This article is available in PDF-format at: www.wydawnictwa.ipo.waw.pl/materialy-wysokoenergetyczne.html

Materiały Wysokoenergetyczne / High Energy Materials, ***2017****, 9, 18 − 39; DOI: 10.22211/matwys/0158*
ISSN 2083-0165
Copyright 2017 © Institute of Industrial Organic Chemistry, Poland

Przegląd / Review

Aspekty nanomateriałów w zastosowaniach cywilnych i militarnych. Część 2. Wykorzystanie i obawy wynikające z ich uwalniania do środowiska przyrodniczego
Aspects of nanomaterials for civil and military applications. Part 2. The use of and concerns arising from infiltration of the natural environment

Zenon Foltynowicz,[1)] Bogdan Czajka,[2)] Andrzej Maranda,[3)] Leszek Wachowski[4,*)]

1) *Uniwersytet Ekonomiczny, Wydział Towaroznawstwa, Al. Niepodległości 10, 61-875 Poznań, PL*
2) *Instytut Metali Nieżelaznych w Gliwicach, Oddział w Poznaniu, ul. Forteczna 12, 61-362 Poznań, PL*
3) *Wojskowa Akademia Techniczna, ul. Gen. W. Urbanowicza 2, 00-908 Warszawa, PL*
4) *Uniwersytet im. A. Mickiewicza w Poznaniu, Wydział Chemii, ul. Umultowska 89b, 61-614 Poznań, PL*
**E-mail:* wachow@amu.edu.pl

Streszczenie: *Dynamiczny rozwój nanonauki i nanotechnologii sprawił, że w wielu dziedzinach nauki i w sektorach przemysłu zachodzą rewolucyjne zmiany budząc ogromne nadzieje na potencjalną możliwość rozwiązania całego szeregu istotnych problemów współczesnego świata. Nanostrukturalne materiały określane też mianem nanocząstek inżynierskich stanowiące produkt nanotechnologii wykazują w porównaniu do swoich odpowiedników w skali makro unikatowe właściwości fizyczne, chemiczne, biologiczne i mechaniczne. Wszystko to sprawia, że znajdują one coraz szersze praktyczne zastosowanie. W pracy zaprezentowano możliwości stosowania nanocząstek inżynierskich ze szczególnym uwzględnieniem sektora obronnego oraz obawy wynikające z ich uwalniania do środowiska przyrodniczego.*

Abstract: *The dynamic development of nanosciences and nanotechnologies has led to revolutionary changes in many areas of science and industry, raising a great deal of hope for the potential for solving all of the major problems of the modern world. Nanostructural materials, also known as nanoparticles, represent nanotechnology products with unique physical, chemical, biological and mechanical properties compared to their macroscale counterparts. All this lead to their increasingly practical to use. The paper presents the possibilities of the application of nanoparticles with particular regard to the defense sector and the concerns arising from their release into the natural environment.*

Słowa kluczowe: *nanomateriały, nanoprodukty, nanomateriały militarne, aspekty środowiskowe*
Keywords: *nanomaterials, nanoproducts, military nanomaterials, environmental aspects*

1. Wstęp

Nanotechnologia to dynamicznie rozwijający się dział nauki, którego finalnym celem jest opracowanie nowych technik wytwarzania rozmaitych materiałów oraz urządzeń o wymiarach nanometrycznych w możliwie najmniejszej skali i przy możliwie najmniejszym nakładzie finansowym określanych mianem nanomateriałów,

nanoobiektów lub nanocząstek inżynierskich [1-19]. Przyjmuje się, że osobliwe właściwości nanomateriałów wynikające z ich wewnętrznej struktury stanowią skrajną granicę materiałoznawstwa**.** Trudne do oszacowania możliwości praktycznego wykorzystania tych osobliwych i nie do końca rozpoznanych właściwości fizycznych, chemicznych i biologicznych oraz wykazywane przez te materiały zjawiska sprawiły, że stanowią one atrakcyjne tworzywo do wytwarzania rozmaitych innowacyjnych materiałów. Znajdują one praktycznie zastosowanie w niemal wszystkich dziedzinach naszego życia, zaś obecne w nich nanocząstki (NP's, ang. *nanoparticles*) pełnią rolę dodatków, napełniaczy i składników nanokompozytów [1, 6-8, 12, 18, 20-27].

Wspomniane wcześniej właściwości nanomateriałów o ogromnym potencjale praktycznego stosowania nanotechnologii sprawiły, że w ostatniej dekadzie na rynku światowym średnia roczna stopa wzrostu poziomu stosowania produktów przygotowanych na ich bazie osiągnęła wartość 50% [28]. Raporty analityków prognozują, że rynek nanotechnologii w roku 2020 osiągnie wartość 41,8 mld $ (10,2% wzrost od 2015 r.) w przypadku, gdy zrealizowany zostanie prognozowany wzrost inwestycji zarówno rządowych jak i prywatnych przedsiębiorstw na badania i rozwój nanotechnologii oraz komercjalizacji nanoproduktów [29]. Woodrow Wilson International Center for Scholar powołał do życia w 2005 r. Nanotechnology Consumer Products Inventory (CPI). Według najnowszego raportu [30] na światowym rynku w roku 2015 obecnych było 1814 nanoproduktów i działało ponad 1600 producentów. Według innego raportu [31] na rynek trafia 3-4 nowych nanoproduktów tygodniowo.

Do podstawowych nanomateriałów inżynierskich zalicza się:

a) Nanometale, które podobnie jak ich odpowiedniki w skali makro są polikrystalicznymi materiałami [1, 4, 5, 12, 15-19]. Miniaturyzacja konwencjonalnego materiału prowadząca do zmniejszenia wymiaru jego ziaren i jednocześnie wzrostu wielkości powierzchni ich granic w jednostce objętości nadaje mu osobliwe właściwości. Najistotniejszymi spośród nich to wykazywana wysoka reaktywność chemiczna wynikająca z dużej wielkości powierzchni właściwej, piroforyczność, odporność na korozję oraz bardzo duża wytrzymałość materiału w skali nano-, którą można dodatkowo zwiększyć obecnością cząstek innej fazy [4, 5, 12].

   Badania przeprowadzone na przykładzie metalicznego proszku aluminium (Al) wykazały, że wraz ze zmniejszaniem rozmiarów jego cząstek ilość atomów występujących na powierzchni gwałtownie wzrasta, co znajduje odbicie w zwiększonej znacznym stopniu jego reaktywności chemicznej i właściwościach piroforycznych [32-38]. Zazwyczaj miniaturyzacji poddaje się takie metale, jak: aluminium (Al), miedź (Cu), żelazo (Fe), nikiel (Ni), kobalt (Co), platyna (Pt), pallad (Pd), srebro (Ag), złoto (Au) uzyskując ich wymiar rzędu kilku nm [11-16, 19, 34-36]. Absorpcja promieniowania elektromagnetycznego (UV-VIS) przez metaliczne nanocząstki zależy od ich wymiaru i kształtu. Powyższą zależność wykorzystuje się do określania wspomnianych parametrów nanocząstek na podstawie ich widm absorpcyjnych [3, 5, 11, 18].

   Zróżnicowanie ilości energii uwalnianej w trakcie utlenienia określonego metalu w zależności od stopnia jego zdyspergowania sprawia, że może on służyć, jako komponent do przygotowania materiału wysokoenergetycznego z możliwością jego stosowania w wielu aplikacjach. Mogą to być materiały wybuchowe, podwodne urządzenia wybuchowe, spłonki do broni palnej, paliwa rakietowe oraz materiały pirotechniczne znajdujące zastosowanie zarówno do celów wojskowych jak i dla przemysłu wydobywczego [2, 8, 12, 16-20, 32-42].

b) Nanotlenki: tytanu(IV) (TiO_2), krzemu(IV) (SiO_2), ceru(IV) (CeO_2), cyrkonu(IV) (ZrO_2), cynku(II) (ZnO), żelaza(III) (Fe_2O_3), itru(III) (Y_2O_3) i inne [19, 37-51].

c) Materiały nanoceramiczne, charakteryzujące się znacznie wyższą niż konwencjonalne powłoki tolerancją na oddziaływanie czynników środowiskowych, takich jak wysoka temperatura, znacznie wyższą wytrzymałością i odpornością na ścieranie oraz zużycie i korozję, takie jak Al_2O_3/Ni, Al_2O_3/SiC, Si_3N_4, Si_4C, AlN, spośród których wyróżnia się:
   - jonowe materiały ceramiczne, jak: korund (Al_2O_3), tlenek cyrkonu(IV) (ZrO_2), charakteryzujące się wysoką temperaturą topnienia i odpornością na odkształcenia;
   - ceramiki kowalencyjne stanowiące połączenie dwóch niemetali, jak np. SiO_2, SiC, B_4C będące dobrymi izolatorami termicznymi i elektrycznymi [12, 16, 20, 31, 46-54].

