

## RENATA STANISŁAWCZYK

Zakład Przetwórstwa i Towaroznawstwa Rolniczego, Instytut Technologii Żywności i Żywnienia, Kolegium Nauk Przyrodniczych, Uniwersytet Rzeszowski, e-mail: [rstanislaczyk@ur.edu.pl](mailto:rstanislaczyk@ur.edu.pl)

### JADALNE OPAKOWANIA I POWŁOKI DO ŻYWNOŚCI

*W artykule opisano rozwiązania alternatywne dla opakowań z tworzyw sztucznych, stanowiących rosnący problem dla środowiska przyrodniczego. Dokonano przeglądu literatury w zakresie wykorzystania polimerów naturalnych do wytwarzania jadalnych powłok powierzchniowych lub opakowań do żywności. Scharakteryzowano właściwości folii z różnych białek i polisacharydów. Wydaje się, iż opakowania jadalne na bazie polimerów naturalnych mogą stanowić alternatywę dla opakowań z tworzyw sztucznych.*

**Słowa kluczowe:** opakowania jadalne, folie jadalne, powłoki jadalne, polimery naturalne, tworzywa sztuczne, żywność, biodegradowalność

### EDIBLE FOOD PACKAGING AND COATINGS

**Abstrakt:** *The article presents alternative solutions for plastic packaging. Currently, in the world there is a very big problem with the growing amount of packaging and their harmful effects on the natural environment. A review of literature concerning the use of natural polymers for the production of surface edible coatings or food packaging is presented. The article characterizes the properties of films made of various proteins and polysaccharides. It seems that edible packaging based on natural polymers is such an innovative product that it may be an alternative to plastic packaging.*

**Keywords:** edible packaging, edible films, edible coatings, natural polymers, plastics, food, biodegradability

### I. WSTĘP

W produkcji i sprzedaży żywności znacznie wzrosła rola opakowania. Często opakowanie ma decydujący wpływ na akceptowalność i tzw. pożądalność zapakowanego w nie produktu. Współczesny konsument jest coraz bardziej świadomy i ma większe wymagania w stosunku do opakowań do żywności [Szymańska i in. 2019b]. Szeroki asortyment i charakter żywności mają duży związek z dynamicznie rozwijającym się rynkiem opakowań. Zanim produkt spożywczy trafi do obrotu, najczęściej jest pakowany. Ma to na celu zachowanie jakości i zminimalizowanie strat wartości odżywczych żywności [Kawecka i Cholewa-Wójcik 2017]. Wymagający konsument, rozrastający się asortyment produktów spożywczych i nadmierna ilość odpadów; to czynniki, które odpowiadają za wiele istotnych zmian na rynku opakowań [Szymańska i in. 2019a], prowadząc do pojawienia się wielu nowych rozwiązań w opakowalnictwie - często problematycznych i kontrowersyjnych [Barska i Wyrwa 2016]. Na rynku opakowań w Polsce i na

świecie obserwuje się zasadniczo dwa główne trendy. Pierwszy z nich dotyczy tzw. opakowań ekologicznych, które wytwarzane są z materiałów przyjaznych środowisku, na bazie naturalnych i syntetycznych związków. Drugi trend obejmuje intensyfikację ochrony produktu i informacyjnej funkcji opakowania. Ponadto obserwuje się rozwój innowacyjnych opakowań funkcjonalnych, do których zaliczane są opakowania inteligentne oraz aktywne. Opakowania inteligentne poza ochroną żywności umożliwiają monitorowanie jej stanu i otoczenia, a opakowania aktywne poprawiają jej cechy jakościowe i trwałość [Szymańska i in. 2019b].

Obecnie rynek opakowań zdominowały tworzywa sztuczne (powodując m.in. nadmierne obciążenie środowiska odpadami), które jednocześnie są najbardziej krytykowanym rodzajem opakowań. Utrudniona biodegradowalność tworzyw sztucznych, ponadto łatwopalność, wątpliwości dotyczące bezpieczeństwa stosowania, ryzyko niskiej wytrzymałości i stabilności, migracji substancji oraz konieczność zwiększania recyklingu i odzysku energii, zrodziły potrzebę poszukiwania nowych rozwiązań [Nair i in. 2023, Szymańska i in. 2019b, Teister 2023]. Alternatywę dla tworzyw sztucznych mogą stanowić materiały hybrydowe, które łączą zalety polimerów organicznych (plastyczność, elastyczność, zdolność przetworstwa i łatwość formowania) i pożądane cechy składników nieorganicznych (twardość, odporność chemiczna, mechaniczna i termiczna). Organiczno-nieorganiczne hybrydy mają unikatową strukturę i szeroki zakres zastosowań, jako żele, cienkie filmy, włókna czy proszki [Sanchez i in. 2005].

