

WSTĘP

W warunkach dynamicznie postępującego procesu globalizacji budowa gospodarki opartej na wiedzy jest jednym z najważniejszych wyzwań stojących przed współczesnymi państwami. Z tego względu innowacyjność odgrywa kluczową rolę w ich rozwoju gospodarczym i społecznym. W otoczeniu międzynarodowym to właśnie technologie i innowacje stanowią strategiczne zasoby przedsiębiorstw, umożliwiające im osiągnięcie przewagi konkurencyjnej, a niejednokrotnie niezbędne do funkcjonowania na rynku.

Istnieje szereg czynników, które wpływają na zachowanie przedsiębiorstw i ich gotowość do wprowadzania innowacji na rynek. Determinanty te można podzielić na dwie zasadnicze grupy: zewnętrzne, do których zalicza się wpływy makro- i mikrootoczenia podmiotu gospodarczego, i wewnętrzne, takie jak zasoby, przyjęte strategie, infrastruktura. W przypadku przedsiębiorstw branży opakowań podjęcie aktywności innowacyjnej wymaga szczegółowej analizy przepisów prawnych, uwarunkowań ekonomicznych i technologicznych, oceny działań konkurencji, a także określenia współczesnych kierunków rozwoju rynku.

Do najważniejszych czynników determinujących rozwój innowacji na światowym rynku opakowań należą uwarunkowania społeczno-ekonomiczne, trendy na rynku dóbr szybko zbywalnych, wzrost znaczenia działań prośrodowiskowych wspierany wymaganiami prawnymi, rozwój nowych form sprzedaży (handel elektroniczny) i kanałów dystrybucji [Euromonitor 2015; PMMI 2015; Smithers Pira 2016]. Wzrost świadomości zdrowotnej społeczeństw, zmiany w stylu życia wiążą się ze zmianami modelu konsumpcji. Zainteresowanie aktywnym trybem życia, nienormowany czas pracy, większa mobilność, rozwój nowych technologii informatycznych połączony z nieograniczonym dostępem do informacji, a także większa aktywność zawodowa kobiet to czynniki, które generują nowe potrzeby konsumentów, wywołują zmiany popytu na rynku dóbr konsumpcyjnych, a w konsekwencji powodują wzrost wymagań wobec nierozzerwalnie z nimi związanych opakowań. Nabywcy oczekują większej ich funkcjonalności, a jednocześnie są bardziej otwarci na najnowsze rozwiązania technologiczne w zakresie materiałów opakowaniowych i technik pakowania. W przypadku opakowań produktów spożywczych fundamentalna staje

się kwestia przedłużenia trwałości żywności i zapewnienia bezpieczeństwa konsumentowi. Z kolei rosnąca świadomość społeczeństw odnośnie do kwestii ochrony środowiska przyrodniczego, a także obowiązki nakładane przez prawo w zakresie wymagań środowiskowych sprzyjają wprowadzaniu rozwiązań ekologicznych. Czynniki te generują większe zapotrzebowanie na materiały opakowaniowe, takie jak pochodzące ze źródeł odnawialnych, biotworzywa [Farmer 2016].

Wskazane uwarunkowania sprzyjają rozwojowi innowacji opakowaniowych, które zgodnie z podręcznikiem metodologicznym Oslo obejmują innowacje materiałowe, technologiczne (procesowe), konstrukcyjno-graficzne (marketingowe) i w zakresie identyfikacji produktów (opakowań) [Ankiel-Homa 2015]. Do najnowszych rozwiązań należą m.in. materiały opakowaniowe z biotworzyw, opakowania aktywne i inteligentne, a także techniki pakowania aseptycznego czy w modyfikowanej atmosferze. Wymagają one stosowania materiałów o specyficznych właściwościach, np. o podwyższonej barierowości w stosunku do gazów i pary wodnej, wysokiej odporności termicznej i mechanicznej, działaniu przeciwdrobnoustrojowym.

Wyżej wymienione kryteria stawiane nowoczesnym opakowaniom stwarzają przestrzeń dla wykorzystania organiczno-nieorganicznych materiałów hybrydowych. Są to układy stanowiące oryginalne połączenie odmiennych komponentów, najczęściej organicznych polimerów i związków nieorganicznych, łączące zalety obu tych składników, tj. charakteryzujące się elastycznością, łatwością formowania, a zarazem wysoką stabilnością termiczną i wytrzymałością mechaniczną. Nie stanowią prostej mieszaniny w sensie fizycznym, a ich właściwości nie są sumą cech komponentów, lecz wynikają z ich oddziaływań międzyfazowych. Ta cecha materiałów hybrydowych nie tylko odróżnia je od konwencjonalnych tworzyw, ale przede wszystkim stanowi ich nadrzędną zaletę [Kickelbick 2014]. Różnorodność metod syntezy układów hybrydowych, pozwalająca na projektowanie i otrzymanie materiałów o pożądanym cechach użytkowych, w połączeniu z niemalże nieograniczoną dostępnością komponentów, do których zaliczają się polimery pochodzące ze źródeł odnawialnych, predysponują omawiane układy do wykorzystania w konstrukcjach nowoczesnych opakowań.

Powyższe przesłanki skłoniły autorkę do podjęcia badań literaturowych i empirycznych w celu określenia potencjału aplikacyjnego organiczno-nieorganicznych układów hybrydowych, ze szczególnym uwzględnieniem materiałów opakowaniowych.

Sformułowano następujące hipotezy badawcze:

1. Różnorodne metody syntezy układów organiczno-nieorganicznych pozwalają na otrzymywanie materiałów hybrydowych, które stanowią oryginalne połączenie odmiennych komponentów i wykazują unikalne właściwości, dostosowane do danej aplikacji.
2. Hybrydy na bazie żelatyny i związków krzemoorganicznych mogą być zastosowane jako materiały opakowaniowe.

Celem głównym podjętych studiów literaturowych i badań empirycznych było scharakteryzowanie organiczno-nieorganicznych materiałów hybrydowych, a także opracowanie metod syntezy nowych hybryd na bazie żelatyny i związków krzemooorganicznych. Szczególny nacisk położono na określenie możliwości zastosowania opracowanych układów hybrydowych jako potencjalnych materiałów opakowaniowych.

