

DAGMARA GŁÓD, MAREK ADAMCZAK, WŁODZIMIERZ BEDNARSKI

## WYBRANE ASPEKTY ZASTOSOWANIA NANOTECHNOLOGII W PRODUKCJI ŻYWNOŚCI

### Streszczenie

Nanotechnologia to jedna z nowatorskich technologii obejmująca charakterystykę, wytwarzanie i/lub sterowanie strukturami, urządzeniami lub materiałami, w których co najmniej jeden wymiar wynosi od 1 do 100 nanometrów [12].

W pracy przedstawiono osiągnięcia nanotechnologii i możliwości jej zastosowania w przemyśle spożywczym. Omówiono zagadnienia związane głównie z podwyższaniem jakości żywności, rozwojem inteligentnej żywności i opakowań, jak również wykorzystaniem nanosensorów do wykrywania zanieczyszczeń bakteryjnych i obecności pestycydów. Zasygnalizowano ryzyko stosowania nanomateriałów dla zdrowia człowieka i środowiska. Przedstawiono także regulacje prawne i wskazano na konieczność ich dostosowania do specyfiki nanomateriałów.

**Słowa kluczowe:** nanotechnologia, nanożywność, nanostruktury, biosensory

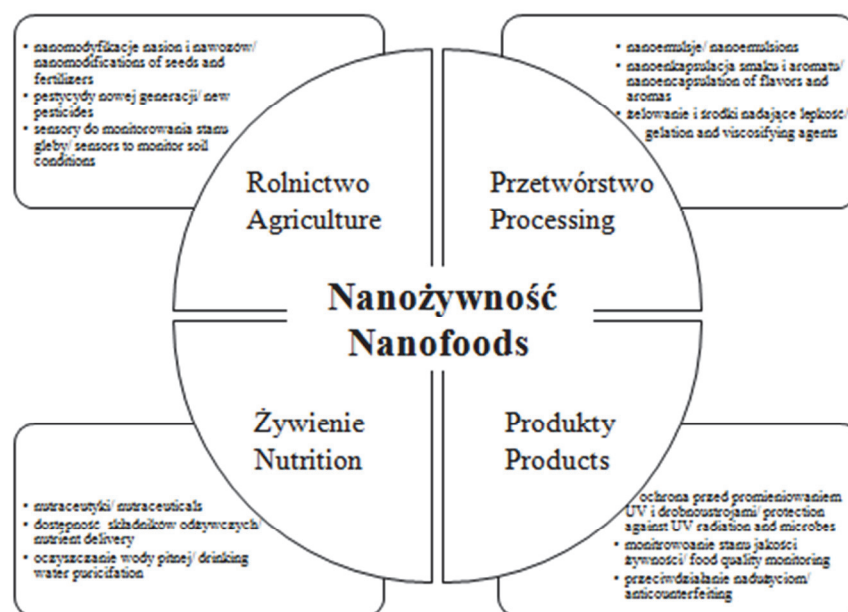
### Wprowadzenie

Nanotechnologia to nowoczesna i innowacyjna dziedzina nauki, w której poznaje się możliwości oddziaływania na właściwości atomów, molekuł i struktur molekularnych o rozmiarach nanometrycznych [59]. Struktury wytwarzane w skali *nano* produkowane są na wzór nanostruktur występujących w przyrodzie, takich jak: białka, DNA, membrany i inne naturalne biomolekuły [51]. Gdy wielkość cząstek zmniejsza się poniżej ich wartości progowej, uzyskany materiał wykazuje fizyczne i chemiczne właściwości znacznie odmienne od tych, które cechują ich odpowiedniki makroskopowe [59]. Z powodu korzystnego stosunku powierzchni do jednostki masy oczekuje się, że nanocząstki będą bardziej aktywne biologicznie niż makrocząstki o tym samym składzie chemicznym. Wiele elementów zachowuje się odmiennie w skali molekularnej

---

*Mgr D. Głód, dr hab. inż. M. Adamczak prof. nadzw., prof. dr hab. W. Bednarski, Katedra Biotechnologii Żywności, Wydz. Nauki o Żywności, Uniwersytet Warmińsko-Mazurski w Olsztynie, ul. Oczipowskiego 7, 10-719 Olsztyn. Kontakt: dagmara.glod@uwm.edu.pl*

w porównaniu ze skalą makroskopową. Ważne jest, aby odróżnić właściwości zmieniające się „gładko” podczas serii redukcji wielkości od właściwości zmieniających się drastycznie poniżej wielkości krytycznej. Właściwość ta jest źródłem możliwości aplikacyjnych w przemyśle spożywczym, a zmiana właściwości to podstawa nowoczesnej nanotechnologii. Krytyczna wielkość zależy od właściwości materiału, stąd trudność w definiowaniu górnego zakresu wielkości nanostruktur [13]. Udoskonalenie technologii mikromacierzy DNA, systemów mikroelektromechanicznych i mikrofluidowych przyczyniło się do rozwoju sektorów przemysłowych i konsumenckich, które stały się niszą nowej „rewolucji przemysłowej” [7, 57]. Postęp w takich dziedzinach nauki, jak elektronika i informatyka oraz rosnące zastosowanie zintegrowanych urządzeń może bezpośrednio wpłynąć na przemysł spożywczy w obszarach bezpieczeństwa żywności, jej autentyczności i redukcji zanieczyszczeń [13].



Rys. 1. Kierunki zastosowań nanotechnologii w przemyśle spożywczym.

Fig. 1. Areas of nanotechnology applications in food industry.

Źródło: / Source: opracowano na podstawie [12] / elaborated based on [12].

Zastosowanie nanotechnologii w produkcji żywności jest przedsięwzięciem nowym w porównaniu z jej aplikacjami m.in. w medycynie, farmaceutyce i elektronice. Ze względów ekonomicznych jej wdrażanie w przemyśle spożywczym jest dużo wolniejsze niż np. w przemyśle zbrojeniowym [59]. Wartość światowej produkcji sektora spożywczego szacowana jest na ponad 4 tryliony dolarów rocznie [10]. Głównym ce-

lem badań jest możliwość zmniejszenia użycia konserwantów, soli, tłuszczów i środków powierzchniowo czynnych w produktach żywnościowych, a także opracowanie nowych lub ulepszonych smaków i tekstury poprzez przetwarzanie surowców w skali *nano*.

Ważną dziedziną nauki o żywności są badania dotyczące doskonalenia opakowań nowej generacji. Globalny rynek opakowań żywności wyprodukowanych z wykorzystaniem nanocząstek i nanotechnologii wyniósł 5,8 mld USD w 2012 r., [21], a w 2014 r. szacowany jest na poziomie 7,3 mld USD [24]. Jest to prawdopodobnie związane z większą akceptacją badań, w których nanocząstki nie są dodawane bezpośrednio do żywności [24]. Nanotechnologia ukierunkowana jest także na produkcję żywności funkcjonalnej [34]. Obecny poziom zastosowań nanotechnologii w żywności i w sektorach pokrewnych jest jednak wciąż na etapie prac badawczo-rozwojowych [24]. Zastosowania nanotechnologii wskazywane są niemal w każdym segmencie przemysłu rolno-spożywczego, np. w rolnictwie (produkcja pestycydów, nawozów, wykrywanie patogenów roślin i zwierząt), w przetwórstwie żywności (np. enkapsulacja składników smaku, polepszenie zapachu, zmiana cech reologicznych i poprawa jakości) i doskonaleniu opakowań (sensory, nanourządzenia, ochrona przed promieniowaniem UV, silniejsze i nieprzepuszczalne powłoki polimerowe), a także w produkcji suplementów diety (np. nutraceutyki o wyższej stabilności i biodostępności) oraz ukierunkowanej inżynierii genetycznej [12]. Wybrane kierunki zastosowania nanotechnologii w przemyśle spożywczym przedstawiono na rys. 1.