Innym obiecującym rozwiązaniem w dziedzinie opakowalnictwa jest produkcja jadalnych opakowań i naczyń jednorazowych do żywności. Na etapie badań naukowych najwięcej uwagi poświęca się osłonkom i powłokom jadalnym, które bezpośrednio powlekają żywność. Pomimo spełnienia wielu założeń dotyczących materiałów opakowaniowych nie realizują one jednak wszystkich funkcji ujętych choćby w ramach definicji opakowania. Dlatego też nie są stosowane samodzielnie, zwykle wymagają dodatkowego opakowania, które chroni je przed czynnikami zewnętrznymi [Szymańska i in. 2019b].

Celem artykułu było przedstawienie możliwości wykorzystania polimerów naturalnych do wytwarzania jadalnych powłok powierzchniowych lub opakowań do żywności.

## II. METODA PRACY

Temat opracowano w oparciu o literaturę przedmiotu. Przegląd literatury obejmuje lata 1995-2023. Analizę publikacji prowadzono w oparciu o słowa kluczowe: opakowania jadalne, folie jadalne, powłoki jadalne, polimery naturalne, tworzywa sztuczne, żywność, biodegradowalność oraz opakowania - w bazie Google Scholar. We wstępie zestawiono informacje na temat nowych rozwiązań w opakowalnictwie żywności. W analizie problemu przedstawiono w ujęciu historycznym pierwsze próby użycia naturalnych materiałów do pokrywania żywności oraz wyjaśniono termin opakowania jadalne. Ponadto w trakcie tworzenia kolejnych podrozdziałów niniejszego artykułu dokonano charakterystyki materiałów do wytwarzania opakowań jadalnych oraz dokonano przeglądu dostępnej literatury w tej tematyce. Podjęcie tematu uzasadnione jest faktem, iż współcześnie poszukuje się alternatywnych rozwiązań w opakowalnictwie w stosunku do tworzyw sztucznych, które obciążają środowisko przyrodnicze.

## III. WYNIKI PROBLEMU

### *Historia opakowań jadalnych*

Mimo, że proces powlekania żywności cieszy się obecnie dużym zainteresowaniem zarówno producentów żywności, jak i naukowców, powłoki ochronne do żywności stosowano od kilku stuleci. Jako pierwszy do powlekania żywności wykorzystywano wosk. W Chinach w XII i XIII w. służył on do powlekania owoców cytrusowych w celu zmniejszenia ubytku masy

spowodowanego transpiracją [Kadzińska i Galus 2014]. W Anglii w XVI w. mięso i produkty mięsne powlekano różnego rodzaju tłuszczami, celem zmniejszenia utraty wody (tzw. „larding”). W Ameryce, w XIX w. pokrywano mięso żelatyną, a owoce emulsjami woskowo-olejowymi [Kadzińska i Galus 2014, Szymańska i in. 2019a, Tederko 1995]. W późniejszym okresie sugerowano zastosowanie filmów żelatynowych do ochrony mięsa oraz innych artykułów spożywczych. Yuba, czyli białkowy film jadalny otrzymywany w wyniku podgrzania mleka sojowego, był stosowany w Azji w celu ochrony i poprawy wyglądu niektórych produktów, od XV w. Natomiast w XIX w. po raz pierwszy zastosowano sacharozę jako powłokę ochronną na migdałach i orzechach laskowych, aby zapobiec procesom utleniania oraz jęczenia zachodzących podczas przechowywania orzechów. Od około 60ciu lat w literaturze naukowej dostępne jest wiele informacji o tworzeniu i zastosowaniu powłok i filmów jadalnych [Kadzińska i Galus 2014, Tederko 1995]. Opakowania jadalne stały się również przedmiotem wielu patentów [Kadzińska i Galus 2014, Kokoszka i Lenart 2007].

#### *Materiały do wytwarzania opakowań jadalnych*

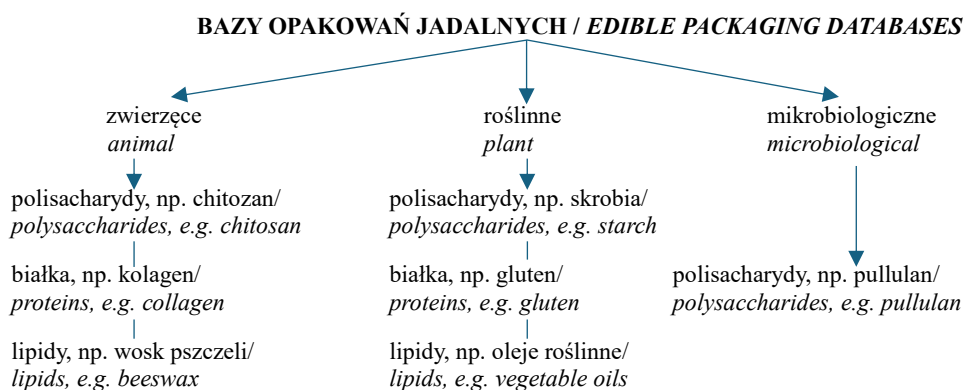
Terminem opakowanie jadalne określa się cienką warstwę materiału, która może być spożywana wraz z produktem, a jednocześnie stanowi dla niego barierę w stosunku do wody, tlenu, bądź innych substancji. Folie jadalne mogą pokrywać powierzchnię produktu bądź stanowić jego część wewnętrzną, tak jak w przypadku lodów w rożkach, w których zastosowana powłoka chroni wafelki przed migracją wilgoci i tym samym pozwala zachować chrupkość produktu nawet przez 3 miesiące [Kadzińska i Galus 2014].

