



BIULETYN  
Wydziału Farmaceutycznego  
Warszawskiego Uniwersytetu Medycznego

Biul. Wydz. Farm. WUM, 2012, 4, 26 - 31  
<http://biuletynfarmacji.wum.edu.pl/>

## NANOTECHNOLOGIA W PRODUKCJI ŻYWNOSCI - KIERUNKI ROZWOJU, ZAGROZENIA I REGULACJE PRAWNE

Małgorzata Idzikowska<sup>1</sup>, Marta Janczura<sup>1</sup>, Tomasz Lepionka<sup>1</sup>, Michał Madej<sup>1</sup>, Edyta Mościcka<sup>1</sup>,  
Justyna Pyzik<sup>1</sup>, Paulina Siwek<sup>1</sup>, Weronika Szubierajska<sup>1</sup>, Dorota Skrajnowska<sup>2\*</sup>, Andrzej Tokarz<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Studenckie Koło Naukowe „Bromatos” przy Katedrze i Zakładzie Bromatologii WUM

<sup>2</sup> Katedra i Zakład Bromatologii, Wydział Farmaceutyczny, Warszawski Uniwersytet Medyczny  
ul. Banacha 1, 02 - 097 Warszawa

\* Autorka korespondująca: tel. +(48) 22 5720 785, e-mail: [dorota.skrajnowska@wum.edu.pl](mailto:dorota.skrajnowska@wum.edu.pl)

Otrzymano 12.06.2012, zaakceptowany 1.07.2012, zamieszczony 3.09.2012

### STRESZCZENIE

Pojęcie nanotechnologia obejmuje materiały i urządzenia o wymiarach od 1 do 100 nanometrów. W laboratoriach na całym świecie trwają bardzo intensywne prace nad nanostrukturami, jednak większość projektów wynikających z rozwoju nanotechnologii jest ciągle w trakcie badań. Nanomateriały mogą mieć odmienne właściwości niż te same materiały w „normalnej”, większej skali. Niewątpliwie zastosowanie tej techniki wzbogaci produkt, ale nanocząsteczki uwolnione z bezpiecznych materiałów mogą stać się toksyczne dla ludzi lub środowiska. Obecnie w społeczeństwie brak jest wiedzy o nanotechnologii, a zwłaszcza nanotechnologii w środkach spożywczych. Prezentowana praca ma na celu przybliżenie zagadnienia i wywołanie publicznej dyskusji o potencjalnych korzyściach, ryzyku i regulacjach prawnych związanych ze stosowaniem nanotechnologii w żywności.

**SŁOWA KLUCZOWE:** nanotechnologia, nanomateriały, nanożywność, regulacje, zagrożenia

### ABSTRACT

NANOTECHNOLOGY IN FOOD PRODUCTION - DEVELOPMENT, RISKS AND REGULATORY ASPECTS

Nanotechnology encompasses materials and devices between 1 and 100 nanometers in size. Considerable effort is devoted by laboratories around the world to studies of nanostructures, however, the majority of nanotechnology-based applications remain in the research phase. The properties of nanomaterials may differ from those of the same materials at a „normal”, macroscopic scale. Whereas the application of nanotechnology will undoubtedly enhance the product, nanoparticles shed from otherwise nontoxic materials may become toxic to people or the environment. At present, the general public is insufficiently educated about nanotechnology, in particular about food applications of nanotechnology. This article is intended to provide information and stimulate public debate on the potential benefits, risks, and legal regulations relevant to food-related applications of nanotechnology.

**KEYWORDS:** nanotechnology, nanomaterials, nanofoods, legal regulations, dangers

### 1. Wprowadzenie

Pojęcie „nanotechnologia” oznacza wszystkie metody i techniki prowadzące do otrzymania materiałów, elementów, urządzeń w których przynajmniej jeden z kontrolowanych wymiarów jest w skali nano, czyli 1-100 nm [1]. Jeden nanometr stanowi jednomilionową część milimetra. Przedrostek nano - pochodzi od greckiego słowa nanos, co oznacza karzeł [2]. Nanotechnologia jest określeniem, które pojawiło się na początku minionej dekady i wiąże się z opanowaniem technologii manipulowania i przekształcania materii w skali pojedynczych atomów. Biorąc pod uwagę fakt, iż na odcinku 1 nanometra można zmieścić ok. 10 atomów, zdolność do przekształcania materii w tej skali jest zdumiewająca, a jednak już możliwa [3].

