

# Nanotechnologia w życiu człowieka

## Nanotechnology in human's life

**Janusz Leszek Sokół**

Katedra Zarządzania Produkcją, Politechnika Białostocka

### **Abstract**

The paper presents a short historical background concerning the development of nanotechnological science and its current application in various fields of science. Attention was paid mainly to the use of nanomaterials in agriculture and medicine, and to a lesser extent – in environmental protection, food production and cosmetology.

**Keywords:** nanomaterials, agriculture, medicine

### **Wstęp**

Nanotechnologia jest obecnie najszybciej rozwijającą się interdyscyplinarną dziedziną nauki. Łączy w sobie takie dziedziny jak: fizyka, chemia, biologia, biotechnologia, medycyna, farmacja, informatyka czy inżynieria. Już od ponad pół wieku ucieleśnia marzenia naukowców o możliwości przebudowy świata od poziomu atomów w górę, poprzez manipulacje na poziomie atomowym, pozwalające transformować i konstruować nowe materiały, urządzenia, żywe organizmy i układy technologiczne. Jednym z głównych czynników powodujących tak duże zainteresowanie w świecie nanotechnologią jest to, że odnosi się ona do materiałów na poziomie molekularnym, które często charakteryzują się właściwościami diametralnie innymi niż mają je materiały wyjściowe, normalnych rozmiarów (Davies 2006).

Celem pracy było dokonanie przeglądu piśmiennictwa na temat zastosowania najnowszych osiągnięć nanotechnologii w wybranych sferach życia człowieka. Przede wszystkim skoncentrowano się na omówieniu niektórych nanomateriałów i ich wykorzystaniu w takich dziedzinach, jak rolnictwo i medycyna.

## 1. Historia nanotechnologii

Pierwszym wizjonerem nanotechnologii był Amerykanin Richard Feynman, przedstawiający już w 1959 r. wizję świata, w którym naukowcy łącząc pojedyncze atomy wybranych pierwiastków budują dowolne struktury materii, tworząc tzw. inżynierię w bardzo małej skali, na poziomie atomowym. Twierdzeniem tym wywołał prawdziwą rewolucję wśród uczonych, którzy po wielu konferencjach i dyskusjach potwierdzili tezę fizyka – noblisty. Termin „nanotechnologia” w zasadzie nie był znany aż do 1974 r., kiedy badacz Uniwersytetu Tokio w Japonii, Norio Taniguchi użył go po raz pierwszy w odniesieniu do możliwości projektowania materiałów właśnie na poziomie nanometrów (Rathjen, Read 2005). W 1977 roku Eric Drexler, odnosząc się do słynnego przemówienia Richarda Feynman’a, dostrzegł perspektywy jakie daje proces fizycznej „mechanosyntezy”, co zaowocowało wizją stworzenia mikroskopijnego urządzenia, chwytającego atomy i układającego je według zadanego programu, który nazwano asemblerem. Następnym etapem w rozwoju nanotechnologii było skonstruowanie przez Gerda Binniga i Heinricha Rohrera tunelowego mikroskopu skaningowego (STM, ang. Scanning Tunneling Microscope), który umożliwił uzyskanie obrazu ze zdolnością rozdzielczą rzędu pojedynczego atomu. Kolejny przełom przyniosło odkrycie fullerenów, stanowiących nową odmianę alotropową węgla, a następnie otrzymanych na bazie fullerenów – nanorurek węglowych, które dały wiele podstawowych informacji na temat wiązań między atomami węgla oraz właściwości nanostruktur węglowych. Poszczególne odkrycia stanowiły sugestię do podjęcia kolejnych badań nad wytwarzaniem nanocząstek, czyli cząstek pierwiastków i związków chemicznych o wielkości w skali nano, określeniem ich właściwości biologicznych oraz możliwości zastosowania w różnych dziedzinach życia.

Pół wieku od wspomnianych stwierdzeń wizjonerskich Feynmana, obietnica nanotechnologii stała się rzeczywistością i to nie tylko w laboratoriach świata, ale też w życiu codziennym. Opracowywane nanomateriały zaczyna się traktować jako zupełnie nową klasę materiałów, zaś nanotechnologia staje się rewolucją przemysłową (Czyż i in. 2011).