Głównym zadaniem opakowań jadalnych jest kontrola migracji m.in. pary wodnej, gazów czy aromatów z lub do produktów, w celu utrzymania jego jak najwyższej jakości przez określony czas. Opakowania jadalne dzieli się na filmy oraz powłoki. Film jadalny to cienka warstwa materiału z roztworu polimerów naturalnych. Charakteryzuje się wytrzymałością mechaniczną i spójnością, jest oddzielony od produktu powlekanego. Grubość tego rodzaju jadalnych opakowań wynosi od 0,050 do 0,250 mm. Powłoki jadalne natomiast są foliami formowanymi bezpośrednio na powierzchni danego produktu [Kadzińska i Galus 2014]. Nanoszenie powłoki odbywa się przez: żelowanie/koagulację roztworu koloidalnego na powierzchni produktu bądź zanurzenie i odsączenie, natryskiwanie lub zalewanie (przy ciągłym mieszaniu) produktu przygotowanym roztworem, a następnie wysuszenie cienkiej warstwy [Falguera i in. 2011].

Wykorzystanie powłok i filmów jadalnych w pakowaniu żywności jest szczególnie istotne w przypadku żywności nieprzetworzonej lub minimalnie przetworzonej [Szymańska i in. 2019a]. Wyróżniki jakości świeżych produktów (np. owoców), ulegają zmianom podczas zbiorów, transportu, sortowania, przechowywania i dystrybucji. Czynniki zewnętrzne (np. drobnoustroje, siły mechaniczne, temperatura) i wewnętrzne (np. gatunek, odmiana) powodują skrócenie trwałości produktów w czasie oraz straty ilościowe [Barbosa-Pereira i in. 2014]. Opakowania jadalne, oprócz oddziaływania na migrację składników, przyczyniają się do poprawy integralności fizycznej i wyglądu zewnętrznego powlekanego produktu, np. dzięki zastosowaniu barwników [Kadzińska i Galus 2014]. Powłoki i filmy mogą być bezpiecznie spożywane jako część produktu i są przyjazne dla środowiska, bez konieczności odzysku lub utylizacji tych opakowań jadalnych [Szymańska i in. 2019a]. Właściwości powłok jadalnych są determinowane ich zastosowaniem, np. powłoka pokrywająca produkt wrażliwy na utlenianie wykazuje wysoką barierowość wobec O<sub>2</sub> [Aguirre-Joya i in. 2018].

Głównymi składnikami powłok i filmów jadalnych są biopolimery pochodzenia zwierzęcego (np.: polisacharydy – chitozan, białka – kolagen, lipidy – wosk pszczeły), roślinnego (np. polisacharydy – skrobia, pektyny; białka – sojowe, gluten; lipidy – wosk

słonecznikowy, oleje roślinne, żywice) lub mikrobiologicznego (np. polisacharydy – pullulan, kurdlan) (rys. 1). Stanowią one jedynie bazy opakowań jadalnych, gdyż w praktyce są to materiały kompozytowe, które mogą zawierać różne składniki w odmiennych proporcjach [Szymańska i in. 2019a].



**Rys. 1.** Wybrane składniki podstawowe (bazy) do otrzymywania opakowań jadalnych [Szymańska i in. 2019a]  
**Fig. 1.** Selected basic ingredients (bases) for obtaining edible packaging [Szymańska et al. 2019a]

Poza podstawowymi składnikami tworzenia folii stosowane są dodatki, których wprowadzenie do składu opakowań jadalnych ma na celu polepszenie właściwości folii: strukturalnych, mechanicznych i użytkowych lub zapewnienie funkcji „aktywnej” opakowania. Wśród tego typu dodatków wymienia się: plastyfikatory, przeciwutleniacze, emulgatory i środki antymikrobiologiczne (rys. 2) [Janjarasskul i Krochta 2010].

**DODATKI DO OPAKOWAŃ JADALNYCH: / ADDITIONS FOR EDIBLE PACKAGING:**

- Plastyfikatory, np. glicerol / *Plasticizers, e.g. glycerol*
- Emulgatory, np. lecytyna / *Emulsifiers, e.g. lecithin*
- Przeciwutleniacze, np. tokoferole / *Antioxidants, e.g. tocopherols*
- Środki antymikrobiologiczne, np. bakteriocyny / *Antimicrobial agents, e.g. bacteriocins*

**Rys. 2.** Dodatki stosowane w produkcji opakowań jadalnych [Janjarasskul i Krochta 2010]  
**Fig. 2.** Additives used in the production of edible packaging [Janjarasskul and Krochta 2010]

*Wybrane polimery stosowane do produkcji folii jadalnych - białka zwierzęce i roślinne*

Z uwagi na różnorodność polimerów stosowanych do produkcji jadalnych folii i błon poniżej scharakteryzowano najpopularniejsze. Folie białkowe otrzymywane są przede wszystkim z kolagenu, żelatyny, kazeiny, keratyny, owoalbuminy, białek soi i orzechów ziemnych, zein kukurydzy, glutenu pszenicy [Bourtoom 2008, Pająk 2011].