Średnica ludzkiego włosa przekracza skalę „nano” tysiące razy, a średnica krwinki czerwonej setki razy, natomiast wielkości kwasu DNA, wirusa grypy i atomów krzemu zbliżają się do zakresów „nano” [4,5]. Nanotechnologia wychodzi z zacisza laboratoriów i zdobywa kolejne dziedziny życia i przemysłu, także przemysłu spożywczego. Wy-

tworzenie żywności to złożony proces biologiczny, rządzący się zasadami biologii, chemii i biochemii, dlatego też odkrycia na polu nanotechnologii wpływają w różny sposób na przemysł spożywczy [1]. Nanotechnologia w produkcji żywności to bardzo szerokie pojęcie obejmujące swym zasięgiem etapy zastosowania nanotechnologii bądź nanocząsteczek do uprawy, produkcji, przetwórstwa czy pakowania żywności, aż po wytwarzanie nowych materiałów funkcjonalnych, obróbkę żywności i kontrolę jej przechowywania [1].

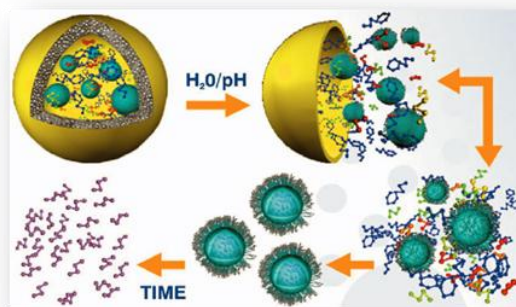
### 2. Wytwarzanie i rodzaje nanocząstek i nanomateriałów w technologii żywności

Głównym celem stosowania technologii w wymiarach nano jest dążenie do poprawy tekstury produktów oraz wprowadzanie składników funkcjonalnych [1,2,4]. Do uzyskania struktur określanymi mianem nanocząstek można stosować metody fizykochemiczne (rozdrabnianie mechaniczne, odparowanie rozpuszczalnika, odsalanie, elektro-natryskiwanie, nanowytrącanie, spontaniczną emulsyfikacja-

cję) oraz metody biologiczne np. z wykorzystaniem wirusów, bakterii, grzybów pleśniowych, roślin [2,6,7]. Jednym z powszechnie stosowanych procesów w syntezie nanomateriałów na skalę masową jest wysokoenergetyczne mielecie. Proces ten polega na rozdrabnianiu materiału pomiędzy dwoma obracającymi się żarnami, wykonanymi ze stali bądź węgla wolframu [8]. Próbkę bez dostępu powietrza poddawana jest w młynie cyklicznym odkształceniom, co powoduje zmniejszanie się rozmiarów ziarna i tworzenie nowych granic ziaren w cząstkach proszku. Generalnie, w procesie wytwarzania nanomateriałów wykorzystuje się dwie techniki: metodę *top-down*, polegającą na redukcji wymiarów cząstek lub *bottom-up*, polegającą na budowaniu nowych struktur opartych na istniejących nanocząstkach. W zależności od tego, jakie właściwości ma mieć końcowy produkt, budulcem nanostruktur w metodzie *bottom-up* mogą być atomy, molekuly czy nanocząstki. Otrzymanie materiału o pożądanym właściwościach możliwe jest poprzez zmianę wielkości budulca, kontrolowanie cech jego powierzchni i wnętrza, a także poprzez narzucanie konkretnych warunków łączenia się nanocząstek w nanomateriał [8]. Procesy typu *bottom-up* syntezy nanostruktur dzieli się na dwie grupy: syntezy chemicznej w fazie gazowej, ciekłej lub stałej oraz ściśle kontrolowanego osadzania i wzrostu materiałów. Synteza polega na zapewnieniu ciągłego kontaktu stałych reagentów, poprzez ich mieszanie lub kruszenie przy równoczesnym podgrzewaniu układu, co ma na celu ułatwienie dyfuzji atomów. Generalnie, otrzymanie nanomateriałów za pomocą syntezy w cieple stałym jest trudne. Dyfuzja w fazie gazowej i ciekłej jest o wiele rzędów wielkości szybsza, niż w cieple stałym. Aby spowolnić szybkość rozrostu ziaren, co umożliwi otrzymanie nanomateriałów, procesy syntezy w tych fazach przeprowadza się w o wiele niższych temperaturach [8]. Olbrzymią zaletą stosowania nanocząstek i nanomateriałów jest uzyskanie większej powierzchni zewnętrznej, tym samym zwiększenie absorpcji wody, poprawę uwalniania substancji aromatycznych, zwiększenie biodostępności i przyspieszenie procesów katalitycznych. Jednocześnie większa homogenność cząsteczek zapewnia lepszą jakość produktów i ich cech funkcjonalnych. Dla przykładu stosując nanomielecie można otrzymać mąkę o wysokiej zdolności wiązania wody [2].