Do osiągnięcia celu głównego wyznaczono następujące cele szczegółowe:

1. Ocena wpływu innowacji na rozwój rynku opakowań w kontekście obecnych trendów.
2. Analiza rozwiązań z obszaru organiczno-nieorganicznych materiałów hybrydowych oraz określenie ich potencjału aplikacyjnego.
3. Opracowanie metody syntezy organiczno-nieorganicznych materiałów hybrydowych na bazie żelatyny i związków krzemooorganicznych oraz ocena ich właściwości użytkowych.
4. Opracowanie żelatynowo-siloksanowych materiałów aktywnych i wskazanie korelacji pomiędzy rodzajem zastosowanego związku krzemooorganicznego oraz rodzajem i stężeniem związku aktywnego, determinujących skuteczność przeciwdrobnoustrojową.
5. Ocena możliwości zastosowania materiałów hybrydowych na bazie żelatyny i związków krzemooorganicznych do modyfikacji wytworów papierowych.

Osiągnięcie powyższych celów wymagało przeprowadzenia wnikliwych studiów literaturowych oraz zaplanowania i przeprowadzenia szeregu oryginalnych badań eksperymentalnych z wykorzystaniem interdyscyplinarnych metod badawczych i technik pomiarowych. W pracy wykorzystano źródła literaturowe oraz opublikowane prace i niepublikowane wyniki badań własnych autorki.

nie wymaga dużego nakładu pracy i czasu na przygotowanie z niej gotowego posiłku. W tym przypadku opakowanie ułatwia obróbkę termiczną, umożliwia podgrzewanie w kuchence mikrofalowej czy zapewnia odpowiednie warunki do przechowywania żywności wygodnej wymagającej chłodzenia bądź zamrażania [Kociszewski 2007]. Opakowaniom coraz częściej nadaje się ergonomiczny kształt, dopasowany do ludzkiej dłoni lub wyposaża w elementy wykonane z tworzyw o fakturze zapobiegającej wyslizgiwaniu się z ręki podczas użytkowania.

Konstrukcja opakowania ma także zapewniać dogodne jego przemieszczanie czy manipulowanie podczas magazynowania i transportu [Korzeniowski, Skrzypek i Szyszka 2010]. Opakowania powinny być projektowane w taki sposób, aby były dostosowane do wymiarów powszechnie stosowanych urządzeń, np. w przypadku opakowań jednostkowych produktów konsumpcyjnych dopasowane do wielkości półek w lodówkach, a w przypadku opakowań zbiorczych i transportowych zgodne ze znormalizowanym systemem wymiarowym.

Przedstawione powyżej rozważania dotyczące funkcji opakowań i zachodzących zmian w sposobie ich realizacji, wynikających z konieczności dostosowania do oczekiwań konsumentów, jednoznacznie wskazują na znaczący potencjał innowacyjny opakowań.

1.2. Pojęcie i klasyfikacja innowacji

Postępująca globalizacja stymuluje rozwój technologii poprzez łatwiejszy transfer wiedzy. Z kolei w otoczeniu międzynarodowym, w gospodarce opartej na wiedzy budowanie przewagi konkurencyjnej wymaga wprowadzania innowacji. Przy tym innowacyjność i konkurencyjność to kategorie ekonomiczne wzajemnie ze sobą powiązane i coraz bardziej powszechne staje się przekonanie, że utrzymanie wysokiej pozycji na rynku przez przedsiębiorstwo zależy od jego możliwości wykorzystania wiedzy, technologii oraz doświadczenia do oferowania nowości zarówno w obszarze produktów, jak i usług [Tidd i Bessant 2013].

Zagadnienie innowacyjności znajduje się w obszarze zainteresowań wielu podmiotów: ośrodków naukowych, przedsiębiorstw oraz organów władzy publicznej [Fagerberg i Verspagen 2009]. W Unii Europejskiej jedną z siedmiu inicjatyw przewodnich przewidzianych w ramach strategii Europa 2020 jest Unia innowacji. Jest to rozpoczęty przez Komisję Europejską w 2010 roku projekt na rzecz stworzenia inteligentnej i zrównoważonej gospodarki sprzyjającej włączeniu społecznemu, zakładający wzrost nakładów finansowych na badania i innowacje. Jego celem jest wspieranie inicjatyw zmierzających do wzrostu liczby innowacyjnych rozwiązań (produktów i usług) i ich komercjalizacji.

Zakres pojęcia innowacji jest szeroki, a sformułowanie jednej i precyzyjnej definicji trudne. Innowacje są przedmiotem licznych toczących się od lat dyskusji różnych środowisk naukowych, reprezentujących takie dziedziny nauki, jak ekonomia, marketing, socjologia czy psychologia. Jest to związane z odmiennym sposobem postrzegania innowacji, które – rozumiane szeroko – odnoszą się do różnych sfer życia gospodarczego, społecznego, a także dotyczą nowych prądów myślowych lub kulturowych [Janasz i Kozioł 2007, s. 14]. W literaturze przedmiotu zjawisko innowacji jest wiązane ze zmianą, nowością, wprowadzaniem reformy czy idei [Stawasz 1999, s. 11]. Proces innowacyjny natomiast jest definiowany jako ciąg zdarzeń od idei (pierwszego pomysłu) do pierwszej praktycznej jego realizacji. W ujęciu szerokim Tidd i Bessant wyróżniają cztery zasadnicze fazy procesu innowacyjnego: poszukiwanie (okazji do innowacji) i wybór strategiczny, implementacja (realizacja pomysłów) oraz dyskontowanie wartości z innowacji [Jasiński 2013, s. 67–68].

