yadav, R., Sharma, P., Jaiswal, A. (2023). *Laser light as an emerging method for sustainable food processing, packaging, testing*. Foods, 12(16), 2983. <https://doi.org/10.3390/foods12162983>
31. Chen, C. (2025). *The improvement of supply chain transportation management by internet of things technology*. Education Reform, Development, 7(7), 165-171. <https://doi.org/10.26689/erd.v7i7.11347>
32. Chen, J., Ren, Y., Seow, J., Liu, T., Bang, W., Yuk, H. (2012). *Intervention technologies for ensuring microbiological safety of meat: current, future trends*. Comprehensive Reviews in Food Science, Food Safety, 11(2), 119-132. <https://doi.org/10.1111/j.1541-4337.2011.00177.x>

33. 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), 517-525. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.15046>
34. Chen, S., Wang, Y., Han, S., Lim, M. (2021). *Evaluation of fresh food logistics service quality using online customer reviews*. International Journal of Logistics Research, Applications, 26(8), 917-933. <https://doi.org/10.1080/13675567.2021.1998398>
35. Cho, C., Lee, H., Jeong, S., Yoo, S. (2019). *Influence of packaging oxygen transmission rate on physical characteristics of frozen cooked rice under various freezing conditions*. Journal of Food Science, 84(12), 3483-3493. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.14938>
36. Cholewa-Wójcik, A. (2016). *Weryfikacja możliwości wykorzystania nieparametrycznego testu niezależności do analizy postrzegania wybranych elementów komunikacji wizualnej opakowań*. Humanities, Social Sciences Quarterly. <https://doi.org/10.7862/rz.2016.hss.38>
37. Cierpiszewski, R. (2021). *Wykorzystanie nanokompozytów polimerowych zawierających nanocząstki metali jako materiałów opakowaniowych*. Engineering Sciences, Technologies, 2021(1(37)), 57-74. <https://doi.org/10.15611/nit.2020.37.03>
38. Ciulli, E. (2019). *Tribology, industry: from the origins to 4.0*. Frontiers in Mechanical Engineering, 5. <https://doi.org/10.3389/fmech.2019.00055>
39. Corapi, E. (2023). *Current Issues on the Transition to a Sustainable Economy in the European, Italian, Middle East Framework: Green Bonds Standards, Greenwashing*. European Business Law Review, 34(Issue 7), 1167-1192. <https://doi.org/10.54648/eulr2023053>
40. Crnjac, M., Mladineo, M., Gjeldum, N., Celent, L. (2022). *From industry 4.0 towards industry 5.0: a review, analysis of paradigm shift for the people, organization, technology*. Energies, 15(14), 5221. <https://doi.org/10.3390/en15145221>
41. Daszkiewicz, T., Purwin, C., Kubiak, D., Fijałkowska, M., Kozłowska, E., Antoszkiewicz, Z. (2018). *Changes in the quality of meat (longissimus thoracis et lumborum) from Kamieniec lambs during long-term freezer storage*. Animal Science Journal, 89(9), 1323-1330. <https://doi.org/10.1111/asj.13037>
42. Dhiman, T., Madan, P. (2025). *The role of Internet of Things (IoT) in enhancing real-time visibility, efficiency in supply chain 4.0*. OAJMR, 1(2), 18-26. <https://doi.org/10.47760/oajmr.2025.v01i02.002>
43. Drago, E., Campardelli, R., Pettinato, M., Perego, P. (2020). *Innovations in smart packaging concepts for food: an extensive review*. Foods, 9(11), 1628. <https://doi.org/10.3390/foods9111628>
44. Duncan, T. (2011). *Applications of nanotechnology in food packaging, food safety: barrier materials, antimicrobials, sensors*. Journal of Colloid, Interface Science, 363(1), 1-24. <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2011.07.017>
45. Dunno, K., Whiteside, S., Thomas, R., Cooksey, K., Gerard, P. (2016). *Effects of transportation hazards on barrier properties of gas flushed retort pouches*. Packaging Technology, Science, 29(8-9), 431-436. <https://doi.org/10.1002/pts.2223>
46. Esposti, M., Toselli, M., Sabia, C., Messi, P., Niederhäusern, S., Bondi, M., Iseppi, R. (2018). *Effectiveness of polymeric coated films containing bacteriocin-producer living bacteria for listeria monocytogenes control under simulated cold chain break*. Food Microbiology, 76, 173-179. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2018.05.005>
47. Fernqvist, F., Olsson, A., Spendrup, S. (2015). *What's in it for me? food packaging, consumer responses, a focus group study*. British Food Journal, 117(3), 1122-1135. <https://doi.org/10.1108/bfj-08-2013-0224>
48. Franz, R., Welle, F. (2022). *Recycling of post-consumer packaging materials into new food packaging applications—critical review of the european approach, future perspectives*. Sustainability, 14(2), 824. <https://doi.org/10.3390/su14020824>
49. Gabirondo, E., Meléndez-Rodríguez, B., Arnal, C., Lagarón, J., Ilarduya, A., Sardón, H., Torres-Giner, S. (2020). *Organocatalyzed closed-loop chemical recycling of thermo-compressed food packaging films of poly(ethylene furanoate)*. <https://doi.org/10.26434/chemrxiv.12727388.v1>

50. Gajdzik, B., Grabowska, S., Saniuk, S., Wieczorek, T. (2020). *Sustainable development, Industry 4.0: a bibliometric analysis identifying key scientific problems of the sustainable Industry 4.0*. *Energies*, 13(16), 4254. <https://doi.org/10.3390/en13164254>
51. Gençdağ, E., Görgüç, A., Yılmaz, F. (2024). *Nanocellulose as a novel cryoprotectant to improve the quality of frozen sour cherries*. *Food, Bioprocess Technology*, 17(12), 4724-4738. <https://doi.org/10.1007/s11947-024-03404-1>
52. Gilbert, E. A., Polo, M. L., Maffi, J. M., Guastavino, J. F., Vaillard, S. E., & Estenoz, D. A. (2022). *The organic chemistry behind the recycling of poly (bisphenol-A carbonate) for the preparation of chemical precursors: A review*. *Journal of Polymer Science*, 60(24), 3284-3317.
53. Gonzales-Barrón, Ú., Pouillot, R., Mota, J., Hasegawa, A., Allende, A., Dong, Q., Sanaa, M. (2024). *A quantitative risk assessment model for listeria monocytogenes in non-ready-to-eat frozen vegetables*. *Foods*, 13(22), 3610. <https://doi.org/10.3390/foods13223610>
54. Gopathoti, K. (2024). *Trustworthy, open supply chain management with blockchain, internet of things*. *International Journal of Scientific Methods in Intelligence Engineering Networks*, 02(03), 34-40. <https://doi.org/10.58599/ijsmien.2024.2305>
55. Góral, M., Góral, D., Nakonieczny, P. (2023). *Analysis of transport conditions for frozen food on the way from the shop to home*. *Transport, Telecommunication Journal*, 24(2), 97-109. <https://doi.org/10.2478/ttj-2023-0009>
56. Gunaratne, N., Fuentes, S., Gunaratne, T., Torrico, D., Francis, C., Ashman, H., Dunshea, F. (2019). *Effects of packaging design on sensory liking, willingness to purchase: a study using novel chocolate packaging*. *Heliyon*, 5(6), <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e01696>
57. Hahladakis, J., Iacovidou, E. (2018). *Closing the loop on plastic packaging materials: what is quality, how does it affect their circularity?*. *The Science of the Total Environment*, 630, 1394-1400. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.02.330>
58. Halagarda, M. (2014). *Projektowanie nowych produktów spożywczych a konkurencyjność firmy*. *Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Ekonomicznego W Krakowie*, (3(927)), 57-73. <https://doi.org/10.15678/znupek.2014.0927.0305>
59. Hamad, B., Jawad, M. (2024). *The fourth industrial revolution: a historical, conceptual review*. *Journal of Economics, Administrative Sciences*, 30(141), 154-172. <https://doi.org/10.33095/gh3a7g38>
60. Hämäläinen, R., Kivinen, P., Koppolu, R., Nissinen, E., Anghelescu-Hakala, A. (2025). *Bio-based aqueous dispersions based on unsaturated pla polymers for barrier packaging applications*. *Polymers*, 17(18), 2467. <https://doi.org/10.3390/polym17182467>
61. Hanafiah, H., Caesar, K., B.D, I., Rahadi, D. (2024). *A comprehensive analysis of logistics strategy, cold chain technology innovation –literature review (case study: paxel indonesia)*. *Journal of Economics Finance, Management Studies*, 07(05). <https://doi.org/10.47191/jefms/v7-i5-72>
62. Harahap, A., Zakaria, M., Syukriah, S., Fadilla, M. (2023). *Design of Safe and Quality Potato Chips Product Packaging Using Quality Function Deployment Method*. *International Journal of Engineering Science and Information Technology*, 3(2), 8-16. <https://doi.org/10.52088/ijesty.v3i2.430>
63. Hu, C., et al. (2020). "Biodegradable plastics from sugarcane: A review of a sustainable alternative." *Journal of Cleaner Production*, DOI:10.1016/j.jclepro.2019.117463.
64. Hu, Q., Ma, P., Hong, J., Wang, Y., Huang, D., Tan, Y., ..., Yu, Z. (2021). *Thermal fogging with disinfectant didecyl dimethyl ammonium bromide effectively kills a coronavirus, an influenza virus, two indicator bacteria in subzero cold-chain environment..* <https://doi.org/10.1101/2021.03.25.436894>
65. Iwasieczko, B. (2017). *Wizualizacja danych i informacji jako narzędzie wspomagania audytu ryzyka*. *Finanse, Rynki Finansowe, Ubezpieczenia*, (87 (1)), 155-163.
66. Jeznach, M., Bilska, B., Tul-Krzyszczuk, A., Pawlak, A. (2017). *Rola opakowań aktywnych w ograniczaniu marnotrawstwa mięsa w gospodarstwach domowych*. *Żywność Nauka Technologia Jakość/Food Science Technology Quality*, 113(4), 126-136. <https://doi.org/10.15193/zntj/2017/113/216>