   Rozwój nanotechnologii stworzył możliwość wytwarzania rozmaitych warstw, których nie można było

Copyright © 2017 Institute of Industrial Organic Chemistry, Poland

uzyskać stosując konwencjonalne materiały. Nanosząc na powierzchnię ciał stałych warstwy zawierające nanocząstki inżynierskie mamy możliwość uzyskania powłok o właściwościach super hydrofobowych, samoczyszczących lub bakteriobójczych. Ponadto osiągnięcia nanotechnologii stwarzają możliwość przygotowania warstw o osobliwych właściwościach sensorowych, katalitycznych, sorpcyjnych, elektronowych i biologicznych [1-8, 15, 16, 31, 48].

d) Nanopolimery, składające się z amorficznych cząstek połączonych wspólnym rdzeniem utworzonym przez połączone wiązaniami kowalencyjnymi atomy węgla, które w odpowiedniej temperaturze ulegają zeszkleniu i płynięciu, wśród których wyróżnia się:
   – termoplasty łatwo przechodzące w lepką ciecz (np. polistyren, polietylen, poliamidy) [1, 2, 4, 8, 12, 13, 15, 20, 55, 56];
   – nanożywice o usieciowanej strukturze (np. zewnętrzne warstwy laminatowe- poliestrowo- i epoksydo-szklane [2, 15, 20];
   – elastomery przypominające gumy i produkty naturalne, jak np. celuloza, lignina i białka [2, 8, 13];
   – nanonapełniacze elementów gumowych i tworzyw sztucznych [57-59];
   – kosmetyki samochodowe firmy Porche Classic przygotowane na bazie nanopolimerów, które konserwują elementy karoserii [60];
   – nanobiopolimery, jako doskonałe izolatory ciepła [61].

e) Nanokompozyty składające się podobnie jak kompozyty klasyczne z dwóch komponentów, z których jeden pełni rolę lepiszcza (np. montmorylonit) drugi zaś elementu konstrukcyjnego (np. włókna szklane, kwarc, azbest, włókna węglowe), które mogą być:
   – metaliczne [62];
   – ceramiczne [63, 64];
   – polimerowe pełniące rolę napełniacza (np. MMT, montmorylonit-polietylen, polipropylen lub poliamidy) [57, 65].

f) Nanostruktury węglowe, takie jak: węgiel bezpostaciowy (C, sadza), fulereny, nanorurki, grafen igrafan [produkt uwodornienia grafenu, dwuwymiarowy polimer (2D)], spośród których największe znaczenie praktyczne mają obecnie pierwsze trzy z wymienionych [66-79].

g) Materiały bazujące na pierwiastkach, których odmiany alotropowe wykazują strukturę analogiczną do grafenu, takie jak krzemu (Si, ang. *silicen*), germanu (Ge, ang. *germanen*), cyny (Sn, ang. *tinene*), fosforu (P – fosforen, ang. *phosphoren*) [80, 81].

2. Zastosowania nanomateriałów w sektorach cywilnych

Lista produktów przygotowanych z udziałem nanocząstek inżynierskich znajdujących zastosowanie w sektorach cywilnych obejmuje obecnie ponad 4 000 jednostek i wykazuje rosnącą tendencję. Najczęściej w produktach finalnych stosuje się nanosrebro [29]. W licznych przypadkach, zastosowania w sektorach cywilnych pokrywają się używanymi w sektorach wojskowych [2, 3, 5, 12-16, 19, 27].

Istotną rolę na światowym rynku nanotechnologii odgrywają takie kraje jak: USA, Chiny, Korea Płd., Indie, Brazylia i Holandia [28]. Sektory cywilne wytwarzające lub wykorzystujące w swoich finalnych produktach nanocząstki inżynierskie to głównie:

a) Przemysł chemiczny, którego produkty zawierające cząstki nano- to m.in.:
   – katalizatory, mające największy udział, bo sięgający około 53%, stosowane w heterogenicznych, homogenicznych i elektrokatalitycznych procesach przemysłowych jak np.: nanoporowate zeolity [82-84], nikiel Raney'a [82], nanokrystaliczna elektroda wykonana z miedzi konwertująca tlenek węgla(II), (CO) do etanolu (C_2H_5OH) [84], nanoporowate złoto (Au) będące aktywnym i selektywnym materiałem katalitycznym o ogromnym potencjale praktycznego stosowania w heterogenicznych, homogenicznych i elektrokatalitycznych procesach przemysłowych [85-87];
   – amorficzna postać węgla pierwiastkowego (C), czyli sadza stosowana w największej ilości do produkcji opon w przemyśle gumowym [17];

Copyright © 2017 Institute of Industrial Organic Chemistry, Poland

- aerożel (SiO_2) będący rodzajem sztywnej piany o niezwykle dużej porowatości sięgającej aż 99,8%, który wykazuje doskonałe właściwości izolacyjne [88];
- surfaktanty [89, 90];
- barwniki [91];
- farby odporne na korozję [91].

b) Przemysł elektroniczny, w którym udział wytwarzanych produktów zawierających w swoim składzie nanomateriały sięga 7%, zaś jego głównymi produktami nanotechnologii to:
- półprzewodniki (najpowszechniej wykorzystywane), których udział w rynku oszacowano na 34% [2, 5, 12, 19, 92];
- organiczne diody elektroluminescencyjne, nadprzewodniki, tranzystory, materiały ferromagnetyczne [19, 40, 91];
- nanostrukturalne magnesy stosowane w telefonach komórkowych i do napędu dysków w komputerach osobistych PC (ang. ***p**ersonal **c**omputers*) [15, 16, 19, 27, 67-70, 75, 84, 93];
- rozmaite urządzenia stosowane w łączności bezprzewodowej [12, 15, 67, 93, 94];
- nanokrystaliczny fosfor (P) stosowany do konstrukcji ekranów telewizyjnych, umożliwiający uzyskanie obrazu o wysokiej rozdzielczości [2, 12, 15, 16];
- nowa generacja przenośnych komputerów adaptowanych do celów medycznych [2, 12, 13, 16, 19];
- strojów gimnastycznych monitorujących wysiłek ćwiczącego (rytm serca i ciśnienie krwi) [95, 96];
- odzieży, która świeci w ciemności lub utrzymuje stałą ciepłotę ciała; np. włoska tkanina Luminex® zawiera wbudowane kolorowe świecące w ciemności diody (LED) (suknie ślubne, błyszczące suknie koktajlowe lub kostiumy dla śpiewaków operowych [95-98].

c) Budownictwo stosujące:
- lekkie i o dużej odporności mechanicznej materiały zawierające nanocząstki inżynierskie, takie, jak: powłoki fotowoltaiczne, powłoki na szyby okienne, powłok antybakteryjne, ekrany dźwiękoszczelne, lustra drogowe, elewacje ceramiczne imetalowe [99-101];
- preparaty zwiększające trwałość powierzchni ceramicznych materiałów budowlanych w wyniku ich hydrofobizacji [102, 103].