Pojęcie innowacji na grunt ekonomii wprowadził na początku XX wieku J.A. Schumpeter, definiując je jako nowe kombinacje środków produkcji zachodzące w następujących przypadkach [Sojkin i in. 2009, s. 28]:

- wprowadzenie do produkcji nowego produktu lub ulepszenie istniejącego;
- wprowadzenie nowej lub udoskonalonej metody produkcji;
- otwarcie nowego rynku zbytu;
- zastosowanie nowych surowców lub półfabrykatów;
- wprowadzenie nowych form organizacji przedsiębiorstwa.

Przedstawiona powyżej definicja ma szeroki zakres podmiotowy, obejmujący zmiany o charakterze technicznym, ekonomicznym i organizacyjnym. W swoich rozważaniach Schumpeter wyróżnił inwencję (wynałazek), innowację i imitację (naśladownictwo), co zostało określone mianem tzw. triady Schumpetera. Według autora teorii inwencja to fakt naukowo-techniczny, innowacja jest przejawem wykorzystania inwencji, a imitacja jest upowszechnieniem się imitacji [Sojkin i in. 2009, s. 29–30]. Schumpeter podkreślał, że większy wpływ na rozwój gospodarczy ma innowacyjność przedsiębiorstw niż kapitał [Oniszczyk-Jastrzębek 2010, s. 38].

W literaturze przedmiotu do interpretacji pojęcia innowacji wyróżnia się dwa podejścia: *sensu stricto* (ujęcie wąskie) i *sensu largo* (ujęcie szerokie). W wąskim ujęciu innowacje są postrzegane jako zmiany o charakterze produktowym i procesowym (innowacja technologiczna), związane z materializacją nowej wiedzy z wynalazku w produkt lub technologię. Za reprezentantów wąskiego podejścia uważa się E. Mansfielda, dla którego innowacją stanowi pierwsze rynkowe zastosowanie wynalazku, i Ch. Freemana, który definiuje innowację jako pierwsze handlowe zastosowanie nowego produktu, procesu, systemu lub urządzenia. Zgodnie z szerokim ujęciem E.M. Rogers za innowację uważa wszystko, co jest postrzegane przez ludzi jako nowe, niezależnie od obiektywnej nowości danej idei lub rzeczy. Podobnie P. Kotler uznaje za innowację każde dobro, usługę lub pomysł postrzegane przez kogoś jako nowe [Matusiak 2011, s. 15–16]. Z kolei P.F. Drucker

definiuje innowację jako celowe działanie polegające na wyszukiwaniu okazji do wprowadzania nowości. Wskazuje, że innowacje dotyczą wielu sfer życia: polityki, ekonomii, techniki i biznesu [Oniszczyk-Jastrząbek 2010, s. 38].

Współczesna, powszechnie przyjęta definicja pojęcia innowacja, opracowana przez Organizację Współpracy Gospodarczej i Rozwoju (OECD) i Eurostat, została zawarta w podręczniku metodologicznym (Oslo Manual) obejmującym zasady gromadzenia i interpretacji danych dotyczących innowacji wykorzystywanych w badaniach statystycznych omawianego zagadnienia. Zgodnie z Oslo Manual innowacja to: „wdrożenie nowego lub znacząco udoskonalonego produktu (wyrobu lub usługi) lub procesu, nowej metody marketingowej lub nowej metody organizacji w praktyce gospodarczej, organizacji miejsca pracy lub stosunkach z otoczeniem”. W związku z powyższym wyróżnia się cztery główne typy innowacji [Oslo Manual 2005, s. 47–55]:

- produktowe (produktu lub usługi), dotyczące udoskonalenia w obrębie cech lub zastosowań, na przykład specyfikacji technicznych, materiałów, komponentów, oprogramowania lub cech funkcjonalnych;
- procesowe, dotyczące udoskonalenia metody produkcji lub dostawy, obejmujące zmiany w zakresie technologii, urządzeń oraz (lub) oprogramowania;
- marketingowe, polegające na wdrożeniu nowej metody marketingowej (niestosowanej dotychczas przez przedsiębiorstwo), wiążącej się ze zmianami w projekcie/konstrukcji produktu lub zmianami w opakowaniu, dystrybucji, promocji lub strategii cenowej;
- organizacyjne, polegające na wdrożeniu nowej metody organizacyjnej (niestosowanej dotychczas przez przedsiębiorstwo) w organizacji miejsca pracy lub w stosunkach z otoczeniem.

Przedstawione powyżej rozważania dotyczące definicji innowacji ukazują złożoność poruszonej problematyki i wymagają odpowiedniej adaptacji tego pojęcia w odniesieniu do opakowań. W literaturze przedmiotu Korzeniowski, Ankiel-Homa i Czaja-Jagielska [2011, s. 16] wskazują, że innowacje w opakowalnictwie nie mogą być utożsamiane jedynie ze „skomercjalizowanym wynikiem procesu rozwoju wynalazku” (np. nowym materiałem opakowaniowym lub procesem produkcji opakowań), a powinny być rozpatrywane z punktu widzenia zarówno przedsiębiorstw działających na rynku opakowań, jak i nabywców produktów w opakowaniach. Zgodnie z tym ujęciem z punktu widzenia konsumenta innowacją jest „każde opakowanie, idea czy koncepcja opakowania”, postrzegane przez niego jako nowe. Innowacja dla konsumenta [Sojkin 2009] to produkt, który zaspokaja nową potrzebę lub w lepszy sposób zaspokaja potrzebę już istniejącą. Z kolei biorąc pod uwagę podmioty branży opakowaniowej, innowacją w opakowalnictwie jest opracowane nowe (oryginalne) opakowanie, nowa wersja opakowania dotychczasowego [Korzeniowski, Ankiel-Homa i Czaja-Jagielska 2011] czy nowy proces technologiczny [Sojkin i in. 2009]. Jako uzupełnienie powyższego ujęcia

definicji innowacji, Korzeniowski, Ankiel-Homa i Czaja-Jagielska [2011, s. 16–17] przytaczają podział na kategorie: innowacje przełomowe i przyrostowe. Zgodnie z nim innowacja przełomowa to zupełnie nowe opakowanie (pod względem materiału opakowaniowego, formy konstrukcyjnej), dotychczas nieznanne w branży, a innowacja przyrostowa to stopniowe udoskonalanie istniejącego już opakowania poprzez wprowadzanie modyfikacji (dotyczących rozwiązań konstrukcyjnych, szaty graficznej).