67. Jia, H., Roy, K., Pan, J., Mráz, J. (2022). Icy affairs: understanding recent advancements in the freezing, frozen storage of fish. *Comprehensive Reviews in Food Science, Food Safety*, 21(2), 1383-1408. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12883>
68. Jiang, Q., Yin, T., Yang, F., Yu, D., Xu, Y., Tie, H., Xia, W. (2020). *Effect of freezing methods on quality changes of grass carp during frozen storage*. *Journal of Food Process Engineering*, 43(11). <https://doi.org/10.1111/jfpe.13539>
69. Kaiser, K., Schmid, M., Schlummer, M. (2017). *Recycling of polymer-based multilayer packaging: a review*. *Recycling*, 3(1), 1. <https://doi.org/10.3390/recycling3010001>
70. Kale, M., Rathod, P. (2023). *Agriculture food supply chain management system based on blockchain, IoT*. *International Journal of Advanced Research in Science Communication, Technology*, 757-760. <https://doi.org/10.48175/ijarsct-8035>
71. Kalińska-Kula, M. (2017). *Wykorzystanie big data w procesach decyzyjnych przedsiębiorstw*. *Marketing i Zarządzanie*, 48(2), 141-153.
72. Karaca, H., KURŞUN, E. (2019). *Effect of frozen storage, modified atmosphere packaging followed by cold storage on some quality characteristics of semi-dried persimmons*. *Akademik Gıda*, 17(3), 317-328. <https://doi.org/10.24323/akademik-gida.647699>
73. Karpińska-Tymoszczyk, M., Draszanowska, A. (2019). *The effect of natural, synthetic antioxidants, packaging type on the quality of cooked poultry products during frozen storage*. *Food Science, Technology International*, 25(5), 429-439. <https://doi.org/10.1177/1082013219830196>
74. Kasinathan, P., Pugazhendhi, R., Elavarasan, R., Ramachandaramurthy, V., Vinoth, R., Subramanian, S., Alsharif, M. (2022). *Realization of sustainable development goals with disruptive technologies by integrating industry 5.0, society 5.0, smart cities, villages*. *Sustainability*, 14(22), 15258. <https://doi.org/10.3390/su142215258>
75. Kaul, S., Kaur, K., Kaur, P., Kaur, J. (2022). *Development, shelf-life assessment of ready-to-bake frozen potato paranthas fortified with iron, zinc*. *International Journal of Food Science, Technology*, 57(11), 7214-7221. <https://doi.org/10.1111/ijfs.16067>
76. Kawecka, A., Cholewa-Wójcik, A. (2017). *Jakość opakowania jako determinanta bezpieczeństwa żywności w kontekście wymagań społecznych konsumentów*. *Żywność Nauka Technologia Jakość/Food Science Technology Quality*, 112(3), 138-148. <https://doi.org/10.15193/zntj/2017/112/205>
77. Klein, M., Neumair, C., Tacker, M., Apprich, S. (2025). *Technical Recyclability, Carbon Footprint of Packaging for Butter, Yogurt, Spreads*. *Recycling*, 10(2), 31. <https://doi.org/10.3390/recycling10020031>
78. Kohnová, L., Salajová, N. (2019). *Industrial revolutions, their impact on managerial practice: learning from the past*. *Problems, Perspectives in Management*, 17(2), 462-478. [https://doi.org/10.21511/ppm.17\(2\).2019.36](https://doi.org/10.21511/ppm.17(2).2019.36)
79. Koreshkov, M., Antreich, S., Bismarck, A., Fritz, I., Reimhult, E., Takatsuna, Y., ..., Zirbs, R. (2024). *Sustainable food packaging using modified sio2 nanofillers in biodegradable polymers*. *Materials Chemistry Frontiers*, 8(16), 2754-2763. <https://doi.org/10.1039/d4qm00206g>
80. Kozłowicz, K., Nazarewicz, S., Góral, D., Krawczuk, A., Domin, M. (2019). *Lyophilized protein structures as an alternative biodegradable material for food packaging*. *Sustainability*, 11(24), 7002. <https://doi.org/10.3390/su11247002>
81. Kucharska, W. (2016). *Wartość marki jako wskaźnik. metody pomiaru / brand value as an indicator. measurement methods*. *Prace Naukowe Uniwersytetu Ekonomicznego We Wrocławiu*, (460). <https://doi.org/10.15611/pn.2016.460.09>
82. Kukułowicz, A., Steinka, I., Siwek, A. (2021). *Produkty pochodzenia wodnego o różnym stopniu przetworzenia jako źródło staphylococcus aureus metacyliinoopornych*. *Żywność Nauka Technologia Jakość/Food Science Technology Quality*, 128(3), 55-62. <https://doi.org/10.15193/zntj/2021/128/388>
83. Kusuma, H. S., Listiawati, V., Jaya, D. E. C., Illiyanasafa, N., Nida, R. A. (2023). *Analysis of edible film as future packaging using bibliometric method*. *Egyptian Journal of Chemistry*, 66(13), 725-731.