Wobec wielu zagrożeń zdrowia, także ze strony środowiska, zwraca się uwagę na rolę jaką odgrywa prawidłowe odżywianie w prewencji różnych chorób. Zastosowanie nanotechnologii w przetwórstwie żywności pozwala na otrzymanie produktów wzbogaconych w różne substancje, które są niezbędne do zachowania zdrowia. W ten sposób powstaje żywność funkcjonalna tj. taka, do której celowo wprowadzane są substancje funkcjonalne, dzięki czemu staje się ona codziennym źródłem dodatkowych np. witamin, antyoksydantów, kwasów tłuszczowych i innych związków, bądź też jest lepiej chroniona przed szkodliwymi czynnikami środowiska, ze względu na obecność związków zapewniających dłuższą trwałość i odporność na organizmy chorobotwórcze [1,9]. Wprowadzane do żywności substancje rzadko stosowane są w czystej postaci. Zazwyczaj osadza się je na nośnikach, które nie tylko umożliwiają ich transport do konkretnego miejsca działania, ale zabezpieczają przed rozkładem i warunkują odpowiedni stopień uwalniania [1]. Owe nośniki są podstawowym czyn-

nikiem limitującym skuteczność stosowania składników funkcjonalnych w produktach spożywczych. Powinny być kompatybilne z właściwościami produktu (smakiem, teksturą, okresem trwałości), biodegradowalne i łatwe do zastosowania [1]. Nanorozproszenia typu nanokapsułki, micelle, pęcherzyki bimolekularne tzw. liposomy, emulsje, mikrosfery oraz matryce biopolimerowe okazują się być dobrym rozwiązaniem w kwestii dostarczania różnych składników do żywności [1,2]. Konkretnymi przykładami mogą być: wprowadzanie olejków eterycznych do aromatyzowanych napojów gazowanych w postaci miceli; kapsułkowanie alfa-tokoferolu, aby ograniczyć utlenianie lipidów w oleju rybnym; kapsułkowanie liposomami glikoprotein - laktoferyny i nizyny, wydłużające trwałość produktów mleczarskich; kapsułkowanie antyoksydantów dodawanych do mielonego mięsa, w celu zapobiegania oksydacji lipidów [1,2,10]. Ciekawą formą są wymienione wcześniej mikrosfery (Ryc. 1). Podstawą ich budowy jest składnik wrażliwy na wilgoć lub pH, który w odpowiednich warunkach środowiska uwalnia swoją zawartość. Wewnątrz tej struktury znajdują się hydrofobowe, stałe nanosfery zawierające m. in. substancje aromatyczne i czynniki chłodzące, które są uwalniane na drodze dyfuzji molekularnej w określonym czasie [2]. Stosuje się je aby stopniowo uwalniać składniki z wielofunkcyjnych systemów, poprzez umieszczenie jednego ze składników w mikrosferze, a drugiego w nanosferze. Przykładem mogą tu być mikrokapsułki z kwasem foliowym i żelazem, a także kapsułki uwalniające kolejne zapachy. Takie nanosystemy wprowadzane są w celu poprawy cech sensorycznych do produktów spożywczych takich jak pieczywo, niektóre produkty mięsne, mieszanki przypraw, wyroby cukiernicze, mieszanki deserowe, napoje w proszku [2].



Ryc. 1. Budowa mikrosfery. Proces uwalniania substancji czynnych z mikrosfery [11] (reprodukcja za zgodą autorów: <http://www.foodtech-international.com/papers/application-nano.htm>).

W procesach przetwórstwa żywności wykorzystuje się również stabilne termodynamicznie w szerokim zakresie temperatur nanoemulsje, otrzymywane przy użyciu mikrofluidyzatorów czy wysokociśnieniowych homogenizatorów [1,2]. Mianem nanoemulsji pojedynczych określa się układ, w którym stopień rozdrobnienia fazy wewnętrznej wynosi mniej niż 100-500 nm, jest więc co najmniej o jeden rząd wielkości mniejszy niż w emulsjach tradycyjnych. Składają się one z fazy wewnętrznej utworzonej przez lipidowy rdzeń, następnie molekularnej warstwy środka powierzchniowo czynnego oraz zewnętrznej fazy wodnej. Cechują się