*a/* Kolagen – to główny składnik tkanki łącznej kręgowców i bezkręgowców. To jadalne białko występujące w skórze, ścięgnach, chrząstkach, kościach, błonach łącznotkankowych i naczyniach krwionośnych. Jego właściwości fizyczne i chemiczne różnią się w zależności od źródła pochodzenia, gatunku i temperatury życia zwierzęcia. Wynikają one z istnienia wielu typów genetycznych kolagenu różniących się masą i długością cząsteczek, składem

i sekwencją aminokwasową oraz strukturą przestrzenną. Nierozpuszczalne osłonki otrzymywane z wyizolowanego kolagenu umieszcza się na wędzonych produktach mięsnych, np. na szynce, w celu ochrony podczas gotowania przed wniknięciem elastycznej siatki w głąb wyrobu. Po zakończeniu obróbki termicznej siatkę usuwa się, natomiast osłonka kolagenowa może być spożyta wraz z produktem. Materiały kolagenowe używane są również do pokrywania plastrów mięsa, które są następnie umieszczane na tackach polistyrenowych przykrywanych folią z polichlorku winylu. Obecność pokryć kolagenowych zapobiega „poceniu się” tak opakowanego mięsa, sprzyja zachowaniu barwy i zapobiega utlenianiu lipidów. Folie z udziałem kolagenu ograniczają, podobnie jak materiały z tworzyw sztucznych, niekorzystne zmiany jakościowe na powierzchni przechowywanej zamrażalniczo wołowiny, a ponadto rozpuszczają się podczas obróbki termicznej mięsa, jeżeli były wytworzone z niemodyfikowanego białka [Gottfried i in. 2010]. Folie kolagenowe można wyprodukować następującą metodą: zmielony kolagen miesza się z wodnym roztworem kwasu mlekowego (2-hydroksypropanowego) i aldehydu glicerynowego (2,3-dihydroksypropanalu) i ogrzewa do temperatury 75°C, zobojętnia oraz powleka nim produkty mięsne, np. hamburgery. Niekiedy do otrzymywania osłonek stosuje się także mieszaninę kolagenu z nanocelulozą [Pająk i in. 2013].

*b/* Żelatyna otrzymywana na drodze chemiczno-termicznej obróbki kolagenu, ma dobre właściwości foliotwórcze [Gottfried i in. 2010]. Żelatyną powleka się mięso w celu ograniczenia parowania z niego wody, rozwoju mikroflory bakteryjnej, migracji substancji tłuszczowych oraz utleniania składników mięsa, a także dla zmniejszenia wchłaniania tłuszczu podczas smażenia mięsa [Bourtoom 2008, Ruban 2009]. W temperaturze około 40°C wodny roztwór żelatyny tworzy żół, który następnie w wyniku ochładzania tworzy fizyczny, termoodwracalny żel. Powłoki żelatynowe otrzymuje się np. w wyniku zmieszania 20-30% żelatyny, 10-30% plastyfikatora (glicerol lub sorbitol) i 40-70% wody oraz wysuszenia powstałego żelu [Pająk i in. 2013].

*c/* Opakowania na bazie kazeiny – wytworzone na bazie mleka a konkretnie z kazeiny, czyli białka zawartego w mleku, mają znacznie lepsze właściwości pozwalające na utrzymanie świeżości produktów niż plastik. Folię opakowaniową tworzy się poprzez rozproszanie mieszanki następujących składników: kazeiny, pektyny z cytrusów oraz wody na specjalnej powierzchni. Następnie substancja ta wysycha i tworzy plastyczny materiał, który może być stosowany do pakowania produktów. Warto podkreślić, że taka folia ma właściwości blokujące, które chronią przed przedostawaniem się tlenu do produktu. Pozwala to zapobiegać psuciu się żywności i jej marnowaniu. Poprzez dodanie do kazeiny pektyn z cytrusów materiał staje się bardziej wytrzymały oraz odporniejszy na wilgoć. Opakowanie to byłoby bez smaku, jednak jest możliwość dodania aromatów oraz witamin, aby wzbogacić je w lepszy smak oraz źródło składników mineralnych dla człowieka. Dodatkowo jest możliwość, aby materiał był całkowicie rozpuszczalny w wodzie, co jest ważne w przypadku opakowań produktów takich jak zupki w proszku czy saszetki kawy, herbaty lub z przyprawami. Gdy opakowanie z kazeiny zostanie zanurzone we wrzątku, wtedy saszetka się rozpuści [Małęga 2019]. Białka mleka (kazeinę oraz białka serwatki) zalicza się do najpowszechniejszych i najtańszych surowców stosowanych do otrzymywania folii jadalnych. Jedną z prostszych metod laboratoryjnych otrzymywania powłok serwatkowych jest sporządzenie wodnych roztworów białka (7-10%) i glicerolu (40% względem ilości białka), a następnie ich 10-minutowe mieszanie z prędkością 700 obr./min. Roztwory powłokotwórcze ogrzewa się w temperaturze 80°C przez 30 min, pH doprowadza do około 7, a po wystudzeniu do temp. 20-25°C roztwory filtruje się. Po wysuszeniu na szalkach Petriego w temperaturze 25°C w ciągu 16 h powłoki mogą służyć do pokrywania żywności [Galus i Lenart 2011]. W celu zwiększenia odporności folii na działanie wody, do białek mlecznych dodaje się