d) Gospodarka komunalna, wykorzystująca materiały zawierające nanocząstki inżynierskie do:
- uzdatniania i dezynfekcji wody, takie jak: adsorbenty (np. nanoporowate węgle), membrany ceramiczne i polimerowe, nanorurki, preparat Nano Silver Aqua [91, 104-106];
- usuwania mikroorganizmów ze środowiska wodnego za pomocą: nanorurek węglowych w filtrach i membranach, nanosrebro (Ag), które w ilości 10 g/m^3 hamuje wzrost bakterii *Escherichia coli,* nanochitozan zawierający miedź (Cu) i kompozyty magnetyczne likwidujące sinice z rodzaju *Microcystis aeruginosa* [91, 107-109];
- usuwania metali ciężkich ze ścieków za pomocą adsorbentów przygotowanych na bazie nanomateriałów, jak np. nanoukłady typu rdzeń-powłoka [91, 110];
- oczyszczania powietrza za pomocą nanoporowatych filtrów i membran [111].

e) Przemysł lotniczy (produkcja samolotów, pojazdów kosmicznych i satelitów) stosujący do wytwarzania swoich produktów m.in. płytki ceramiczne zwiększające i poprawiające ich trwałość oraz zapewniające ich niezawodne działanie szczególnie w warunkach oddziaływania wysokiej temperatury. Nanorurki węglowe stosowane są do wzmacniania struktury kadłubów samolotów [12-19, 39, 40, 84, 95, 96].

f) Przemysł motoryzacyjny, w którym udział nanomateriałów szacuje się na około 1% stosujący m.in.:
- trójfunkcyjne katalizatory (TWC, ang. ***t**hree **w**ay **c**atalyst)* do zobojętniania gazów wydechowych silników spalinowych [82, 112];
- nanokompozyty ceramiczne i włókna węglowe, jako materiały konstrukcyjne układów hamulcowych pojazdów samochodowych [82, 113];
- nanofolie poliestrowe o grubości kilku nanometrów do znakowania pojazdów samochodowych i ich elementów [82];
- lakiery samochodowe o dużej odporności przygotowane na bazie nanocząstek krzemionki (SiO_2) [114];

Copyright © 2017 Institute of Industrial Organic Chemistry, Poland

– tablice rozdzielcze, panele nadwozi, zbiorniki na paliwo z wykorzystaniem barierowych właściwości rozmaitych nanokompozytów w układzie materiał ceramiczny-metal, materiał ceramiczny-polimer, metal-polimer [115].

g) Przemysł spożywczy, w którym udział nanomateriałów szacuje się na około 1% stosujący najczęściej:
   – nanosrebro (Ag) do konserwacji i pasteryzacji żywności [116];
   – nanosrebro (Ag) stosowane np. przez: firmę Samsung w Silver Nano Health System w celu ograniczenia rozprzestrzeniania się bakterii w lodówkach oraz firmy Bosch i Siemens, które wprowadziły System AntiBacteria w pralkach, odkurzaczach i klimatyzatorach [117].

h) Zastosowania medyczne, w których udział nanomateriałów szacuje się na 2%, i podlega on szybkiemu wzrostowi obejmują:
   – bioaktywne szkła, wykazujące właściwości antybakteryjne, które zastępują tradycyjne wypełnienia, uczestniczą w procesach metabolicznych i wiążą się trwale z tkankami; jak np. borokrzemian wapniowo-glinowy, krzemian-fosforanowy sodowo-wapniowy [118, 119];
   – piezoelektryczny materiał, tlenek binarny (PZT) $[PbZr_{(x)}Ti_{(1-x)}]O_3$ generujący energię elektryczną w wyniku naprężeń mechanicznych generowanych wewnątrz organizmu stosowany, jako zasilacz rozruszników serca (ang. *peace-makers*) [120];
   – kompozyty typu szkło-materiał ceramiczny stosowany w leczeniu ubytków kostnych; kręgosłupa, kości biodrowej raz stawu kolanowego [121];
   – rozmaite preparaty stosowane w chemioterapii, które przyłączone do określonego biopolimeru (np. białko, sacharyd, lipid czy też poliester) pełniącego funkcję matrycy, jak np. szczepionki [122];
   – nanocząstki srebra (Ag) i złota (Au) oraz ich stopy w układach koloidowych, które służą do likwidacji szczególnie odpornych na antybiotyki gronkowców; spośród innowacyjnych rodzajów środków bakteriobójczych i grzybobójczych wyróżnia się nanosrebro (Ag) [123];
   – inteligentne cząstki magnetyczne w skali nano- stosowane do celowego dozowania leków, jako markery do ultra czułego wykrywania schorzeń, w terapii genowej, jako sensory biochemiczne oraz do szybkiego usuwania skażeń [124];
   – nanoelektrody (sensory) służące do pomiaru *in vitro* zawartości NO_x w pojedynczych komórkach mózgu [125-127].

i) Przemysł kosmetyczny,przygotowującyna bazie nanomateriałów rozmaite kosmetyki, środki higieny i inne produkty obejmujące m.in.:
   – kremy do pielęgnacji twarzy, kremy przeciwsłoneczne (filtry UV) zawierające w swoim składzie np. filtry mineralne w postaci nanocząstek tlenku tytanu(IV) i tlenku cynku (ZnO) w zakresie wymiaru 1-30 nm [128-130];
   – preparaty firmy Nanoco Nano Silver Aqua zawierające nanocząstki srebra (Ag) i miedzi (Cu) stosowane do zwalczania bakterii i grzybów w basenach kąpielowych, akwariach oraz preparat Faruk Chi Nano zawierający nanocząstki srebra (Ag), służące do impregnacji tkanin i lakierów, zapobiegający przenoszeniu zanieczyszczeń i mikrobów [131].

j) Opakowalnictwo, które w oparciu o nanomateriały wytwarza:
   – środki zabezpieczające nadruki na bazie nanofosforanów(V) pierwiastków ziem rzadkich (RE, ang. ***r**are **e**arth*) [132];
   – niewidoczne kody kreskowe na bazie nanocząstek złota (Au) i srebra (Ag) [133];
   – zbiorniki na paliwo spełniające wymogi bezpieczeństwa przygotowane na bazie nanocząstek gliny [132, 134];
   – nanokompozyty polimerowe - modyfikowane bentonity, jako napełniacze tworzyw sztucznych stosowanych do konstrukcji nowoczesnych opakowań [132, 135];
   – nanocząstki metali, jako absorbenty ditlenu (O_2) w opakowaniach [136-147].

Copyright © 2017 Institute of Industrial Organic Chemistry, Poland

3. Zastosowania nanomateriałów do celów militarnych

Istotny wzrost nakładów finansowych przeznaczanych na nanonaukę zaowocował licznymi innowacyjnymi rozwiązaniami nanotechnologii, które zostały docenione i są wdrażane przez przemysł obronny [12, 16, 19, 39, 40, 148, 149, 151]. Udział produktów nanotechnologii w tym przemyśle został w dostępnej literaturze przedmiotu oszacowany na około 3% i dotyczy on niemal każdego jego aspektu [3, 5, 19, 148, 149]. Korzyści wynikające z wprowadzania do praktyki w przemyśle obronnym innowacyjnych rozwiązań nanotechnologii to:

a) Opracowanie nowej generacji uzbrojenia w oparciu o osiągnięcia nanotechnologii [12, 16, 19, 39, 40, 152, 153].
b) Możliwość istotnego zmniejszenie zarówno wymiaru jak i masy nowo wytwarzanych produktów przy jednoczesnym zachowaniu takiej samej, ale zazwyczaj wielokrotnie zwiększonej efektywności ich działania [3, 5, 8, 12, 16, 19, 39, 40]. Pozwala to m.in. na konstruowanie ładunków jądrowych o znacznie mniejszym wymiarze i efektywności działania, co stanowi nowe wyzwanie do podejmowania działań na rzecz ograniczenia i kontroli tego rodzaju broni [12, 19, 39, 40, 98]. Ponadto możliwość drastycznego zmniejszenia masy ekwipunku żołnierza przy jednoczesnym zachowaniu jego funkcjonalności, pozwala na zwiększenie jego mobilności, wytrzymałości i zasięgu działania [16, 19, 39, 40, 154-157].
c) Modyfikacje efektywności działania dotychczas stosowanych środków bojowych, których spektakularnymi przykładami są:
   – kompozytowe materiały wysokoenergetyczne (HE, ang. ***H**igh **E**xplosives*) modyfikowane w wyniku wprowadzania do ich składu w charakterze dodatków rozmaitych proszków metalicznych [aluminium (Al), miedzi (Cu), platyny (Pt), palladu (Pd)] w skali nano. Znajduje to odbicie w istotnym wzroście ich reaktywności chemicznej i temperatury produktów detonacji. Ponadto obserwuje się znaczne przyspieszenie osiągania stanu równowagi dystrybucji produktów ich rozkładu oraz polepszenie właściwości piroforycznych, co prowadzi do istotnego wzrostu efektywność ich działania [9, 11, 16, 19, 21, 33, 39, 40, 122, 153, 156-165];
   – termity (ang. *thermites*) określane też mianem termitów Goldschmidta lub mieszanin pirotechnicznych składających się z proszku określonego metalu spełniającego rolę reduktora zmieszanego w odpowiedniej proporcji z proszkiem właściwego tlenku metalu pełniącego rolę utleniacza oraz odpowiedniego paliwa, jako inicjatora reakcji. Reakcja utlenienia metalicznego proszku przebiega z dużą szybkością z jednoczesnym wydzieleniem znacznych ilości ciepła Q np.:
     $2Al + Fe_2O_3 \rightarrow Al_2O_3 + 2Fe + Q$
     Zastąpienie w klasycznym termicie proszku metalu i proszku tlenku metalu odpowiednimi składnikami w skali nano- prowadzi do uzyskania nowych produktów określanych mianem nanotermitów (ang. *nanothermites*) lub supertermitów (ang. *superthermites),* w których reakcja utleniania metalu przebiega niekiedy z szybkością niekiedy tysiąckrotnie większą, czemu ponadto towarzyszy wystąpienie bardzo reaktywnej fali nadciśnienia [12, 16, 19, 157].
     Celem uzyskania środków bojowych o większej mocy stosowane są dodatki materiałów określanych mianem supertermitów. Te ostatnie otrzymywane są na drodze łączenia ze sobą nanometali [np. nanoaluminium (Al)] z tlenkami metali [np. tlenek żelaza(III) (Fe_2O_3)] znajdujące m.in. zastosowane w podwodnych urządzeniach wybuchowych, w spłonkach do zapalania prochów i w paliwach rakietowych. Dodatek nanoproszków, takich jak np. aluminium (Al) powoduje zwiększenie energetyczności materiałów wybuchowych kruszących, prochów i termitów. Obecność nanomateriałów pozwala również na istotną redukcję masy ładunku lub paliwa, bez utraty wydajności określonego systemu broni [166].
     Metastabilne międzycząsteczkowe kompozyty (MIC's, ang. ***M**etastable **I**ntermolecular **C**omposites*), spośród których najlepiej rozpoznane zostały mieszaniny Al/MoO_3, Al/PTFE i Al/CuO to jeden z pierwszych przykładów osiągnięć nanoenergetyki [12, 16, 19, 39, 40, 98];
   – stałe i ciekłe paliwa rakietowe, gdzie istotnymi korzyściami wynikającymi z nanofikacji ich składników są m.in. możliwość uzyskania większej gęstości mocy, zwiększenie szybkości spalania oraz skrócenie czasu opóźnienia zapłonu finalnego produktu [12, 16, 19, 48, 98, 152, 155, 156, 164-169, 188].

Copyright © 2017 Institute of Industrial Organic Chemistry, Poland

– nowoczesna amunicja i głowice bojowe uzyskiwane w wyniku:
  i) zastępowania w przeciwpancernych pociskach podkalibrowych z rdzeniem z zubożonego uranu (U) np. nanokrystalicznym wolframem (W), co ułatwia penetrację pancerza wozu bojowego [5, 12, 16, 19, 39, 40, 121, 170, 173];
  ii) stosowania spieków ciężkich nanomateriałów do wyrobu rdzeni podkalibrowych i pełnokalibrowych pocisków przeciwpancernych; stwierdzono, że najlepszymi materiałami do ich wyrobu są spieki wolframu (W), wykazujące zarówno dużą wytrzymałość jak i plastyczność [12, 16, 17, 19, 39, 40, 98, 153, 170-174];
  iii) stopniowe zastępowania toksycznych pocisków ołowianych (Pb) pociskami wykonanymi z nanoaluminium (Al) [12, 16, 19, 39, 40, 98, 175].
– nanomateriały wykorzystywane w pancerzach osobistych, pojazdów bojowych, okrętów i samolotów. Spektakularnym przykładem jest w tym przypadku technologia produkcji ceramicznych materiałów pancernych na bazie nanoproszku węglika boru (B_4C), opracowana przez rosyjską firmę NeVz [19, 176, 180, 188]. Z materiałów tych wykonywane są pancerze pojazdów bojowych oraz indywidualne osłony kuloodporne zwiększające 5-6 krotne skuteczności ochrony przy 4-krotnie mniejszej masie. W licznych pracach wykazano, że nanostrukturalna budowa materiałów przygotowanych na bazie stopów żelaza pozwala na istotne zwiększenie ich odporność na uderzenia [176-182]. Tworzywem do wytwarzania nowoczesnych pancerzy pojazdów bojowych, wzmacniania struktury kadłubów okrętów i samolotów są również stopy aluminium w połączeniu z nanorurkami węglowymi, dzięki czemu stają się one bardziej odporne na uderzenia, bardziej trwałe i lżejsze [12, 16, 19, 39, 40, 66, 98, 183].

d) Możliwości wytwarzania całkowicie nowych materiałów i obiektów na bazie m.in. na niedawno skonstruowanych, takich jak nowe postaci węgla pierwiastkowego (C), grafen, nanorurki i fulereny [12, 16, 19, 39, 40, 66, 98, 76, 184-188];

e) Innowacyjne materiały pomocnicze do których można zaliczyć:
  – materiały optyczne stanowiące podstawę do konstrukcji innowacyjnych systemów komunikacyjnych obejmujących m.in. nowe sposoby kontroli, przenoszenia i przekazywania informacji fotonicznych [12, 16, 19, 39, 40, 76, 98, 118, 119, 184, 188, 190];
  – detektory podczerwieni (kwantowe i termiczne), nanorurki węglowe jako pierwsze w nanoskali detektory podczerwieni (IR, ang. ***I**nfra **R**ed*) [19, 74, 98, 118, 188-190];
  – metamateriały umożliwiające konstruowanie układów z ujemnym indeksem refrakcji; obiekt pokryty takim materiałem może być niewidzialny w ograniczonym zakresie szerokości widma promieniowania elektromagnetycznego [4, 8, 12, 19, 39, 40, 98, 188, 191, 192];
  – materiały, które w odwracalny sposób zmieniają charakterystykę transmisji światła w zależności od temperatury otoczenia, natężenia promieniowania i długości fali padającego promieniowania nadfioletowego (UV) [12, 19, 98, 193-196].

    Po raz pierwszy materiały te znalazły praktyczne zastosowanie w 1964 r. w charakterze przyciemniających i odbarwiających soczewek fotochromowych (okularów przeciwsłonecznych) zawierających nanocząstki halogenków srebra (AgX), których jony srebra (Ag^+) pod wpływem promieniowania UV zmieniają w sposób odwracalny swoją strukturę elektronową ($Ag^+ \leftrightarrow Ag^o$). Soczewki te reagują na otoczenie, zaś poziom ich ściemniania zależy od temperatury otoczenia i ekspozycji na promieniowanie adaptacyjne. Wprowadzone później materiały fotoniczne przygotowane na bazie organicznych ciekłych kryształów ze względu na zbyt długi czas reakcji na promieniowanie UV, czułość na uszkodzenie przez czynniki środowiskowe oraz wysokie koszty produkcji nie znalazły szerszego zastosowania [193]. Obecnie, jako materiału fonicznego do pokrywania dużych powierzchni stosuje się najczęściej nanocząstki ditlenku wanadu (VO_2) zawieszone w matrycy krzemionkowej (SiO_2) [119, 194], pierwiastki ziem rzadkich (RE) i niektóre metale przejściowe [196]. Wspomniane kompozyty są trwałe i mogą być stosowane po pokrywania dużych powierzchni (np. kadłubów samolotu i okrętów) i co bardzo istotne są one względnie tanie w produkcji [19, 193-196];
  – materiały służące do magazynowania energii [12, 19, 98, 152, 155];

Copyright © 2017 Institute of Industrial Organic Chemistry, Poland

– materiały do magazynowania ciepła [12, 19, 39, 40, 188];
– materiały do zarządzania itp. obejmujące zaawansowane układy elektroniczne;
– układy służące do przetwarzania informacji [12, 19, 39, 40];
– nanostrukturalne magnesy w telefonach komórkowych [5, 12, 19, 40, 96, 98];
– napędy dysków w PC i urządzeniach bezprzewodowych [12, 19, 39, 40];
– przenośne komputery (ang. *wearable computers*) przystosowane do stosowania zarówno dla celów medycznych, przemysłowych jak i militarnych [12, 16, 19, 39, 40, 96];
– materiały konstrukcyjne instalacji wojskowych, np. szyn wyrzutni pocisków dzięki którym deflagracja prochu nadaje im dużą prędkość [5, 12, 19, 39, 40, 96, 98, 101].

f) Materiały służące do przygotowania nowej generacji składników umundurowania oraz ekwipunku żołnierza (tj. broni, zapasów amunicji, wyposażenia elektronicznego i źródeł jego zasilania) [5, 12, 16, 19, 39, 40, 84, 97, 197-202].