łatwością wprowadzania substancji biologicznie aktywnych, zarówno do kropelek fazy wewnętrznej, jak i do fazy rozpraszającej. Wprowadzenie składnika aktywnego do kropelek fazy rozproszonej umożliwia spowolnienie lub przyspieszenie procesu uwalniania tej substancji. Opracowano również nanoemulsje wielokrotne. Powstają one w wyniku rozproszenia kropelek emulsji klasycznej w fazie rozpraszającej. Najpopularniejsze to emulsje wielokrotne typu woda/olej/woda (W/O/W) lub olej/woda/olej (O/W/O), przy czym składniki funkcjonalne mogą być zawarte w wewnętrznej fazie wodnej lub olejowej, jak również w zewnętrznej fazie wodnej. Można więc stworzyć jedną emulsję, która służyłaby jako przenośnik dla wielu składników i nie obserwuje się przy tym zjawisk destabilizacji układu - mętnienia czy sedymentacji. Produkt końcowy jest idealnie homogenny [2,10]. Nanoemulsje mają szerokie zastosowanie w medycynie w preparatach do żywienia pozajelitowego oraz w przemyśle spożywczym przy produkcji wyrobów niskotłuszczowych, np. śmietana o małym stężeniu kuleczek tłuszczowych posiada teksturę śmietany kremówki, a czekolada i lody wydają się w smaku bardziej kaloryczne [2]. Innym przykładem szeroko stosowanej nanocząstki pochodzącej biopolimerów jest polikwas mlekowy (PLA). Jest on wykorzystywany jako nośnik leków, szczepionek oraz białek. Główną zaletą jest jego zdolność do biodegradacji, co zostało wykorzystane przy tworzeniu torebek biodegradowalnych. Jednak krótki czas eliminacji z krwi oraz tendencja do kumulacji w wątrobie i nerkach są głównymi ograniczeniami w zastosowaniu tej nanocząstki [12].

Poniżej przedstawiono przykłady wykorzystywanych obecnie zastosowań lub potencjalnie ciekawych aplikacji nanotechnologii w codziennym żywieniu [2,13-16]:

- W Australii do jednego z najbardziej popularnych rodzajów białego pieczywa dodaje się nanokapsułki zawierające kwasy omega 3, wzbogacając codzienną dietę w ten niezbędny składnik. Zastosowanie kapsulek wypełnionych olejem z tuńczyka zapewnia odpowiednią dzienną ich podaż, a dzięki kapsułkowaniu chleb nie ma rybnego posmaku.
- Na skalę przemysłową uzyskiwany jest barwnik - likopen, o średnicy cząstek w zakresie 200-400 nm. Technologia jego otrzymywania jest o wiele tańsza, niż ekstrakcja z tkanek roślinnych.

Prowadzone są także badania nad nowymi zastosowaniami, jak:

- Nowa sól kuchenna - stwierdzono [17], że jedynie 20% soli znajdującej się w chipsach jest odpowiedzialne za odczuwanie smaku słonego, bowiem tylko ta ilość ma szansę rozpuścić się na języku, zanim przekąska zostanie pogryziona i połknięta. Należy więc zastosować nanotechnologię do stworzenia kryształów NaCl szybciej się rozpuszczających i tym samym spowodować zastosowanie mniejszej ilości soli przy równoczesnym osiągnięciu jednakowo intensywnego smaku. Szacuje się, że możliwe będzie obniżenie zawartości soli w chipsach nawet o 25%.
- Wzmacniacze słodczy - testowane są substancje zwiększające intensywność słodkiego smaku fruktozy, sukralozy (sztucznego słodzika o zerowej kaloryczności) oraz sacharozy. Badacze twierdzą, że możliwe będzie zwiększenie odczuwania tego smaku o 50% [18].

- Inhibitory goryczy. Smak gorzki jest istotnym problemem producentów żywności i leków. Konsumenci i pacjenci nie lubią goryczy i często utożsamiają go z żywnością o nieodpowiedniej jakości. Zaprojektowano więc substancję (GIV3727) blokującą receptory odpowiedzialne za odczuwanie gorzkiego smaku jaki mają popularne słodziki, np. acesulfam K [19].

- Substytuty tłuszczu. Przykładem może być preparat, składający się w 9% z tłuszczu roślinnego, w 29% ze skrobi kukurydzianej i w 62% z wody [20]. Składniki te wymieszane są w taki sposób, że emulsja jest stabilizowana przez skrobiowe mikrokapsułki i przybiera formę płynu, żelu lub proszku. Producent deklaruje, że nowy preparat może znaleźć zastosowanie w potrawach mięsnych (nadaje soczystość), w zupach, a także deserach. Zastosowanie nanotechnologii umożliwia więc powstanie żywności mniej kalorycznej, a jednocześnie trwałej, o dobrym smaku i konsystencji.

- Nanomajonez. Technologia otrzymywania „nanomajonezu” została już opracowana w teorii, ale nadal nie jest sprawdzona w praktyce. Proces tworzenia tego produktu polegałby na wypełnieniu mikrokropelek tłuszczu nanokropełkami wody [4].