Chociaż możliwości zastosowania nanotechnologii są duże, to jej akceptacja może zależeć od określenia ewentualnej akumulacji nanocząsteczek w organizmie oraz poznania zagrożeń dla zdrowia człowieka i środowiska naturalnego [13].

### **Nanomateriały oraz metody ich produkcji**

Zgodnie z definicją Komisji Europejskiej [66] termin nanomateriał oznacza naturalny, powstały przypadkowo lub wytworzony materiał zawierający cząstki w stanie swobodnym lub w formie agregatu bądź aglomeratu, w którym co najmniej 50 % lub więcej cząstek w liczbowym rozkładzie wielkości cząstek ma jeden lub więcej wymiarów w zakresie 1 nm- 100 nm. W określonych przypadkach, uzasadnionych względami ochrony środowiska, zdrowia, bezpieczeństwa lub konkurencyjności, zamiast wartości progowej liczbowego rozkładu wielkości cząstek wynoszącej 50 % można przyjąć wartość z zakresu 1 - 50 %. Na zasadzie odstępstwa, za nanomateriały należy uznać fulereny, płatki grafenowe oraz jednościenne nanorurki węglowe o co najmniej jednym wymiarze poniżej 1 nm [66].

Znane są dwie główne metody produkcji nanomateriałów: „z góry w dół” (ang. *top down*) i „z dołu do góry” (ang. *bottom up*) [59]. Wytwarzanie materiałów metodą „z góry w dół” polega na miniaturyzacji istniejących materiałów do wymiarów nano-

metrycznych za pomocą metod fizycznych lub chemicznych. Przykładem procedury „z góry w dół” jest obróbka mechaniczna [13] np. technologia suchego mielenia stosowana m.in. w celu uzyskania mąki pszennej charakteryzującej się małą wielkością cząstek, a tym samym dużą zdolnością wiązania wody [53]. Suche mielenie stosowane jest również w produkcji otrąb pszennych jako potencjalnie bioaktywnego składnika żywności, choć nie jest ono obecnie szeroko stosowane. Przyczyną braku rozwoju technologii suchego mielenia jest charakter polimeru i niedostateczny rozwój urządzeń. Działanie antyoksydacyjne zielonej herbaty zostało również udoskonalone za pomocą technologii umożliwiającej redukcję wymiarów cząstek [5]. Innym procesem redukcji wielkości cząstek metodą „z góry w dół” jest homogenizacja. Jest to dobrze poznany proces stosowany w przemyśle mleczarskim w celu zmniejszenia rozmiaru wielkości kuleczek tłuszczu [27].

Alternatywną metodą produkcji nanomateriałów jest sposób „z dołu do góry”, który można podzielić na dwie grupy ze względu na proces syntezy, tj. (1) powstałe w reakcji chemicznej w fazie gazowej, ciekłej lub stałej oraz (2) w procesie osadzania i wzrostu nanocząstek w ściśle kontrolowanych warunkach. Proces ten polega na ciągłym kontakcie reagentów z równoczesnym podgrzewaniem układu w celu łatwiejszej dyfuzji atomów. Podejście „z dołu do góry” pozwala na wytwarzanie bardziej skomplikowanych struktur na podstawie samoorganizacji związków biologicznych i polega na organizowaniu cząstek krok po kroku do uzyskania cząstek o specyficznych cechach. Wśród metod „z dołu do góry” wyróżniono krystalizację, osadzanie warstwa po warstwie, ekstrakcję rozpuszczalnikami, tzw. samodzielny montaż (ang. *self-assembly*), syntezę mikrobiologiczną i reakcje z zastosowaniem biomasy. Przykładem samodzielnego montażu biologicznych jednostek prowadzącego do wytworzenia stabilnego nanomateriału są: micela kazeinowa [57], a także procesy związania białek globularnych i agregatów białek. Samoorganizację w skali nanometrycznej można osiągnąć także przez ustalenie równowagi między różnymi siłami niekowalencyjnymi [53].

Szerokie zastosowanie w przemyśle spożywczym mają nanoemulsje, otrzymywane metodami mechanicznymi (homogenizacja wysokociśnieniowa, mikrofluidyzacja, ultradźwięki) i niemechanicznymi [2, 60]. Niewielki rozmiar kropeł, w których stopień rozdrobnienia fazy wewnętrznej wynosi mniej niż 100 - 500 nm, nadaje nanoemulsjom unikatowe właściwości reologiczne [56]. Stosowanie nanoemulsji umożliwia otrzymanie produktów charakteryzujących się mniejszą zawartością tłuszczu i stabilizatorów oraz dobrą kremowością. Przykładami produktów tego typu są: niskotłuszczowy i nanostrukturyzowany majonez oraz lody [8].

Nanotechnologia umożliwia redukcję rozmiarów cząstek bioaktywnych składników, zwiększając ich dostępność, ułatwiając transport i rozpuszczalność. Dzięki temu obserwowane jest zwiększenie aktywności biologicznej, która zależy od zdolności transportu substancji z błon jelitowych do krwi [9, 52].

Postępy technologii w skali *nano* umożliwiają zwiększanie stabilności mikroelementów podczas ich przetwarzania, przechowywania i dystrybucji [9], co uzyskano w przypadku kwasów tłuszczowych omega-3, niektórych gatunków bakterii probiotycznych, likopenu, witaminy D<sub>2</sub> i β-karotenu [40].

Nanokapsułkowanie składników żywności stosowane jest w celu zapewnienia bariery ochronnej, maskowania smaku i zapachu, podwyższenia dostępności biologicznej, kontrolowania uwalniania oraz lepszej dyspersji w systemach wodnych nierozpuszczalnych w wodzie składników i dodatków do żywności [8, 37]. Proces ten stosowany jest w przemyśle piekarskim do kapsułkowania oleju rybnego (źródła kwasu tłuszczowego omega-3) w celu zamaskowania jego nieprzyjemnego smaku [8]. Białkiem używanym w nanotechnologii jest izolowana z kukurydzy zeina. Nanomateriały uzyskiwane z zeiny mają zdolność tworzenia sieci rurek odpornych na działanie mikroorganizmów [57]. Innym przykładem są nanorurki zbudowane z α-laktoalbuminy, które mogą umożliwić wiązanie takich składników żywności, jak witaminy i enzymy [58]. W powszechnym użyciu są liposomy, umożliwiające m.in. zamykanie i uwalnianie naturalnych składników rozpuszczalnych w wodzie, tłuszczach oraz składników amfifilowych [35]. Podobnie jak nanoemulsje, liposomy to kinetycznie stabilne struktury, które mogą być produkowane na skalę przemysłową przy użyciu naturalnych składników. Pęcherzyki lipidowe charakteryzują się zdolnością do wychwytywania substancji z różną rozpuszczalnością [36], a ich zawartość może być regulowana w miejscu docelowym na zewnątrz i wewnątrz ciała [37].

### **Kierunki zastosowania nanotechnologii w przemyśle spożywczym**

Większość badań z zakresu nanotechnologii koncentruje się na ocenie możliwości zastosowania w produkcji materiałów opakowaniowych oraz kontroli jakości i bezpieczeństwa żywności [57].