Biorąc pod uwagę poziom oryginalności wprowadzanych nowych rozwiązań, w literaturze przedmiotu wyróżnia się [Dworczyk i Szlasa 2001, s. 75]: innowacje kreatywne (odnoszące się do oryginalnych wytworów danej jednostki, stanowiące rezultat pewnego wysiłku twórczego) i innowacje imitujące (powstałe w wyniku naśladownictwa i rozpowszechniania rozwiązań już istniejących). Odnosząc powyższe do branży opakowań, można wskazać na znaczącą rolę innowacji opartych na naśladownictwie znanych już rozwiązań, co jest związane z silną presją konkurencji. Inna klasyfikacja innowacji [Bogdanienko 2004, s. 11], oparta na kryterium związanym z tempem wprowadzania zmian przez przedsiębiorstwo, wyodrębnia: innowacje dostosowawcze (będące bezpośrednią odpowiedzią na nowe zjawiska w przedsiębiorstwie lub w jego otoczeniu, często o charakterze doraźnym) i innowacje planowe (przygotowane z odpowiednim wyprzedzeniem na podstawie przemysłanego scenariusza, najczęściej dotyczące zmian kompleksowych). W przypadku opakowań innowacje planowe mogą być związane ze zmianą przepisów prawnych, np. wprowadzeniem nowych regulacji, bądź rozszerzeniem dotychczasowych zasad dotyczących obowiązkowego znakowania produktów spożywczych w krajach Unii Europejskiej, które nakładają określone wymagania znakowania opakowań, wprowadzając jednocześnie okresy dostosowawcze.

Proces powstawania innowacji ma złożony charakter i wymaga wykorzystania wielu różnych źródeł. W literaturze przedmiotu wyróżnia się dwa główne źródła innowacji przyczyniające się do generowania pomysłów, idei lub zjawisk: wewnętrzne (endogeniczne) i zewnętrzne (egzogogeniczne), w tym krajowe i zagraniczne [Janasz i Koziół 2007, s. 28]. W odniesieniu do podmiotów gospodarczych działających na rynku opakowań jako źródła wewnętrzne można wskazać jednostki organizacyjne w przedsiębiorstwie, takie jak: dział badań i rozwoju, dział marketingu, produkcji, zaopatrzenia, obsługi klienta czy techniczny. Do źródeł zewnętrznych zalicza się klientów, dostawców, konkurencję, licencje i know-how pozyskane od innych przedsiębiorstw, wyniki badań prowadzonych w jednostkach naukowo-badawczych, transfer technologii, przejęcie firm wdrażających innowacje, aliance strategiczne, targi i wystawy, konferencje naukowe, literaturę specjalistyczną [Stawasz 1999; Sojkin 2003, s. 197–202; Ankiel-Homa 2015]. Efektywne korzystanie ze źródeł wewnętrznych jest oparte na wiedzy i kreatywności pracowników, a także na umiejętnym motywowaniu pracowników przez kadre kierowniczą, czemu sprzyja kultura innowacyjna [Popławski 2006].

Analogicznie do przedstawionego w podręczniku Oslo Manual podziału innowacji, w odniesieniu do opakowań Ankiel-Homa [2015] wyróżnia innowacje:

- materiałowe,
- technologiczne (procesowe),
- konstrukcyjno-graficzne (marketingowe),
- w zakresie identyfikacji produktów (opakowań).

Do innowacji materiałowych można zaliczyć zmiany w obrębie materiałów stosowanych do produkcji opakowań (nowe tworzywa, polimery oparte na monomerach pochodzących ze źródeł odnawialnych). W obrębie innowacji technologicznych należy wskazać nowoczesne systemy pakowania, takie jak np. opakowania aktywne i inteligentne. Innowacje konstrukcyjno-graficzne dotyczą zmian w warstwie wizualnej opakowań, a w zakresie identyfikacji opakowań można wymienić innowacyjne rozwiązania z zakresu automatycznego gromadzenia danych, takie jak kody kreskowe czy system identyfikacji radiowej.

Zgodnie z szerokim ujęciem innowacji firma konsultingowa Booz, Allen, Hamilton [za: Korzeniowski, Ankiel-Homa i Czaja-Jagielska 2011] wprowadziła podstawową klasyfikację nowych produktów, w której wyróżnia sześć kategorii innowacji: produkty nowe na świecie, nowe linie produktu, produkty dodatkowe, udoskonalenia dotychczasowych produktów, produkty repozycjonowane i produkty redukujące koszty. W tabeli 1 przedstawiono powyższe kategorie wraz z przykładami odnoszącymi się do innowacji opakowaniowych.

Tabela 1. Kategorie nowych produktów według Booz, Allen, Hamilton i przykłady innowacji opakowaniowych

Kategoria nowych produktów	Przykłady innowacji opakowaniowych
Produkty nowe na świecie – tworzące nowy rynek	opakowania z biotworzyw
Nowe linie produktu – produkty pozwalające przedsiębiorstwu wejść po raz pierwszy na rynek	opakowania typu doypack do płynnych produktów żywnościowych
Produkty dodatkowe – uzupełniające już istniejące linie przedsiębiorstwa	puszki „sleek” z napojem Coca-Cola o pojemności 0,25 l
Udoskonalenia dotychczasowych produktów – nowe produkty, zastępujące dotychczasowe	opakowanie udoskonalone o zamknięcie typu open/closed (umożliwiające wielokrotne otwieranie i zamykanie)
Produkty repozycjonowane – dotychczasowe produkty przeznaczone na nowe rynki	opakowania z dostosowanym wizerunkiem do nowego rynku
Produkty redukujące koszty – nowe produkty, pełniące funkcje przy niższych kosztach	opakowania wykonane z nowych materiałów lub zastosowanie nowej technologii produkcji opakowań

Źródło: Na podstawie: [Korzeniowski, Ankiel-Homa i Czaja-Jagielska 2011].