### 3. Nanotechnologia a opakowania żywności

Żywność, zarówno przetworzona, przeznaczona do bezpośredniego spożycia, jak i zakupiona w stanie tzw. surowym, musi być w odpowiedni sposób opakowana. Producent żywności wiąże wielkie nadzieje z wprowadzeniem osiągnięć nanotechnologicznych na etapie produkcji materiałów opakowaniowych, jak i samych opakowań. Do materiałów zalicza się: tzw. *nanotaggant* czyli nanocząstki wielowarstwowe, kolorowego plastiku, które są dodawane do opakowań w celu ustalenia źródła pochodzenia a także producenta oraz węglowe nanowłókna wykorzystywane w produkcji wzbogacanych tworzyw plastikowych o małej masie, większej wytrzymałości i niskich kosztach produkcji [2]. Przykładem zaś samych opakowań w skali nano mogą być nanolaminaty. Są to cienkie, jadalne, wielowarstwowe filmy o grubości rzędu 1-100 nm, których funkcją jest ochrona żywności przed wilgocią, tłuszczami i gazami. Składają się z dwóch lub więcej powłok materiału, połączonych ze sobą w sposób chemiczny lub fizyczny. Właściwości nanolaminatów zależą przede wszystkim od rodzaju substancji służącej do ich utworzenia. Nanolaminaty mogą wpływać na poprawę cech teksturalnych żywności, mogą być nośnikami barwników, aromatów, antyoksydantów, składników żywieniowych i bakterioobójczych. Powłoki jadalne są obecnie stosowane na owocach, warzywach, mięsie, czekoladzie, słodyczach czy pieczywie [2]. Z kolei tzw. opakowania inteligentne, reagujące na zmiany najbliższego otoczenia, mogą poprawić bezpieczeństwo i jakość produktów. Opakowanie inteligentne nazywane jest opakowaniem indykatorem, bo zawiera składniki będące wskaźnikami lub czujnikami, które kontrolują warunki w zapakowanej żywności i informują konsumenta o stanie jakościowym produktu. Przydatność do spożycia określają wskaźniki bazujące na zmianie barwy, temperatury, wilgotności czy poziomu tlenu [2]. Innym rodzajem opakowań są „aktywne” opakowania, które mają zdolność interakcji z produktem, np. zawierają pochłaniacze tlenu, mogące zredukować jego ilość do optymalnego poziomu, przy jednoczesnym wytwor-

rzaniu CO<sub>2</sub>. Ponadto zapobiegają wgnieceniom opakowania. Opakowania aktywne efektywnie wydłużają trwałość żywności [2]. Konkretnymi przykładami zastosowań praktycznych są opakowania z kapsułkowanymi substancjami bakteriobójczymi w plastikowych opakowaniach świeżego mięsa, opakowania z tuszem zawierającym nanocząstki wrażliwe na światło, opakowania z nanokodami kreskowymi czy nanozabezpieczenia przed różnego typu zafalszowaniem oryginalnego produktu [2].

#### 4. Nanotechnologia a kontrola jakości i bezpieczeństwa żywności

Monitorowanie żywności w skali nano to precyzyjne wykrywanie obecności pozostałości związków szkodliwych: metali ciężkich, antybiotyków, toksyn, gazów trujących oraz drobnoustrojów patogennych. Zastosowanie nanotechnologii umożliwia szybką identyfikację różnych wariantów GMO, zafalszowań żywności obcym białkiem, badanie ekspresji genów i sekwencjonowanie określonego DNA. Skala „nano” w zabezpieczeniach żywności umożliwia właściwie śledzenie historii danego składnika od momentu jego zebrania [3].

Taką kontrolę można realizować poprzez zastosowanie:

**Nanobiosensorów** - czyli sensorów umożliwiających identyfikację substancji chemicznych i biologicznych, na podstawie wiązania nawet pojedynczej cząsteczki. Stosowane są one do szybkiej identyfikacji mikroflory patogennej w żywności, wodzie pitnej oraz otaczającym środowisku (naturalnym i produkcyjnym). W jednym nanosensorze można umieścić tysiące nanocząsteczek, które mają zdolność rozpoznawania RNA patogenów. Umożliwiają także monitorowanie przebiegu procesów technologicznych (jak ubytek substratu, kinetyka procesu).

**Nanomateriałów** - są to m.in. nanorurki znajdujące zastosowanie jako chipy oraz nanomembrany o nanoporach i bioselektywnej powierzchni (używane jako nanofiltry do selektywnego wyróżniania molekuł na podstawie kształtu oraz rozmiaru w celu usuwania toksyn).