W niniejszym opracowaniu omówiono przykłady stosowania nanotechnologii w doskonaleniu i ocenie jakości żywności oraz w produkcji opakowań. Przybliżono także problematykę zastosowania biosensorów, materiałów i biorobotów w skali *nano* do wykrywania obecności mikroorganizmów i pestycydów oraz do sterowania procesami wewnątrzkomórkowymi i do kontroli nad nimi.

#### *Biosensory*

Kontrola i monitorowanie jakości żywności odnosi się przede wszystkim do zastosowania miniaturowych biosensorów służących m.in. do identyfikacji obcego DNA (np. GMO), białek, metabolitów i skażeń biologiczno-chemicznych. Ze względu na możliwość skrócenia czasu pomiaru z dni do minut lub sekund nanobiosensory mogą być z powodzeniem stosowane w przemyśle rolno-spożywczym do monitorowania procesów chemicznych, biochemicznych, mikrobiologicznych i genetycznych [4].

Zanieczyszczenia żywności można identyfikować za pomocą macierzy składających się z tysięcy nanocząstek emitujących promieniowanie fluorescencyjne podczas kontaktu z określonymi patogenami żywności. Takie nanosensory wprowadza się bezpośrednio do materiału opakowaniowego, w którym służą jako elektroniczny język lub nos do detekcji związków chemicznych uwalnianych podczas psucia się żywności [19, 27].

Nanosensory mogą być stosowane do określania jakości takich produktów spożywczych, jak: kawa, soki, mleko i wino. Urządzenia składają się z makrocząstek ułożonych warstwa po warstwie, o dużej powierzchni aktywnej, powodując 10 000-krotny wzrost czułości detekcji w porównaniu z ludzkim językiem [13]. Ghasemi-Varnamkhashtia i wsp. [20] przedstawili możliwość użycia elektronicznego nosa i języka w browarnictwie do oceny jakości piwa, szczególnie na etapie fermentacji. Elektroniczny nos zastosowano do identyfikacji zanieczyszczenia ziarna zbóż grzybami, wykrywania żywności zepsutej i obecności *Ganoderma boninense* na pniach palmy olejowej [1].

Typ nanosensorów polegający na zintegrowanych systemach mikrofluidowych umożliwia skonstruowanie nanomikrofluidowych czujników (chipów) do detekcji patogenów w czasie rzeczywistym [3]. Główną zaletą tych systemów jest przede wszystkim miniaturowy rozmiar i zdolność do wykrywania w badanym materiale obecności substancji rzędu nawet pikolitra [32], dzięki czemu znalazły powszechne zastosowanie w medycynie, biologii i chemii [33, 63]. Technologia mikro- i nanomacierzy pozwala na miniaturyzację większej liczby analiz w jednym elemencie (tzw. „Lab-on-a-chip”), tj. od etapu izolacji DNA poprzez reakcje sekwencjonowania aż do analizy danych. System ten ma zastosowanie w biotechnologii „czerwonej” (medycyna), „zielonej” (rolnictwo) i „białej” (produkcja żywności i ochrona środowiska) [17, 32].

Miniaturyzacja urządzeń i automatyzacja metod pomiarowych pozwoliła na zastosowanie genomiki, proteomiki i metabolomiki w systemach nanoelektromechanicznych (NEMS). System NEMS polega na tworzeniu nanowłókien, nanoporów i bioaktywnych powierzchni o grubości nanometrów. Rozwiązanie to może mieć zastosowanie w monitorowaniu bezpieczeństwa żywności w zakresie „białej” biotechnologii, a także służyć przy opracowywaniu metod utrwalania żywności i kontroli warunków przechowywania. Przykładem urządzenia do detekcji *trans* kwasów tłuszczowych w żywności jest DTS (ang. *Digital Transform Spectrometer*) produkowany przez Polychromix (Wilmington, MA, USA) [48].

Nanowsporniki (ang. *nanocantilevers*) są przykładem innowacyjnych biosensorów, w których detekcja polega na rozpoznawaniu specyficznych interakcji antygen - przeciwciało, enzym - substrat lub kofaktor - receptor - ligand [22]. Biosensory te charakteryzują się zdolnością rozpoznawania białek i patogennych bakterii oraz wirusów [26]. Stosowane są w badaniach oddziaływań międzycząsteczkowych, wykrywa-

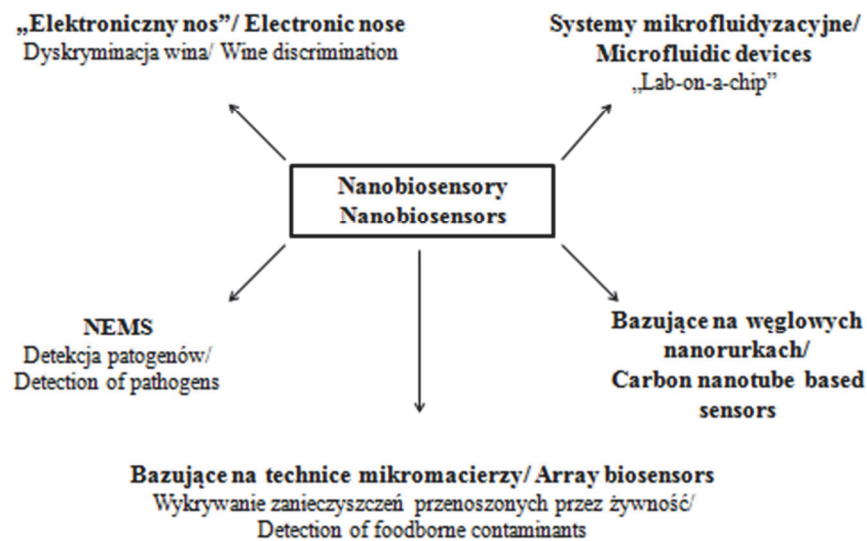


nia zanieczyszczeń chemicznych i toksyn, a także pozostałości antybiotyków w produktach spożywczych [47].

Innymi przykładem nanourządzeń są bardzo czułe i specyficzne immunosensory z nanodrutu polipirolowego do detekcji wirusów. Zastosowanie tych sensorów w wykrywaniu bakteriofagów stwarza szerokie możliwości w ochronie zdrowia, ze szczególnym uwzględnieniem bezpieczeństwa żywności [54].

Nanosensory mogą być stosowane także do wykrywania obecności pestycydów. Ze względu na ich dobrą rozpuszczalność w wodzie, wysoką toksyczność i szerokie zastosowanie w rolnictwie, istnieje zapotrzebowanie na czułe metody analityczne do określania pozostałości środków ochrony roślin [62]. Użycie materiałów w skali *nano*, takich jak nanocząteczeni metali, półprzewodników czy nanorurek węglowych, charakteryzujących się doskonałymi właściwościami optycznymi i elektrycznymi, pozwala na czułą detekcję pestycydów [30].

Typy nanosensory i przykłady ich zastosowania w produkcji żywności przedstawiono na rys. 2.



Rys. 2. Typy nanosensory i przykłady ich zastosowania w przemyśle spożywczym.

Fig. 2. Types of nano-sensors and examples of their applications to food industry.

Źródło: / Source: opracowano na podstawie [57] / elaborated based on [57].

