

Received: 23.11.2016
Accepted: 27.05.2017
Published: 15.12.2017

Nanostruktury – ogólne informacje. Zastosowanie nanoobjektów w medycynie i kosmetologii*

Nanostructures: General information. The use of nanoobjects in medicine and cosmetology

Paulina Dębek, Agnieszka Feliczak-Guzik*, Izabela Nowak

Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu, Wydział Chemii, Poznań

Streszczenie

Obserwowane na całym świecie dążenie do miniaturyzacji systemów technologicznych, jak i materiałów, spowodowało intensywny rozwój nanotechnologii - technologii bazującej na nanomateriałach. Nanotechnologia jest bardzo szybko rozwijającą się dziedziną nauki, zajmującą się otrzymywaniem i stosowaniem nanomateriałów, a więc struktur nanometrycznych, czyli takich, w których jeden z wymiarów nie przekracza umownej granicy 100 nm. Tworzenie nanostruktur ma na celu generowanie nowych bądź często lepszych właściwości fizycznych, chemicznych i biologicznych w porównaniu ze znanymi już materiałami mikro- oraz makrometrycznymi. Swoiste właściwości nanoobjektów wynikające z ich niewielkiego rozmiaru sprawiły, iż badania nad nimi budzą ogromne zainteresowanie w środowiskach zajmujących się nanoproblematyką [22].

Zdobyte nanotechnologii wiążą się z dużymi możliwościami aplikacyjnymi, dzięki czemu są bądź będą używane w wielu dziedzinach życia. Szczególnymi obszarami nauki, w których z powodzeniem wykorzystuje się nanokonstrukcyjne rozwiązania są medycyna i kosmetologia. Jak wynika z doniesień literaturowych (zgodnie z danymi z bazy Scopus - ryc. 1), wśród najbardziej popularnych nanostruktur stosowanych w medycynie oraz w kosmetologii, oprócz znanych nanocząstek srebra i złota, coraz częściej wykorzystuje się nanocząstki innych metali przejściowych, m.in. takich jak platyna, pallad czy ruten.

Słowa kluczowe:

nanotechnologia • nanocząstki • nanomedycyna • nanokosmetologia

Summary

The general tendency towards the miniaturization of technological systems and materials has prompted intensive development of nanotechnology. It is a quickly developing area of science devoted to the production and application of nanomaterial structures defined as those whose one size does not exceed 100nm. Nanostructures have been found to show new physical, chemical and biological properties often better than the corresponding materials made of particles of micrometric or macrometric sizes, so they have become of great interest in many areas of industry as well as other areas [22], such as medicine and cosmetology. According to literature and Scopus database, Fig. 1, the most popular nanostructures used in medicine and cosmetology, besides silver and gold nanoparticles, are those of other transition metals such as platinum, palladium or ruthenium.

*Praca sfinansowana z grantu „Rośliny uprawne oraz produkty naturalne jako źródła substancji biologicznie aktywnych przeznaczonych do produkcji preparatów kosmetycznych, farmaceutycznych i suplementów diety”, projekt NCBiR IOSTRATEG2/298205/9/NCBR/2016.

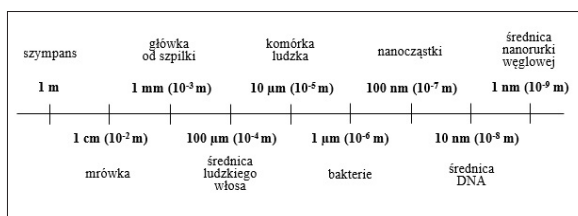
Keywords:	This paper is concerned with the wide range of present and potential applications of nano-materials in medicine and cosmetology.
	nanotechnology • nanoparticles • nanomedicine • nanocosmetology
GICID:	01.3001.0010.7137
DOI:	10.5604/01.3001.0010.7137
Word count:	3124
Tables:	3
Figures:	3
References:	42

Adres autorki: dr Agnieszka Feliczak-Guzik, Uniwersytet im. Adama Mickiewicza w Poznaniu, Wydział Chemii, Pracownia Chemii Stosowanej, ul. Umultowska 89b, 61-614 Poznań; e-mail: agaguzik@amu.edu.pl

CZYM JEST NANOTECHNOLOGIA?

Nanotechnologia jest interdyscyplinarną nauką scalającą osiągnięcia z dziedziny chemii, fizyki i informatyki, stwarzającą nowe możliwości badawczo-rozwojowe zmierzające do sterowania strukturą materii na poziomie pojedynczych atomów i molekuł. Pod pojęciem tym kryją się wszystkie metody i techniki, które umożliwiają projektowanie, tworzenie, jak i stosowanie obiektów, w których przynajmniej jeden z kontrolowanych wymiarów jest wyrażony w skali nano, czyli w umownym zakresie 1-100 nm [2,16,24].