substancje tłuszczowe. Przykładem są folie sporządzone na bazie roztworu białek serwatkowych z plastyfikatorami (sorbitolem lub glicerolem) oraz wodą destylowaną. Po doprowadzeniu całości do pH 8 przy użyciu NaOH, roztwór ogrzewa się do 90°C i dodaje do niego wosk kandelila lub tłuszcz mleczny. Po zhomogenizowaniu i przefiltrowaniu roztwór wylewa się na płyty teflonowe i suszy. Białka mleczne charakteryzują się dobrymi właściwościami mechanicznymi i barierowymi oraz dobrą rozpuszczalnością w wodzie, przyczyniają się także do poprawy wartości odżywczej żywności. Folie białkowe stosuje się do pokrywania owoców i warzyw, przetworów mlecznych i mięsnych, ryb, smażonych chipsów i orzeszków [Pająk i in. 2013].

d/ Sole kazeiny bada się pod kątem wykorzystania kazeinianów jako składników folii opakowaniowych. Otrzymuje się je przez strącenie kazein z odtuszczonego mleka w pH 4,6 w temperaturze 20°C. Następnie rozpuszcza się te białka przez doprowadzenie pH do 6,7 przy użyciu roztworów wodorotlenku sodu, potasu, wapnia lub magnezu uzyskując odpowiednie sole. Folie kazeinowe są z reguły bez zapachu i bez smaku, przezroczyste i półprzezroczyste, co zależy od sposobu formowania folii, czystości białka i rodzaju frakcji. Podobnie jak większość folii białkowych, folie kazeinowe są całkowicie rozpuszczalne w wodzie [Gottfried i in. 2010].

e/Białka roślinne pochodzące z soi, pszenicy i kukurydzy mogą służyć do produkcji jadalnych błon stosowanych do powlekania świeżych owoców. Powłoki z białek soi i pszenicy z dodatkiem tymolu (terpenoid o działaniu aseptycznym) i chlorku wapnia w przypadku truskawek w znacznym stopniu ograniczały ubytek masy oraz utratę jędrności owoców podczas przechowywania i przyczyniały się do zahamowania zmian barwy truskawek. Ponadto dodatek tymolu oraz chlorku wapnia wykazywały inhibujące działanie na rozwój mikroflory patogennej w produkcji [Atres i in. 2010]. Z kolei roztwory powłokotwórcze sporządzone m.in. na bazie izolatu białka grochu oraz białka sojowego stosowano do powlekania frytek w celu ograniczenia absorpcji tłuszczu podczas smażenia produktu [Kowalczyk i Gustaw 2009]. Do wytwarzania jadalnych folii i błon na skalę przemysłową stosuje się także zeinę wyizolowaną z kukurydzy wysokoamylozowej. Zeina kukurydziana jest prolamina rozpuszczalną w 70-80% w alkoholu etylowym. Wykazuje doskonałe właściwości błonotwórcze i barierowe, jest termozgrzewalna. Wadą folii i błon na bazie zeiny i plastyfikatorów jest mała odporność na działanie wody i pary wodnej. Wymagają one dodatku lipidów zwiększających ich hydrofobowy charakter. Najprostszym sposobem wytworzenia błon na bazie zeiny jest wysuszenie alkoholowego roztworu zeiny z dodatkiem substancji plastyfikującej. Folie na bazie tego białka stosuje się do odseparowywania warstw żywności, np. plasterków sera, do powlekania wielu produktów m.in. owoców i warzyw, orzechów, gotowanego mięsa i słodczy. Ponadto folie zeinowe wykorzystywane są do pokrywania żywności smażonej w głębokim tłuszczu [Pająk i in. 2013].

#### *Polisacharydy jako substraty do wytwarzania folii jadalnych*

Do produkcji jadalnych folii polisacharydowych stosuje się głównie skrobię i niektóre jej pochodne, chitozan, pektyny oraz alginiany i karageny [Bertuzzi i in. 2007, Ribeiro i in. 2007, Romero-Bastida i in. 2005].