Reasumując powyższe rozważania, można wskazać najważniejsze cechy innowacyjnego opakowania, do których należą [Sojkin 2003; Szymczak i Ankiel-Homa 2007]:

- wysoka funkcjonalność, ergonomiczność i estetyka;
- szata graficzna zgodna z aktualnymi trendami na rynku produktów i opakowań,
- wysoka wartość informacyjna;
- spójność z pożądanym wizerunkiem marki i produktu.

Ponadto innowacyjne opakowanie powinno być przyjazne dla środowiska przyrodniczego i bezpieczne dla konsumenta, a także dostarczać określonych korzyści nabywcy, np. zapewniać dłuższy czas przydatności do spożycia zapakowanego produktu, wprowadzać udogodnienia, jak możliwość wielokrotnego zamykania opakowania czy konsumpcji w podróży oraz komunikowania o stanie zapakowanego produktu. Z kolei z punktu widzenia przedsiębiorstwa nowe opakowania wpływają na usprawnienie procesów produkcyjnych i organizacyjnych, poziom rentowności, a także wyróżnienie danego produktu spośród innych, co zapewnia przewagę konkurencyjną na rynku.

1.3. Determinanty rozwoju innowacji opakowaniowych

Opakowanie jest ważnym środkiem komunikacji marketingowej, zatem sukces rynkowy produktu jest bezpośrednio związany nie tylko z tym, jak nabywcy odbierają dany wyrób, ale również z tym, jak postrzegają jego opakowanie. Ma ono kluczowe znaczenie zwłaszcza w przypadku sprzedaży bezpośredniej, gdy konsumenci podejmują decyzje nabywcze często pod wpływem opakowania. Z tego względu trendy na rynku opakowań są indukowane zmianami na rynku dóbr konsumpcyjnych. Szczególne znaczenie mają opakowania produktów żywnościowych, ponieważ w ogólnej strukturze rynku ten segment jest dominujący. Z drugiej strony przedsiębiorstwa należące do branży opakowań podejmują wysiłki związane z wprowadzaniem nowych rozwiązań, dostrzegając, że aktywność innowacyjna jest istotnym elementem składowym potencjału organizacji i fundamentem do budowania przewagi konkurencyjnej, niejednokrotnie niezbędnym do funkcjonowania na współczesnym rynku.

Istnieje szereg czynników, które wpływają na zachowanie przedsiębiorstw i ich gotowość do wprowadzania innowacji na rynek. Determinanty te można podzielić na dwie zasadnicze grupy: zewnętrzne i wewnętrzne. Do czynników zewnętrznych zalicza się wpływy makro- i mikrootoczenia firmy (przepisy prawne, uwarunkowania ekonomiczne i technologiczne, trendy społeczno-kulturowe, trendy związane ze świadomością ekologiczną, działania konkurencji), a do wewnętrznych – zasoby przedsiębiorstwa, przyjęte strategie działania, infrastrukturę [Korzeniowski, Ankiel-Homa i Czaja 2011]. Decyzja podmiotu dotycząca wprowadzania innowacji na rynek wymaga przeanalizowania powyższych uwarunkowań, ponieważ nowe

3. PRZYKŁADY KOMERCJALIZACJI I WYBRANE KIERUNKI BADAŃ MATERIAŁÓW HYBRYDOWYCH STOSOWANYCH W OPAKOWANIACH

Materiały hybrydowe wykazują wiele cech istotnych z punktu widzenia wymagań, jakie stawia się współczesnym opakowaniom. Należą do nich podwyższona odporność termiczna i chemiczna, unikalne właściwości mechaniczne, wysoka barierowość w stosunku do pary wodnej i gazów. Wymienione zalety umożliwiają bardziej skuteczne pełnienie podstawowej funkcji opakowania, jaką jest ochrona produktu i przedłużenie jego trwałości. Ponadto efekt ten można osiągnąć często przy jednoczesnej redukcji grubości i masy materiału opakowaniowego, co jest istotne z punktu widzenia czynników ekonomicznych czy ochrony środowiska przyrodniczego. Korzyści płynące z zastosowania materiałów hybrydowych obejmują także łatwość formowania z wykorzystaniem ogólnie dostępnych metod przetwórstwa oraz podatność na zadruk, co ma duże znaczenie dla funkcji marketingowej opakowania. Wreszcie materiały hybrydowe, jako unikalne połączenia komponentów organicznych i nieorganicznych, stwarzają możliwość projektowania i produkcji opakowań innowacyjnych, np. inteligentnych i aktywnych. Należy zaznaczyć, że pomimo tak licznych zalet materiałów hybrydowych, jakie wskazano powyżej, ich sukces rynkowy jest możliwy jedynie w przypadku, gdy będą one stanowiły materiał opakowaniowy bezpieczny dla konsumenta i powszechnie akceptowalny. W tym zakresie problematyczne mogą być nanokompozyty z udziałem nanocząstek, jednak stanowią one tylko jedną z licznych grup materiałów hybrydowych [Świdarska-Środa i in. 2016]. Nie bez znaczenia jest także kwestia zagospodarowania odpadów z materiałów hybrydowych – biorąc pod uwagę szereg metod syntezy oraz dostępność różnych rodzajów komponentów stosowanych do ich produkcji, układy hybrydowe mogą być tak projektowane, by nie stanowiły bariery w recyklingu opakowań z nich wykonanych.

W niniejszym rozdziale przedstawiono zarówno przykłady rozwiązań rynkowych, jak i obecne kierunki badań wskazujące możliwości zastosowania materiałów

hybrydowych w opakowaniach z uwzględnieniem ich podziału na grupy o odmiennej budowie fizykochemicznej.

3.1. Nanokompozyty polimerowe z krzemianami warstwowymi

Rosnące od lat zainteresowanie stosowaniem nanonapełniaczy do modyfikacji polimerów wiąże się z możliwością uzyskiwania materiałów o nowych właściwościach użytkowych, zdecydowanie lepszych w porównaniu z cechami niemodyfikowanego polimeru. Z tego względu nanokompozyty polimerowe doskonale się wpisują w obecne trendy przemysłu opakowaniowego obejmujące innowacyjne rozwiązania w opakowaniach żywności i napojów.