Pełne zdefiniowanie terminu nanotechnologia wymaga przede wszystkim sprecyzowania pojęcia nano. Przedrostek nano w tłumaczeniu z języka greckiego oznacza karła [12]. Jeden nanometr jest jednostką długości i stanowi jednomiliardową część metra ($1\text{ nm}=1\cdot 10^{-9}\text{ m}$) [3,29]. Jest to wymiar niewidoczny dla ludzkiego oka, tak więc w celu wyobrażenia sobie, jak małymi strukturami są te występujące w skali nanometrycznej, wybrane obiekty o rozmiarach od 1m do 1nm umieszczono na ryc. 2. Przykładowo, ludzki włos, którego średnica wynosi około $100\text{ }\mu\text{m}$ ($100\cdot 10^{-6}\text{ m}$), musiałby zostać podzielony na sto tysięcy części, aby otrzymać obiekt o rozmiarach



Ryc. 2. Rozmiary wybranych obiektów w skali od 1m do 1nm, na podstawie [30,38]

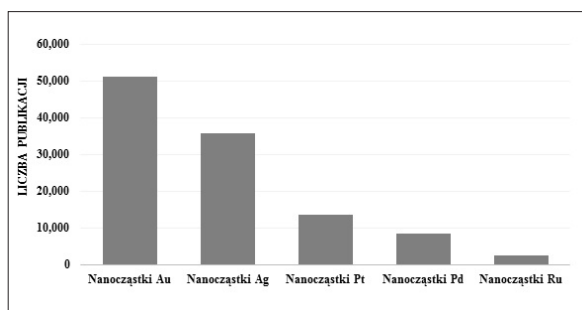
rzędu nanometra [12].

Nanotechnologia jest określeniem, które pojawiło się już na początku minionej dekady. Jednym z pierwszych wizjonerów nanotechnologii na świecie był fizyk Richard Feynman, który na zjeździe Amerykańskiego Towarzystwa Fizyków w 1959 r. w referacie zatytułowanym „There is plenty of room at the bottom” przedstawił świat jako ten, w którym będzie można budować struktury złożone z pojedynczych atomów. Pytanie: “Why can’t we write the entire 24 volumes of the Encyclopedia Britannica on the head of a pin?” (w dowolnym tłumaczeniu: Czemuż to nie możemy zapisać całych 24 tomów Encyklopedii Britannica na główce od szpilki? już wtedy zwiastowało przyszłość nanotechnologii [7,18].

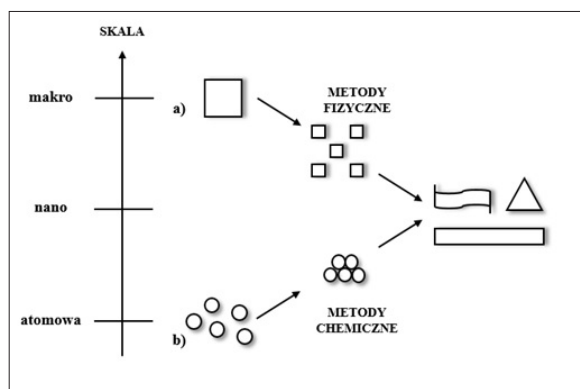
METODY WYTWARZANIA NANOSTRUKTUR

Istnieje wiele sposobów otrzymywania struktur nanometrycznych. Najbardziej ogólny podział metod wytwarzania nanostruktur dzieli je na metody „top-down” (z góry-do dołu) oraz „bottom-up” (z dołu-do góry), których zamysł przedstawiono schematycznie na ryc. 3.

Metody „top-down”, opierają się na podziale materiału makroskopowego na mniejsze części wykorzystując do tego celu procesy fizyczne [35,40]. Polegają na rozdrobieniu wyjściowego materiału w kontrolowany sposób tak, aby jego końcowy rozmiar zawierał się w przedziale 1-100 nm. Do metod tych zalicza się następujące tech-



Ryc. 1. Liczba publikacji z tematyki nanomateriałów do dnia 14.11.2016 r. W artykule podano podstawowe definicje oraz inne aspekty związane z nanoobjektami. Przedstawiono, jak szerokie zastosowanie mają nanomateriały w dwóch ważnych dziedzinach życia, takich jak medycyna oraz kosmetologia



Ryc. 3. Schematyczne przedstawienie metod wytwarzania nanostruktur; a) metody top-down, b) metody bottom-up, na podstawie [30]

niki: wysokoenergetyczne mielenie, procesy litograficzne czy też konwencjonalną obróbkę materiałów [4].

W metodach „bottom-up”, struktury nanometryczne otrzymuje się z pojedynczych atomów lub cząsteczek bazując najczęściej na procesach chemicznych [35,40]. Metody te polegają na tzw. budowie od podstaw, czyli atom po atomie. Do tworzenia nanostruktur metodami „bottom-up” wykorzystuje się m.in.: osadzanie z fazy gazowej, osadzanie wspomagane plazmą, epitaksję

z wiązki molekularnej, metody wykorzystujące fazę ciekłą, metody koloidalne, metody zol-żel oraz osadzanie elektrolityczne [4].