a/ Skrobie zawierają różne ilości amylopektyn i amylozy. Skrobia zbożowa ma w przybliżeniu 25% amyłazy i 75% amylopektyn. Zdolność tworzenia żeli zależy od ilości amylozy. Wysokoamylozowa skrobia z nasion kukurydzy zawiera do 85% amylozy. Skrobie o wysokiej (ponad 70%) zawartości amylozy są wykorzystywane do wytwarzania jadalnych filmów. Filmy ze skrobi tworzy się przez odparowanie wodnych roztworów żelujących amylozy. Jako plastyfikator stosuje się glicerol. Błony skrobiowe są przezroczyste, w stanie suchym mają małą przepuszczalność gazów, zwłaszcza tlenu. Nawilżenie zwiększa znacznie przepuszczalność. Hydroksypropyłowe pochodne skrobi są lepiej rozpuszczalne, dają filmy łatwiej przepuszczające parę wodną i gazy. Filmy z wysokoamylozowych skrobi o grubości

0,0015 do 0,05 mm stosowane były do pokrywania produktów piekarniczych celem przedłużenia świeżości, do oddzielnego pakowania składników dań garmażeryjnych przed ich uwodnieniem, a także do przechowywania mrożonego drobiu ryb i mięsa [Tederko 1995].

**b/** Chityna i chitozan. Chityna występuje w ścianach komórkowych większości grzybów oraz w strukturach szkieletu zewnętrznego licznych bezkręgowców, w tym skorupiaków i owadów [Gottfried i in. 2010, Kozłowicz i in. 2011]. Podczas alkalicznej deacetylacji chityny otrzymuje się chitozan. Należy on do nietoksycznych polikationowych polimerów zbudowanych z reszt D-glukozaminy połączonych wiązaniami  $\beta$ -1,4-glikozydowymi. Folie chitozanowe są przezroczyste, bezbarwne lub lekko żółtawe w zależności od źródła pochodzenia chitozanu i grubości materiału. W środowisku wodnym o odczynie kwaśnym pęcznią, a nawet rozpuszczają się, natomiast w środowisku o pH ok. 6 ich rozpuszczalność zmniejsza się i zależy od stopnia deacetylacji polimeru. Na właściwości mechaniczne folii wpływa masa cząsteczkowa chitozanu oraz rodzaj i stężenie kwasu użytego do jego rozpuszczenia [Gottfried i in. 2010]. Chitozan, wysoko cząsteczkowy polimer, nietoksyczny, biologicznie czynny stał się docenionym związkiem ze względu na jego działanie grzybobójcze i aktywizujące mechanizmy obronne w tkankach roślin [Bautista-Baños i in. 2006]. W związku z właściwościami biochemicznymi chitozan jest idealną powłoką konserwującą dla świeżych owoców i warzyw. Stosowanie filmów i warstw z chitozanu przedłuża dopuszczalny okres przechowywania produktów i ogranicza procesy gnicia truskawek, liczi, śliwek czy jabłek. Chitozan, jest ogólnie stosowany w pozbiórczym traktowaniu owoców i warzyw [Kozłowicz i in. 2011].

**c/** Pektyny pochodzą ze środkowej warstwy komórek roślin. To polisacharydy roślinne składające się z polimerów kwasu D-galakturnowego o różnym stopniu estryfikacji metylowej. Błony pektynowe wytwarza się przez odparowanie wody z żelu pektynowego [Pająk i in. 2013, Tederko 1995]. Służą przede wszystkim do pakowania żywności o małej zawartości wody z uwagi na to, że w wodzie łatwo ulegają rozpuszczeniu. Tworzą żele w obecności soli wapniowych. Istnieją doniesienia o zastosowaniu żelu sporządzonego na bazie pektynianu wapnia do pokrywania plastrów wołowiny przed procesem zamrażania. Zabieg ten ma na celu zapobieżenie skurczowi mięsa i zahamowanie rozwoju bakterii. Suche błony mają zastosowanie w spowalnianiu parowania wody z powierzchni produktu. Najczęściej jednak pektyna jest stosowana w połączeniu z innymi polimerami (np. skrobią, białkami sojowymi, żelatyną, alginianem), wykazuje wtedy dużo lepsze właściwości mechaniczne i barierowe niż stosowana samodzielnie [Pająk i in. 2013, Sothornvit i Pitak 2007, Tederko 1995].

**d/** Karagen to polisacharyd wyprodukowany przez chrząstnicę kędzierzawą, krasnorost określane potocznie jako mech irlandzki (*Chondrus crispus*). Błony wytworzone na bazie karagenu służą głównie do pakowania mięsa, drobiu i tłustych ryb. Według wyników licznych badań, dodanie w czasie produkcji błon na bazie karagenu związków o charakterze przeciwutleniającym (kwasu galusowego, kwasu askorbinowego), lecytyny i antybiotyków powodowało znaczącą poprawę jakości zapakowanego mięsa oraz przyczyniło się do ograniczenia rozwoju bakterii, drożdży i grzybów. Istnieją doniesienia świadczące o tym, iż karagen może być stosowany do powlekania świeżych owoców, np. truskawek. Błony sporządzone na bazie karagenu z dodatkiem kwasu cytrynowego, glicerolu i chlorku wapnia, charakteryzowały się mniejszą przepuszczalnością dla tlenu i niższą mętnością w porównaniu do błon na bazie skrobi czy chitozanu. Ponadto truskawki powleczone karagenem charakteryzowały się znaczną jędrnością i niewielkim ubytkiem masy podczas przechowywania [Pająk i in. 2013, Ribeiro i in. 2007].