W odniesieniu do żywych organizmów, nanotechnologia w sprzężeniu z biotechnologią (nanobiotechnologia) bada i kontroluje struktury, procesy oraz funkcje systemów biologicznych w nanoskali, to jest obiekty poniżej 100 nm. Nanometr stanowi jedną miliardową część metra ( $1 \times 10^{-9}$  m). Do cząstek o wielkości nazywanej mianem „nano” zaliczyć można na przykład: 10 atomów wodoru ułożonych jeden obok drugiego, atom tlenu, helisę DNA, czy też małe wirusy. Struktury takie

jak bakterie, mitochondrium, czy komórki, które są już znacznie większe, nie należą do elementów o „nano” wielkości.

## 2. Nanomateriały

Nanomateriały to związki, czy też pierwiastki rozdrobnione do wielkości poniżej 100 nm, mające inną w porównaniu do podstawowego materiału z którego pochodzą strukturę atomową, posiadają też inne właściwości fizyko – chemiczne i biologiczne. Można je podzielić na: zerowymiarowe (nanomateriały punktowe), jednowymiarowe (nanopłytki, ultra cienkie warstwy, materiały wielowarstwowe), dwuwymiarowe (nanorurki, nanowłókna, nanodruki, nanopręty) oraz trójwymiarowe, inaczej nanokrystaliczne (nanocząstki). Ich wykorzystanie pozwoli na kontrolę struktury materii na poziomie atomowym i molekularnym oraz opracowanie skutecznego sposobu ich wytwarzania i praktycznego wykorzystania.

Obecnie, użycie nanokonstrukcyjnych rozwiązań jest szeroko rozpowszechnione w wielu dziedzinach nauki i życia codziennego, między innymi w elektronice, optoelektronice, biomedycynie, farmaceutyce, kosmetyce, energetyce, czy monitoringu środowiska. Do jednych z najważniejszych nanomateriałów należą nanorurki, fulereny, kropki kwantowe, nanopianki, nanotaśmy, nanoklastry, nanomyszki, a zwłaszcza nanocząstki.

F u l e r e n y stanowią nową odmianę allotropową węgla. Tworzą zamkniętą, regularną i pustą w środku kulę, elipsoidę lub rurkę. Mogą zawierać od 20 do 960 atomów węgla, przy czym największą stabilność spośród wszystkich fulerenów posiada cząsteczka zawierająca 60 atomów węgla, mająca kształt pustego dwudziestościanu ściętego (kulista klatka węglowa zawierająca 12 pięciokątów i 20 sześciokątów). Fulereny mogą służyć jako składniki mieszanek polimerowych. W procesie fotopolimeryzacji można otrzymać dimery, trimery lub większe usieciowane powłoki fulerenowe (Chen i wsp. 1998).

Na bazie fulerenów otrzymuje się n a n o r u r k i. Mają one postać otwartych lub zamkniętych cylindrów o średnicy rzędu od jednego do kilku nanometrów i długości nawet kilkunastu centymetrów (Jia i in. 2005). Fulereny i nanorurki odznaczają się niezwykłymi cechami fizyko – chemicznymi, są twarde jak diament, elastyczne, sprężyste, wytrzymałe na zrywanie i zgniatanie, są bardzo dobrymi przewodnikami ciepła, co stwarza perspektywę ich szerokiego wykorzystania w wielu dziedzinach techniki. Dzięki temu, że są wewnątrz puste znajdują zastosowanie jako magazyn różnych substancji, na przykład niektórych leków lub aromatów, chroniąc je przed niekorzystnym działaniem czynników zewnętrznych

(Kostarelos i in. 2007). Nanorurki węglowe mają dużą powierzchnię i są czułe na oddziaływania sił międzycząsteczkowych, dlatego mogą stanowić napelniający wzmacniacz dla kompozytów polimerowych. Przypuszcza się, że nanorurki mogą odgrywać podobną rolę jak krzem w półprzewodnikach, dlatego przemysł elektroniczny i inne dziedziny techniki wiążą z tym materiałem olbrzymie nadzieje.