Innowacyjne rozwiązania nanotechnologii umożliwiają opracowanie bardziej efektywnych narzędzi ułatwiających rozwiązywanie problemów z jakimi spotykają się żołnierze na polu walki. Do istotnych zalicza się:

a) możliwość drastycznego zmniejszenia masy polowego umundurowania i ekwipunku żołnierza przy jednoczesnym zachowaniu jego funkcjonalności, co pozwala na zwiększenie jego mobilności, wytrzymałości i zasięgu działania [19, 97, 154, 197-202];
b) możliwość szybkiej likwidacji ponoszonych urazów [19, 39, 40, 157, 197, 200, 201];
c) innowacyjne czynniki poprawiające lub podtrzymujące sprawność żołnierza, np. w przypadku braku snu [156, 157, 200];
d) mundury przygotowane z wielofunkcyjnych, inteligentnie dostosowujących się materiałów, które, np. w przypadku zranienia samoczynnie opatrują ranę [12, 19, 97, 98, 197, 200];
e) innowacyjne systemy wbudowane w mundur pozwalające na wykrywanie i unieszkodliwianie skażeń chemicznych i biologicznych; ponadto interaktywne materiały zapewniające nie tylko pasywną ochronę, lecz także w najbliższej przyszłości stanowić będą ochronę przed promieniowaniem radiacyjnym i elektromagnetycznym [12, 19, 39, 40, 97, 197-201];
f) nowe włókna syntetyczne, których przykładem jest włókno aramidowe o handlowej nazwie *Kevlar*®, będące jednym z najbardziej wytrzymałych włókien syntetycznych (pięciokrotnie wytrzymalszym od stali) stosowanym m.in., jako tworzywo do wyrobu kamizelek kuloodpornych [19, 97, 98, 197, 201, 203];
g) nanopianki wykazujące osobliwe właściwości termoizolacyjne [19, 97, 98, 197, 201-204];
h) ultralekką odzież i obuwie oraz podgrzewane nakrycia głowy, rękawiczki i skarpetki [12, 97, 98, 201, 204];
i) odzież przygotowaną z tkaniny *Nano-Care* skonstruowanej w 100% z bawełny o skośnym splocie, która poddana odpowiedniemu procesowi impregnacji za pomocą nanocząstek inżynierskich nabiera większej trwałość, odporności na zabrudzenie i zawilgocenie oraz ułatwia wymianę gazów z otoczeniem (tzw. odzież oddychająca) [204];
j) mundury zaopatrzone w system kamuflażu (tzw. aktywny kameleon) chroniący żołnierzy przed ich wykryciem na polu walki [19, 97, 98, 197, 201, 204].

W 2002 r. w USA powołano do życia Wojskowy Instytut Nanotechnologii (IST, ang. ***I**nstitute **S**oldier **N**anotechnology*) współpracujący z Centrum Badań Armii USA, Instytutem Technologicznym w Massachusetts oraz odpowiednimi sektorami przemysłu. Wspomniane instytucje ściśle współpracując realizują projekty, których finalnym celem jest przygotowanie samowystarczalnych żołnierzy zdolnych do radzenia sobie w ekstremalnych i trudnych do przewidzenia sytuacjach [19, 197, 199, 204]. Przeżywalność żołnierzy ulegnie istotnemu zwiększeniu w wyniku stosowania elastycznych zbroi do konstrukcji których zostaną m.in. wykorzystane matryce przygotowane z nanowłókien np. SiC [84, 197, 198, 201, 204].

Ponadto, w bazie wojskowej w Natick działa Centrum Wojskowych Systemów (NSSC, ang. *U.S. Army **N**atick **S**oldier **S**ystem **C**enter*) będące jedyną instytucją na świecie, której działania skupione są głównie nad opracowaniem koncepcji wojownika przyszłości (FWC, ang. ***F**uture **W**arrior **C**oncept*) [199]. Ostatecznym ich celem jest opracowanie wielofunkcyjnego polowego umundurowania (ang. *battlesuit*), do konstrukcji którego zostaną zastosowane najnowsze osiągnięcia nanotechnologii [197]. Przygotowywane są również specjalistyczne

Copyright © 2017 Institute of Industrial Organic Chemistry, Poland

lekkie i zapewniające komfort umundurowania, zdolne do monitorowania stanu kondycji, zdrowia i poziomu stresu żołnierza oraz wspomagania jego leczenia [12, 19, 40, 197-204].

4. Sektory potencjalnego stosowania nanocząstek inżynierskich

Podejmowane są wysiłki zmierzające do finalizacji realizowanych programów badawczych i opracowywanie nowych mających na celu praktyczne wykorzystanie osobliwych właściwości nanocząstek inżynierskich. Na wyróżnienie zasługują projekty dotyczące nowych innowacyjnych:

a) składu chemicznego mało wrażliwych materiałów wysokoenergetycznych uwalniających energię w ilości odpowiedniej do realizacji zamierzonego celu obejmujących amunicję, paliwa rakietowe, materiały termobaryczne (ang. *thermobarics*), wielofunkcyjne głowice bojowe amerykańskiej firmy ASP (ang. ***A**rmament **S**ystems and **P**rocedures, Inc.*) [12, 19, 39, 40, 173, 196];
b) sposobów manipulowania przepływu energii między cząsteczkami i w ich otoczeniu oraz polami fizycznymi, określanych mianem nanoenergetyki (ang. *nanoenergentics*), które umożliwią skonstruowanie broni o wielokrotnie większej sile rażenia od obecnie stosowanych [5, 12, 16, 19, 39, 40, 98, 152, 155];
c) kompozycji materiałów wybuchowych w wyniku odpowiedniego doboru nanomateriałów pozwalających na znacznie zwiększenie ich mocy [12, 16, 19, 39, 40, 154, 173, 188];
d) konstrukcji bomb jądrowych o znacznie mniejszych wymiarach określanych mianem materiałów mini nuklearnych (ang. *mini-nuke*) [12, 16, 19, 39-43, 121, 141]; możliwość ta stanowi nowe wyzwania do podejmowania działań na rzecz ograniczenia i kontroli tego rodzaju broni [12, 39, 40];
e) produktów do stosowania w budownictwie, jak np. okna z wmontowanymi kropkami kwantowymi (ang. *quantum dots*) jako panele słoneczne [12, 19, 101, 103];
f) materiałów o dużej przyczepności porównywalnej np. do łap gekona [12, 19, 149, 152];
g) kuloodpornych garniturów uszytych na bazie materiału zawierającego polietylen o ultra dużej masie cząsteczkowej, włókno oznaczone akronimem UHMPE (ang. ***U**ltra **H**igh **M**olecular **W**eight **P**olyethylene*) [12, 19, 97, 98, 201-204];
h) wojskowego kombinezonu oznaczonego akronimem TALOS (ang. ***T**actical **A**ssault **L**ight **O**perator **S**uits)* zapewniającego ochronę balistyczną całego ciała [19, 97, 98, 197, 204];
i) nanomateriałów projektowanych, których przykładem może być grupa polimerów złożonych z dużych molekuł o dobrze zdefiniowanej strukturze określanej mianem dendrytów, których przykładem może być np. kwiatopochodna struktura TiO_2 [12, 19, 39, 40-43, 188];
j) materiałów polimerowych z wbudowanymi nanocząstkami inżynierskim (np. Au/MoS_2), dzięki którym nabierają one wysoką odporność na ścieranie oraz właściwości ślizgowe, co sprawia, że znajdują one zastosowanie, jako bezsmarowe elementy maszyn [12, 19, 40, 182, 200-210];
k) materiałów odpornych na oddziaływanie wysokiej temperatury m.in. materiałów ceramicznych [10, 12, 16, 19, 32, 84, 208-210];
l) nanokrystalicznych materiałów stosowanych jako materiały gradientowe FGM's (ang. ***F**unctionally **G**radient **M**aterials*) m.in. w układach elektronicznych i biomedycznych [12, 19, 39, 40, 98, 152, 188, 207, 208, 211];
ł) implantów przygotowanych na bazie nanomateriałów węglowych i tlenkowych [5, 12, 19, 91, 157, 201, 211];
m) urządzeń elektronicznych stosowanych do przekazu informacji, noktowizji i nawigacji oraz rozmaitego rodzaju czujników (np. ruchu, stanu sprzętu i amunicji) [5, 12, 16, 19, 39, 40, 92-95, 208, 212].