**e/** Alginiany ekstrahowane są z wodorostów morskich. Zawierają one polimery kwasu poliuronowego z kwasem alginowym i guluronowym. Filmy tworzy się z żelu powstającego pod wpływem jonów wapnia (chlorku, octanu, mleczanu lub szczawianu) lub bez żelowania

wstępnego przez odparowanie wody z roztworu alginianu. Właściwości filmu można regulować czasem działania czynnika żelującego, pH i temperaturą, a także dodatkiem wypełniaczy. Alginianowe pokrycia znajdują zastosowanie do różnych rodzajów mięsa wołowego, wieprzowego, drobiowego i tusz jagnięcych. Pokrywanie produktów następuje przez natrysk lub zanurzanie w wodnym roztworze alginianu i żelowanie. Badania wykazały, że tusze jagnięce pokryte żelem alginianowym mają na powierzchni mięsa znacznie mniejszą liczbę bakterii oraz mniejszy stopień utleniania tłuszczu po przechowywaniu [Tederko 1995].

#### IV. PODSUMOWANIE

Jedną z dróg ograniczenia ilości odpadów z niebiodegradowalnych materiałów opakowaniowych jest stosowanie opakowań wytworzonych z naturalnych polimerów. Przedstawione alternatywne rozwiązania dla opakowań z tworzyw sztucznych pokazują, że możliwości na rynku jest wiele, a w najbliższych latach może czekać konsumentów dużo zmian na rynku opakowań. Dzięki ekologicznym rozwiązaniom będzie można zredukować ilość odpadów oraz wpłynąć pozytywnie na środowisko przyrodnicze. Folie i powłoki jadalne mogą być stosowane do przedłużania trwałości i świeżości owoców, warzyw, mięsa i jego przetworów, ryb i owoców morza. Dodatkową zaletą folii i powłok jadalnych jest możliwość spożywania wraz z zapakowanym produktem. Właściwości fizykochemiczne folii opakowaniowych różnią się między sobą w zależności od rodzaju i źródła polimerów jakie zostały wykorzystane do wytworzenia tego rodzaju opakowań. Folie produkowane z naturalnych polimerów z jednej strony charakteryzują się dobrą barierowością wobec tlenu, z drugiej strony mają słabe własności mechaniczne oraz niską barierowość dla pary wodnej. Cechy te w znacznym stopniu ograniczają zastosowanie folii jadalnych, dlatego ciągle poszukuje się nowych sposobów polepszenia właściwości tych opakowań.

#### BIBLIOGRAFIA

1. Aguirre-Joya J.A., De Leon-Zapata M.A., Alvarez-Perez O.B., Torres-León C., Nieto-Oropeza D.E., Ventura-Sobrevilla J.M., Aguilar M.A., Ruelas-Chacón X., Rojas R., Ramos-Aguñaga M.E., Aguilar C.N. 2018. Basic and applied concepts of edible packaging for foods. *Food Packaging and Preservation*. 1-61. Cambridge: Academic Press. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811516-9.00001-4>.
2. Atress A.S.H., El-Mogy M.M., Aboul-Anean H.E., Alsanus B.W. 2010. Improving strawberry fruit storability by edible coating as a carrier of thymol or calcium chloride. *J. Hortic. Sci. Ornamental Plants*. 2 (3). 88-97.
3. Barbosa-Pereira L., Angulo I., Lagarón J.M., Paseiro-Losada P., Cruz J.M. 2014. Development of new active packaging films containing bioactive nanocomposites. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*. 26. 310-318. DOI:10.1016/j.ifset.2014.06.002.
4. Barska A., Wyrwa J. 2016. Konsument wobec opakowań aktywnych i inteligentnych na rynku produktów spożywczych. *Zagadnienia Ekonomiki Rolnej*. 4 (349). 138-161. DOI: <https://doi.org/10.5604/00441600.1225668>.
5. Bautista-Baños S., Hernández-Lauzardo A.N., Velázquez-del Valle M.G., Hernández-López M., Ait Barka E., Bosquez-Molina E., Wilson C.L. 2006. Chitosan as potential natural compound to control pre and postharvest diseases of horticultural commodities. *Crop Prot.* 25 (2). 108-118. DOI:10.1016/j.cropro.2005.03.010.
6. Bertuzzi M.A., Vidaurre E.F.C., Armada M., Gottifredi J.C. 2007. Water vapor permeability of edible starch based films. *J. Food Eng.* 80 (3). 972-978. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2006.07.016>.