Wśród polskich osiągnięć w dziedzinie nanotechnologii na uwagę zasługuje patent autorstwa Oczkowskiego i Filipiaka [41] pt. „Startery, elektrochemiczny biosensor DNA oraz sposób wykrywania mikroorganizmu *Listeria monocytogenes* w substancjach organicznych, zwłaszcza w żywności”. Opracowany biosensor składa się z elek-

trody roboczej, na powierzchni której osadzono jednoniciowy oligonukleotyd DNA, elektrody referencyjnej oraz elektrody odnośnikowej. Przedmiotem zgłoszenia patentowego jest także elektrochemiczny biosensor DNA do wykrywania specyficznych fragmentów kwasów DNA. Zastrzeżony patentem, autorstwa Ligaja, Filipiaka i Tichoniuka [29], sposób posłużył do wykrywania fragmentów kwasów nukleinowych odpowiedzialnych za zdolność tolerancji na herbicydy fosfotricynowe w genetycznie zmodyfikowanych roślinach oraz żywności uzyskanej z przetworzenia tych roślin.

### *Opakowania żywności*

Największy postęp w zastosowaniu nanotechnologii nastąpił w produkcji nowoczesnych opakowań żywności [6]. Znaczna część tradycyjnych opakowań wytwarzana jest z niedegradowalnych materiałów, które przyczyniają się do zanieczyszczenia środowiska, a do ich produkcji zużywane są paliwa kopalne. Jednak obecne na rynku folie biodegradowalne stanowią słabą barierę przed zanieczyszczeniami i charakteryzują się niewystarczającymi właściwościami mechanicznymi, stąd poszukiwane są materiały mogące zastąpić tradycyjne tworzywa sztuczne [6, 61].

Opisano dwa główne sposoby produkcji nanomateriałów polimerowych, tj. wytwarzanie materiałów polimerowych w nanoskali i umieszczanie nanomateriałów w matrycy polimerowej w celu uzyskania bionanokompozytów [16, 25].

Bionanokompozyty są to biodegradowalne nanostruktury, które charakteryzują się korzystniejszymi właściwościami mechanicznymi i termicznymi niż klasyczne materiały opakowaniowe [25]. Chronią żywność i przedłużają okres jej przydatności do spożycia, a zarazem przyczyniają się do ochrony środowiska naturalnego poprzez zmniejszenie zużycia sztucznych materiałów opakowaniowych oraz mniejsze zużycie paliw kopalnych [57]. Stosowanie nanokompozytów polimerowych zawierających np. krzemiany warstwowe wyeliminowało jedną z głównych wad opakowań polietylenowych i polipropylenowych tj. przepuszczalność gazów, w tym tlenu, który odpowiada za utlenianie składników żywności [31]. Wśród nanomateriałów stosowanych najczęściej w opakowaniach żywnościowych, wyróżnia się metale i ich tlenki. Nanocząstki glinu znalazły zastosowanie w kompozytach polimerowych w celu uzyskania bariery gazowej, nanocząstki ditlenku tytanu – w ochronie przed promieniowaniem UV, zaś nanocząstki azotku tytanu – w zwiększeniu wytrzymałości mechanicznej. Istotnym kierunkiem poszukiwań jest zastosowanie nanocząstek srebra w produkcji materiałów opakowaniowych do żywności w celu inaktywacji drobnoustrojów [35]. Zastosowanie nanosrebra jako dodatku antybakteryjnego do mąki pszennej zostało opatentowane [43]. Na powierzchniach mających kontakt z żywnością i w zastosowaniu do jej pakowania użyto nanokrzemionki. Wskazuje się też jej przydatność w procesie klarowania piwa lub wina [7]. Do zwiększenia biodegradowalności opakowań wykorzystuje się hybrydowe systemy organiczno-nieorganiczne, osadzone w matrycy polimerowej.



Stosując różne ilości rozpuszczalników można zrównoważyć stabilność i biodegradowalność opakowań, a ponadto poszerzyć zakres stosowania jadalnych i biodegradowalnych folii [28].

Ważną cechą opakowań do żywności jest ich zdolność przeciwdziałania przepływowi masy w produktach spożywczych. Składnikami biodegradowalnych folii o takich właściwościach są zazwyczaj polisacharydy i/lub lipidy [44].

Materiały opakowaniowe, które zdolne są do uwalniania w nanoskali związków przeciwbakteryjnych, przeciwutleniaczy i/lub środków smakowo-zapachowych w celu poprawy trwałości lub właściwości sensorycznych żywności, określa się mianem aktywnych. Połączenie materiałów stosowanych do opakowań żywności i substancji czynnych jest nowym sposobem ograniczania zanieczyszczeń mikrobiologicznych na powierzchni żywności, dzięki czemu wzrasta jej bezpieczeństwo i trwałość, co wpływa na zmniejszenia ilości odpadów przemysłu spożywczego.

Znane są opakowania inteligentne, mające w swojej matrycy nanobiosensory służące identyfikacji mikroorganizmów i/lub zanieczyszczeń chemicznych [40]. Koncern Kraft Foods opracował elektroniczny język składający się z szeregu nanosensorów wrażliwych na działanie gazów uwalnianych przez psującą się żywność, a zmiana barwy paska wskazuje na przydatność produktu do spożycia. Stosowanie biosensorów umożliwia także rejestrację zmiany warunków przechowywania żywności w odpowiedzi na bodziec, którym może być zmiana wartości pH lub ciśnienia, obecność gazów, cieczy lub produktów metabolizmu drobnoustrojów, zmiana temperatury czy natężenia światła [42]. Inteligentne nanomateriały stosowane są więc do monitorowania biologicznego bezpieczeństwa produktów. Zgodnie z założeniem terminu przydatności do spożycia zakłada się, że produkt będzie składowany w odpowiednich warunkach środowiska w całym okresie przechowywania w łańcuchu dystrybucji. Odchylenia od zalecanych warunków mogą prowadzić do przedwczesnego obniżenia jakości żywności, w tym jego bezpieczeństwa mikrobiologicznego. Do kontroli stosuje się nanoczuJNIki wykrywające specyficzne wskaźniki metabolizmu patogenów i informujące konsumenta o historii produktu ze wszystkimi niezbędnymi parametrami. W niektórych przypadkach, możliwe jest zatem wyeliminowanie potrzeby stosowania terminów przydatności do spożycia na rzecz dokładniejszej oceny jakości spożywanej żywności. Stosowanie nanoczuJNIków tego typu nie jest powszechne w Europie ze względu na wysokie koszty i ograniczenia prawne związane ze związkami chemicznymi (np. barwnikami) używanymi w nanoczuJNIkach, które nie są dopuszczone do kontaktu z żywnością [11].

Wprowadzone do produktów żywnościowych nanosensory mogą działać również jako elektroniczne kody kreskowe określające autentyczność spożywanych produktów [6]. Emitowany przez nie sygnał pozwala kontrolować jakość żywności od pola do konsumenta. Z kolei amerykańscy naukowcy zastosowali folię fotosensoryczną wy-

tworzoną z nanoskalowych warstw hydrofobowego polistyrenu oraz hydrofilowej poli-2-winylopirydyny. Poddanie przezroczystej folii wpływom różnych substancji powodowało zmianę jej barwy na niebieską (pod wpływem tiocyjanianu), zieloną (jodu), żółtą (azotanu), pomarańczową (bromu) oraz czerwoną (chloru), co może mieć zastosowanie w produkcji etykiet kontrolujących świeżość produktów spożywczych [38].