Przedstawione powyżej wybrane przykłady udziału innowacyjnych produktów nanotechnologii wytwarzanych przez przemysł zbrojeniowy, które w istotny sposób zwiększają: szereg funkcji umundurowania zapewniającego jednocześnie żołnierzowi większe bezpieczeństwo, zakres i efektywność działania sprzętu wojskowego, efektywność dotychczas stosowanych materiałów wysokoenergetycznych oraz mocy bomb termobarycznych (paliwowo-powietrznych) o znacznie mniejszej masie. Szczególną uwagę poświęca się niedawno odkrytym nanopostaciom węgla pierwiastkowego (C) jak fulereny, nanorurki i grafen o nie do końca rozpoznanych możliwościach praktycznego stosowania.

Copyright © 2017 Institute of Industrial Organic Chemistry, Poland

5. Obawy wynikające z uwalniania nanocząstek inżynierskich do środowiska przyrodniczego

Rosnącej lawinowo ilości publikowanych monografii, prac doświadczalnych i patentów dotyczących nanocząstek inżynierskich towarzyszy jednocześnie wzrost liczby publikacji wskazujących na ich toksyczne, cytotoksyczne i genotoksyczne właściwości stanowiące zagrożenie dla biotycznego środowiska przyrodniczego [188, 203, 208, 215, 216]. Ponadto dynamiczny rozwój nanonauki i nanotechnologii sprawił, że w okresie zaledwie kilkunastu lat Encyklopedia Nanonauki i Nanotechnologii *(Dekker Encyclopedia Nanoscience and Nanotechnology*) wobec konieczności uaktualnienia stanu wiedzy doczekała się aż trzech wydań (I-2004, II-2009 i III-2016), z których każda składa się z sześciu tomów [208].

Rewolucyjne zmiany zachodzące w technologii znajdują też odbicie w bardzo szybko rosnącej liczbie produktów przygotowywanych z udziałem nonocząstek inżynierskich jak i powiększający się ich asortyment zarówno w sektorach cywilnych jak i wojskowych [19, 208, 217]. Wspomniany wzrost produkcji nanomateriałów stwarza potencjalną możliwość uwalniania nanocząstek do środowiska przyrodniczego, które oddziałują z żywymi organizmami [208]. Przenikając do biosfery ze względu na wykazywaną wysoką reaktywność chemiczną wynikająca z ich niewielkich wymiarów sprawia, że stanowią one istotne źródło zagrożeń dla zdrowia ludzi, bezpieczeństwa międzynarodowego i przyszłości wojska [130, 155, 189, 200, 208, 216, 218, 220-226]. Negatywne oddziaływanie nanocząstek na środowisko przyrodnicze określa również szybkość ich transportu zdeterminowana przez takie parametry jak: rozpuszczalność w warunkach otoczenia zależna od wilgotności i temperatury atmosfery, zjawisko dyfuzji, skłonność do koagulacji i w konsekwencji do depozycji [224-230].

Aktualnie źródłem poważnych obaw jest szybko rosnąca zarówno ilość jak i asortyment produktów codziennego użytku wprowadzanych na rynek zawierających nanocząstki inżynierskie bez wystarczającej znajomości ich oddziaływania na zdrowie ludzi i środowisko przyrodnicze [175, 208]. Prowadzony monitoring wskazuje, że nanocząstki w coraz to większej ilości trafiają do wszystkich elementów biosfery (powietrza atmosferycznego, wody oraz gleby) i tym samym do żywych organizmów [130, 175, 200, 205, 208, 215, 216, 223-229]. Brak dostatecznych danych dotyczących toksyczności [203, 215, 218, 221, 224, 230], cytoksyczności [231, 232], genotoksyczności [216, 218, 232] immunotoksyczności, efektów stresu oksydatywnego i czasu latencji nanocząstek [208]. Wspomniane zagrożenia są obecnie przedmiotem coraz szerszego zainteresowania, prowadzonych dyskusji oraz działań protestujących przeciw wprowadzaniu na rynek nanoproduktów, co przypomina niedawno prowadzone kampanie przeciw żywności modyfikowanej genetycznie GMO (ang. ***G**enetic **M**odified **O**rganisms*). Znajomość właściwości chemicznych i fizycznych cząstek określonej substancji w skali makro [224] okazuje się być jedynie pomocna przy określaniu poziomu zagrożenia w wyniku jej oddziaływania w nanoskali [233].

Głównymi drogami przenikania nanocząstek do żywych organizmów są:

a) układ oddechowy, którego sprawność gwałtownie maleje wraz ze stopniem zdyspergowania cząstek;
   Wiadomo, że pyły [224] i nanocząstki [200, 208, 233] mogą osadzać się w płucach wykazując podobny mechanizm oddziaływania, co demonstrowano na przykładzie włókien azbestu [234].
   Potencjalnymi skutkami ich osadzania są zaburzenia układu oddechowego (pylica, rak płuc) i krwionośnego lub wystąpienie odczynów alergicznych [200, 208, 215, 218, 220, 222-225, 230-231]. Ponadto nanocząstki o rozmiarach porównywalnych do wykazywanych przez struktury biologiczne mogą ulegać wchłonięciu przez komórki organizmów m.in. w wyniku endocytozy, która jest specyficznym sposobem transportowania większych cząsteczek do wnętrza komórki gdzie tworzą się wakuole (wodniczki) [200, 208].
b) skóra, przez którą przenikają do wnętrza organizmu, co wykazano m.in. na przykładzie. kremów zawierających nanocząstki TiO_2 [200, 203, 208, 215, 216, 232, 235, 236];
   Nanocząstki mogą także przenikać do organizmu przez białka transportujące lub kanały jonowe, po czym wiążą się z organellami wewnątrzkomórkowymi [236, 208].
c) pobieranie przez przewód pokarmowy wraz z wodą pitną [200, 208, 227-232, 237];
d) możliwość przenikania nanocząstek przez barierę krew/mózg [236, 238];
e) możliwość pełnienia funkcji nośnika innych substancji toksycznych [200, 208, 239, 240].

Copyright © 2017 Institute of Industrial Organic Chemistry, Poland

Szczególną grupą zagrożeń wzbudzających obawy społeczeństw są wojskowe zastosowania nanotechnologii spośród których na wyróżnienie zasługują:

a) potencjalna możliwość wykorzystania zaawansowanych technik wojskowych przez organizacje terrorystyczne (nanoterroryzm) [155, 200, 208, 238];
b) konstrukcje nowych typów broni masowego rażenia w postaci kapsułek przenoszonych w organizmie człowieka, rośliny lub nanoroboty [156, 208, 220];
c) potencjalna możliwość skonstruowania na bazie nanomateriałów trudnej do wykrycia broni lub substancji wysokoenergetycznych [12, 39, 40, 188, 200, 208, 228];
d) nanosensory umożliwiające przechwytywanie przez terrorystów zbieranych i gromadzonych danych [188, 208, 216, 220];
e) opracowania rozmaitego rodzaju urządzeń chroniących dostęp do posiadanych tajnych informacji i wyników badań [208];
f) problemy natury społeczno-etycznej [240-245].