**N a n o k l a s t r y** to struktury posiadające co najmniej jeden wymiar, wielkość od 1 do 10 nanometrów oraz liczbę atomów od 2 do 1000. Wraz ze wzrostem liczby atomów zmieniają się ich właściwości. Nanoklasy są pośrednim stanem materii między cząsteczkami i ciałami stałymi. Ich tworzenie polega na układaniu podstawowych atomów w sposób naturalnie nie występujący w przyrodzie, przy pomocy wiązki lasera na stworzonej uprzednio matrycy. W ten sposób powstają materiały o ściśle określonej budowie i właściwościach optycznych, magnetycznych, katalitycznych (Bromley 2011). Dzięki tej technologii, możliwe jest również tworzenie struktur z dodatkami molekuł DNA, białek, czy nanocząstek metali (Bielecki, Kalinowska 2003). Struktury te są stabilne zarówno w roztworze wodnym, jak i w postaci ciała stałego, więc ich przechowywanie nie jest problematyczne.

**N a n o t a ś m y** to jednowymiarowe materiały o sprecyzowanym składzie chemicznym, strukturze krystalicznej i powierzchni. Powstają najczęściej z jednego związku chemicznego, na przykład tlenków cyny, cynku, ołowiu. Posiadają unikalne właściwości, dzięki którym mogą być wykorzystywane jako czujniki gazowe, nanorezonatory, czy nanowsporniki (Wang 2004).

**N a n o p i a n k a** to nowa krystaliczna odmiana węgla odkryta w 2004 roku przez australijskich naukowców z uniwersytetu w Canberze, która w przeciwieństwie do pozostałych odmian alotropowych, bezpośrednio po wytworzeniu wykazuje właściwości magnetyczne. Ze względu na to, że nanopianka jest wyraźnie widoczna w badaniu za pomocą rezonansu magnetycznego, może znaleźć zastosowanie jako środek kontrastujący przy badaniach obrazowych mózgu (Liu 2006). Dzięki własnościom magnetycznym możliwe będzie jej wykorzystanie w leczeniu nowotworów poprzez wstrzyknięcie substancji w zmienione chorobowo miejsce, a następnie naświetleniu promieniowaniem podczerwonym komórek guza, które ulegałyby przegrzaniu (McNeil 2005). Inne właściwości nanopianki pozwolą na jej zastosowanie jako materiału budowlanego. Jest ona jednym z najlżejszych ciał stałych, stanowi znakomitą izolację cieplną, jest bardzo odporna na chemikalia i wysokie temperatury.

**N a n o m u s z e l k i** (ang. nanoshells) to nanocząstki zbudowane z krzemowego centrum, otoczonego cienką warstwą atomów złota, które absorbują i rozpraszają fale świetlne o określonej długości w zakresie widzialnym i bliskiej podczerwieni. Można do nich przyłączyć przeciwciała specyficzne wobec komórek

rakowych (po uprzednim związaniu tych przeciwciał z glikolem polietylenowym), dzięki czemu po wprowadzeniu do organizmu (dożylnie) kierują się wybiórczo do ich wnętrza. Naświetlanie falami o odpowiedniej długości, np. 800 nm, powoduje, że wewnątrz komórek rakowych silnie się nagrzewa, co prowadzi do ich zniszczenia (Roco 2003).

**K r o p k i k w a n t o w e** (Quantum Dots) to stabilne cząstki, o wielkości 1-12 nm, zbudowane najczęściej z materiału o właściwościach półprzewodnika oraz z kadmu, selenu lub złota. Wykazują możliwość emitowania światła pod wpływem wzbudzenia ich określoną wiązką promieniowania. Kropki kwantowe absorbują promieniowanie podczerwone. Cechuje je ogromna stabilność i brak toksyczności w porównaniu do większości barwników fluorescencyjnych, a także silna luminescencja, często kilkaset razy silniejsza od tradycyjnych rozwiązań (Chan, Nie 1998).