**Nanobiorobotów** - czyli zaprogramowanych struktur lub kompozycji elektronicznie wykonanych w nanoskali z nowych typów materiałów (np. włókien węglowych lub biopolimerów w formie nanomembran) z udziałem mikroskopu atomowego. Wykorzystuje się tu m.in. technikę lab-on-a-chip (są to miniaturowe urządzenia, których zadaniem jest przeprowadzenie standardowych procedur i reakcji laboratoryjnych, ich podstawę stanowią mikrochipy). Dzięki nim można sterować i kontrolować procesy wewnątrzkomórkowe, dokonać sekwencjonowania genów, hybrydyzacji (genetyczna rekombinacja lub identyfikacja) na biochipie czy elektronicznie identyfikować toksyczne związki lub patogeny, a następnie sygnalizować potencjalne zagrożenie dla zdrowia.

**Nanobioreceptorów** - zawierających znakowane cDNA do identyfikacji obcego DNA lub kompatybilne DNA do sekwencjonowania genów [3].

#### 5. Kierunki rozwoju dla nanożywności

Rozwój nanotechnologii w przemyśle spożywczym jest ściśle zależny od rozwoju wielu dziedzin naukowych, które łączy wspólny cel: miniaturyzacja, a więc możliwość zaprojektowania złożonych funkcjonalnie struktur w skali nano.

Nowe metody badawcze oraz specjalistyczny sprzęt (mikroskop skaningowy tunelowy, mikroskop sił atomowych) umożliwiają osiągnięcie tego celu [2]. Można wyróżnić dwa główne kierunki rozwoju nanotechnologii w produkcji żywności. Po pierwsze, jest to wytwarzanie nowych produktów, czyli:

- „interaktywnej” żywności o odpowiednich cechach sensorycznych dostosowanych do oczekiwań konsumenta,
- „spersonalizowanej” żywności, czyli indywidualne podejście do żywności, poprzez próby wyznaczania zależności pomiędzy genetyką, dietą a zdrowiem konkretnej osoby,
- „inteligentnej żywności”, której zadaniem będzie dostarczanie do organizmu tylko tych składników, które występują w ilości deficytowej lub są niezbędne do określonych procesów, a których uwalnianie będzie zależne od obecności odpowiednich markerów w organizmie. „Inteligentna” żywność, miałaby samodzielnie dostosowywać się do potrzeb żywieniowych konsumenta oraz chronić go np. przed składnikami, na które jest uczulony [1-3].

Po drugie, jest to wytwarzanie produktów bezpiecznych pod względem zdrowotnym, poprzez poszukiwanie nowych technik kontroli, czy nowych opakowań, zapewniających odpowiednią ochronę żywności [2].

Podsumowując, korzyści z zastosowania nanotechnologii w przetwórstwie żywności w niedalekiej przyszłości są ogromne, wiążą się bowiem z udoskonalaniem przetwórstwa żywności, sposobu jej pakowania, bezpieczeństwa, polepszeniem cech organoleptycznych i wartości odżywczej, intensyfikacją produkcji i opłacalności i wreszcie stworzeniem żywności funkcjonalnej dostarczającej codziennie odpowiednich składników, a nawet leków.

#### 6. Stan prawny

Jak w przypadku każdej nowej technologii, niezmiernie istotną sprawą są jasne regulacje prawne. Na chwilę obecną brakuje precyzyjnych przepisów dotyczących nanomateriałów. W rozporządzeniu REACH z 2006 roku, regulującym wprowadzanie na rynek UE substancji chemicznych, znalazły się niedoskonałości w podejściu do nanomateriałów dotyczące m. in. identyfikacji i klasyfikacji substancji [8,21]. Ponadto, brakuje ogólnej metody właściwej oceny zagrożeń. Nie przygotowano również przepisów dotyczących odpadów, czy też dopuszczalnych wartości emisji ze spalania (specjalne kryteria powinny być wymagane np. dla nanorurek węglowych, trwałych w bardzo wysokich temperaturach) [8,22]. Przykładowo, według Rozporządzenia REACH z 2006 r. [21] ocena narażenia jest obowiązkowa dla substancji produkowanych w ilości powyżej 10 ton rocznie oraz jeśli stwierdzono, że odpowiadają one kryteriom klasyfikacji jako niebezpieczne. Niestety, dziś nie można określić ryzyka związanego z nanomateriałami. Ponadto, biorąc pod uwagę ich rozmiary, nanomateriały prawdopodobnie nie przekroczą progów wymaganego w rozporządzeniu tonażu. Kolejnym przykładem jest przepis mówiący o tym, że wymaga się powiadomienia o substancjach w wyrobach jeśli „są to substancje wzbudzające szczególnie duże obawy, znajdujące się na liście substancji kwalifikujących się jako niebezpieczne, występują w stężeniach powyżej 0,1% wagowych w wyrobie, oraz całkowitej ilości stanowiącej ponad jedną tonę w tych wyrobach na producenta rocznie.” Obecnie żaden nanomateriał nie kwalifiku-