Oddział Szkła i Materiałów Budowlanych w Krakowie we współpracy z Vitrosilicon S.A opatentował sposób nanoszenia nanostrukturalnych, refleksyjnych, barwnych i/lub neutralnych powłok na szkło użytkowe (nr zgłoszenia patentowego 394566, Urząd Patentowy RP). Nowością tego projektu jest modyfikacja właściwości i funkcji użytkowych opakowań szklanych dzięki zastosowaniu nanopowłok z tlenków metali na trwale związanych z podłożem. Zastosowanie metody pirolizy z użyciem roztworów soli kompleksowych w postaci acetyloacetonianów metali pozwoliło na modyfikację właściwości optycznych, tj. mniejszą przenikalność promieniowania UV i NIR oraz poprawę odporności chemicznej i odporności na zarysowanie powierzchni wyrobów szklanych [67].

### **Zalety oraz zagrożenia towarzyszące nanotechnologii**

Zaletą wynikającą z wdrażania nanotechnologii jest możliwość stosowania bardziej wydajnych metod produkcji żywności poprzez mniejsze zużycie środków agrochemicznych (np. pestycydów, biocydów, antybiotyków, leków weterynaryjnych). Nanotechnologia umożliwia produkcję żywności i pasz charakteryzujących się wysoką jakością poprzez wzbogacanie materiałami i dodatkami w skali *nano*, m.in. przeciwbakteryjnymi i odtruwającymi. Dodatkowo, cechują się one bezpieczeństwem stosowania poprzez ograniczenie chorób przenoszonych drogą pokarmową, a stosowanie nanobiosensorów umożliwia szybką diagnostykę chorób zwierzęcych. Przykładowo, nanocząstki polistyrenu połączone z glikolem polietylenowym i mannozą mogą wiązać i usuwać patogeny przenoszone w paszach dla zwierząt [46].

Zastosowanie m.in. nanoporowatych materiałów do filtracji i usuwania niepożądanych smaków, aromatów i alergenów umożliwia produkcję żywności o korzystniejszych cechach sensorycznych. Żelazo jest przykładem nanomateriału, który badany jest w kierunku przydatności do odkażania wody. Nanotechnologia umożliwia wydłużenie okresu przechowywania produktów spożywczych, przyczyniając się do zmniejszenia strat żywności, zaś stosowanie inteligentnych etykiet zapewnia produktom autentyczność i bezpieczeństwo [7].

Foltynowicz i wsp. [15] opatentowali pochłaniacz tlenu, który może zapobiegać szybkiemu psuciu się żywności. Istota wynalazku polega na uwalnianiu nanożelaza w reakcji redukcji soli tetraborowodoru sodu, które wykazuje właściwości wiązania tlenu w każdym środowisku, także bezwodnym. Taki typ pochłaniacza może być stosowany do usuwania tlenu z opakowań oraz stabilizowania atmosfery wewnątrz opa-

kowania, wiążąc tlen przenikający przez materiał opakowaniowy do jego wnętrza. Z kolei Spółka Stella Pack, specjalizująca się w produkcji opakowań i wyrobów z tworzyw sztucznych, zaprojektowała produkty, w których stosowane są m.in. cząstki nanosrebra skutecznie hamujące rozwój mikroorganizmów i redukujące nieprzyjemny zapach [65]. Innym przykładem są szczepionki dla roślin NANO-GRO® (Agrarius). Zasada ich działania polega na zamknięciu w oligosacharydowej granulce siarczanów pierwiastków: żelaza, kobaltu, glinu, magnezu, niklu i srebra występujących w stężeniu nanomolowym, które po rozpuszczeniu w wodzie i przyswojeniu przez roślinę aktywują jej przeciwstresowy mechanizm obronny, przyczyniając się m.in. do 30-procentowego zwiększenia plonów i odporności roślin na choroby [64].

Stosowanie nanomateriałów ma wiele zalet, jednak nie można wykluczyć ewentualności narażenia zdrowia konsumentów żywności i napojów zawierających niektóre nierozpuszczalne i niepodlegające rozkładowi nanocząstki (określane jako „twarde” nanomateriały). Komitet Naukowy Europejskiego Urzędu ds. Bezpieczeństwa Żywności (EFSA) wskazał na dwie główne przeszkody w określeniu ryzyka stosowania nanomateriałów, tj. trudności w charakterystyce i detekcji oraz niedostateczne informacje o ich toksyczności [14]. Obawy dotyczące bezpieczeństwa konsumentów dotyczą zagrożeń długoterminowych lub nowych i nieprzewidywalnych skutków stosowania nanomateriałów, np. nagromadzone w organizmie reaktywne nanocząstki o dużej powierzchni mogą przekroczyć bariery, takie jak nabłonek jelita, przeniknąć do krwioobiegu, a następnie dotrzeć do organów docelowych i tam się gromadzić [18]. Nanododatki mogą także ulegać transformacjom w żywności i w przewodzie pokarmowym z powodu procesów aglomeracji, agregacji, wiązania z innymi składnikami żywności, reakcji z kwasem żołądkowym czy enzymami. Takie przemiany mogą prowadzić do utraty ich właściwości *nano*. Z powodu braku szczegółowej wiedzy na temat wchłaniania, rozprowadzania i wydalania z organizmu nanocząstek, niezmiernie ważnym aspektem jest opracowanie szczegółowej charakterystyki i przeprowadzenie indywidualnej oceny ryzyka stosowania nanomateriałów [18].

W zależności od stopnia bezpieczeństwa nanożywność podzielono na trzy grupy:

- o najmniejszym niebezpieczeństwie – czyli produkty spożywcze, które zawierają przetworzone nanostruktury, trawione lub rozpuszczane w przewodzie pokarmowym; nie są biotrwale,
- o umiarkowanym niebezpieczeństwie – czyli nanokapsułkowane dodatki, które mają zdolność migracji w przewodzie pokarmowym,
- o szczególnym niebezpieczeństwie – czyli produkty spożywcze zawierające nierozpuszczalne, nietrawione i biotrwale nanododatki (np. metale i ich tlenki) lub funkcyjne nanomateriały.

Opakowania do żywności produkowane w nanotechnologii są ważnym kierunkiem ich wykorzystania w sektorze spożywczym. Simon i wsp. [39] przedstawili mo-

del, który przewiduje i wylicza migrację nanocząstek z opakowań. Stwierdzono, że szybkość migracji zwiększa się wraz ze zmniejszaniem lepkości dynamicznej polimerów i redukcją wielkości nanocząstek [55]. Wyniki te wskazują na potencjał migracji nanocząstek z opakowań i konieczność ilościowej oceny ryzyka. W 2008 r. EFSA wydała pozytywną opinię o bezpieczeństwie stosowania nanocząstek azotku tytanu w ilości 20 mg/kg w butelkach typu PET [39]. Z drugiej strony, badania nad przydatnością komercyjnie dostępnych torebek polietylenowych, w których zastosowano m.in. skaningową mikroskopię elektronową połączoną z dyspersją energii promieniowania rentgenowskiego, potwierdziły migrację cząstek nanosrebra do żywności, która zwiększała się wraz z czasem przechowywania i temperaturą [23]. Wynik ten może mieć negatywny wpływ na upowszechnianie tego rodzaju opakowań.