**N a n o c z ą s t k i** to struktury o wielkości poniżej 100 nanometrów posiadające tylko jeden wymiar. Mają one wyjątkowe właściwości ze względu na dużą powierzchnię w stosunku do masy, co zwiększa ich reaktywność. Najbardziej znane nanocząstki to tlenek żelaza, tlenek cynku, tlenek manganu, a zwłaszcza nanocząstki metali szlachetnych (Jo i in. 2011).

Nanocząstki wykazują zróżnicowany stopień uporządkowania w całej objętości materiału, który tworzą. Mogą tworzyć uporządkowaną strukturę krystaliczną, ciała amorficzne lub szkliste złożone z niezorganizowanych atomów. Nanocząstki o strukturze krystalicznej mogą być monokryształami lub składać się z losowo ułożonych kryształów lub ziaren, co ma wpływ na właściwości fizyczne materiału. Właściwości ciał stałych są rezultatem granic międzyziarnowych, a zmniejszenie wymiaru struktury materiału z klasycznego do nanometrycznego, może powodować zmianę właściwości (Suwanboon, Chukamnerd 2007).

Reaktywność niektórych substancji w dużym stopniu zależy od stopnia jej rozdrobnienia. Nanocząstki ulegają procesom, których nie można zaobserwować w układach makroskopowych, na przykład rozpuszczalność niektórych form leków w wodzie jest możliwa tylko u nanocząstek. Działanie nanocząstek jako katalizatorów jest ściśle związane z rozmiarem ziaren, które mogą zwiększać szybkość, selektywność i wydajność reakcji chemicznych (Wawro 2011).

### 3. Wykorzystanie nanomateriałów w wybranych sferach życia człowieka

#### 3.1. Nanomateriały w rolnictwie

Nanotechnologia umożliwiła wprowadzenie do upraw nowych, potencjalnie skutecznych pestycydów, regulatorów wzrostu roślin i chemicznych nawozów. Nanomateriały mogą być również narzędziem do manipulacji w terapii genowej, zatem nie wykluczone, że wzrośnie liczba modyfikowanych roślin. Firmy agrochemiczne (np. amerykańska firma IBC, Sarasota-Floryda) opracowały metodę dalszego zmniejszania wielkości cząsteczek, np. emulsji chemicznych do rozmiarów nanoskali i zaprojektowały nanokapsułki, które z założenia mają w odpowiednich warunkach pękać, a substancja w nich zawarta uaktywniać się (np. podczas światła słonecznego) (Perez-de-Luque 2009). Nanokapsułki mogą zawierać stymulatory wzrostu lub inne biologiczne środki i uwalniać stopniowo te aktywne składniki. Podobne nanokapsułki i nanoemulsje opracowano w sektorze żywności, stosując je np. w opakowaniach (Schwarz i in. 2011). Na rynku dostępne są również preparaty zawierające nanocząstki przeciw szkodnikom. Przykładem może być produkcja feromonów przez IBC do zwalczania mszyc. Stosuje się również środki grzybobójcze i zaprawy nasienne z zastosowaniem nanomateriałów (Miller 2008).

Nanobiotechnologia oferuje nowy zestaw narzędzi do manipulowania genami roślin i zwierząt za pomocą nanocząstek, nanokapsułek i nanowłókien zamiast wektorów wirusowych. Istnieje też możliwość kontroli uwalnianego DNA w docelowym miejscu, a ponadto zmieniania DNA niektórych roślin uprawnych (Perez-de-Luque 2009). Przykładowo, spowodowano już doświadczalnie zmianę koloru ryżu z purpurowego na zielony, a także wyhodowano odmianę ryżu, która może być uprawiana przez cały rok, uzyskując przy tym poprawę kolorytu ziarna. Istnieją także doniesienia o poddaniu genetycznym zmianom złotego ryżu na skutek dodatku nanowłókien węglowych zawierających obce DNA (Miller 2008).