Przez bardzo dokładną kontrolę zachodzących procesów w obu metodach, można otrzymać materiały o pożądanych właściwościach.

PODZIAŁ NANOSTRUKTUR

Zmniejszenie materiału do wymiarów nanometrycznych może następować w trzech kierunkach w układzie współrzędnych, co prowadzi do naturalnego podziału nanoobjektów ze względu na liczbę wymiarów, względem których wielkość mierzy się w nanometrach [30,39]. Wobec tego ogólny podział nanostruktur obejmuje cztery różne grupy, tj. nanostruktury: zerowymiarowe, jednowymiarowe, dwuwymiarowe oraz trójwymiarowe, które przedstawiono w tabeli 1.

Można także struktury nanometryczne podzielić ze względu na sposób ich powstawania [25]. Mogą się tworzyć w wyniku działalności człowieka (powstające w sposób niezamierzony lub zamierzony - projektowalne nanoobjekty) bądź występować naturalnie w środowisku. Innym kryterium podziału nanostruktur jest ich skład chemiczny, gdzie wszystkie objekty można sklasyfikować na pochodzenia organicznego lub nieorganicznego [25]. To właśnie tworzenie tych projektowalnych

Tabela 1. Ogólny podział nanostruktur ze względu na liczbę wymiarów, na podstawie [30,39]

Wymiar	Geometria	Opis
Zerowymiarowe 0D		Nanometrowe rozmiary w trzech kierunkach (np. kropki kwantowe)
Jednowymiarowe 1D		Nanometrowe rozmiary w dwóch wzajemnie prostopadłych kierunkach (np. druty kwantowe)
Dwuwymiarowe 2D		Nanometrowy rozmiar w jednym kierunku (np. warstwy kwantowe)
Trójwymiarowe 3D		Materiały zbudowane z monobloków o rozmiarach nanometrycznych (np. polikryształy)

nanoobjektów jest odpowiedzią na zapotrzebowanie ludzkości w wielu dziedzinach życia i wiązane z nimi nadzieje, że pozwolą rozwiązać problemy, których nie rozwiązują ich mikro- i makrometryczne odpowiedniki.

WŁAŚCIWOŚCI STRUKTUR NANOMETRYCZNYCH

Powszechnie wiadomo, iż własności charakterystyczne danego materiału zależą od rozmiarów cząsteczek go budujących. Dlatego też zmniejszanie danego obiektu przy jednoczesnym zachowaniu jego wszystkich cech charakterystycznych jest niemożliwe. Nanotechnologia jest więc dziedziną, która wytwarza produkty o zupełnie innych, często nowych właściwościach użytkowych w porównaniu z właściwościami materiałów mikro- jak i makrometrycznych [37]. Przy zmniejszaniu objętości dowolnego obiektu złożonego z atomów, następuje wzrost stosunku liczby atomów lub jonów znajdujących się na powierzchni tego obiektu, do atomów ułożonych we wnętrzu rozpatrywanej struktury [25]. Wynikiem jest bardzo duża powierzchnia właściwa nanostruktur, co sprawia, iż zwiększa się liczba niewysyczonych miejsc koordynacyjnych, defektów jak i naprężeń sieci krystalicznej [32]. W rezultacie zmienia się otoczenie koordynacyjne przypowierzchniowych atomów i jonów, co warunkuje zmianę właściwości fizykochemicznych nanoobjektów. Takie nanoobjekty, nie podlegają już tylko prawom fizyki klasycznej, ale także prawom fizyki kwantowej [38].

Ogólnie rzecz ujmując, cząsteczki i materiały nanometryczne mogą się odróżnić od tych w skali makrometrycznej, takimi cechami jak [38,39]:

- twardość,
- wytrzymałość,
- plastyczność,
- odporność na pękanie,
- właściwości ślizgowe,
- biokompatybilność,
- odporność chemiczna oraz mechaniczna,
- zdolności adsorpcyjne i absorpcyjne,
- hydrofilowość.

Wyjątkowe właściwości nanostruktur spowodowały, iż badania nad nimi wzbudzają coraz większe zainteresowanie wśród naukowców zajmujących się nanoproblematyką, z czym jest związane powiększanie skali ich zastosowania w wielu obszarach nauki.

OBAWY ZWIĄZANE Z NANOTECHNOLOGIĄ

Nanotechnologia przynosi wiele zdecydowanie nowych, wartościowych rozwiązań, jednak trzeba pamiętać, że w ślad za postępem idzie również działanie toksyczne wytworzonych nanostruktur. Produkty oparte na nanotechnologii mogą być równie skuteczne jak i realnie niebezpieczne. Nanoobjekty ze względu na niewielkie wymiary generują nowe zagrożenia związane z ich spotęgowaną reaktywnością, umożliwiającą łatwy dostęp do organizmu

ludzkiego [18]. Mechanizmy toksyczności nanoobjektów opierają się na ich przenikaniu w struktury komórkowe. Niektórzy badacze sugerują, iż nanocząstki mogą przekraczać barierę krew-mózg, gromadzić się w narządach, czego skutki mogą być w przyszłości katastrofalne [5,36].