### Regulacje prawne

W Międzynarodowej Organizacji Normalizacyjnej ISO opracowano przepisy prawne dotyczące stosowania urządzeń i układów elektrycznych oraz elektronicznych w nanotechnologii. W Polsce do 30 grudnia 2011 r. problemami normalizacji nanotechnologii zajmowały się dwa komitety techniczne: KT 207 Obróbki Ubytkowej i Przyrostowej oraz KT 60 Energoelektroniki i Przyrządów Półprzewodnikowych. Wraz ze wzrastającą liczbą prac normalizacyjnych w grudniu 2011 r. powołano KT 314 Nanotechnologii, który przejął obowiązki prowadzone w KT 207 odnośnie do nanotechnologii. Zakres tematyczny KT 314 obejmuje m.in. zastosowanie i właściwości materiałów w nanoskali do wytwarzania ulepszonych materiałów, urządzeń i systemów, terminologię i nomenklaturę oraz metrologię i oprzyrządowanie [45].

Nanomateriały spełniają definicję zawartą w rozporządzeniu REACH (WE) Nr 1907/2006 [50] w sprawie rejestracji, oceny, udzielania zezwoleń i stosowanych ograniczeń w zakresie chemikaliów [50]. Podlegają również przepisom rozporządzenia (WE) 1272/2008 [49] w sprawie klasyfikacji, oznakowania i pakowania substancji i mieszanin.

Rozporządzenie REACH nr 1907/2006, obowiązujące od 1 czerwca 2007 r., uwzględnia problem ekotoksyczności, ale dotyczy substancji produkowanych i przywożonych w ilości ponad 10 ton rocznie. Biorąc pod uwagę rozmiar nanomateriałów, jest bardzo prawdopodobne, że nie przekroczą one progu tonażu wymaganego w rozporządzeniu. Innym przykładem niejasności jest przepis o wymogu zgłaszania substancji wzbudzających szczególnie duże obawy i znajdujących się na liście substancji kwalifikujących się jako niebezpieczne i występujących w stężeniach powyżej 0,1 % (m/m) w produkcie, w całkowitej masie stanowiącej ponad jedną tonę w tych produktach na producenta rocznie. Obecnie żaden materiał w skali *nano* nie kwalifikuje się na tak sformułowaną listę substancji niebezpiecznych [34]. W rezolucji przyjętej w kwietniu 2009 r., Parlament Europejski zwrócił się o zwiększenie kontroli nad nano-

technologią, szczególnie w zagadnieniach dotyczących produkcji kosmetyków i żywności, a także bezpieczeństwa pracy, ochrony zdrowia pracowników oraz bezpieczeństwa środowiska i odpadów. Od grudnia 2014 r. obowiązywać będzie rozporządzenie łączące dwie poprzednie dyrektywy w sprawie „etykietowania, prezentacji i reklamy środków spożywczych” (2000/13/EC) i „etykietowania dotyczącego wartości odżywczej produktów spożywczych” (90/496/EEC). Rozporządzenie to będzie regulować wymóg etykietowania składników w postaci nanomateriałów (materiał oraz słowo *nano* w nawiasie). Zgodnie z REACH producenci, importerzy i użytkownicy muszą zapewnić, że nanomateriały nie wpłyną negatywnie na zdrowie człowieka oraz środowisko naturalne. W związku z tym, dużym wyzwaniem jest wdrożenie metod i przyrządów służących wykrywaniu, charakteryzowaniu i analizie nanomateriałów, a także opracowanie metod oceny stopnia zagrożenia.

Według raportu CIEL (ang. The Center for International Environmental Law) REACH nie jest w stanie zapewnić odpowiedniej ochrony ze względu na niedostosowanie wielu przepisów do zapewnienia skutecznej kontroli prawnej nanomateriałów. Europejska Agencja Chemikaliów opracowała projekt strategii badawczych w celu określenia właściwości fizykochemicznych, w przypadku których nie mogą być stosowane standardowe metody badawcze oraz zalecenia dotyczące informacji toksykologicznych. W 2012 r. projekt ten uzupełniono o ocenę bezpieczeństwa chemicznego, tj. wpływu dawki nanomateriałów na ludzkie zdrowie oraz na środowisko.

### Podsumowanie

Postęp w dziedzinie nanotechnologii jest źródłem wielu korzyści w zakresie nowych, innowacyjnych produktów, m.in. przez zmniejszenie zawartości tłuszczu, soli i innych dodatków oraz podwyższenie jakości, higieny i bezpieczeństwa produktów żywnościowych. Wdrażanie nowych rozwiązań w produkcji żywności jest trudne z uwagi na to, że większość propozycji jest wciąż na etapie badań. Głównym czynnikiem hamującym rozwój tej technologii jest niepełna wiedza o właściwościach, mechanizmach działania i skutkach stosowania nanomateriałów, głównie nierozpuszczalnych i potencjalnie biotrwałych. W związku z tym szczególną uwagę należy zwrócić na rzetelne metody analizy nanożywności z uwzględnieniem problematyki bezpieczeństwa, zdrowia konsumentów i ochrony środowiska naturalnego poprzez precyzyjnie sformułowane rozporządzenia i skuteczny nadzór prawny. Dodatkowo, niezbędna jest edukacja społeczeństwa uwzględniająca korzyści i ewentualne ryzyko stosowania nanotechnologii w produkcji żywności.

### Literatura

- [1] Abdullah A.H., Adom A.H., Shakaff A.Y., Ahmad M.N., Saad M.A., Tan E.S., Fikri N.A., Markom M.A., Zakaria A.: Electronic nose system for Ganoderma detection. *Sens. Lett.*, 2011, **9**, 353-358.