Wskazuje się, że poprzez odpowiedni dobór komponentów możliwe jest uzyskanie nanokompozytów, które w porównaniu do tradycyjnych związków wielkocząsteczkowych charakteryzują się [Jakubiak 2008]:

- większą wytrzymałością mechaniczną,
- wyższą twardością i odpornością na ścieranie,
- wyższą odpornością termiczną i chemiczną,
- obniżoną przepuszczalnością w stosunku do pary wodnej, gazów i zapachów,
- niepalnością,
- mniejszą podatnością na ładowanie elektrostatyczne,
- większą stabilnością wymiarową,
- mniejszą chłonnością wody.

Od czasu opracowania przez koncern Toyota nanokompozytu na bazie poliamidu [Sanchez 2011] w laboratoriach naukowych i ośrodkach badawczo-rozwojowych na całym świecie prowadzone są intensywne badania nad niemalże wszystkimi typami polimerów petrochemicznych (termoplastycznych i termoutwardzalnych), jak i tych pochodzących ze źródeł odnawialnych. Nanotechnologia stwarza szansę na szersze wykorzystanie w opakowalnictwie biopolimerów, takich jak: celuloza i jej pochodne, skrobia, czy żelatyna, pochodzących z powszechnie dostępnych, tanich i przyjaznych środowisku przyrodniczemu źródeł odnawialnych. Pomimo że stanowią one ciekawą alternatywę dla klasycznych polimerów wielkotonazowych, produkcja opakowań z ich udziałem jest nadal ograniczona, głównie ze względu na niewystarczającą odporność mechaniczną, termiczną, utrudnione przetwórstwo czy niską odporność na działanie wody. Mankamenty te można wyeliminować poprzez zastosowanie właściwego nanonapełniacza [Wojciechowska 2011]. Obecnie najwięcej prac dotyczących możliwości wykorzystania nanokompozytów na bazie biopolimerów odpowiednich do opakowań produktów żywnościowych koncentruje

się wokół takich związków wielkocząsteczkowych, jak: skrobia, pochodne celulozy, polilaktyd (PLA), polikaprolakton (PCL), poli(bursztynian butylenu) (PBS) czy poli- β -hydroksymaślan (PHB) [Rhim, Park i Ha 2013].

Zastosowanie nanotechnologii do produkcji materiałów opakowaniowych przynosi korzyści ekonomiczne i środowiskowe [Silvestre, Duraccio i Cimmino 2011]. Są one wynikiem redukcji ilości surowców użytych do produkcji, ponieważ nanokompozyty cechują się lepszymi parametrami mechanicznymi, co umożliwia konstrukcję opakowań z cieńszych materiałów. Z kolei niższa masa opakowań pozwala na obniżenie kosztów transportu, przechowywania i recyklingu. Zastosowanie nanokompozytów o wysokiej barierowości przynosi oszczędności w kosztach produkcji materiałów specjalnych, ponieważ pozwala wyeliminować dodatkowe procesy, takie jak laminowanie czy napylenie aluminium. Bardziej jednorodny materiał to także łatwiejszy recykling niż w przypadku kłopotliwych materiałów wielowarstwowych. Ponadto odpowiednia odporność termiczna nanokompozytów i właściwości fizyczne umożliwiają redukcję czasu pracy maszyn i obniżenie temperatury procesów.

Ważną zaletą stosowania napełniaczy o rozmiarach w nanoskali jest fakt, że korzystne zmiany właściwości fizykochemicznych materiałów z ich udziałem można uzyskać już przy niewielkich stopniach napełnienia, rzędu 4–6% wagowych [Jakubiak 2008]. Ilość ta jest wielokrotnie mniejsza w porównaniu z udziałami konwencjonalnych napełniaczy mineralnych, których, w celu uzyskania podobnego efektu, stosuje się nawet do kilkudziesięciu procent wagowych. Wysoki stopień napełnienia ma często negatywny wpływ na wybrane cechy polimeru, powodując spadek przejrzystości tworzywa, a w niektórych przypadkach także pogorszenie parametrów mechanicznych. Z kolei nieduża zawartość nanonapełniacza najczęściej nie powoduje znacznego zwiększenia gęstości i związanego z tym wzrostu masy tworzywa. Nie wpływa również negatywnie na przepuszczalność światła przez nanokompozyt. Ma to duże znaczenie w opakownictwie, ponieważ do wielu produktów wymagane lub pożądanym przez konsumentów jest stosowanie materiałów przezroczystych. W przypadku nanokompozytów pogorszeniu nie ulegają również właściwości przetwórcze, a dodatkowo możliwe jest ich formowanie z wykorzystaniem tradycyjnych metod przetwórstwa, takich jak: formowanie wtryskowe, wyłaczanie czy termoformowanie za pomocą konwencjonalnego parku maszynowego [Jakubiak 2008].

W przypadku materiałów przeznaczonych do produkcji opakowań niezmiernie ważne są ich parametry fizyczne. Ze względu na różne funkcje, jakie musi spełniać opakowanie, materiał, z którego jest wykonane, powinien się cechować nie tylko twardością czy wytrzymałością na narażenia zewnętrzne, barierowością w stosunku do pary wodnej i gazów, ale jednocześnie odpowiednią elastycznością. Stosowanie konwencjonalnych napełniaczy zazwyczaj powoduje wzmocnienie matrycy polimerowej, jednak równolegle prowadzi do znaczącego spadku elastyczności. Tego