Dlatego też ogromna liczba badań naukowych skupia się nad rozwijaniem metod badawczych dotyczących toksyczności i narażenia na nanoobjekty. Wiadomości na temat wywoływania przez nanocząstki i nanomateriały skutków toksycznych u ludzi jest niewiele, a tym bardziej nikt nie jest w stanie przewidzieć odległych skutków narażenia na nanoobjekty. Wciąż brakuje regulacji prawnych, które normowałyby projektowanie, wytwarzanie i końcowe wykorzystywanie produktów nanometrycznych [11]. Tak więc, w celu bezpiecznego stosowania zaawansowanych nanotechnologii, konieczne jest zintensyfikowanie badań w kierunku kompleksowego wpływu nanoobjektów na zdrowie człowieka. Zaskakujące jest jednak to, że większość dostępnych raportów dotyczących ryzyka stosowania nanoobjektów opisuje je jako potencjalne, jednak nie przedstawia żadnych istotnych dowodów.

Amerykańska Agencja ds. Żywności i Leków (FDA - Food and Drug Administration) podkreśla, iż brak jakichkolwiek informacji na temat szkodliwości danego produktu nie jest równoznaczny z gwarancją bezpieczeństwa tego produktu. Federacja podaje również, iż dla wszystkich nowych produktów wytworzonych dzięki nanotechnologii stosowane są ściśle regulacje prawne, identyczne jak te, które są stosowane do oceny dodatków do żywności [33].

ZASTOSOWANIE NANOSTRUKTUR

Zastosowanie nanocząstek w medycynie

Gwałtowny rozwój medycyny umożliwia zwalczanie wielu schorzeń, które kiedyś wydawały się nieuleczalne. Zaawansowane technologie materiałów, leków oraz specjalistyczna diagnostyka pozwalają na działanie już na poziomie molekularnym, np. w nanostomatologii stosuje się leczenie z wykorzystaniem materiałów o polepszonych właściwościach fizykochemicznych oraz biologicznych, gdyż użycie nanotechnologii w procesach otrzymywania materiałów stomatologicznych wpływa na ich właściwości użytkowe [10,26].

Wprowadzenie do materiałów kompozytowych nanocząstek koloidalnej platyny wpływa na obniżenie stresu komórkowego po ekspozycji na niespolimeryzowane cząsteczki kompozytu [14].

W 2003 r. wprowadzono na rynek nanokompozyt Filtek Supreme Universal Restorative, uniwersalny materiał stosowany w odbudowie zębów przednich i bocznych. Zawiera dwa rodzaje nanocząstek wypełniacza: nanometryczne cząstki (nanometric particles - NM, średnica 2-75 nm) oraz cząstki nanoklasterów (nanocluster par-

ticles - NC, średnica 0,6 μm). Cząstki NM to monodispersyjne molekuly krzemionki, które nie mają tendencji do agregacji grawitacyjnej oraz do tworzenia konglomeratów. Natomiast wypełniacz NC zawiera dwa typy cząstek: pierwszy typ tworzą molekuly krzemu oraz cyrkonu natomiast drugi jest otrzymywany z cząstek krzemowych o wymiarze 75 nm. System nanocząstek NM stanowi niezależną całość rozproszoną równomiernie w matrycy kompozytu, natomiast cząstki NC są luźno powiązane w postaci gron o średnicy mniejszej niż 1 μm . Ich zadaniem jest działanie jak konwencjonalny makrowypełniacz oraz rozpraszanie się podczas procesu zużycia powierzchni kompozytów, co mogłoby prowadzić do odłączania się większych fragmentów wypełniacza i powstawania dużych defektów na powierzchni kompozytu [23,27].

Nanotechnologia jest także wykorzystywana przy generowaniu nowych mas wyciskowych z wykorzystaniem nanopolimerów silikonowych, zmieniając ich typowe właściwości i powodując wzrost ich wytrzymałości na zerwanie, odporność na odkształcenie oraz płynność umożliwiając pobieranie precyzyjnych wycisków [23,27].