84. Langellier, B., Brookmeyer, R., Wang, M., Glik, D. (2014). *Language use affects food behaviours, food values among mexican-origin adults in the USA*. Public Health Nutrition, 18(2), 264-274. <https://doi.org/10.1017/s1368980014000287>
85. Lee, H. G., Yoo, S. (2020). *Changes in the physical properties of frozen cooked rice depending on thermal insulation levels of packaging during freeze-thaw*. Journal of Food Science, 85(12), 4342-4350.
86. Li, X., Meng, L., Zhang, Y., Qin, Z., Meng, L., Li, C., Liu, M. (2022). *Research, application of polypropylene carbonate composite materials: a review*. Polymers, 14(11), 2159. <https://doi.org/10.3390/polym14112159>
87. Lim, K., Kim, D., Kong, J., Choi, B., Seo, W., Yu, J., Choi, W. (2020). *Ultralow water permeation barrier films of triad a-sinx:h/n-sioxny/h-siox structure for organic light-emitting diodes*. Acs Applied Materials, Interfaces, 12(28), 32106-32118. <https://doi.org/10.1021/acsami.0c05858>
88. Liu, J., Li, K., Chen, Y., Ding, H., Wu, H., Gao, Y., Hu, Y. (2022). *Active, smart biomass film containing cinnamon oil, curcumin for meat preservation, freshness indicator*. Food Hydrocolloids, 133, 107979.
89. Liu, Y., Xu, X. (2016). *Industry 4.0, cloud manufacturing: a comparative analysis*. Journal of Manufacturing Science, Engineering, 139(3) <https://doi.org/10.1115/1.4034667>
90. Ljutić, I., Veledar, B., Gadžo, A., Knežević, M. (2024). *European Sustainability Reporting Standards: Lack of Progress, Alignment, Harmonization in Western Balkans*. Economic Analysis, 57(2), 36-48. <https://doi.org/10.28934/ea.24.57.2.pp36-48>
91. Ma, H., Zhang, J., Wang, J., Qin, Y., Chen, C., Song, Y., Xu, W. (2021). *Covid-19 outbreak caused by contaminated packaging of imported cold-chain products — liaoning province, China, July 2020*. China CDC Weekly, 3(21), 441-447. <https://doi.org/10.46234/ccdcw2021.114>
92. Maddikunta, P., Pham, Q., Prabadevi, B., Deepa, N., Dev, K., Gadekallu, T., Liyanage, M. (2022). *Industry 5.0: a survey on enabling technologies, potential applications*. Journal of Industrial Information Integration, 26, 100257. <https://doi.org/10.1016/j.jii.2021.100257>
93. Madzharov, A., Block, L. (2010). *Effects of product unit image on consumption of snack foods*. Journal of Consumer Psychology, 20(4), 398-409. <https://doi.org/10.1016/j.jcps.2010.06.007>
94. Mahgoub, S., El-Mekkawy, R., El-Hack, M., El-Ghareeb, W., Suliman, G., Alowaimer, A., Swelum, A. (2019). *Inactivation of listeria monocytogenes in ready-to-eat smoked turkey meat by combination with packaging atmosphere, oregano essential oil, cold temperature*. Amb Express, 9(1). <https://doi.org/10.1186/s13568-019-0775-8>
95. Marcos, B., Sárraga, C., Castellari, M., Kappen, F., Schennink, G., Arnau, J. (2014). *Development of biodegradable films with antioxidant properties based on polyesters containing α -tocopherol, olive leaf extract for food packaging applications*. Food Packaging, Shelf Life, 1(2), 140-150. <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2014.04.002>
96. Masamba, M. (2024). *Impact of food packaging materials on the shelf-life, quality of packaged food products*. Journal of Food Sciences, 5(2), 15-28. <https://doi.org/10.47941/jfs.1845>
97. Matabura, V. (2021). *Impact of temperature fluctuations on quality changes of frozen green beans, carrots during storage*. Food Science, Technology International, 29(1), 62-74. <https://doi.org/10.1177/10820132211059863>
98. Matczyński, R. (2016). *Wcześniejsza znajomość marki sponsora jako determinanta osiągniętych przez niego efektów w obszarze brand equity*. Modern Management Review. <https://doi.org/10.7862/rz.2016.mmr.18>
99. Mayanti, B., Helo, P. (2023). *Monetary, environmental damage cost assessment of source-separated biowaste collection: Implications of new waste regulation in Finland*. Waste Management, Research, 41(3), 664-675.
100. Miarka, D., Urbańska, B., Kowalska, J. (2019). *Traceability as a tool aiding food safety assurance on the example of a food-packing plant*. Accreditation, Quality Assurance, 24(3), 237-244. <https://doi.org/10.1007/s00769-018-01370-8>

101. Mikus, M., Galus, S. (2020). *Powlekanie żywności – materiały, metody i zastosowanie w przemyśle spożywczym*. *Żywność Nauka Technologia Jakość/Food Science Technology Quality*, 125(4), 5-24. <https://doi.org/10.15193/zntj/2020/125/355>
102. Mikus, M., Galus, S. (2023). *Biopolimerowe materiały aktywne do żywności*. *Żywność Nauka Technologia Jakość/Food Science Technology Quality*, 30(2), 18-32. <https://doi.org/10.15193/zntj/2023/135/444>
103. Mingaleva, Z., Startseva, O., Gerasimov, A. (2023). *Aligning the environmental, social values of the sustainable development concepts, Industry 5.0, Society 5.0*. *E3s Web of Conferences*, 460, 05012. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202346005012>
104. Misztal, A. (2016). *Wpływ unijnej polityki regionalnej na zrównoważony rozwój euroregionów zachodniego pogranicza Polski..* <https://doi.org/10.18778/8088-650-6.01>
105. Mohan, C., Gunasekaran, S., Ravishankar, C. (2019). *Chitosan-capped gold nanoparticles for indicating temperature abuse in frozen stored products*. *NPJ Science of Food*, 3(1). <https://doi.org/10.1038/s41538-019-0034-z>
106. Molina, Y., Miguel, C., Sanz, S., Miguel, L., Rankin, K., Handler, A. (2018). *Adapting to a shifting health care landscape: illinois breast, cervical cancer program lead agencies' perspectives*. *Health Promotion Practice*, 20(4), 600-607. <https://doi.org/10.1177/1524839918776012>
107. Molina-Besch, K. (2016). *Prioritization guidelines for green food packaging development*. *British Food Journal*, 118(10), 2512-2533. <https://doi.org/10.1108/bfj-12-2015-0462>
108. Molina-Besch, K., Pålsson, H. (2020). *A simplified environmental evaluation tool for food packaging to support decision-making in packaging development*. *Packaging Technology, Science*, 33(4-5), 141-157. <https://doi.org/10.1002/pts.2484>
109. Møller, H., Rubach, S., Hanssen, O. J. (2010). *Evaluation of sustainable packaging in the norwegian shopping basket 2001–2007*. *Packaging Technology, Science*, 23(3), 135-144. <https://doi.org/10.1002/pts.885>
110. Morandé, S., Arshi, T., Gul, K., Amini, M., Tewari, V. (2023). *Tracing the future..*, 156-174. <https://doi.org/10.4018/978-1-6684-9094-5.ch010>
111. Mottaeva, A., Lygina, O., Bolatova, B., Bayakhmetova, A. (2023). *Application of the principles of green economy to increase the stability of clustered complexes*. *E3s Web of Conferences*, 460, 03018. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202346003018>
112. Mukherjee, A., Malik, R., Roy, S., Kar, P., Bal, T., Ghosh, B. (2025). *Fabrication of polyvinylalcohol-zinc oxide paper ash composite: a novel, sustainable, antimicrobial food packaging material*. *Journal of Vinyl, Additive Technology*, 31(5), 1032-1053. <https://doi.org/10.1002/vnl.22221>
113. Neri, L., Faieta, M., Mattia, C., Sacchetti, G., Mastrocola, D., Pittia, P. (2020). *Antioxidant activity in frozen plant foods: effect of cryoprotectants, freezing process, frozen storage*. *Foods*, 9(12), 1886. <https://doi.org/10.3390/foods9121886>
114. Nikodemaska-Wołowik, A., Smith, B. (2023). *Koncepcja symbolu przedsiębiorstw rodzinnych w ocenie konsumentów. ujęcie semiotyczne..*, 376-386. <https://doi.org/10.15611/2023.65.7.25>
115. Noëth, E., Opstal, W., Bois, E. (2024). *Introducing reusable food packaging: customer preferences, design implications for successful market entry*. *Business Strategy, the Environment*, 33(7), 6507-6532. <https://doi.org/10.1002/bse.3820>
116. Nwokeocha, I. (2024). *Total Quality Management in Media Outfits and Organizational Performance*. *IJEFBS*, 2(1), 31-42. <https://doi.org/10.59890/ijefbs.v2i1.1383>
117. Odoch, M., Buys, E., Taylor, J. (2021). *Effects of vacuum packaging storage of minimally processed cassava roots at various temperatures on microflora, tissue structure, starch extraction by wet milling, granule quality*. *Journal of the Science of Food, Agriculture*, 101(15), 6347-6354. <https://doi.org/10.1002/jsfa.11305>
118. Pająk, P., Fortuna, T., Przetaczek-Rożnowska, I. (2013). *Protein-, polysaccharide-based edible packagings: profile, applications*. *Żywność Nauka Technologia Jakość/Food Science Technology Quality*. <https://doi.org/10.15193/zntj/2013/87/005-018>
119. Pająk, P., Rożnowski, J. (2024). *Skrobia ziemniaczana i inne biopolimery jako alternatywa dla tworzyw sztucznych – przepisy prawne, możliwości i wyzwania dla branży*

