

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

WYBRANE NOWOCZESNE METODY UTRWALANIA ŻYWNOSCI

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

Wprowadzenie

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

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

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

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

* gzagula@ur.edu.pl

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

Problemy związane z przechowywaniem i transportem żywności

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

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

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

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

Tradycyjne metody utrwalania żywności

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

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

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

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

Nowoczesne metody utrwalania żywności

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Zalety nowoczesnych metod utrwalania żywności

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

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

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

Podsumowanie

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

Bibliografia

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

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

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

Selected modern food preservation methods

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