niekorzystnego efektu nie obserwuje się w materiałach z udziałem napełniaczy o rozmiarach w nanoskali, które wykazują wysokie wartości stosunku powierzchni do objętości [Silvestre, Duraccio i Cimmio 2011; Šupová, Martynková i Barabaszová 2011]. W przypadku nanokompozytów polimerowych zasadniczy wpływ na kształtowanie właściwości mechanicznych mają interakcje występujące pomiędzy łańcuchami związku wielkocząsteczkowego a nanonapełniaczem oraz między cząstkami samego nanonapełniacza. Właściwy dobór rodzaju modyfikatora i stopnia napełnienia dla danej matrycy polimerowej sprzyja zwiększeniu adhezji międzyfazowej, determinując sposób przenoszenia sił pomiędzy matrycą a napełniaczem. W konsekwencji obserwuje się poprawę parametrów mechanicznych, takich jak moduł Younga, wytrzymałość na zerwanie lub ściskanie, przy jednocześnie zwiększonej udarności. Istotną kwestią jest także jednorodność dyspersji nanonapełniacza, ponieważ obecność aglomeratów pogarsza właściwości mechaniczne [Islam, Masoodi i Rostami 2013]. W tabeli 10 przedstawiono porównanie podstawowych parametrów mechanicznych dla poliamidu (nylon 6) i nanokompozytu na jego bazie z udziałem 4,7% wag. krzemianu, wskazujące na powyżej omawiane zależności [Zanetti, Lomakina i Camino 2000].

Tabela 10. Porównanie właściwości mechanicznych dla poliamidu (nylon 6) i nanokompozytu na jego bazie z udziałem 4,7% wag. krzemianu

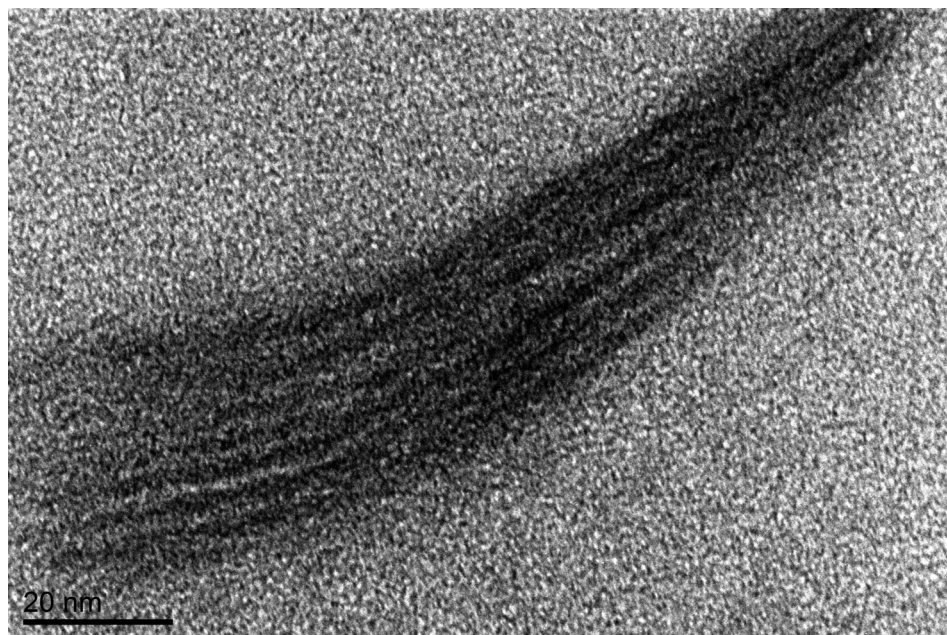
Parametr	Poliamid (nylon 6)	Nanokompozyt (nylon 6)
Moduł Younga, GPa	1,11	1,87
Wytrzymałość na rozciąganie, MPa	68,6	97,2
Temperatura ugięcia pod obciążeniem, °C	65	152
Udarność, kJ/m ²	6,21	6,06
Adsorpcja wody, % wag.	0,87	0,51
Współczynnik rozszerzalności cieplnej, (x, y)	$13 \cdot 10^{-5}$	$6,3 \cdot 10^{-5}$

Źródło: [Zanetti, Lomakina i Camino 2000].

Modyfikacja polimeru za pomocą nanonapełniacza spowodowała wzrost wytrzymałości na rozciąganie oraz modułu Younga, a jednocześnie nie odnotowano obniżenia udarności. Ponadto nanokompozyt wykazywał ponad dwukrotnie wyższą temperaturę ugięcia pod obciążeniem. Stwierdzono także niższą adsorpcję wody oraz niższe wartości współczynnika rozszerzalności cieplnej.

Kolejną istotną cechą z punktu widzenia opakowalnictwa, jaką wykazują nanokompozyty polimerowe, jest wysoka barierowość w stosunku do pary wodnej i gazów. Jest ona efektem wydłużenia drogi dyfuzji gazów w wyniku wprowadzenia nanonapełniacza w matrycę polimeru. W literaturze znanych jest kilka modeli pozwalających określić właściwości barierowe nanokompozytów w zależności od rodzaju zastosowanego nanonapełniacza. Na stopień przenikania gazów przez nanokompozyt decydujący wpływ mają: kształt nanonapełniacza (np. sferyczny,

płytkowy, cylindryczny), wielkość, a także sposób jego zdyspergowania w matrycy polimerowej. W przypadku nanokompozytów z udziałem glinokrzemianów (napełniaczy płytkowych) wysoka barierowość jest efektem budowy warstwowej nanonapełniacza [Nielsen 1967; Paul i Robeson 2008]. Na rysunku 23 przedstawiono zdjęcie TEM nanokompozytu wtrąconego na bazie octanomaślanu celulozy i krzemianu warstwowego, na którym widoczne są ciemne płytki glinokrzemianu w jasnej matrycy polimeru.



Rysunek 23. Zdjęcie TEM nanokompozytu wtrąconego na bazie octanomaślanu celulozy i krzemianu warstwowego

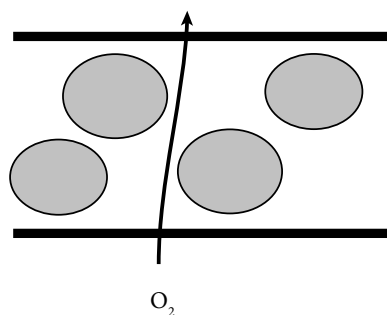
Źródło: Badania własne

Zdyspergowane w matrycy polimerowej płytki krzemianu warstwowego tworzą swoistą „strukturę labiryntu”, stanowiąc barierę dla molekuł gazu, które aby je ominąć, muszą pokonać dłuższą drogę niż w przypadku niemodyfikowanego polimeru, a to zwiększa czas dyfuzji gazu. Schematycznie proces dyfuzji gazu w kompozycie wzmocnionym konwencjonalnym napełniaczem i nanokompozycie polimerowym z krzemianem warstwowym przedstawiono na rysunku 24 [Jakubiak 2008; Delhom, White-Ghoorahoo i Pang 2010].