- opakowaniowej. Żywność Nauka Technologia Jakość/Food Science Technology Quality*, 31(1), 23-46. <https://doi.org/10.15193/zntj/2024/138/485>
120. Panfil-Kuniewicz, H., Lis, A., Majewska, M. (2014). *Effect of active packaging on microbiological shelf-life, sensory parameters of tvorog cheeses*. *Żywność Nauka Technologia Jakość/Food Science Technology Quality*, 20(93). <https://doi.org/10.15193/zntj/2014/93/190-203>
 121. Paul, V., Saloni, S., Vikranta, U., Nandan, A., Agarwal, A., Tripathi, A. (2024). *Starch-pha blend-based biopolymers with potential food applications*. *Starch - Stärke*, 76(11-12). <https://doi.org/10.1002/star.202300131>
 122. Pelletier, N., Tyedmers, P. (2010). *Life cycle assessment of frozen tilapia fillets from indonesian lake-based, pond-based intensive aquaculture systems*. *Journal of Industrial Ecology*, 14(3), 467-481. <https://doi.org/10.1111/j.1530-9290.2010.00244.x>
 123. Petrenko, L., Puzko, S., Lavrenenko, V., Герного, Ю. (2024). *Fostering Sustainable Packaging Industry: Global Trends, Challenges*. *European Journal of Sustainable Development*, 13(2), 63. <https://doi.org/10.14207/ejsd.2024.v13n2p63>
 124. Phupoksakul, T., Leuangasukrer, M., Somwangthanaroj, A., Tananuwong, K., Janjarasskul, T. (2017). *Storage stability of packaged baby formula in poly(lactide)-whey protein isolate laminated pouch*. *Journal of the Science of Food, Agriculture*, 97(10), 3365-3373. <https://doi.org/10.1002/jsfa.8187>
 125. Pietrosanto, A., Scarfato, P., Di Maio, L., Nobile, M. R., Incarnato, L. (2020). *Evaluation of the suitability of poly (lactide)/poly (butylene-adipate-co-terephthalate) blown films for chilled, frozen food packaging applications*. *Polymers*, 12(4), 804.
 126. Pinheiro, P., Putnik, G., Castro, A., Castro, H., Dal, B., Romero, F. (2019). *Industry 4.0, industrial revolutions: an assessment based on complexity*. *Fme Transaction*, 47(4), 831-840. <https://doi.org/10.5937/fmet1904831p>
 127. Prakash, G. (2019). *Understanding service quality: insights from the literature*. *Journal of Advances in Management Research*, 16(1), 64-90. <https://doi.org/10.1108/jamr-01-2018-0008>
 128. Pramitasari, R., Gunawicahya, L., Anugrah, D. (2022). *Development of an indicator film based on cassava starch–chitosan incorporated with red dragon fruit peel anthocyanin extract*. *Polymers*, 14(19), 4142. <https://doi.org/10.3390/polym14194142>
 129. Prasetya, D., Sendari, S., Ashar, M., Falah, M., Sujito, S., Handoko, W. (2023). *Implementation of a vacuum sealer to improve the quality, quantity of neng nana's umkm*. *Tridarma Pengabdian Kepada Masyarakat (Pkm)*, 6(1), 45-52. <https://doi.org/10.35335/abdimas.v6i1.4064>
 130. Prasow, M., Domaradzki, P., Litwińczuk, A., Kowalczyk, M. (2019). *Bioactive compounds in meat, their importance in human nutrition*. *Medycyna Ogólna I Nauki O Zdrowiu*, 25(3), 170-180. <https://doi.org/10.26444/monz/112261>
 131. Qian, Y., Yu, J., Yu, Y., Xie, J., Yang, S. (2022). *Effects of immersing treatment of curcumin, piperine combined with vacuum packaging on the quality of salmon (salmo salar) during cold chain logistics*. *Frontiers in Nutrition*, 9. <https://doi.org/10.3389/fnut.2022.1021280>
 132. Radziejewska-Kubzdela, E., Czapski, J., Czaczyk, K., Biegańska-Marecik, R. (2013). *The effect of pre-treatment, modified atmosphere packaging on contents of phenolic compounds, sensory, microbiological quality of shredded celeriac*. *Journal of the Science of Food, Agriculture*, 94(6), 1140-1148. <https://doi.org/10.1002/jsfa.6381>
 133. Rahman, M. S. (2021). *Food Quality, Shelf Life: The Influence of Package Design*. *Packaging Technology, Science*, DOI:10.1002/pts.2753.
 134. Ramanathan, U., Ramanathan, R., Adefisan, A., Costa, T., Cama-Moncunill, X., Samriya, G. (2022). *Adapting digital technologies to reduce food waste and improve operational efficiency of a frozen food company—the case of yumchop foods in the UK*. *Sustainability*, 14(24), 16614. <https://doi.org/10.3390/su142416614>
 135. Ramesh, S., Jancy, S., Radhakrishnan, P. (2020). *Cellulose nanoparticles synthesised from potato peel for the development of active packaging film for enhancement of shelf life of*

- raw prawns (penaeus monodon) during frozen storage.* International Journal of Food Science, Technology, 56(8), 3991-3999. <https://doi.org/10.1111/ijfs.14551>
136. Rinat, K., Thakur, G., Gupta, M., Madhuri, T., Bansal, S. (2024). *Comparative analysis of big data computing in Industry 4.0, Industry 5.0: an experimental study.* Bio Web of Conferences, 86, 01068. <https://doi.org/10.1051/bioconf/20248601068>
 137. Rizki, M., Zarory, H., Luthfi, A. (2023). *Development of warehouse management system using iot for halal supply chain.* International Journal of Science, Society, 5(5), 507-514. <https://doi.org/10.54783/ijssoc.v5i5.912>
 138. Roos, Y. (2021). *Glass transition, re-crystallization phenomena of frozen materials, their effect on frozen food quality.* Foods, 10(2), 447. <https://doi.org/10.3390/foods10020447>
 139. Rosenow, P., Fernández-Ayuso, C., López-García, P., Minguez-Enkovaara, L. (2025). *Design, new materials, production challenges of bioplastics-based food packaging.* Materials, 18(3), 673. <https://doi.org/10.3390/ma18030673>
 140. Sakowska, A., Guzek, D., Głabska, D., Konarska, M., Wierzbicka, A. (2014). *Charakterystyka wybranych systemów pakowania mięsa w odniesieniu do preferencji konsumentów i aspektów ekonomicznych.* Zeszyty Naukowe SGGW W Warszawie - Problemy Rolnictwa Światowego, 14(2), 203-213. <https://doi.org/10.22630/prs.2014.14.2.35>
 141. Sallam, K., Mohamed, M., Mohamed, A. (2023). *Internet of things (IoT) in supply chain management: challenges, opportunities, best practices.* Sustain. Mach. Intell. J., 2. <https://doi.org/10.61185/smij.2023.22103>
 142. Schmidt, R., Möhring, M., Härting, R., Reichstein, C., Neumaier, P., Jozinović, P. (2015). *Industry 4.0 - potentials for creating smart products: empirical research results.*, 16-27. https://doi.org/10.1007/978-3-319-19027-3_2
 143. Setiawan, L., Romulo, A. (2024). *Utilization of kano model, quality function deployment to identify key attributes for developing sorghum functional beverages.* Iop Conference Series Earth, Environmental Science, 1413(1), 012076. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1413/1/012076>
 144. Shamsuri, A., Jamil, S. (2020). *Functional properties of biopolymer-based films modified with surfactants: a brief review.* Processes, 8(9), 1039. <https://doi.org/10.3390/pr8091039>
 145. Shehzad, N., Ramtiyal, B., Jabeen, F., Mangla, S., Vijayvargy, L. (2024). *Metaverse adoption as a cornerstone for sustainable healthcare firms in the industry 5.0 epoch.* Journal of Enterprise Information Management, 37(4), 1254-1281. <https://doi.org/10.1108/jeim-10-2023-0559>
 146. Skudra, L., Loba, K., Kunkulberga, D. (2019). *Shelf life assessment of meat pies.*, 269-272. <https://doi.org/10.22616/foodbalt.2019.046>
 - 147.
 148. Sobolik, J., Sajewski, E., Jaykus, L., Cooper, D., Lopman, B., Kraay, A., León, J. (2021). *Low risk of sars-cov-2 transmission via fomite, even in cold-chain..* <https://doi.org/10.1101/2021.08.23.21262477>
 149. Socaciu, M., Câmpian, V., Dabija, D., Fogarasi, M., Semeniuc, C., Podar, A., Vodnar, D. (2022). *Assessing consumers' preference, loyalty towards biopolymer films for food active packaging.* Coatings, 12(11), 1770. <https://doi.org/10.3390/coatings12111770>
 150. Şomoghi, R., Mihai, S., Oancea, F. (2025). *An overview of bio-based polymers with potential for food packaging applications.* Polymers, 17(17), 2335. <https://doi.org/10.3390/polym17172335>
 151. Srinivas, K. R., Padmavathi, T. (2024). *Advancement in protective packaging systems for fruits and vegetables.*, 76-95.
 152. Stevanović, S., Petrović, T., Marković, D., Milovančević, U., Stevanović, S., Urošević, T., ..., Kozarski, M. (2021). *Changes of quality, free radical scavenging activity of strawberry, raspberry frozen under different conditions.* Journal of Food Processing, Preservation, 46(10). <https://doi.org/10.1111/jfpp.15981>
 153. Su, J., Wang, S. (2024). *Influence of food packaging color, foods type on consumer purchase intention: the mediating role of perceived fluency.* Frontiers in Nutrition, 10. <https://doi.org/10.3389/fnut.2023.1344237>