Nanotechnologia znalazła również zastosowanie w produkcji zwierzęcej i związanymi z nią problemami zanieczyszczania środowiska naturalnego, np. emisją nieprzyjemnych odorów i gazów wpływających na globalne ocieplenie. Najefektywniejsze w tym względzie wydaje się stosowanie roztworów powłokowych o działaniu katalitycznym. Wkomponowane w strukturę tych roztworów nanocząstki, na przykład srebra, ujawniają nieznane dotychczas właściwości. Powłoki katalityczne stymulują reakcje utleniania i redukcji na ich powierzchni i w bliskim sąsiedztwie. W budynkach inwentarskich utlenianie można wykorzystać do dezodoryzacji, a reakcje redukcji do ograniczania emisji amoniaku i tlenków azotu. Zastosowanie tlenków katalitycznych z udziałem nano-Ag umożliwi uzyskanie efektu katalitycznego bez dostępu światła oraz wzmacnia funkcję bakteriobójczą

i grzybobójczą (Myczko 2006). Ich skuteczne wdrożenie do praktyki rolniczej poprawi dobrostan zwierząt i warunki zoohigieniczne, ograniczy uciążliwość dla otoczenia oraz zmniejszy zagrożenia środowiskowe wywoływane emisją gazów pochodzących z fermentacji jelitowej i odchodów.

### 3.2. Nanomateriały w medycynie

Zastosowanie nanotechnologii w medycynie jest niezwykle wszechstronne i daje nowe możliwości zarówno w diagnostyce, jak i leczeniu. Niektóre z tych technik są dopiero na etapie badań, część z nich jest już stosowana, a ogromna ich ilość zostanie dopiero odkryta. Zastosowanie nanotechnologii przy diagnozowaniu, monitorowaniu, kontroli i leczeniu chorób nazwano nanomedycyną.

Pierwszym przykładem wykorzystania nanotechnologii w medycynie były pęcherzyki tłuszczowe, nazwane później lizosomami, a opisane w 1965 r. Kolejne odkrycia, takie jak system uwalniania polimerów makromolekuł, kropki kwantowe, wysoce skuteczne markery oparte na osiągnięciach nanotechnologii, czy wreszcie precyzyjne narzędzia do wczesnego wykrywania i diagnozy oraz monitorowania terapii, będą miały ogromny wpływ na prowadzenie pacjenta, polepszenie komfortu jego życia i spowolnienie procesu umierania w przypadku nowotworów, czy chorób neurodegeneracyjnych, na przykład choroby Alzheimer'a (Brigger i in. 2002; Lanone, Boczkowski 2006; Shrivastava, Dash 2009).

D.K. Chatterjee i Y. Zhang skonstruowali biodegradowalne nanocząstki chitosanu zawierające kropki kwantowe o odpowiednio zmodyfikowanej powierzchni mogącej unieruchamiać zarówno czynniki znakujące raka, jak i chemokiny. Kropki kwantowe, po wstrzyknięciu przedostają się do komórek nowotworowych, które mogą zostać uwidocznione w mikroskopie fluorescencyjnym dzięki świeceniu kropek w świetle UV (Zhou, Ghosh 2007). Kropki kwantowe mogą emitować promieniowanie widzialne o każdej długości fali. Charakteryzują się niebywale symetrycznym i bardzo wąskim widmem emisji. W odróżnieniu od barwników organicznych posiadają bardzo szeroki zakres absorpcji. Mogą emitować światło od ultrafioletu do podczerwieni, co umożliwia wielowymiarową detekcję (Suren-diran i in. 2009). Dodatkowo, kropki kwantowe wykazują stałą intensywność świecenia (nie blakną). Za ich pomocą można wykrywać nie tylko komórki rakowe, ale także znakować DNA i śledzić trasę wędrówki wirusów w organizmie (Singh 2010).

Kropki kwantowe mogą być z powodzeniem stosowane jako system znacznikowy fluorescencji w detekcji drobnoustrojów. Sprzężone z aglutyniną kielków

pszenicy (WGA, z ang. wheat germ agglutinin), lektyną powszechnie występującą w komórkach bakterii Gram – dodatnich mogą wiązać się do kwasu sialowego i N-acetylglukozaminy obecnych w ścianie komórkowej (Kloepfer i in. 2003). Ponadto, mogą łączyć się z substratami, takimi jak żelazo, które jest niezbędne dla wzrostu mikroorganizmów chorobotwórczych wewnątrz gospodarza (Medintz i in. 2008).