Ponadto metody nanotechnologiczne zastosowano w stopach metali dentystycznych, co pozwoliło na opracowanie nowych typów stopów oraz umożliwiło pokrywanie stopów tradycyjnych różnymi powłokami. Rozwiązanie to pozwala na ograniczenie ich korozji w środowisku jamy ustnej oraz wyeliminowanie odczynów alergicznych na niektóre metale występujące w stopach. Wśród stopów metali dentystycznych wymienić można stopy tytanowo-niklowe z pamięcią kształtu. Mają unikalne właściwości fizykochemiczne i mechaniczne. Mimo dużej zawartości niklu wykazują dużą bio-

tolerancję, co wynika z dużej stabilności niklu i tytanu w fazie międzymetalicznej oraz z tworzenia się szczelnej warstwy ditlenku tytanu. Pamięć kształtu (odzysk kształtu) występuje w wyniku naprężeń wyzwanych podczas odwracalnej, termosprężystej przemiany martenzytycznej danego stopu. Tego rodzaju stopy stosuje się w produkcji implantów medycznych w skrzyżowaniach kręgosłupa, do przywracania drożności naczyń krwionośnych, przewodów żółciowych, przełyku lub dróg moczowych [6,34].

Jedną z najczęstszych przyczyn zgonów na świecie jest choroba nowotworowa. Chemioterapia oraz radioterapia nie są skutecznymi metodami wykorzystywanymi w leczeniu takich chorych. Ponadto oprócz komórek nowotworowych wpływają także na niszczenie zdrowych komórek. Dziedziną, która może zapewnić skuteczną i bezpieczną terapię przeciwnowotworową jest nanotechnologia [13,42]. Hipertermię z użyciem nanocząstek złota można zaliczyć do terapii z wykorzystaniem nanotechnologii. Metoda polega na doprowadzeniu do komórek nowotworowych sfunkcjonalizowanych nanocząstek złota oraz poddaniu ich działaniu wyższych temperatur, co powoduje ich zniszczenie. Do grupy nanocząstek złota zaliczyć można nanocząstki złoto-siarczek złota, złote nanopowłoki puste w środku oraz złote nanoklatki. Przetestowano je w badaniach *in vivo* jako nośniki leków. Nanopowłoki badano pod kątem wykorzystania w czerniaku, nanocząstki w raku stercza, natomiast nanoklatki w nowotworze jamy ustnej [15].

Jak już wspomniano wcześniej, metody zwalczania nowotworów często powodują znaczne zniszczenie tkanek otaczających nowotwór. Wśród nowo opracowanych metod leczenia, istnieje kilka, które są mniej szkodliwe dla człowieka niż np. radioterapia czy chemioterapia.

Tabela 2. Wybrane zastosowania nanoobjektów w medycynie

Materiał	Zastosowanie	Literatura
Nanocząstki koloidalnej platyny	w stomatologii; wprowadzone do materiałów kompozytowych wpływają na obniżenie stresu komórkowego	[14]
Nanocząstki krzemu oraz krzemu i cyrkonu	w stomatologii; uniwersalny materiał stosowany w odbudowie zębów przednich i bocznych	[23,27]
Nanopolimery silikonowe	w stomatologii; generowanie nowych mas wyciskowych	[23,27]
Stopy tytanowo-niklowe	produkcja implantów medycznych, przywracanie drożności: naczyń krwionośnych, przewodów żółciowych, przełyku, dróg moczowych	[6,34]
Nanocząstki złota	wykorzystywane w leczeniu hipertermii, czerniaka, raka stercza, nowotworów jamy ustnej	[15]
Nanocząstki złota	wybiórcze działanie na komórki nowotworowe, co powoduje, że nie następuje niszczenie zdrowych komórek otaczających nowotwór	[41]
Grafen	wykorzystywany w terapii fotodynamicznej i genowej	[13]

Jedną z tych metod, obecnie stosowaną w badaniach klinicznych, wykorzystuje tzw. nanoshells w postaci nanocząstek złota. Te bardzo małe cząstki działają wybiórczo na komórki nowotworowe, wnikają głębiej do ich tkanek, dzięki czemu guz się powiększa i jest łatwiejszy do wykrycia [42].

Grafen, mający unikalne właściwości mechaniczne i fizyczne, jest najnowszym dziełem nanotechnologii. Obecnie trwają badania nad zastosowaniem grafenu jako nośnika leków w onkologii. Udowodniono bowiem, że grafen może być stosowany zarówno w terapii fotodynamicznej, jak i w terapii genowej [13]. Wybrane zastosowania nanoobjektów w medycynie zebrano w tabeli 2.

Zastosowanie nanocząstek w kosmetologii

Nośniki wykorzystywane w kosmetykach to struktury lub systemy będące rezerwuarem substancji czynnych, ułatwiają ich kontrolowane uwalnianie w odpowiednim miejscu w skórze człowieka. Nośniki te mogą występować w różnej postaci [16]:

- nanozole (rozproszone w gazie),
- koloidy lub nanohydrozole (rozproszone w płynie),
- nanokompozyty (osadzone w matrycy),
- nanomateria (osadzona w substratach).