- [2] Anton N., Saulnier P., Béduneau A., Benoit J.P.: Salting-out effect induced by temperature cycling on a water/nonionic surfactant/oil system. *J. Phys. Chem. B*, 2007, **111**, 3651-3657.
- [3] Baeummer A.: Nanosensors identify pathogens in food. *Food Technol.*, 2004, **58**, 51-55.
- [4] Bhattacharya, S., Jang J., Yang L., Akin D., Bashir R.: Biomems and nanotechnology based approaches for rapid detection of biological entities. *J. Rapid Methods Autom. Microbiol.*, 2007, **15**, 1-32.
- [5] Brody A.L., Bugusu B., Han J.H., Koelsch Sand C., McHugh T.H.: Innovative food packaging. *J. Food Sci.*, 2008, **73** (8), 107-117.
- [6] Chaudhry Q., Castle L., Watkins R.: Nanotechnologies in the Food Arena: New Opportunities, New Questions, New Concerns. *Nanotechnologies in food*. Royal Society of Chemistry Publishers, 2010.
- [7] Chaudhry Q., Castle L.: Food applications of nanotechnologies: An overview of opportunities and challenges for developing countries. *Trends Food Sci. Technol.*, 2011, **22**, 595-603.
- [8] Chaudhry Q., Scotter M., Blackburn J., Ross B., Boxall A., Castle L., Aitken R., Watkins R.: Applications and implications of nanotechnologies for the food sector. *Food Addit. Contam. Part A: Chemistry, Analysis, Control, Exposure and Risk Assessment*, 2008, **25** (3), 241-258.
- [9] Chen H., Weiss J., Shahidi F.: Nanotechnology in nutraceuticals and functional foods. *J. Food Technol.*, 2006, **60**, 30-36.
- [10] Cientifica Report 2006. Nanotechnologies in the food industry. [online]. Dostęp w Internecie [10.06.2013]: <http://www.cientifica.com/www/details.php?id=47>
- [11] Cushen M., Kerry J., Morris M., Cruz- Romero M., Cummins E.: Nanotechnologies in the food industry- Recent developments, risk and regulation. *Trends Food Sci. Technol.*, 2012, **24**, 30-46.
- [12] Dunkan T.V.: Applications of nanotechnology in food packaging and food safety: Barrier materials, antimicrobials and sensors. *J. Colloid Interface Sci.*, 2011, **363** (1), 1-24.
- [13] Duran N., Marcato P.D.: Nanobiotechnology perspectives. Role of nanotechnology in the food industry: a review. *Int. J. Food Sci. Technol.*, 2013, **48**, 1127-1134.
- [14] European Food Safety Authority. Scientific opinion on 'the potential risks arising from nanoscience and nanotechnologies on food and feed safety'. *The EFSA J.*, 2009, **958**, 1-39.
- [15] Foltynowicz Z., Kozak W., Stoińska J., Urbańska M.: Nanożelazowy pochłaniacz tlenu. Zgłoszenie patentowe UP RP 2010, P. 393511.
- [16] Foltynowicz Z.: Nanomateriały, nanobiznes – nowe trendy w towaroznawstwie. W: *Nowe trendy w metodologii nauk ekonomicznych i możliwości ich wykorzystania w procesie kształcenia akademickiego. Problemy szczegółowe metodologii nauk ekonomicznych*. A. Grzelak i K. Pająk (Red.). Wyd. UE w Poznaniu, Poznań 2011, tom 2, ss. 134-148.
- [17] Freitas Jr R.A.: The future of nanofabrication and molecular scale devices in nanomedicine. *Studies in Health Technology and Informatics*, 2002, **80**, 45-59.
- [18] Fundacja Wspierania Nanonauk i Nanotechnologii. Dostęp w Internecie [07.12.2013]: [www.nanonet.pl/index.php/nanobiznes/nanoryzyka/1395-zalety-i-wady-nanozywnosci](http://www.nanonet.pl/index.php/nanobiznes/nanoryzyka/1395-zalety-i-wady-nanozywnosci)
- [19] García M., Aleixandre M., Gutiérrez J., Horrillo M.C.: Electronic nose for wine discrimination. *Sens. Actuators B.*, 2006, **113**, 911-916.
- [20] Ghasemi-Varnamkhasia M., Mohtasebi S.S., Rodriguez-Mendez M.L., Siadat M., Ahmadi H., Razavi S.H.: Electronic and bioelectronic tongues, two promising analytical tools for the quality evaluation of non alcoholic beer. *Trends Food Sci. Technol.*, 2011, **22**, 245-248.
- [21] Grochowicz J., Bień A.: Nanotechnologie i inne aktualne problemy badawcze w inżynierii żywności. *IPS*, 2013, **2/4** (6), 5-8.
- [22] Hall R.H.: Biosensor technologies for detecting microbiological food borne hazards. *Microbes Infect.*, 2002, **4**, 425-432.



- [23] Huang Y., Chen S., Bing X., Gao C., Wang T., Yuan B.: Nanosilver migrated into food-simulating solutions from commercially available food fresh containers. *Packag. Technol. Sci.*, 2011, **24** (5), 291-297.
- [24] Innovative Research and Products Inc. Nano-enabled Packaging for the Food and Beverage Industry - A Global Technology Industry and Market Analysis. [online]. Dostęp w Internecie [05.02.2013]: [http://www.innoresearch.net/report\\_summary.aspx?id=68&pg=107&rcd=FT 102&pd=7/1/2009](http://www.innoresearch.net/report_summary.aspx?id=68&pg=107&rcd=FT 102&pd=7/1/2009)
- [25] Jakubiak P., Foltynowicz Z.: Nanokompozyty polimerowe – nowoczesne rozwiązania na rynku opakowań. *Opakowanie*, 2004, **6**, 6-9.
- [26] Kumar C.S.: *Nanomaterials for Biosensors*. Wiley-VCH Weinheim, 2006.
- [27] Lange, D., Hagleitner C., Hierlemann A., Brand O., Baltes H.: Complementary metal oxide semiconductor cantilever arrays on a single chip: mass-sensitive detection of volatile organic compounds. *Anal. Chem.*, 2002, **74**, 3084-3095.
- [28] Li X., Kang T., Cho W.J., Lee J.K., Ha C.S.: Preparation and characterization of poly (butyleneterephthalate)/ organoclay nanocomposites. *Macromol. Rapid Commun.*, 2001, **22**, 1306-1312.
- [29] Ligaj M., Filipiak M., Tichoniuk M.: Biosensor DNA i sposób wykrywania specyficznych fragmentów kwasów nukleinowych oraz zastosowanie biosensora DNA. Zgłoszenie patentowe UP RP 2008, P. 382226.
- [30] Liu S., Yuan L., Yue X., Zheng Z., Tang Z.: Recent advances in nanosensors for organophosphate pesticide detection. *Adv. Powder Technol.*, 2008, **19**, 419-441.
- [31] Łopacka J.: Nanocząstki wykorzystywane w celu poprawy właściwości fizycznych kompozytów polimerowych stosowanych jako materiały opakowaniowe do żywności. *Polimery*, 2013, **58** (11-12), 864-868.
- [32] Lowe R.C.: *Nanobiotechnology: Concepts, Application and Perspectives*. Ed. Niemayer C.M, Mirkin C.A, Wiley-VCH 2004.
- [33] Mabeck J.T., Malliaras G.G.: Chemical and biological sensors based on organic thin-film transistors. *Anal. Bioanal. Chem.*, 2006, **384**, 343-353.
- [34] Market Attitude Research Services, Australian Community Attitudes about Nanotechnology - trends 2005-2011. [online] Department of Industry, Innovation, Science and Research, Australia. Dostęp w Internecie [12.05.2013]: [www.innovation.gov.au/Industry/Nanotechnology/PublicAwarenessandEngagement/Documents/NanotechnologyPublicAwareness2011.pdf](http://www.innovation.gov.au/Industry/Nanotechnology/PublicAwarenessandEngagement/Documents/NanotechnologyPublicAwareness2011.pdf)
- [35] Mozafari M.R., Johnson C., Hatziantoniou S., Demetzos C.: Nanoliposomes and their applications in food nanotechnology. *J. Liposome Res.*, 2008, **18** (4), 309-327.
- [36] Mozafari M.R., Khosravi-Darani K.: An overview of liposome- derived nanocarrier technologies. In: *Nanomaterials and Nanosystems for Biomedical Applications*. Ed. Springer, Dordrecht, The Netherlands, 2007, pp. 113-123.
- [37] Mozafari R.M., Flanagan J., Matia-Merino L., Awati A., Omri A., Suntres E.Z., Singh H.: Recent trends in the lipid-based nanoencapsulation of antioxidants and their role in foods. *J. Sci. Food Agric.*, 2006, **86**, 2038-2045.
- [38] Nanotechnologia w czujnikach świeżości pożywienia? Na podstawie informacji European Plastics News, *Opakowanie*, 2013, **2**, 16-17.
- [39] National Nanotechnology Initiative: National nanotechnology initiative: Research and development leading to a revolution in technology and industry. Supplement to President's FY 2010 Budget, 2009.
- [40] Neethirajan S., Jayas D.: Nanotechnology for the food and bioprocessing industries. *Food Bioprocess Technol.*, 2011, **4** (1), 39-47.
- [41] Oczkowski T, Filipiak M.: Startery, elektrochemiczny biosensor DNA oraz sposób wykrywania mikroorganizmu *Listeria monocytogenes* w substancjach organicznych, zwłaszcza w żywności. Patent PL 200797 B1.