W literaturze przedmiotu pojawiają się coraz liczniej publikacje wskazujące na potrzebę podejmowania działań chroniących społeczeństwo przed zagrożeniami ze strony produktów nanotechnologii polegających na:

– monitorowaniu badań realizowanych zarówno w jednostkach państwowych jak i prywatnych [203, 208, 216, 240, 244];
– prowadzeniu szerokich interdyscyplinarnych badań nad oddziaływaniem nanocząstek inżynierskich na biosferę [15, 151, 200, 208, 216, 227, 246, 247];
– zacieśnieniu współpracy pomiędzy sektorami cywilnymi i wojskowymi [208, 242, 248];
– zapewnieniu jednostkom badawczych ochronę posiadanych informacji i wyników badań [15, 151, 200, 208];
– infiltracja środowiska terrorystycznego [31, 208];
– opracowywaniu regulacji prawnych odnoszących się do nanomateriałów, nanoproduktów i nanoobiektów [208, 248];
– opracowaniu charakterystyki (chemicznej, fizycznej i biologicznej) nanocząstek oraz metody stosowanych w analityce pomiarowej nanomateriałów do wiarygodnej oceny ich negatywnego oddziaływania [208, 249-251];
– budzeniu świadomości ekologicznej społeczeństwa poprzez mass media [208].

6. Podsumowanie

Niezwykle dynamiczny rozwój nanonauki i nanotechnologii sprawił, że w wielu dziedzinach nauki i w sektorach przemysłu zachodzą rewolucyjne zmiany budząc ogromne nadzieje na potencjalną możliwość rozwiązania całego szeregu istotnych problemów współczesnego świata. Nanostrukturalne materiały określane też mianem nanocząstek inżynierskich stanowiące produkt nanotechnologii wykazują w porównaniu do swoich odpowiedników w skali makro unikatowe właściwości fizyczne, chemiczne, biologiczne i mechaniczne oraz zjawiska. Wszystko to sprawia, że znajdują one praktyczne zastosowanie zarówno w sektorach cywilnych jak i wojskowych, czego liczne przykłady zademonstrowano w tekście pracy. Najnowsze dane odnośnie rozwoju nanotechnologii, nanoproduktów i nanobiznesu przynosi najnowszy raport OECD z listopada 2017 roku, który wskazuje, że nakłady na badania i rozwój w tym zakresie rosną w tempie około 8% rocznie [252]. Istotnym problemem są trudności w opracowaniu metod syntezy nanocząstek inżynierskich pozwalające na ich wytwarzanie w skali technicznej. Zazwyczaj otrzymuje się je w skali laboratoryjnej, co sprawia, że są one drogie, czas ich syntezy jest zbyt długi i występują problemy z powtarzalnością stosowanej metody syntezy. Podejmowane działania zmierzają do ujednolicenia metod syntezy nanocząstek, zaś modyfikacja ich powierzchni do zwiększenia ich homogeniczności, monodyspersyjności i stabilności.

Rosnąca gwałtownie liczba praktycznych zastosowań nanocząstek inżynierskich i realna możliwość ich przenikania do środowiska przyrodniczego jest przedmiotem poważnych obaw, znajdujących odbicie w coraz liczniejszych publikacjach i protestach [253, 254]. Zatem obok niewątpliwych korzyści wynikających ze stosowania nanotechnologii będziemy potencjalnie narażeni na udokumentowane już w licznych publikacjach

Copyright © 2017 Institute of Industrial Organic Chemistry, Poland

toksyczne, cytotoksyczne i genotoksyczne działanie nanocząstek. Pojawiają się też apele nawołujące do podejmowania badań nad zagrożeniami wynikającymi z obecności nanocząstek w biosferze i opracowania odpowiednich aktów legislacyjnych prawnych dopuszczających je do praktycznego stosowania. Przyjmuje się, że jednym z najbardziej perspektywicznych zastosowań nanomateriałów jest energetyka i pamięć masowa.

Literatura

[1] Bréchignac C., Houdy P., Lahmani M., (Eds.). 2001. *Nanomaterials and Nanochemistry.* Springer-Verlag-Berlin, Heidelberg.

[2] Edelstein A.S., Cammaratra R.C., (Eds.). 1998. *Nanomaterials: Synthesis. Properties and Applications.* Great Britain, London : Taylor & Francis.

[3] Knauth Ph., Schoonman J., (Eds.). 2004. *Nanostructured Materials. Selected Synthesis Methods, Properties and Application*. Kluwer.

[4] Klabunde K.J., (Ed.). 2008. *Nanoscale Materials in Chemistry.* New York : J. Willey.

[5] Vollath D. 2008. *Nanomaterials: An Introduction to Synthesis, Properties and Application.* Weinheim : J. Willey-VCH.

[6] Cadermartini L., Ozin G.A. 2011. *Nanochemia podstawowa, koncepcje.* Warszawa : PWN.

[7] Tang Z., Sheng P. 2008. *Nanoscale phenomena, basic science to device applications.Berlin,* Heidelberg : Springer-Verlag.

[8] Gullapalli S., Wong M.S. 2011. Nanotechnology: A Guide to Nano-Objects. *Chem. Eng. Prog.* 107 (5): 28-32.

[9] Ostrikov K., Neyts E.C., Meyyappan M. 2013. Plasma Nanoscience: From Nano-Solids in Plasmas to Nano-Plasmas in Solids. *Adv. Phys.* 62: 113-224.

[10] Tjong S.C., Chen H. 2004. Nanocrystalline Materials and Coatings. *Mater. Sci. Eng.* 45 (1-2): 1-88.

[11] Prior M.H. 1990. *Size Reduction, Principles of Powder Technology.* Ed. M. Rhodes, J. Willey, Chichester.

[12] Ramsden J.J. 2012. *Applied Nanotechnology*. 1st ed., Elsevier.

[13] Kelsal R.W., Hamley I.W., Geoghegan M. 2008. *Nanotechnologie.* Warszawa : PWN.

[14] Taniguchi N. 1996. *Nanotechnology. Integral Processing Systems for Ultra Precision and Ultra-fine Products.* Oxford : Oxford Science Publishing.

[15] Manalis A.G. 2007. Recent advances in nanotechnology. *J. Materials Processing Technology* 18 (1-3): 52-58.

[16] Ramsden J.J. 2012. Nanotechnology for military applications. *Nanotechnology Perception* 8: 99-131.

[17] Kurzydłowski K., Lewandowska M. 2010. *Nanomateriały inżynierskie konstrukcyjne i funkcjonalne.* Warszawa : Wyd. PWN.

[18] Christian P., van der Kammer F., Baalousha M., Hofmann T. 2008. Nanoparticles: Structure, properties, preparation and behaviour in environmental media. *Ecotoxicology* 17 (5): 326-343.

[19] Zarko V., Gromow A. 2016. *Energetic nanomaterials. Characterization and Application.* 1stEd. Elsevier.

[20] Kohler M., Fritzsche W. 2007. *Nanotechnology, An Introduction to Nanostructuring Techniques.* Weinheim: Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA.

[21] Pang S.C., Kho S.Y., Chin S.F. 2012. Fabrication of Magnetite/Silica/Titania Core Shell Nanoparticles. *J. Nanomater.* 20: 1-6.

[22] Aumann C.E., Skofronick G.L., Martin J.A. 1995. Oxidation Behavior of Aluminum Nanopowders. *Journal of Vacuum Science & Technology B* 13 (2): 1178-1183.

[23] Thostenson E., Li C., Chou T. 2005. Nanocomposites in context. *Composites Science and Technology* 65 (3-4): 491-516.

[24] Gash A.E., Simpson R.L., Tillotson T.M., Satcher J.H., Hrubesh L.W. 2000. *Making Nanostructured Pyrotechnics.* In: A Beaker. Proceedings of the 27th International Pyrotechnic Seminar, pp. 41-53, Grand Junction, Colorado.