154. Surjanti, J., Nuswantara, D. A., Mende, D. R., Juniarti, R. P., Musfidah, H. (2018). *Developing Triple Helix Model for SMEs with Fish-Based Products*. Research, Analysis Journal, 1(2).
155. Surkunde, A., Jarad, R., Yadav, M., Suryavanshi, P., Bhavsar, P., Moholkar, P. (2024). *Transforming supply chain management with big data, iot innovations*. Interantional Journal of Scientific Research in Engineering, Management, 08(12), 1-7. <https://doi.org/10.55041/ijsem39893>
156. Syanya, F., Mathia, W., Harikrishnan, M. (2023). *Quality, safety concerns of farmed tilapia fish during freezing, frozen storage: review*. Asian Food Science Journal, 22(6), 40-58. <https://doi.org/10.9734/afsj/2023/v22i6641>
157. Szymańska, I., Żbikowska, A., Marciniak-Łukasiak, K., Kowalska, M. (2021). *Charakterystyka modelowych emulsji typu o/w z dodatkiem zagęszczonego wodnego ekstraktu z dzikiego dorsza*. Żywność Nauka Technologia Jakość/Food Science Technology Quality, 126(1), 88-103. <https://doi.org/10.15193/zntj/2021/126/370>
158. Świda, J., Mięgała-Warchoł, A. (2016). *Ograniczenia funkcji komunikacyjnej opakowań produktów spożywczych użytkowanych przez starszych konsumentów*. Modern Management Review. 23 (3/2016) s.183-197 <https://doi.org/10.7862/rz.2016.mmr.34>
159. Tarapata, J. (2015). *Sustainable consumption, consumer ecological behavior*. Nowoczesne Systemy Zarządzania, 10(1), 51-59. <https://doi.org/10.37055/nsz/129351>
160. Tasic, I., Cano, M. (2024). *An orchestrated iot-based blockchain system to foster innovation in agritech*. Iet Collaborative Intelligent Manufacturing, 6(2). <https://doi.org/10.1049/cim2.12109>
161. Thi Le Ha N.(2021). *Total Quality Management and Perceived Service Quality: The Impact on Customer Satisfaction and Loyalty*. Glob J Pharmaceu Sci. 9(2): 555760.
162. Tokarski, D., Motowidlak, U. (2023). *Analysis of the types, effects of possible errors in the implementation of ecological reusable packaging into e-commerce using fmea*. Economics, Environment, 85(2), 221-235. <https://doi.org/10.34659/eis.2023.85.2.602>
163. Tsironi, T., Maltezou, I., Tsevdou, M., Katsaros, G., Taoukis, P. (2015). *High-pressure cold pasteurization of gilthead seabream fillets: Selection of process conditions, validation of shelf life extension*. Food, bioprocess technology, 8(3), 681-690.
164. Tsironi, T., Stoforos, N. G., Taoukis, P. (2020). *Quality, shelf-life modeling of frozen fish at constant, variable temperature conditions*. Foods, 9(12), 1893. <https://doi.org/10.3390/foods9121893>
165. Tu, J. C., Luo, S. C., Huang, P. C., Zhang, X. Y. (2023). *Research on methods, strategies of green design carbon reduction for bicycle industry in Taiwan from perspective of product life cycle*. Environment, Development, Sustainability, 1-25.
166. Varón, D., Tur-Viñes, V., Rabasa, A., Polotskaya, K. (2020). *An adaptive machine learning methodology applied to neuromarketing analysis: prediction of consumer behaviour regarding the key elements of the packaging design of an educational toy*. Social Sciences, 9(9), 162. <https://doi.org/10.3390/socsci9090162>
167. Vasquez, J., Arroyo, M., Maguiña, M., Asto, M., Quincho, L., Cabrera, A. (2023). *Internet of things technologies applied in the supply chain. a systematic review*. Gestión De Operaciones Industriales, 2(1), 8-26. <https://doi.org/10.17268/goi4.0.2023.01>
168. Vasylius, M., Tadžijevs, A., Šapalas, D., Kartašovas, V., Janutėnienė, J., Mažeika, P. (2023). *Degradation of mechanical properties of a-pet films after uv aging*. Polymers, 15(20), 4166. <https://doi.org/10.3390/polym15204166>
169. Verghese, K., Lewis, H., Lockrey, S., Williams, H. (2015). *Packaging's role in minimizing food loss, waste across the supply chain*. Packaging Technology, Science, 28(7), 603-620. <https://doi.org/10.1002/pts.2127>
170. Vilela, C., Moreirinha, C., Domingues, E., Figueiredo, F., Almeida, A., Freire, C. (2019). *Antimicrobial, conductive nanocellulose-based films for active, intelligent food packaging*. Nanomaterials, 9(7), 980. <https://doi.org/10.3390/nano9070980>
171. Villegas, C., Talón, E., Chiralt, A., Torres, A., Romero, J., Galotto, M., Guarda, A. (2025). *Improving the oxidative stability of sunflower oil through supercritical impregnation-*

- assisted pla/cinnamaldehyde active packaging*. *Acs Food Science, Technology*, 5(1), 350-358. <https://doi.org/10.1021/acfoodscitech.4c00821>
172. Vlad-Bubulac, T., Hamciuc, C., Serbezeanu, D., Suflet, D., Rusu, D., Lisă, G., Rîmbu, C. (2023). *Organophosphorus reinforced poly(vinyl alcohol) nanocomposites doped with silver-loaded zeolite l nanoparticles as sustainable materials for packaging applications*. *Polymers*, 15(11), 2573. <https://doi.org/10.3390/polym15112573>
 173. Vredenburg, J., Bell, S. (2014). *Variability in health care services: the role of service employee flexibility*. *Australasian Marketing Journal (Amj)*, 22(3), 168-178. <https://doi.org/10.1016/j.ausmj.2014.08.001>
 174. Waal, I. (2023). *The legal transition towards a more circular plastic packaging chain a case study of the Netherlands*. *European Energy, Environmental Law Review*, 32(Issue 5), 226-247. <https://doi.org/10.54648/eelr2023015>
 175. Wahyudi, E., Subanidja, S. (2022). *The effect of leadership style strategy, innovation strategy on competitive advantages, implementation of Industry 4.0*. *Jurnal Riset Perbankan Manajemen Dan Akuntansi*, 5(1), 12. <https://doi.org/10.56174/jrpma.v5i1.119>
 176. Walayat, N., Tang, W., Wang, X., Yi, M., Guo, L., Ding, Y., Ranjha, M. (2023). *Quality evaluation of frozen, chilled fish: a review*. *Efood*, 4(1) <https://doi.org/10.1002/efd2.67>
 177. Walichnowska, P., Flizikowski, J., Tomporowski, A., Opielak, M., Cieślak, W. (2025). *The environmental analysis of the post-use management scenarios of the heat-shrinkable film*. *Polymers*, 17(5), 690. <https://doi.org/10.3390/polym17050690>
 178. Wang, S., Liu, X., Yang, M., Zhang, Y., Xiang, K., Tang, R. (2015). *Review of time temperature indicators as quality monitors in food packaging*. *Packaging Technology, Science*, 28(10), 839-867. <https://doi.org/10.1002/pts.2148>
 179. Witek-Krowiak, A., Szopa, D., Anwajler, B. (2024). *Advanced packaging techniques—a mini-review of 3d printing potential*. *Materials*, 17(12), 2997. <https://doi.org/10.3390/ma17122997>
 180. Wojciechowska, P. (2019). *Materiały hybrydowe w innowacjach opakowaniowych*. Wydawnictwo UEP, Poznań <https://doi.org/10.18559/978-83-66199-16-3>
 181. Wu, J., Zhang, M., Bhandari, B., Yang, C. (2021). *Drip loss control technology of frozen fruits, vegetables during thawing: a review*. *International Agrophysics*, 35(3), 235-250. <https://doi.org/10.31545/intagr/142289>
 182. Yang, Z. (2025). *Magnetic field (mf) assisted freezing in food preservation: principles, applications, technological progress: an overview*. *Comprehensive Reviews in Food Science, Food Safety*, 24(4). <https://doi.org/10.1111/1541-4337.70207>
 183. Yap, C. (2019). *Sustainable seafood resources by applying industry 4.0: a short note*. *Global Journal of Nutrition, Food Science*, 2(4). <https://doi.org/10.33552/gjnfs.2019.02.000545>
 184. Yousefi, H., Su, H., Imani, S., Alkhalidi, K., Filipe, C., Didar, T. (2019). *Intelligent food packaging: a review of smart sensing technologies for monitoring food quality*. *Acs Sensors*, 4(4), 808-821. <https://doi.org/10.1021/acssensors.9b00440>
 185. Yue, C., Wang, W., Hou, H., Cui, B. (2024). *A highly hydrophobic sustainable starch/gelatin-beeswax biodegradable film: easy to industrial scale-up, recyclable, suitable for multiple packaging application scenarios*. *Acs Sustainable Chemistry, Engineering*, 12(19), 7351-7362. <https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.4c00096>
 186. Zajkowska, M. (2015). *Sustainable marketing – from the traditional to the innovative mainstream of marketing management*. *Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Szczecińskiego Problemy Zarządzania Finansów I Marketingu*, 41, 359-370. <https://doi.org/10.18276/pzfm.2015.41/2-29>
 187. Zdun, K., Robakowski, P., Uhl, T. (2024). *Usage of microencapsulated phase-change materials to improve the insulating parameters of the walls of refrigerated trailers*. *Energies*, 17(6), 1439. <https://doi.org/10.3390/en17061439>

Regulacje prawne

1. Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady UE 2025/40 z dnia 19 grudnia 2024 r. w sprawie opakowań i odpadów opakowaniowych, zmiany rozporządzenia (UE) 2019/1020 i dyrektywy (UE) 2019/904 oraz uchylecia dyrektywy 94/62/WE.
2. Rozporządzenie (WE) nr 1935/2004 Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 27 października 2004 r. w sprawie materiałów i wyrobów przeznaczonych do kontaktu z żywnością oraz uchylające dyrektywy 80/590/EWG i 89/109/EWG.