Ważnym elementem jest także podłoże, w którym zawieszony są nanocząstki, może to być żel, koloid czy emulsja. Oczywiście jest, że kosmetyk jest tym skuteczniejszy im więcej danego składnika aktywnego dotrze do skóry właściwej, pokonując barierę warstwy rogowej. Najbardziej efektywną metodą transportu są systemy nośnikowe, przeważnie występują w postaci pęcherzyków, a substancja aktywna może się znajdować w ich wnętrzu, być zdyspergowana w pęcherzyku lub zaadsorbowana na jego powierzchni. Stąd też nanostruktury w kosmetykach jako systemy nośnikowe ułatwiają dyfuzję cząsteczek składników aktywnych kosmetyków przez błony komórkowe. Ponadto są biodegradowalne, zapewniają kontrolowane uwalnianie substancji aktywnej, zapobiegają interakcjom między różnymi składnikami formuacji oraz chronią substancje czynne przed działaniem czynników zewnętrznych [25].

Pierwszymi nanonośnikami były liposomy czyli małe, kuliste struktury zbudowane z podwójnej warstwy lipidowej. Jednak wykazywały brak stabilności w warunkach podwyższonej temperatury oraz w obecności innych środków powierzchniowo-czynnych. Obecnie do otrzymania otoczek w nanokapsułkach stosuje się biopolimery oraz cyklodekstryny, gdyż właściwy dobór surowca otoczki pozwala na umieszczenie w niej substancji hydrofilowych, jak i hydrofobowych, co decyduje o jej przenikalności w głąb skóry. Materiały te powinny być przede wszystkim biodegradowalne [31].

Do przenoszenia czynników aktywnych rozpuszczalnych w wodzie stosuje się polimerosomy, które pod względem budowy przypominają liposomy, natomiast równomierne uwalnianie czynnika aktywnego zapewniają kolasfery. Nanocząstki są zbudowane z substancji fizjologicznie występujących w skórze człowieka, tj.: kolagenu oraz glikozaminoglikanów [1].

Stale lipidowe nanocząstki (SLN - solid lipid nanoparticles) to sferyczne cząstki utworzone z lipidów stałych w temperaturze pokojowej, które są rozpuszczone w fazie wodnej z dodatkiem emulgatora. Do lipidów tworzących te nanocząstki zalicza się tristearynian, tripalmitynian, niektóre glicerydy, woski oraz nasycone kwasy tłuszczowe. Nanostrukturalne lipidowe nośniki (NLC - nanostructural lipid carriers) są złożone z mieszaniny stałych lipidów z olejami. Powoduje to obniżenie temperatury topnienia oraz zwiększenie ilości składnika aktywnego rozpuszczonego w mieszaninie lipidowej [28].

Ponadto, w kosmetyce stosuje się także nieorganiczne nanocząstki, np. tlenek cyrkonu, wapiń, hydroksyapatyty, srebro, złoto czy platynę [20]. Skóra człowieka jest potencjalnie narażona na działanie metali w wyniku jej kontaktu w przemyśle wytwórczym, w górnictwie czy w rafinacji. Jednak ekspozycja skóry na działanie metali może występować nie tylko w wyniku aplikacji kosmetyku, a także w wyniku narażenia środowiskowego, np. metale z grupy platynowców są uwalniane do atmosfery z katalizatorów w silnikach spalinowych stosowanych w przemyśle motoryzacyjnym [21,41]. Franken i wsp. [8] zaobserwowali niewielkie przenikanie platyny przez skórę człowieka przy znaczącym stężeniu.

Tabela 3. Wybrane zastosowania nanoobjektów w kosmetologii

Material	Zastosowanie	Literatura
Nośniki pod postacią nanokompozytów, nanozoli	kontrolowane uwalnianie substancji w odpowiednim miejscu w skórze człowieka	[16]
Nanokapsułki	zwiększone przenikanie substancji umieszczonych w kapsułkach w głąb skóry	[31]
Polimerosomy	przenoszenie czynników aktywnych rozpuszczalnych w wodzie	[1]

niu metali zatrzymywanych wewnątrz skóry. Ponadto, na podstawie badań przeprowadzonych na skórze Afrykańczyków, zaobserwowali, że przenikanie platyny przez ich skórę jest znacząco większe w porównaniu do skóry mieszkańców Kaukazu [8,9]; było to pierwsze opracowanie z tego zakresu. Mauro i wsp. opisali penetrację nanocząstek platyny w skórę, bez przenikania ich przez nieuszkodzoną skórę, w wyniku silnej interakcji między nanocząstkami i składnikami skóry [22]. Wyniki potwierdzili Filon i wsp. [19]. Mauro zaobserwował także, że uszkodzona skóra zwiększa przenikanie nanocząstek

przez nią [22]. Wybrane zastosowanie nanoobjektów w kosmetologii przedstawiono w tabeli 3.