Patogeny naturalnie zawierają receptory dla ludzkiego białkowego przenośnika – transferyny i mogą odbierać od niej żelazo. Stosując kropki kwantowe sprzężone z transferyną, które mogą być transportowane przez błony do metabolicznie aktywnych komórek *Staphylococcus aureus* wymagających obecności żelaza, można wykrywać ten drobnoustrój za pomocą wzbudzania fluorescencji. W przypadku bakterii niechorobotwórczych nie obserwuje się sygnału pochodzącego od kropek kwantowych (Medintz i in. 2008).

Kropki kwantowe mogą być łączone ze specyficznymi przeciwciałami w celu wykrywania pierwotniaków pasożytniczych, takich jak *Cryptosporidium parvum* i *Giardia lamblia*. Wyniki badań wskazują, że system znakowania kropkami kwantowymi przejawia doskonałą fotostabilność i daje od 1,5 do 1,9 – razy silniejszy sygnał niż konwencjonalne barwniki organiczne w detekcji celów mikrobiologicznych (Chan, Nie 1998).

Jednym z zastosowań nanomateriałów w medycynie jest opracowanie sposobu wykorzystania nanorurek do dostarczania właściwych substancji do właściwych typów komórek, np. leków do komórek nowotworowych. Dzięki tej metodzie lek jest dozowany w sposób ciągły w całym organizmie jednocześnie. Najczęściej w tym przypadku stosowane są nanorurki ZnO. Tlenek cynku stosowany w postaci nanocząstek wykazuje, podobnie jak srebro, silne właściwości bakterioobójcze, ale także wysuszające. Dzięki temu ZnO poza zabijaniem bakterii również wysusza ranę powodując szybsze jej gojenie.

Nanorurki mogą być również stosowane do produkcji sztucznych tkanek czy też narządów ciała. Jednym z najnowszych osiągnięć w tej dziedzinie jest stworzenie regenerującej nanołaty na zniszczone po zawale serce. Wykonano mianowicie pewnego rodzaju „rusztowanie”, w którego skład wchodziły między innymi nanorurki węglowe. Udowodniono, że na takim podłożu skutecznie namnażają się i ulegają skolonizowaniu kardiomiocyty, dając tym samym elastyczną i bardzo wytrzymałą nanołatę, którą następnie można wszczepiać do serca (Stout i in. 2011).

Badania ostatnich lat dają też nadzieję na stworzenie nanorobotów zaprogramowanych do naprawy konkretnych komórek. Mogłyby one być bardziej precyzyjne niż sprzęt wykorzystywany obecnie. Umożliwiłyby eliminację zakażeń bak-



teryjnych w ciągu kilku minut zamiast kilkutygodniowej terapii antybiotykowej. Stworzyłyby możliwość wykonywania operacji na poziomie komórkowym, usuwanie konkretnych komórek nowotworowych, a nawet naprawy zmienionych części poszczególnych komórek. W rezultacie spowodowałyby to znaczne wydłużenie życia i poprawę jego komfortu (Wojnar 2008).

### 3.3. Nanomateriały w innych dziedzinach

Nanotechnologia znalazła duże zastosowanie w produkcji kosmetyków. Wykorzystanie nanocząstek zwiększa skuteczność działania kosmetyków i ich bioprzyswajalność. Nanocząstki srebra i miedzi, ze względu na swoją aktywność biologiczną, mogą zastąpić stosowane dotychczas w kosmetykach syntetyczne środki konserwujące. Można je także dodawać do produktów przeznaczonych do higieny jamy ustnej, zapobiegających stanom zapalnym dziąseł (Kokura i in. 2010). Zastosowanie w kosmetykach znalazły również nanokapsułki, nazywane także nanonośnikami (na przykład liposomy). Istotą ich działania jest możliwość zamknięcia w otoczkach o rozmiarach nanometrycznych określonych substancji biologicznie czynnych, takich jak witaminy, olejki eteryczne, ekstrakty roślinne, co może wpłynąć na poprawę stopnia wchłaniania tych substancji przez organizm.