Strony internetowe

1. Słownik języka polskiego PWN, „Opakowanie”,
<https://sjp.pwn.pl/sjp/opakowanie;2495378.html> dostęp: 06.12.2025
2. Encyklopedia PWN, „Opakowanie”,
<https://encyklopedia.pwn.pl/haslo/opakowanie;3951217.html> dostęp: 06.12.2025
3. Nestlé/ Carrefour, komunikat prasowy, kwiecień 2019
<https://www.nestle.com/sites/default/files/asset-library/documents/media/news-feed/nestle-carrefour-mousline-puree-blockchain-pr-april-2019.pdf> dostęp: 03.01.2026

Spis rysunków

1. Wykres częstotliwości zakupu produktów mrożonych..... 98
2. Wykres najczęściej wybieranych kategorii produktów mrożonych..... 99
3. Wykres kryteriów branych pod uwagę przy zakupie produktów mrożonych..... 100
4. Wykres znajomości pojęcia „opakowania inteligentnego”..... 101
5. Wykres znajomości wskaźników czasu/temperatury (TTI)..... 102
6. Wykres znajomości pojęcia „opakowania aktywnego” 103
7. Wykres oceny wiedzy w obszarze technologii monitorowania świeżości żywności (TTI, folie aktywne, czujniki). 1 - brak wiedzy, 3 - przeciętna, 5 – zaawansowana.... 104
8. Wykres wpływu folii / powłoki aktywnej przedłużającej trwałość na zaufanie konsumenta wobec produktu mrożonego..... 105
9. Wykres wpływu inteligentnego opakowania (TTI) na zaufanie konsumenta wobec produktu mrożonego 105
10. Wykres wpływu inteligentnych/aktywnych opakowań na postrzegane ryzyko zakupu produktów nieświeżych..... 106
11. Wykres poziomu zaufania do wskaźnika TTI w porównaniu z tradycyjną datą przydatności 107
12. Wykres postrzeganej roli opakowań inteligentnych/aktywnych w ograniczaniu marnowania żywności..... 108
13. Wykres wpływu opakowań aktywnych i inteligentnych na decyzje zakupowe konsumentów 109
14. Wykres znaczenia opakowania produktu w decyzjach zakupowych konsumentów ... 110
15. Wykres wpływu ekologicznego opakowania na decyzje zakupowe konsumentów 111

16. Wykres wpływu informacji o ekologicznych i inteligentnych rozwiązaniach w opakowaniu na atrakcyjność marki.....	112
17. Wykres gotowości konsumenta do dopłaty za inteligentne / aktywne opakowanie	113
18. Wykres czynników uzasadniających dopłatę za opakowanie inteligentne / aktywne..	114
19. Wykres częstotliwości zamawiania produktów spożywczych online z dostawą do domu	115
20. Wykres częstotliwości zamawiania produktów mrożonych online	116
21. Wykres oceny jakości dostawy produktów mrożonych. 1 – bardzo słabo, 3 – przeciętnie, 5 – bardzo dobrze	117
22. Wykres najczęstszych problemów w dostawie produktów mrożonych.....	118
23. Wykres oceny użyteczności śledzenia temperatury mrożonek.....	119
24. Wykres akceptowalności monitorowania produktów przez producenta (np. z wykorzystaniem blockchain)	119
25. Food fresh indicator	138
26. Timestrip® Food wskaźnik temperatury	139
27. Opakowania strunowe typu doypack – nacisk na funkcjonalność.....	140
28. Opakowanie typu doypack z zamknięciem strunowym dla produktów wieloporcjowych	143
29. Etykieta ze wskaźnikiem świeżości TTI i kodem typu DataMatrix.....	145

Spis tabel

1. Klasyfikacja opakowań jednostkowych produktów mrożonych z uwzględnieniem materiałów i metod pakowania	20
2. Funkcje informacyjne opakowań jednostkowych produktów mrożonych w kontekście bezpieczeństwa żywności i logistyki	32
3. Funkcje opakowań jednostkowych produktów mrożonych.....	40
4. Podsumowanie kluczowych cech jakościowych opakowań jednostkowych produktów mrożonych.....	59
5. Podział i charakterystyka indykatorów stosowanych w opakowaniach produktów mrożonych.....	72
6. Zestawienie wybranych materiałów i ich charakterystyka	84
7. Postawy i preferencje konsumentów wobec ekologii oraz opakowań inteligentnych i aktywnych w grupach fokusowych.....	96
8. Ocena cech jakościowych opakowania paluszków rybnych mrożonych.....	122
9. Ocena cech jakościowych opakowania mrożonych warzyw "na patelnię".....	124
10. Ocena cech jakościowych opakowania strunowego typu doypack.....	126
11. Syntetyczne zestawienie wyników badań IDI z grup 1 i 2	135
12. Autorski model opakowania jednostkowego dla frytek mrożonych.....	148
13. Autorski model opakowania jednostkowego dla mrożonych paluszków rybnych	150

Załącznik 1. Kwestionariusz ankiety

Ankieta ma na celu zbadanie opinii konsumentów na temat jakości opakowań produktów mrożonych oraz doświadczeń związanych z ich zakupem i użytkowaniem. Badanie jest anonimowe i prowadzone w ramach rozprawy doktorskiej. Zebrane odpowiedzi zostaną wykorzystane wyłącznie do celów naukowych. Wypełnienie ankiety zajmie do około 20 minut.

1. Czy kupujesz produkty mrożone? (Tak/Nie)

2. Jak często kupujesz produkty mrożone (warzywa, mięso, dania gotowe, lody itd.)?

- Kilka razy w tygodniu
- Raz w tygodniu
- 2-3 razy w miesiącu
- Rzadziej niż raz w miesiącu

3. Jakie kategorie produktów mrożonych kupujesz najczęściej? (max. 3 odpowiedzi)

- Warzywa i owoce
- Mięso i ryby
- Gotowe dania (np. obiady, dania mączne)
- Przekąski/frytki/pizza
- Lody/desery

4. Na co najbardziej zwracasz uwagę przy zakupie produktów mrożonych? (maks.3 odpowiedzi)

- Cena
- Marka
- Skład/wartości odżywcze
- Stan opakowania
- Estetyka opakowania
- Przejrzystość informacji na opakowaniu
- Data przydatności/ważności
- Bezpieczeństwo żywności/świeżość
- Inne

5. Czy zdarza/zdarzyło Ci się zrezygnować z zakupu produktu mrożonego, ponieważ opakowanie w Twojej ocenie było wątpliwej jakości/uszkodzone?
- Tak, wiele razy
 - Tak, kilka razy
 - Rzadko
 - Nigdy
6. Czy spotkałaś/eś się wcześniej z pojęciem „opakowania inteligentnego”?
- Tak
 - Tak, ale nie pamiętam co to
 - Nie
7. Czy słyszałaś/eś kiedyś o wskaźnikach czasu-temperatury (TTI)?
- Tak
 - Tak, ale nie pamiętam co to
 - Nie
8. Czy słyszałaś/eś o „opakowaniach aktywnych”?
- Tak
 - Tak, ale nie pamiętam co to
 - Nie
9. Jak oceniasz swoją wiedzę na temat technologii monitorowania świeżości żywności (TTI, folie aktywne, czujniki)? (1 – brak, 3 – przeciętny, 5 – bardzo dobry)
10. Czy chciał(a)byś, aby opakowania informowały o sposobie przechowywania produktów?
- Zdecydowanie tak
 - Raczej tak
 - Nie mam zdania
 - Raczej nie
 - Zdecydowanie nie
11. Czy opakowanie inteligentne, np. ze wskaźnikiem TTI zwiększyłyby Twoje zaufanie do produktu mrożonego?
- Zdecydowanie tak
 - Raczej tak
 - Nie mam zdania
 - Raczej nie

- Zdecydowanie nie

12. Czy folia / powłoka aktywna przedłużająca trwałość zwiększyłaby Twoje zaufanie do produktu?

- Zdecydowanie tak
- Raczej tak
- Nie mam zdania
- Raczej nie
- Zdecydowanie nie

13. Czy inteligentne / aktywne opakowania mogłyby zmniejszyć ryzyko zakupu produktu nieświeżego lub zepsutego przez warunki przechowywania?