PODSUMOWANIE

Duże zaangażowanie naukowców w rozwój nanotechnologii przyczynia się do poznawania coraz to nowych zastosowań nanomateriałów. Odkrycie ich unikalnych właściwości umożliwia rozwój wielu kierunków nowoczesnych technologii, ale jednocześnie wymaga szczegółowych badań zapewniających bezpieczeństwo ich stosowania.

PIŚMIENNICTWO

- [1] Bartensteina J.E., Robertson J., Battaglia G., Briscoe W.H.: Stability of polymersomes prepared by size exclusion chromatography and extrusion. *Colloid. Surface. A*, 2016; 506: 739-746
- [2] Bera A., Belhaj H.: Application of nanotechnology by means of nanoparticles and nanodispersions in oil recovery - a comprehensive review. *J. Nat. Gas Sci. Eng.*, 2016; 34: 1284-1309
- [3] Boisseau P., Loubaton B.: Nanomedicine, nanotechnology in medicine. *C. R. Physique*, 2011; 12: 620-636
- [4] Brydson R.M., Hammond C.: Wytwarzanie i klasyfikacja nanostruktur. W: *Nanotechnologie*, red.: R.W. Kelsall, I.W. Hamley, M. Geoghegan. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2008, 1-56
- [5] Bystrzejewska-Piotrowska G., Golimowski J., Urban P.L.: Nanoparticles: their potential toxicity, waste and environmental management. *Waste Manag.*, 2009; 29: 2587-2595
- [6] Drugacy J., Lekston Z., Morawiec H.: The application of NiTi alloys with shape memory and superelastic properties in the maxillofacial surgery. *J. Med. Informat. Technolog.*, 2001; 2: 85-92
- [7] Feynman R.P.: There's plenty of room at the bottom. *J. Microelectromech. S.*, 1992; 1: 60-66
- [8] Franken A., Eloff F.C., Du Plessis J., Badenhorst C.J., Du Plessis J.L.: *In vitro* permeation of platinum through African and Caucasian skin. *Toxicol. Lett.*, 2015; 232: 566-572
- [9] Franken A., Eloff F.C., Du Plessis J., Badenhorst C.J., Jordaan A., Du Plessis J.L.: *In vitro* permeation of platinum and rhodium through Caucasian skin. *Toxicol. In Vitro*, 2014; 28: 1396-1401
- [10] Freitas Jr R.A.: Nanodentistry. *J. Am. Dent. Assoc.*, 2000; 131: 1559-1565
- [11] Hydzik P.: Zagrożenia związane z nanotechnologią w świetle prawodawstwa Unii Europejskiej. *Przegl. Lek.*, 2012; 69: 490-491
- [12] Jakubczyk E.: Nanotechnologia w technologii żywności. *Przem. Spoż.*, 2007; 4: 16-22
- [13] Jung A.: Nanoparticles in medical applications - a direction of the future? *Pediatr. Med. Rodz.*, 2014; 10: 104-110
- [14] Kachi H., Noda M., Wataha J.C., Nakaoki Y., Sano H.: Colloidal platinum nanoparticles increase mitochondrial stress induced by resin composite components. *J. Biomed. Mater. Res. B. Appl. Biomater.*, 2011; 96: 193-198
- [15] Koperkiewicz D.: Nanocząstki złota w fototermicznej terapii antynowotworowej. http://think.wsiz.rzeszow.pl/wp-content/uploads/2015/08/6-Koperkiewicz_NANOCZĄSTKI-ZŁOTA-W-FOTOTERMICZNEJ-TERAPII-ANTYNOWOTWOROWEJ_popr.pdf (14.11.2016)
- [16] Krzyżostan M.: Nanotechnologie w kosmetyce - idealne rozwiązanie dla pokonania bariery naskórkowej? http://biotechnologia.pl/kosmetologia/artykuly/nanotechnologie-w-kosmetyce-idealne-rozwiazanie-dla-pokonania-bariery-naskorkowej,1123.html?mobile_view=true (15.11.2016)
- [17] Kurzydłowski K.: Nanomateriały - definicje, podstawowe pojęcia i przykłady. W: *Nanomateriały inżynierskie konstrukcyjne i inżynierskie*, red.: M. Lewandowska, K. Kurzydłowski. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2011, 1-26
- [18] Langauer-Lewowicka H., Pawlas K.: Nanocząstki, nanotechnologia - potencjalne zagrożenia środowiskowe i zawodowe. *Environ. Med.*, 2014; 17: 7-14
- [19] Larese Filon F., Mauro M., Adami G., Bovenzi M., Crosera M.: Nanoparticles skin absorption: New aspects for a safety profile evaluation. *Regul. Toxicol. Pharmacol.*, 2015; 72: 310-322
- [20] Larginho M., Baptista P.V.: Gold and silver nanoparticles for clinical diagnostics - from genomics to proteomics. *J. Proteomics*, 2012; 75: 2811-2823
- [21] Lidén C., Røndell E., Skare L., Nalbanti A.: Nickel release from tools on the Swedish market. *Contact Dermatitis*, 1998; 39: 127-131
- [22] Mauro M., Crosera M., Bianco C., Adami G., Montini T., Fornasiero P., Jaganjac M., Bovenzi M., Filon F.L.: Permeation of platinum and rhodium nanoparticles through intact and damaged human skin. *J. Nanopart. Res.*, 2015; 17: 253
- [23] Mitra S.B., Wu D., Holmes B.N.: An application of nanotechnology in advanced dental materials. *J. Am. Dent. Assoc.*, 2003; 134: 1382-1390
- [24] Mnyusiwalla A., Daar A.S., Singer P.A.: 'Mind the gap': science and ethics in nanotechnology. *Nanotechnology*, 2003; 14: 9-13
- [25] Müller-Goymann C.C.: Physicochemical characterization of colloidal drug delivery systems such as reverse micelles, vesicles, liquid crystals and nanoparticles for topical administration. *Eur. J. Pharm. Biopharm.*, 2004; 58: 343-356
- [26] Nutalapati R., Kasagani S., Jampani N., Mutthineni R., Jonnalagadda L.: Nanodentistry - the new horizon. *Internet J. Nanotechnology*, 2011; 3: 1-5
- [27] Panek H., Kawala M., Zdanowski J.: Use of nanotechnology in dentistry. *Prot. Stom.*, 2006; 56: 16-21
- [28] Pardeike J., Hommoss A., Müller R.H.: Lipid nanoparticles (SLN, NLC) in cosmetic and pharmaceutical dermal products. *Int. J. Pharm.*, 2009; 366: 170-184
- [29] Pautrat J.L.: Nanosciences: evolution or revolution? *C. R. Physique*, 2011; 12: 605-613
- [30] Pulit J., Banach M., Kowalski Z.: Właściwości nanocząstek miedzi, platyny, srebra, złota i palladu. *Techn. T.*, 2011; 108: 197-209
- [31] Rodriguez J., Martin M.J., Ruiz M.A., Clares B.: Current encapsulation of nanoparticles in hydrogels. *Adv. Mater.*, 2012; 24: 1291-1302