- [42] Otles S., Yalcin B.: Intelligent food packaging. LogForum, 2008, **4(4)**, 1-9.
- [43] Park K.H.: Preparation method antibacterial wheat flour by using silver nanoparticles. Korea. Patent Korea 2005, 1020050065126.
- [44] Pereira de Abreu D.A., Losada P.P., Angulo I, Cruz J.M.: Development of new polyolefin films with nanoclays for application in food packaging. Macromol. Nanotechnol., 2007, **43**, 2229-2243.
- [45] Nanotechnologia i innowacje- Polski Komitet Normalizacyjny. Dostęp w Internecie [07.12.2013]: [www.pkn.pl/nanotechnologia-i-innowacje](http://www.pkn.pl/nanotechnologia-i-innowacje)
- [46] Qu L., Luo P.G., Taylor S., Lin Y., Huang W., Tzeng T.R.J., Stutzenberger F., Latour R.A., Sun Y.P.: Visualizing adhesion-induced agglutination of *Escherichia coli* with mannosylated nanoparticles. J. Nanosci. Nanotechnol., 2005, **5**, 319-322.
- [47] Ramirez F.N.: Cantilever biosensors. Biotechnol. Appl., 2006, **23**, 320-323.
- [48] Ritter S.K.: An eye on food. Chem. Eng. News, 2005, **83**, 28-34.
- [49] Rozporządzenie (WE) nr 1272/2008 Parlamentu Europejskiego i Rady w sprawie klasyfikacji, oznakowania i pakowania substancji i mieszanin, zmieniające i uchylające dyrektywy 67/548/EEC i 1999/45/WE oraz zmieniające rozporządzenie (WE) nr 1907/2006. Dz. Urz. UE L 353 z 31.12.2008.
- [50] Rozporządzenie (WE) nr 1907/2006 Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 18 grudnia 2006 r. w sprawie rejestracji, oceny, udzielania zezwoleń i stosowanych ograniczeń w zakresie chemikaliów (REACH), zmieniające dyrektywę 1999/45/WE oraz uchylające Rozporządzenie Rady (EWG) nr 793/93 i rozporządzenie Komisji (WE) nr 1488/94, jak również dyrektywę Rady 76/769/EWG i dyrektywę Komisji 91/155/EWG, 93/67/EWG, 93/105/WE i 2000/21/WE. Dz. Urz. UE L 396 z 30.12.2006 oraz sprostowanie w Dz. Urz. UE L 136 z 29.05.2007.
- [51] Sanguansri P., Augustin M.A.: Nanoscale materials development- a food industry perspective. Trends Food Sci. Technol., 2006, **17**, 547-556.
- [52] Shegokar R., Muller R.H.: Nanocrystals: industrially feasible multifunctional formulation technology for poorly soluble actives. Int. J. Pharm., 2010, **399 (1 - 2)**, 129-139.
- [53] Shibata T.: Method for producing green tea in microfine powder. USA. United States Patent US 2002, 6416803B1.
- [54] Shirale D.J., Bangar M.A., Park M. Yates M.V., Chen W., Myung N.V., Mulchandani A.: Label-free chemiresistive immunosensors for viruses. Environ. Sci. Technol., 2010, **44**, 9030-9035.
- [55] Simon P., Chaudhry Q., Bakos D.: Migration of engineered nanoparticles from polymer packaging to food a physicochemical view. J. Food Nutr. Res., 2008, **47 (3)**, 105-113.
- [56] Sonneville-Aubrun O., Simonnet J.T., L'Alloret F.: Nanoemulsions: a new vehicle for skincare products. Adv. Colloid Interface Sci., 2004, **108-109**, 145-149.
- [57] Sozer N., Kokini J.L.: Nanotechnology and its applications in the food sector. Trends Biotechnol., 2009, **27 (2)**, 82-87.
- [58] Srinivas P.R., Philbert M., Vu T Q., Huang Q., Kokini J.L., Saos E., Chen H., Peterson C.M., Friedl K.E., McDade-Ngutter C., Hubbard V., Starke-Reed P., Miller N., Betz J.M., Dwyer J., Milner J., Ross S.A.: Nanotechnology research: applications in nutritional sciences. J. Nutr., 2010, **140 (1)**, 119-124.
- [59] Szewczyk P.: Nanotechnologie aspekty techniczne, środowiskowe i społeczne. Monografia, Wyd. Politechniki Śląskiej, Gliwice 2011.
- [60] Tadros T., Izquierdo P., Esquena J., Solans C.: Formation and stability of nano-emulsions. Adv Colloid Interface Sci., 2004, **108-109**, 303-318.
- [61] Tharanathan R.N.: Biodegradable films and composite coatings: past, present and future. Trends Food Sci. Technol., 2003, **14**, 71-78.
- [62] Valdes M.G., Gonzalez A.C.V., Calzon J.A.G., Diaz-Garcia M.E.: Analytical nanotechnology for food analysis. Microchim. Acta, 2009, **166**, 1-19.

- [63] Vo-Dinh T., Cullum B.M., Stokes D.L.: Nanosensors and biochips: frontiers in biomolecular diagnostics. *Sens. Actuators, B*, 2001, **74**, 2-11.
- [64] Wirtualna Giełda Kooperacyjna NanoBroker -wielopłaszczyznowa platforma wymiany informacji pomiędzy instytucjami badawczymi, przemysłem i organizacjami. Dostęp w Internecie [07.12.2013]:  
[www.nanobroker.org/index.php?option=com\\_content&view=category&id=5&Itemid=30&lang=pl](http://www.nanobroker.org/index.php?option=com_content&view=category&id=5&Itemid=30&lang=pl)
- [65] Wirtualna Giełda Kooperacyjna NanoBroker- wielopłaszczyznowa platforma wymiany informacji pomiędzy instytucjami badawczymi, przemysłem i organizacjami. Dostęp w Internecie [15.12.2013]:  
[www.nanobroker.org/index.php?option=com\\_content&view=article&id=249%3Astellapacksa&catid=5%3Apolaska&Itemid=30&lang=pl](http://www.nanobroker.org/index.php?option=com_content&view=article&id=249%3Astellapacksa&catid=5%3Apolaska&Itemid=30&lang=pl)
- [66] Zalecenie Komisji Europejskiej 2011/696/UE z dnia 18 października 2011 r. dotyczące definicji nanomateriału. *Dz. Urz. UE L 275/38*, s. 3 z 20.10.2011.
- [67] Żelazowska E., Pichniarczyk P., Zawila J., Sacha S.: Technologia nanoszenia nanostrukturalnych powłok na szkło opakowaniowe. *Opakowanie*, 2013, **3**, 16-18.

## SELECTED ASPECTS OF NANOTECHNOLOGY APPLICATIONS IN FOOD PRODUCTION

### S u m m a r y

Nanotechnology is one of the innovative technologies, which includes the characterization and fabrication of, and/or manipulation with structures, devices, or materials that have at least one dimension of approximately 1 - 100 nm in length.

In the paper, the achievements of nanotechnology are presented as are its possible applications to the food industry. There are discussed issues connected, mainly, with increasing the food quality, developing intelligent food and packaging, as well as with using nano-sensors to detect the bacterial contamination and the presence of pesticides. Potential human health and environmental risks are shown, which are involved in using nano-materials. Moreover, pertinent legal provisions are described; it is stressed that those provisions must be adjusted to the specificity of nano-materials.

**Key words:** nanotechnology, nano-food, nanostructures, biosensors 