Wykorzystanie nanotechnologii stwarza możliwości wprowadzenia innowacji w produkcji żywności, jej obróbce, przechowywaniu i konserwacji, a także wytwarzaniu nowych produktów żywnościowych. Znane są już na przykład nanokompozyty polimerowe służące do produkcji opakowań. W przemyśle spożywczym znalazły zastosowanie także nanoemulsje, których używa się do produkcji śmietany o obniżonej zawartości tłuszczu, czy lodów i czekolady o obniżonej kaloryczności. Wdraża się również nanokapsułki, głównie liposomy i mikrosfery (Salata 2004).

Nowymi możliwościami nanomateriałów od wielu lat zainteresowani są również naukowcy zajmujący się środowiskiem, wykorzystując je na przykład do oczyszczania wód gruntowych, odsalania wody oraz oczyszczania niebezpiecznych odpadów. Wśród nanomateriałów wykorzystywanych w ochronie środowiska można wyróżnić trzy główne kategorie: produkty przyjazne dla środowiska (np. chemia ekologiczna czy zapobiegająca zanieczyszczeniom), produkty służące do oczyszczania materiałów zanieczyszczonych substancjami niebezpiecznymi oraz markery czynników środowiskowych. Produkty te są zwykle postrzegane w kategoriach substancji chemicznych, niemniej należy stwierdzić, że dotyczą one także środków biobójczych i materiałów biologicznych. Szczególnie ważną rolę nanotechnologia odgrywa w doskonaleniu metod wykrywania i unieszkodliwiania

szkodliwych czynników biologicznych, które stanowią bardzo często istotny problem środowiskowy (Czyż i in. 2011).

## Podsumowanie

Nanotechnologia jako jedna z najbardziej obiecujących dziedzin nauki, stwarza nieograniczone możliwości rozwoju wielu sfer życia człowieka. To dzięki niej, otrzymujemy zmienione struktury materiałów (nanomateriały), których właściwości fizyczne, chemiczne i biologiczne są diametralnie inne niż tych samych materiałów, ale występujących w skali makro. Te osobliwe cechy nanomateriałów stanowią o ich unikatowych właściwościach i zastosowaniu w wielu dziedzinach życia człowieka.

## Piśmiennictwo

1. Bielecki S., Kalinowska H., 2003. *Biotechnologiczne nanomateriały*. Postępy Mikrobiologii 47 (3), s. 163-169.
2. Brigger I., Dubernet C., Couvreur P., 2002. *Nanoparticles in cancer therapy and diagnosis*. Advanced Drug Delivery Reviews 54, s. 631-651.
3. Bromley S., 2011. *Nanoclusters and nanostructured materials*. Computational Materials Science Lab, s. 26-46.
4. Chan W.C., Nie S.M., 1998. *Quantum dot bioconjugates for ultrasensitive nonisotopic detection*. Science 281, s. 2016-2018.
5. Chen B.X., Wilson S.R., Das M., Coughlin D.J., Erlanger B.F., 1998. *Antigenicity of fullerenes: antibodies specific for fullerenes and their characteristics*. Proc. Natl. Acad. Sci. USA. 95 (18), s. 10809-10813.
6. Czyż K., Dobrzański Z., Patkowska-Sokoła B., Zabłocka M. 2011. *Rozwój i zastosowania nanotechnologii*. Przegl. Hod. 10, s. 32-35.
7. Davies C. 2006. *Mandatory nano-specific regulations*. www.icta.org
8. Jia G., Wang H., Yan L., Wang X., Pei R., Yan T., Zhao Y., Guo X., 2005. *Cytotoxicity of carbon nanomaterials: single-wall nanotube, multi-wall nanotube and fullerene*. Environmental Science and Technology 39, s. 1378-1383.
9. Jo D., Lee T., Kim J., 2011. *Nanotechnology and nanotoxicology In retinopathy*. Int. J. Mol. Sci. 12 (11), s. 288-301.