sulation strategies for bioactive oils: From alimentary to pharmaceutical perspectives. *Food Res. Int.*, 2016; 83: 41-59

[32] Runowski M.: Nanotechnologia - nanomateriały, nanocząstki i wielofunkcyjne nanostruktury typu rdzeń/powłoka. *Chemik*, 2014; 68: 766-775

[33] Sadrieh N.: FDA considerations for regulation of nanomaterial containing products. [http://www.fda.gov/ohrms/dockets/ac/06/briefing/2006-4241B1-02-31-FDANano%20Sadrieh%20nanotech%20presentation%20\(2\).pdf](http://www.fda.gov/ohrms/dockets/ac/06/briefing/2006-4241B1-02-31-FDANano%20Sadrieh%20nanotech%20presentation%20(2).pdf) (15.11.2016)

[34] Shabalovskaya S.A.: On the nature of the biocompatibility and on medical applications of NiTi shape memory and superelastic alloys. *Biomed. Mater. Eng.*, 1996; 6: 267-289

[35] Sinha B., Müller R.H., Möschwitzer J.P.: Bottom-up approaches for preparing drug nanocrystals: Formulations and factors affecting particle size. *Int. J. Pharm.*, 2013; 453: 126-141

[36] Snopczyński T., Góralczyk K., Czaja K., Struciński P., Hernik A., Korcz W., Ludwicki J.K.: Nanotechnologia - możliwości i zagrożenia. *Rocz. Państw. Zakł. Hig.*, 2009; 60: 101-111

[37] Sokół J.L.: Nanotechnologia w życiu człowieka. *Econ. Manage.*,

2012; 4: 18-29

[38] Szczepaniak-Lalewicz K.: Inteligentne nanostruktury - dużo gadania, mało efektów? Mity i fakty. *Prace Instytutu Odlewnictwa*, 2011; 514: 65-79

[39] Szlecht A., Schroeder G.: Zastosowanie nanotechnologii w kosmetyce. W: *Nanotechnologia, kosmetyki, chemia supramolekularna*, red.: G. Schroeder. *Cursiva*, Poznań 2010, 7-33

[40] Verma S., Gokhale R., Burgess D.J.: A comparative study of top-down and bottom-up approaches for the preparation of micro/nanosuspensions. *Int. J. Pharm.*, 2009; 380: 216-222

[41] Wiseman C.L., Zereini F.: Airborne particulate matter, platinum group elements and human health: A review of recent evidence. *Sci. Total Environ.*, 2009; 407: 2493-2500

[42] Zdrojewicz A., Waracki M., Bugaj B., Pypno D., Cabała K.: Medical applications of nanotechnology. *Postępy Hig. Med. Dośw.*, 2015; 69: 1196-1204

Autorki deklarują brak potencjalnych konfliktów interesów.