je się na tak sformułowaną listę substancji niebezpiecznych. W tym przypadku również próg stężenia najprawdopodobniej nie zostanie przekroczony. Wyroby nie będą więc musiały być w ogóle zgłaszane [8]. Istotne jest, żeby wraz z rozwojem nanotechnologii precyzyjnie zredagować odpowiednie przepisy prawne, aby uniknąć nadużyć, które mogłyby skutkować zagrożeniem dla ludzi. W pierwszej kolejności należy uwzględnić fakt stosowania tych technologii w ustawach dotyczących żywności (szeroko rozumianej, czyli środków spożywczych, substancji dodatkowych do żywności, produktów paszowych wyprodukowanych z organizmów zmodyfikowanych genetycznie), następnie zagadnienia dotyczące ochrony pracowników, jakości powietrza, wody, odczynników chemicznych i odpadów.

W związku z brakiem precyzyjnych przepisów prawnych za niewątpliwymi zaletami stosowania nanotechnologii mogą kryć się również olbrzymie zagrożenia i problemy. Polegają one przede wszystkim na nieznanym właściwości nanocząsteczek wynikającej z ich niedużych wymiarów. Może to spowodować szereg problemów związanych z ich produkcją, złomowaniem, obchodzeniem się z nimi, przechowywaniem czy transportem [8]. Przewidywanie właściwości tych cząsteczek jest trudne, gdyż wymaga znajomości zarówno fizyki klasycznej jak i mechaniki kwantowej. Bardzo istotnym potencjalnym zagrożeniem jest brak wystarczających danych toksykologicznych i ekotoksykologicznych na temat wpływu nanocząsteczek na organizm ludzki oraz zwierzęcy, a także środowisko naturalne. Przeprowadzone badania *in vivo* i *in vitro* są badaniami krótkoterminowymi, podczas gdy wpływ nanocząsteczek należałoby szacować długoterminowo [5,22,23]. Ponadto, w chwili obecnej nie wiadomo, jakie cechy nanocząsteczek mogą pozwolić na zakwalifikowanie ich jako zagrażających zdrowiu. Nie poznano mechanizmów oddziaływania nanocząsteczek na organizm ludzki. Nie wiadomo czy oceniając „nanoryzyko”, przede wszystkim wziąć pod uwagę skład chemiczny, wielkość powierzchni, reaktywność, liczbę cząstek, a może ich strukturę [8]. Także nieznanym jest sposób bezpiecznego utylizowania odpadów zawierających nanomateriały. Należałoby zacząć od modyfikacji w przepisach prawnych, polegającej na opracowaniu odpowiedniego wykazu „nanoodpadów”. Następnie należy unowocześnić kryteria przyjmowania odpadów na składowiska, jak również kryteria dopuszczalnych wartości emisji, dotyczących powietrza i wody, uzupełniając pomiary oparte na masie modelami pomiarowymi opartymi na wielkości powierzchni lub liczbie cząstek, tak aby lepiej uwzględnić właściwości nanomateriałów [8,24,25].

## 7. Podsumowanie

Niezwykłe możliwości i postęp w dziedzinie nanotechnologii sprawiają, że coraz więcej nanocząsteczek dostaje się do środowiska i organizmu człowieka. Obowiązujące aktualnie przepisy krajów Wspólnoty Europejskiej właściwie nie obejmują nanomateriałów, a dla większości tych produktów nie można zastosować sprawdzonych już metod wykorzystywanych w ocenie toksyczności czy ekotoksyczności i tym samym ocenić ryzyko zagrożenia. W związku z tym pojawiają się też bardziej radykalne opinie, że dalszy rozwój nanotechnologii powinien ulec zahamowaniu do czasu dokonania właściwej oceny oddziaływania nanomateriałów i nanotechnologii na zdrowie ludzkie i środowisko

naturalne. Wydaje się więc, że oprócz promowania nanotechnologii istnieje konieczność prowadzenia konsultacji społecznych na temat jej przyszłości.