10. Kloepfer J.A., Mielke R.E., Wong M.S., Neelson K.H., Stucky G., Nadeau J.L., 2003. *Quantum dots as strain- and metabolism-specific microbiological labels*. Applied and Environmental Microbiology 69 (7), s. 4205-4213.
11. Kokura S., Handa O., Takagi T., Ishikawa T., Naito Y., Yoshikawa T., 2010. *Silver nanoparticles as a safe preservative for use in cosmetics*. Nanomedicine 6 (4), s. 570-574.
12. Kostarelos K., Lacerda L., Pastorin G., Wu W., Wieckowski S., Luangsilavay J., Godefroy S., Pantarotto D., Briand J.P., Muller S., Prato M., Bianco A., 2007. *Cellular uptake of functionalized carbon nanotubes is independent of functional group and cell type*. Nature Nanotechnology 2, s. 108-113.
13. Lanone S., Boczkowski J., 2006. *Biomedical applications and potential health risks of nanomaterials: molecular mechanisms*. Current Molecular Medicine 6 (6), s. 651-663.
14. Liu W-T., 2006. *Nanoparticles and Their Biological and Environmental Applications*. Journal of Bioscience and Bioengineering 102 (1), s. 1-7.
15. McNeil S.E., 2005. *Nanotechnology for the biologist*. Journal of Leukocyte Biology 78, s. 585-594.
16. Medintz I.L., Mattoussi H., Clapp A.R. 2008. *Potential clinical applications of quantum dots*. International Journal of Nanomedicine 3 (2), s. 151-167.
17. Miller G., Senjen R. 2008. *Out of the laboratory and on to our plates*. Nnanotechnology in food and agriculture: [www.foeeurope.org](http://www.foeeurope.org), stan z dn. 12.04.2012 r.
18. Myczko A., 2006. *Zastosowanie nanotechnologii w praktyce rolniczej*. Inżynieria Rolnicza 2, s. 45-50.
19. Perez-de Luque A., 2009. *Nanotechnologia w ochronie przed roślinami pasożytniczymi*. Pest. Manag. Sci. 65, s. 540-545.
20. Rathien D., Read L., 2005. *Enabling technologies for Australian Nanotechnology innovative industries*. Prime Minister's Science, Engineering and Innovation Council.
21. Roco M.C., 2003. *Nanotechnology: convergence with modern biology and medicine*. Current Opinion I Biotechnology 14, s. 337-346.
22. Salata O.V., 2004. *Applications of nanoparticles in biology and medicine*. Journal of Nanobiotechnology 2, s. 3.
23. Schwarz P., 2011. *Polyamide Nanocomposites for Extrusion Coating Application*: [www.tappi.org](http://www.tappi.org), stan z dn. 11.04.2012 r.
24. Shrivastava S., Dash D., 2009. *Applying Nanotechnology to Human Health: Revolution in Biomedical Sciences*. Journal of Nanotechnology, Article ID 184702.
25. Singh S., 2010. *Nanomedicine – nanoscale drugs and delivery systems*. Journal of Nanoscience and Nanotechnology 10 (12), s. 7906-7918.

26. Stout D.A., Basu B., Webster T.J., 2011. *Poly lactic-co-glycolic acid: Carbon nanofiber composites for myocardial tissue engineering applications*. Acta Biomaterialia 7 (8), s. 3101-3112.
27. Surendiran A., Sandhiya S., Pradhan S.C., Adithan C., 2009. *Novel applications of nanotechnology in medicine*. The Indian Journal of Medicine Research 130 (6), s. 689-701.
28. Suwanboon S., Chukamnerd S., 2007. *Morphological control and optical properties of nanocrystalline ZnO powder from precipitation method*. Songklanakarin J. Sci. Technol. 29 (6), s. 1563-1570.
29. Wang Z.L., 2004. *Functional oxide nanobelts: materials, properties and potential applications in nanosystems and biotechnology*. Annu. Rev. Phys. Chem. 55, s. 159-196.
30. Wawro A., 2011. *Magnetyczna nanostrukturyzacja układów cienkowarstwowych*. V Krajowa Konferencja Nanotechnologii NANO 2011, s. 24.
31. Wojnar P., 2008. *Wytwarzanie i spektroskopia optyczna półmagnetycznych kropek kwantowych CdMnTe*. Praca doktorska, Instytut Fizyki PAN, Warszawa.
32. Zhou M., Ghosh I., 2007. *Quantum dots and peptides: a bright future together*. Biopolymers 88, s. 325-339.