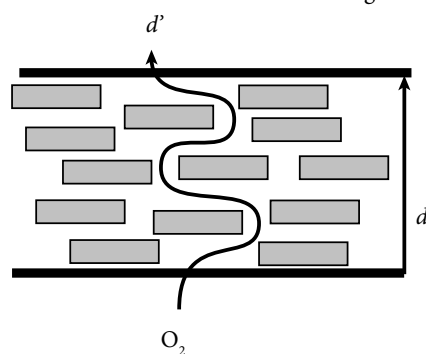
Interesujące rozważania, istotne z punktu widzenia projektowania nanokompozytów polimerowych wykazujących podwyższoną barierowość w stosunku do gazów, zawarł w swoim opracowaniu Bharadwaj [2001]. W pracy wskazuje możliwości określenia wpływu na właściwości barierowe nanokompozytów takich

parametrów nanonapełniacza, jak: wymiary i sposób ułożenia płytek glinokrzemianu w matrycy polimerowej, ich stopień agregacji (rozwarstwienie) oraz ilość zastosowanego nanonapełniacza. Zależności te zostały opisane poniższymi równaniami.

A. konwencjonalny kompozyt



B. Nanokompozyt polimerowy z udziałem krzemianu warstwowego



d' – Rzeczywista droga, którą muszą przebyć molekuly gazu w obecności nanonapełniacza

d – Droga, jaką musiałyby pokonać molekuly gazu w przypadku braku przeszkód

Rysunek 24. Porównanie dróg dyfuzji tlenu dla: a) konwencjonalnego kompozytu, b) nanokompozytu polimerowego z udziałem krzemianu warstwowego

Źródło: [Jakubiak 2008; Delhom, White-Ghoorahoo i Pang 2010]

Proces przenikania molekuł gazu poprzez nanokompozyt zmienia się wraz z wprowadzeniem do matrycy polimeru przeszkód wydłużających drogę dyfuzji gazu, co opisuje tzw. „współczynnika krętości”, τ (ang. *tortuosity factor*):

$$\tau = \frac{d'}{d} = 1 + \frac{L}{2W} \phi_S,$$

gdzie:

τ – współczynnik krętości,

d' – rzeczywista droga, którą muszą przebyć molekuly gazu w obecności nanonapełniacza,

d – najmniejsza droga, jaką musiałyby pokonać molekuly gazu w przypadku braku przeszkód,

L – długość płytek krzemianu warstwowego,

W – szerokość płytek krzemianu warstwowego,

ϕ_S – objętościowy stopień napełnienia nanokompozytu krzemianem warstwowym,

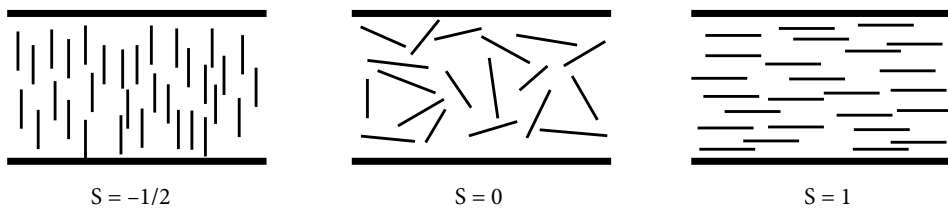
a dalej:

$$\frac{P_s}{P_p} = \frac{1 - \phi_S}{\tau},$$

gdzie:

- P_s – przepuszczalność nanokompozytu na bazie krzemianu warstwowego,
- P_p – przepuszczalność polimeru niemodyfikowanego,
- ϕ_S – objętościowy stopień napełnienia nanokompozytu krzemianem warstwowym,
- τ – czynnik opisujący stopień barierowości.

Założenia modelu zostały potwierdzone eksperymentalnie. Wykazano, że znaczący wpływ na właściwości barierowe nanokompozytów ma długość płytek zastosowanego glinokrzemianu. Dla hektorytu wynosi ona średnio 46 nm, dla saponitu 165 nm, 218 nm dla montmorylonitu, a dla syntetycznej miki ok. 1230 nm. Barierowość wzrasta wraz ze zwiększającymi się wartościami stosunku długości do szerokości płytki nanonapełniacza. Kolejnym ważnym czynnikiem jest sposób zdyspersgowania płytek krzemianu warstwowego w osnowie polimeru, okreśłany parametrem S, w odniesieniu do kierunku dyfuzji gazów przez materiał. Zgodnie z modelem parametr ten, w zależności od ułożenia płytek, może przyjmować wartości: $-1/2$, 0 i 1, co schematycznie przedstawiono na rysunku 25. Wielkości parametru S wynoszące: $-1/2$, 0 i 1 oznaczają odpowiednio: ułożenie równoległe, chaotyczne i prostopadłe do kierunku drogi dyfuzji gazów. Właściwości barierowe nanokompozytu polimerowego są tym lepsze, im bardziej prostopadły jest kierunek ułożenia płytek glinokrzemianu w stosunku do normalnego kierunku dyfuzji [Bharadwaj 2001; Delhom, White-Ghoorahoo i Pang 2010].



Rysunek 25. Schemat sposobu zdyspersgowania płytek glinokrzemianu warstwowego w stosunku do kierunku dyfuzji gazów

Źródło: [Bharadwaj 2001]

Bharadwaj [2001] wykazał także zależność przepuszczalności nanokompozytów w stosunku do gazów od stopnia agregacji płytek glinokrzemianu, tj. szerokości utworzonych agregatów (rysunek 26). Stwierdzono, że wartość przepuszczalności