## 8. Wykaz skrótów

DNA	- kwas deoksyrybonukleinowy
W/O/W	- emulsje wielokrotne: woda/olej/woda
O/W/O	- emulsje wielokrotne: olej/woda/olej
PLA	- kwas L-polimlekowy
GMO	- Genetically Modified Organism
WE	- Wspólnota Europejska
REACH	- Registration, Evaluation and Authorisation of Chemicals (rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (WE))
EWG	- Europejska Wspólnota Gospodarcza

## 9. Bibliografia

- Ozimek L., Pospiech E., Narine S.: Nanotechnologies in food and meat processing. *Acta Sci. Pol., Technol. Aliment.* 2010; 9[4]: 401-412.
- Jakubczyk E.: Nanotechnologia w technologii żywności. *Przemysł Spożywczy*, 2007; 4: 16-22.
- Kurzydłowski K.J.: Nanotechnologia jako priorytet polityki naukowo-badawczej UE i Polski. Wydział Inżynierii Materiałowej Politechniki Warszawskiej MATERIALS DESIGN DIVISION (<http://ntfp2020.pb.edu.>)
- <http://www.lauf.pl/nano.htm>
- Dietl T.: Nanotechnologie przyszłości., *Polska Akademia Umiejętności, Prace Komisji Zagrożeń Cywilizacyjnych*, 2006; 7: 15-28. ([http://www.ifpan.edu.pl/SL-2/articles/Dietl\\_PAU\\_KOM\\_ZAGR\\_06.pdf](http://www.ifpan.edu.pl/SL-2/articles/Dietl_PAU_KOM_ZAGR_06.pdf))
- Kanchana A., Agarwal I., Sunkar S., Nellore J., Namasivayam K.: Biogenic silver nanoparticles from spinach *oleracea* and *lactuca sativa* and their potential antimicrobial activity. *Digest Journal of Nanomaterials and Biostructures.* 2011; 6 [4]: 1741-1750.
- Maliszewska I.H., Puzio M.: Extracellular biosynthesis and antimicrobial activity of silver nanoparticles. *Acta Phys. Polonica A.* 2009; 116: 160-162.
- Kelsall R.W., Hamley I.W., Geoghegan M.: *Nanotechnologie*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2008.
- Pacholczyk A., Terzyk A.P., Wiśniewski M.: Perspektywy zastosowania nowych nanomateriałów węglowych w kontrolowanym uwalnianiu leków. *Wiadomości chemiczne.* 2010; 64: (1-2): 23-44.
- Zboińska E., Zielińska K., Piechowska J., Wilk K.: Antybakteryjna aktywność nizyny enkapsułkowanej w mikroemulsjach typu woda-w-oleju. IV Krajowa Konferencja Nanotech-nologii NANO 2010.
- <http://www.computescotland.com/nems-new-manufacturing-research-for-jaded-industries-2996.php>
- Riley T., Govender T., Stolnik S., Xiong C.D., Garnett M.C., Illum L., Davis S.S.: Colloidal stability and drug incorporation aspects of micellar-like PLA-PEG nanoparticles. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces.* 1999; 16[1]: 147-159.
- <http://www.focus.pl/nauka/zobacz/publikacje/nano-na-jezyku/>
- Nowak M.: Rewolucyjna nanotechnologia. *Ekopartner*, 2008; 2(196): 30-31.
- Smoderek K.: Sposoby wykorzystywania żywności w biotechnologii, nanotechnologii oraz leczeniu. Korzyści i zagrożenia. *Materiały Czytelni On-line / Baza Artykułów, Centrum Ekologii Człowieka i Bioetyki w Warszawie*, 2009. <http://www.cecib.uksw.edu.pl>.
- Snopczyński T., Góralczyk K., Czaja K., Struciński P., Hernik A., Korcz W., Ludwicki J.K.: Nanotechnologia - możliwości i zagrożenia. *Roczn. PZH*, 2009; 2 (60):101-111.
- <http://www.pepsico.com>

18. <http://www.senomyx.com>
19. <http://www.redpointbio.com>
20. <http://www.nutrigrasusa.com>
21. 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) i utworzenia Europejskiej Agencji Chemikaliów, 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 dyrektywy Komisji 91/155/EWG, 93/67/EWG, 93/105/WE i 2000/21/WE. <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=L:2007:136:0003:0280:pl:PDF>
22. Maliszewska - Mazur M.: Nanotechnologia - nowe wyzwania, nowe możliwości i nowe problemy. *Ochrona Środowiska i Zasobów Naturalnych*, 2010; 45: 153-161.
23. El-Temsah Y.S., Joner E.J.: Impact of Fe and Ag nanoparticles on seed germination and differences in bioavailability during exposure in aqueous suspension and soil. *Environ. Toxi-col.* 2012; 27[1]: 42-49.
24. Nanonauka i nanotechnologia. Plan działań dla Europy na lata 2005-2009. Drugie sprawozdanie z realizacji za lata 2007-2009 KOM (2009) (INI). <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2009:0607:FIN:PL:PDF>
25. Aspekty regulacyjne nanomateriałów: Rezolucja Parlamentu Europejskiego, 2008/2208(INI) <http://eurlex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:C:2010:184E:0082:0089:PL:PDF>