- Zdecydowanie tak
- Raczej tak
- Nie mam zdania
- Raczej nie
- Zdecydowanie nie

14. Czy zaufa(a)byś bardziej informacji ze wskaźnika TTI niż samej tradycyjnej dacie przydatności?

- Zdecydowanie tak
- Raczej tak
- Nie mam zdania
- Raczej nie
- Zdecydowanie nie

15. Czy możliwość sprawdzenia historii temperatur produktu (np. przez kod QR) byłaby dla Ciebie przydatna?

- Zdecydowanie tak
- Raczej tak
- Nie mam zdania
- Raczej nie
- Zdecydowanie nie

16. Czy zaakceptowałbyś monitorowanie produktu przez producenta w celu zapewnienia bezpieczeństwa i transparentności (np. za pomocą blockchain)?

- Zdecydowanie tak
- Raczej tak

- Nie mam zdania
- Raczej nie
- Zdecydowanie nie

17. Czy uważasz, że opakowania inteligentne / aktywne mogłyby zmniejszyć marnowanie żywności?

- Zdecydowanie tak
- Raczej tak
- Nie mam zdania
- Raczej nie
- Zdecydowanie nie

18. Czy korzystał(a)byś np. z aplikacji mobilnej do sprawdzania informacji z inteligentnego opakowania?

- Zdecydowanie tak
- Raczej tak
- Nie mam zdania
- Raczej nie
- Zdecydowanie nie

19. Czy zastosowanie opakowań aktywnych i inteligentnych mogłoby wpłynąć na Twój wybór marki produktów mrożonych?

- Zdecydowanie tak
- Raczej tak
- Nie mam zdania
- Raczej nie
- Zdecydowanie nie

20. Czy wygląd opakowania wpływa na Twoje postrzeganie marki produktu?

- Zdecydowanie tak
- Raczej tak
- Nie mam zdania
- Raczej nie
- Zdecydowanie nie

21. Czy informacje na opakowaniu (np. o innowacyjnych technologiach, TTI, foliach aktywnych) zwiększają Twoje zaufanie do marki?

- Zdecydowanie tak

- Raczej tak
 - Nie mam zdania
 - Raczej nie
 - Zdecydowanie nie
22. Czy opakowanie produktu jest dla Ciebie istotnym elementem w podejmowaniu decyzji zakupowej?
- Zdecydowanie tak
 - Raczej tak
 - Nie mam zdania
 - Raczej nie
 - Zdecydowanie nie
23. Czy informowanie o ekologicznych lub inteligentnych rozwiązaniach w opakowaniu zwiększa atrakcyjność marki?
- Zdecydowanie tak
 - Raczej tak
 - Nie mam zdania
 - Raczej nie
 - Zdecydowanie nie
24. Czy reklama lub promocja dotycząca opakowań inteligentnych / aktywnych wpływałaby na Twoją decyzję o zakupie?
- Zdecydowanie tak
 - Raczej tak
 - Nie mam zdania
 - Raczej nie
 - Zdecydowanie nie
25. Ile więcej był(a)byś skłonny/a zapłacić za produkt mrożony z inteligentnym / aktywnym opakowaniem?
- Nie zapłacił(a)bym więcej
 - Do 5% więcej (maks. 50gr przy cenie 10 zł)
 - 5-10% więcej (maks. 51gr-1zł przy cenie 10 zł)
 - 10-20% więcej (maks. 1,01zł-2zł przy cenie 10 zł)
 - Ponad 20% więcej (ponad 2zł przy cenie 10 zł)
26. Co najbardziej uzasadnia dopłatę za opakowanie inteligentne / aktywne?

- Większe bezpieczeństwo żywności
- Lepsza kontrola temperatury
- Informacja o historii przechowywania
- Większa świeżość/dłuższa trwałość produktu
- Mniejsze marnowanie żywności
- Nic nie uzasadnia dopłaty

27. Jak często zamawiasz produkty spożywcze online z dostawą do domu?

- Minimum raz w tygodniu
- 2-3 razy w miesiącu
- Rzadziej niż raz w miesiącu
- Nigdy

28. Czy zamawiasz online produkty mrożone?

- Tak, regularnie
- Tak, sporadycznie
- Raczej nie
- Nigdy

29. Jak oceniasz jakość dostawy mrożonek (czas, temperatura, świeżość, stan opakowania)? 1 – bardzo słabo, 3 – przeciętnie, 5 – bardzo dobrze)

30. Jakie problemy z dostawą mrożonek zauważyłaś/eś?

- Częściowe rozmrożenie produktu
- Zbyt długi czas dostawy
- Uszkodzone opakowanie
- Nadmierna ilość lodu/szronu
- Brak odpowiedniego zabezpieczenia termicznego
- Brak informacji o warunkach transportu

31. Czy chciał(a)byś otrzymać informację o warunkach transportu (np. temperaturze) przy zamówieniu mrożonek online?

- Zdecydowanie tak
- Raczej tak
- Nie mam zdania
- Raczej nie
- Zdecydowanie nie

32. Czy był(a)byś skłonna/y dopłacić za lepsze zabezpieczenie termiczne produktów przy dostawie?

- Nie
- Tak, do 2 zł
- Tak, 2-5 zł
- Tak, 5-10 zł
- Tak, powyżej 10 zł

33. Czy ważny jest dla Ciebie aspekt ekologiczny opakowań produktów mrożonych?

- Zdecydowanie tak
- Raczej tak
- Nie mam zdania
- Raczej nie
- Zdecydowanie nie

34. Czy bardziej ekologiczne opakowanie mogłoby skłonić Cię do zakupu danego produktu?

- Zdecydowanie tak
- Raczej tak
- Nie mam zdania
- Raczej nie
- Zdecydowanie nie

Oceń opakowanie zgodnie z poniższymi kryteriami, gdzie 1 – najslabiej, 5 – najlepiej:



Rys. 1. Opakowanie paluszków rybnych XL

Źródło: <https://polskikoszyk.pl/mrozonka-abramczyk-kapitanskie-paluszki-rybne-450-g.html>
[07.12.2025]

35. Trwałość opakowania (odporność na uszkodzenia, transport, mrożenie) 1-5
36. Czytelność informacji (skład, instrukcje, wartości odżywcze) 1-5
37. Atrakcyjność wizualna 1-5
38. Funkcjonalność (otwieranie, zamykanie, przechowywanie) 1-5
39. Zaufanie do świeżości / jakości produktu 1-5
40. Względy ekologiczne 1-5

Oceń opakowanie zgodnie z poniższymi kryteriami, gdzie 1 – najslabiej, 5 – najlepiej:



Rys. 2. Warzywa na patelnię

Źródło: <https://hortex.pl/produkty/warzywa-na-patelnie-polskie/> [07.12.2025]

41. Trwałość opakowania (odporność na uszkodzenia, transport, mrożenie) 1-5
42. Czytelność informacji (skład, instrukcje, wartości odżywcze) 1-5
43. Atrakcyjność wizualna 1-5
44. Funkcjonalność (otwieranie, zamykanie, przechowywanie) 1-5
45. Zaufanie do świeżości / jakości produktu 1-5
46. Względy ekologiczne 1-5

Oceń opakowanie zgodnie z poniższymi kryteriami, gdzie 1 – najłabiej, 5 – najlepiej:



Rys. 3. Owoce morza w opakowaniu typu doypack

Źródło: <https://swisspack.co.nz/frozen-food/> [07.12.2025]

47. Trwałość opakowania (odporność na uszkodzenia, transport, mrożenie) 1-5
48. Czytelność informacji (skład, instrukcje, wartości odżywcze) 1-5
49. Atrakcyjność wizualna 1-5
50. Funkcjonalność (otwieranie, zamykanie, przechowywanie) 1-5
51. Zaufanie do świeżości / jakości produktu 1-5
52. Względy ekologiczne 1-5
53. Podaj swój wiek
 - 16-19
 - 20-29
 - 30-39
 - 40-49
 - 50-59
 - 60 lub więcej
54. Płeć
 - Kobieta
 - Mężczyzna

55. Wykształcenie

- podstawowe
- zawodowe
- średnie/technikum
- wyższe
- doktorat i więcej

56. Wielkość miejscowości zamieszkania

- Wieś / do 5 tys. mieszkańców
- 5-20 tys. mieszkańców
- 20-100tys. mieszkańców
- 100-500tys. mieszkańców
- Powyżej 500tys. mieszkańców

Załącznik 2. Kwestionariusz wywiadów fokusowych

Grupa 1

Członkowie grupy: uczniowie technikum, wiek 15–16 lat, 10 osób.