7. Bourtoom T. 2008. Edible films and coatings: characteristics and properties. *Int. Food Res. J.* 15 (3). 237-248.
8. Falguera V., Quintero J.P., Jiménez A., Muñoz J.A., Ibarz A. 2011. Edible films and coatings: Structures, active functions and trends in their use. *Trends Food Sci. Technol.* 22 (6). 292-303. DOI:10.1016/j.tifs.2011.02.004.
9. Galus S., Lenart A. 2011. Wpływ stężenia białka na kinetykę adsorpcji pary wodnej przez powłoki otrzymywane na bazie izolatu białek serwatkowych. *Żywn. Nauka Technol. Jakość.* 3 (76). 66-73.
10. Gottfried K., Sztuka K., Statroszczyk H., Kołodziejska I. 2010. Biodegradowalne i jadalne opakowania do żywności z polimerów naturalnych. *Opakowanie.* 8 (55). 26-34.
11. Janjarasskul T., Krochta J.M. 2010. Edible packaging materials. *Annu. Rev. Food Sci. T.* 1. 415-448. <https://doi.org/10.1146/annurev.food.080708.100836>.
12. Kadzińska J., Galus S. 2014. Opakowania jadalne do żywności-aspekty prawne. *Przemysł Spożywczy.* 3 (68). 28-30.
13. Kawecka A., Cholewa-Wójcik A. 2017. Jakość opakowania jako determinanta bezpieczeństwa żywności w kontekście wymagań społecznych konsumentów. *Żywn. Nauka Technol. Jakość.* 3 (112). 138-148. DOI: 10.15193/zntj/2017/112/205.
14. Kokoszka S., Lenart A. 2007. Edible coatings - formation, characteristics and use – a review. *Pol. J. Food Nutr. Sci.* 57 (4). 399-404.
15. Kowalczyk D., Gustaw W. 2009. Wpływ powłok hydrokoloidowych na cechy jakościowe frytek ziemniaczanych. *Żywn. Nauka Technol. Jakość.* 6 (67). 72-80.
16. Kozłowicz K., Sułkowska M., Kluza F. 2011. Powłoki jadalne i ich wpływ na jakość i trwałość owoców i warzyw. *Acta Sci. Pol., Technica Agraria.* 10 (3-4). 35-45.
17. Małęga G. 2019. Opakowania jadalne rozwiązaniem problemów środowiska naturalnego. *Ekonomika i Organizacja Logistyki.* 4 (1). 51-64. DOI: 10.22630/EIOL.2019.4.1.5.
18. Nair S.S., Trafiałek J., Kolanowski W. 2023. Edible Packaging: A technological update for the sustainable future of the food industry. *Appl. Sci.* 13. 8234. <https://doi.org/10.3390/app13148234>.
19. Pająk P. 2011. Polimery naturalne w produkcji biodegradowalnych opakowań. *Laboratorium.* 5-6. 51-54.
20. Pająk P., Fortuna T., Przetaczek-Rożnowska I. 2013. Opakowania jadalne na bazie białek i polisacharydów – charakterystyka i zastosowanie. *Żywn. Nauka Technol. Jakość.* 2 (87). 5-18.
21. Ribeiro C., Vicente A.A., Teixeira J.A., Miranda C. 2007. Optimization of edible coating composition to retard strawberry fruit senescence. *Postharvest Biol. Tec.* 44 (1). 63-70. DOI:10.1016/j.postharvbio.2006.11.015.
22. Ribeiro C., Vicente A.A., Teixeira J.A., Miranda C. 2007. Optimization of edible coating composition to retard strawberry fruit senescence. *Postharvest Biol. Tec.* 44 (1). 63-70. DOI:10.1016/j.postharvbio.2006.11.015.
23. Romero-Bastida C.A., Bello-Pérez L.A., García M.A., Martino M.N., Solorza-Feria J., Zaritzky N.E. 2005. Physicochemical and microstructural characterization of films prepared by thermal and cold gelatinization from non-conventional sources of starches. *Carbohydr. Polym.* 60 (2). 235-244. DOI:10.1016/j.carbpol.2005.01.004.
24. Ruban S.W. 2009. Biobased packaging-application in meat industry. *Vet. World.* 2 (2). 79-82.
25. Sanchez C., Julian-Lopez B., Belleville P., Popall M. 2005. Applications of hybrid organic – inorganic nanocomposites. *J. Mater. Chem.* 15 (35-36). 3559-3592. DOI:10.1039/B509097K.
26. Sothornvit R., Pitak N. 2007. Oxygen permeability and mechanical properties of banana films. *Food Res. Int.* 40 (3). 365-370. DOI:10.1016/j.foodres.2006.10.010.

27. Szymańska I., Żbikowska A., Marciniak-Łukasiak K. 2019a. Jadalne opakowania i naczynia jednorazowe do żywności. *Przemysł Spożywczy*. 8 (73). 72-77. DOI 10.15199/65.2019.8.11.
28. Szymańska I., Żbikowska A., Marciniak-Łukasiak K. 2019b. Opakowania do żywności-wymagania, kontrowersje i trendy. *Przemysł Spożywczy*. 3 (73). 46-50. DOI 10.15199/65.2019.3.8.
29. Tederko A. 1995. Jadalne opakowania żywności. *Przemysł Spożywczy*. 9. 343-345.
30. Teister W. 2023. Jadalne opakowania i inne ekorozwiązania. Jak pozbyć się śmieci z opakowań? *Gość Niedzielny*. 29. 1-2.