Cel: Poznanie świadomości i postaw młodzieży wobec opakowań produktów mrożonych, w tym ekologicznych i inteligentnych, w kontekście zakupów (w tym online) z rodzicami.

Pytania główne:

- Jak często kupujecie produkty mrożone i w jaki sposób uczestniczycie w procesie zakupów online z rodzicami?
- Co zwracacie uwagę, patrząc na opakowania produktów mrożonych? (materiał, design, informacje na opakowaniu)
- Czy słyszeliście o opakowaniach inteligentnych lub aktywnych (np. wskaźniki TTI, zmiana koloru w zależności od temperatury)? Co o nich myślicie?
- Jak ważna jest dla Was ekologiczność opakowań? Jak reagujecie na oznaczenia typu „recykling” lub „bio”?
- Jakie elementy opakowań wpływają na Waszą chęć kupowania danego produktu?

Narzędzie rejestracji: notatka moderatorska.

Grupy 2 i 3:

Członkowie grupy 2: studenci kierunku Logistyka na studiach stacjonarnych, wiek 23-25 lat, 10 osób

Członkowie grupy 3: dorośli, wiek 25-51 lat, 9 osób

Cel: Poznanie doświadczeń zakupowych dorosłych konsumentów z różnym doświadczeniem logistycznym i zawodowym, w tym podejścia do innowacyjnych i zrównoważonych opakowań.

Pytania główne:

- Jak często kupujecie produkty mrożone, w tym online i jak oceniacie jakość dostaw?

- Na co zwracacie uwagę w opakowaniach produktów mrożonych – design, trwałość, materiał, funkcjonalność?
- Jak oceniacie opakowania inteligentne lub aktywne? Czy byliście w stanie zaobserwować różnicę w jakości produktu dzięki tym rozwiązaniom?
- W jaki sposób kwestie ekologiczne wpływają na Wasze decyzje zakupowe?
- Jakie innowacje w opakowaniach chciałbyś/chciałabyś widzieć w przyszłości?

Narzędzie rejestracji: notatka moderatorska.

Załącznik 3. Kwestionariusz wywiadów indywidualnych pogłębionych

Grupa 1: Eksperci ds. ekologii, zrównoważonego rozwoju i gospodarki odpadami

Cel wywiadu: Zidentyfikowanie perspektywy ekspertów w zakresie zrównoważonego projektowania opakowań jednostkowych produktów mrożonych, wymagań regulacyjnych UE oraz trendów w gospodarce odpadami.

Pytania:

- Proszę opisać Pana/Pani doświadczenie w zakresie ekologii, zrównoważonego rozwoju i gospodarki odpadami w branży spożywczej.
- Jakiej regulacje UE i w jaki sposób wpływają na projektowanie i produkcję opakowań jednostkowych produktów mrożonych?
- Jakich technologii i materiałów uważa Pan/Pani za najbardziej obiecujących w kontekście zrównoważonych opakowań jednostkowych [produktów mrożonych]?
- Jakich przeszkód i wyzwań napotykają producenci przy wdrażaniu zrównoważonych rozwiązań?
- Czy widzi Pan/Pani realne możliwości stosowania opakowań inteligentnych w połączeniu ze zrównoważonymi materiałami?
- Jakich zmian w zakresie zrównoważonych opakowań przewiduje Pan/Pani w ciągu najbliższych 5–10 lat?
- Jak te zmiany mogą wpłynąć na jakość i innowacyjność opakowań jednostkowych?

Narzędzie rejestracji: notatka moderatorska.

Grupa 2: Producenci i projektanci opakowań produktów mrożonych

Cel wywiadu: Zbadanie praktycznych aspektów projektowania i produkcji opakowań jednostkowych produktów mrożonych oraz możliwości wdrażania innowacji wynikających z Przemysłu 5.0.

- Proszę opisać Pana/Pani rolę i doświadczenie w projektowaniu lub produkcji opakowań jednostkowych.

- Jakie rodzaje opakowań są najczęściej stosowane w Państwa produkcji i dlaczego?
- Czy i w jaki sposób w Państwa firmie wdrażane są technologie związane z Przemysłem 5.0 (np. automatyzacja, cyfryzacja, druk 3D, IoT)?
- Jak te technologie wpływają na jakość, funkcjonalność i bezpieczeństwo opakowań produktów mrożonych?
- Jakie innowacje w opakowaniach są obecnie wprowadzane lub planowane (np. opakowania inteligentne, aktywne wskaźniki TTI)?
- Jakie są bariery techniczne lub ekonomiczne w implementacji nowych rozwiązań?
- W jaki sposób Państwa firma uwzględnia wymagania zrównoważonego rozwoju i regulacje UE w projektowaniu opakowań?
- Jakie cechy opakowań są według Pana obecnie najbardziej pożądane przez klientów produktów mrożonych?
- Jak przewiduje Pan/Pani rozwój oczekiwań konsumenckich w kolejnych latach i ich wpływ na projektowanie opakowań?

Narzędzie rejestracji: notatka moderatorska

Streszczenie

Rozprawa doktorska podejmuje problematykę jakości opakowań jednostkowych wybranych produktów mrożonych w kontekście oczekiwań współczesnego konsumenta określanego jako Klient 5.0. W warunkach dynamicznych zmian technologicznych oraz rosnącej świadomości konsumenckiej opakowanie przestaje pełnić wyłącznie funkcję ochronną, stając się istotnym elementem komunikacji z konsumentem, budowania wartości produktu oraz wspierania zrównoważonego rozwoju.

Celem pracy była identyfikacja kluczowych cech jakościowych opakowań jednostkowych produktów mrożonych oraz określenie ich wpływu na postrzeganą jakość produktu i decyzje zakupowe konsumentów. W pracy zastosowano zróżnicowane metody badawcze, obejmujące analizę literatury przedmiotu, badania jakościowe w formie wywiadów fokusowych, badania ankietowe wśród konsumentów oraz wywiady indywidualne pogłębione z ekspertami branżowymi.

Wyniki badań wskazują, że współczesny konsument zwraca szczególną uwagę na funkcjonalność opakowania, jego wygodę użytkowania, czytelność informacji, aspekty ekologiczne oraz innowacyjność technologiczno-materiałową. Jednocześnie wykazano, że implementacja rozwiązań technologicznych charakterystycznych dla koncepcji Przemysłu 5.0 oraz zastosowanie zrównoważonych materiałów opakowaniowych mogą istotnie zwiększać postrzeganą jakość produktu i wspierać decyzje zakupowe konsumentów.

Na podstawie przeprowadzonych analiz sformułowano rekomendacje dla przedsiębiorstw zajmujących się projektowaniem i produkcją opakowań jednostkowych produktów mrożonych, wskazujące kierunki rozwoju innowacyjnych, funkcjonalnych i zrównoważonych rozwiązań opakowaniowych.

Słowa kluczowe:

opakowania jednostkowe produktów mrożonych, jakość opakowań, zachowania zakupowe konsumentów, Klient 5.0, innowacje opakowaniowe, zrównoważone opakowania.

Abstract

The doctoral dissertation addresses the issue of the quality of unit packaging for selected frozen food products in the context of the expectations of the contemporary consumer referred to as Customer 5.0. In the conditions of dynamic technological changes and increasing consumer awareness, packaging no longer serves only a protective function but also becomes an important element of communication with the consumer, a factor in building product value, and a tool supporting sustainable development.

The aim of the study was to identify the key quality attributes of unit packaging for frozen products and to determine their impact on the perceived product quality and consumer purchasing decisions. The research employed a variety of methods, including literature analysis, qualitative research in the form of focus group interviews, a consumer survey, and in-depth individual interviews with industry experts.

The research results indicate that contemporary consumers pay particular attention to the functionality of packaging, its ease of use, clarity of information, ecological aspects, and technological and material innovation. At the same time, it was demonstrated that the implementation of technological solutions characteristic of the Industry 5.0 concept, as well as the use of sustainable packaging materials, can significantly enhance the perceived quality of the product and support consumers' purchasing decisions.

Based on the conducted analyses, recommendations were formulated for companies involved in the design and production of unit packaging for frozen food products, indicating directions for the development of innovative, functional, and sustainable packaging solutions.

Key words:

Packaging Excellence, frozen food packaging, packaging quality, consumer purchasing behaviour, Customer 5.0, packaging innovation, sustainable packaging