[25] Martin J.A., Muray A.S., Busse J.R. 1998. Metastable Intermolecular Composites. *Warhead Technology* 179-191.

Copyright © 2017 Institute of Industrial Organic Chemistry, Poland

[26] Foltynowicz Z. 2008. *Nowe trendy w towaroznawstwie przemysłowym*. W: Towaroznawstwo Opakowania-Logistyka, (Foltynowicz Z., Jasiczak J., Szyszka G., red.) Uniwersytet Ekonomiczny w Poznaniu, s. 58-72.
[27] Pietrzak R., Wachowski L. 2013. *Obszary potencjalnego praktycznego stosowania nanomateriałów.* W: Odpady i opakowania – nowe regulacje prawne i obowiązki (Wachowski L., red.) Poznań : Wyd. Explanator, czerwiec 2013, rozdz. 1/6, str. 1-15.
[28] Nanotechnology Market 2017 Share, Trend, Segmentation and Forecast to 2020. https://www.einpresswire.com/article/370346275/nanotechnology-market-2017-share-trend-segmentation-and-forecast-to-2020 [strona dostępna: 20.11.2017].
[29] Project on Emerging Nanotechnologies. An inventory of nanotechnology-based consumeproducts currently on the market. Woodrow Wilson International Centre for Scholars. http://www. nanotechproject.org/inventories/consumer/ [strona dostępna: 04.2011].
[30] Vance M.E., Kuiken T., Vejerano E.P., McGinnis S.P., Hochella M.F. Jr., Rejeski D., Hull M. 2015. Nanotechnology in the real world: Redeveloping the nanomaterial consumer products Inventory. *Beilstein Journal of Nanotechnology* 6: 1769-1780.
[31] New Nanotech Products Hitting the Market at the Rate of 3-4 Per Week. http://www.nanotechproject.org/news/archive/6697/ [strona dostępna: 20.11.2017].
[32] Puszyński J.A. 2000. *Advances in the Formation of Metallic and Ceramic Nanopowders.* W: Powder Materials: Current Research and Industrial Practices 89-105.
[33] Shenhar R., Rotello V.M. 2003. Nanoparticles: Scaffolds and Building Blocks. *Acc. Chem. Res.* 36: 549-561.
[34] Yaghmaee M.S., Shokri B., Rahimipour M.R. 2009. Size Dependence Surface Activity of Metallic Nanoparticles Plasma Prosesses. *Polym.* 6: 876-832.
[35] Gromov A., Ilyin A., Förter-Barth U., Teipel U. 2007. Characterization of Aluminum Powders: Aluminum Nanopowders Passivated by Non-Inert Coatings. *Propellants Explos. Pyrotech.* 31 (4): 401-409.
[36] Aumann C.E., Skofronick G.L., Martin J.A. 1995. Oxidation Behavior of Aluminum Nanopowders. *Journal of Vacuum Science & Technology B, Nanotechnology and Microelectronics: Materials, Processing, Measurement, and Phenomena* 13 (3): 1178-1183; https://doi.org/10.1116/1.588232.
[37] Cliff M., Tepper F., Lisetsky V. 2001. Ageing Characteristics of Alex® Nanosize Aluminum. In: Proc. of the 37th AIAA Joint Propulsion Meeting, Salt Lake City, p. 3287.
[38] Nanomaterials: Moving towards stabilization. *Eur. Business Rev.* July–August 2011, 70-72.
[39] Klapötke T.M. 2011. *Chemistry of High-Energy Materials.* Berlin : Walter de Gruyter.
[40] Berner M.K., Zarko V.E., Talawar M.B. 2013. Nanoparticles of energetic materials: Synthesis and properties. *Combustion, Explosion and Shock Waves* 49 (6): 625-647.
[41] Teipel U. 2005. *Energetic Materials. Particle Processing and Characterization.* Weinheim : Wiley-VCH.
[42] Huber D.L. 2005. Synthesis, Properties, and Applications of Iron Nanoparticles. *Small* 1 (5): 482-501.
[43] Koplowitz D.A., Jiang G.Q., Gaskell K. 2014. Synthesis and Reactive Properties of Iron Oxides Coated Nanoaluminum. *J. Energ. Mater.* 32 (2): 95-105.
[44] Karagedov G.R, Lyakhov N.Z. 1999. Production and Sintering of a Nanocrystalline Powder of α-A_2O_3. *Khim. Interes. Ust. Razv.* 7 (3): 229-238.
[45] Przybyszewska M., Zaborski M. 2009. Nanometryczny tlenek cynku, metody syntezy, właściwości, zastosowanie. *Przemysł Chemiczny* 88 (2): 15.
[46] Polizzi S., Battagliarin M., Bettinelli M., Speghini A., Fagherazzi G. 2002. Investigation on Lanthanide-doped Y_2O_3 Nanopowders Obtained by Wet Chemical Synthesis. *J. Mater. Chem.* 12: 742-747.
[47] Stöber W. 1968. Controlled Growth of Monodisperse Silica Spheres in the Micron Size Range. *J. Colloid Interface Sci.* 26: 62-69.
[48] Wang Y.P., Zhu W.J. Yang X.P., Lu L.D., Wang X. 2005. Preparation of NiO Nanoparticles and their Catalytic Activity in the Thermal Decomposition of Ammonium Perchlorate. *Termochimica Acta* 437 (1-2): 105-109.

Copyright © 2017 Institute of Industrial Organic Chemistry, Poland

[49] Gusew A.I. 2009. Nanocrystalline materials: Synthesis and properties. In: Dekker Encyclopedia Nanoscience and Nanotechnology, vol. IV, New York : Francis & Taylor, Baca Raton p. 2621.
[50] Gash A.E., Tillotson T.M. Poco J.F., Satcher J.H., Jr., Hrubesh L.W., Simpson, R.L. 2001. New Sol-Gel Synthetic Route to Transition and Main-Group Metal Oxide Aerogels Using Inorganic Salt Precursors. *J. Non-Cryst. Solids* 285: 22-28.
[51] Jurczyk M., Jakubowicz J. 2004. *Nanomateriały ceramiczne.* Poznań : Wyd. Politechniki Poznańskiej.
[52] Interante L.V., Hampten-Smith M.J., (Eds). 1998. *Chemistry of Advanced Materials.* New York : Willey VCH.
[53] Lach E., Wolf T., Scharf M. 2015. Submicro and nano ceramic as ballistic protective material. *Mechanic* 88 (2): 45-56.
[54] Rosenberg Z., Dekel E. 2012. *Terminal Ballistics.* Heidelberg : Springer Verlag.
[55] Jedliński Z. 2005. Nowe nanopolimery – zastosowanie jako nośniki leków w medycynie. *Inżynieria* 8 (47-53): 37-38.
[56] Aguilar, J.O., Bautista-Quijano J.R., Aviles F. 2010. Influence of carbon nanotube clustering on the electrical conductivity of polymer composite. *eXPRESS Polymer Lett.* 4 (5): 292-299.
[57] Tsay T.Y. 2000. *Polyethylene Terephtalate Clay Nanocomposite*. In: Polymer-clay Nanocomposite. (Pinavaia T.J., Beek G.W., (Eds)) Chichester : Willey Ltd.
[58] Theny B.K.G. 1979. *Formulation and properties of clay-polymer complexes.* Elsevier.
[59] Glebov E., Yuan L., Kishtopa L. 2001. Coating of Metal Powders with Polymers in Supercritical Carbon Dioxide. *Ind. Chem. Res.* 40 (19): 4057-4068.
[60] http://moto.pl/MotoPL/1,88389,19038388,porsche-tequipment-metamorfoza-uzywanej-911-ki.html [strona dostępna: 24.11.2017].
[61] Zao S., Malfait J., Demilecan A., Zhang Y., Brunner S., Huber L., Tigmant P., Rigacci T., Bultova T., Koelbel M.M. 2015. Strong thermally insulating biopolymer-silica aerogel hybrids by cogelation of silica acid with pectin. *Angew. Chem. Int. Ed.* 54: 14282-14286.
[62] Sakiyama-Elbert S.E., Hubbell J. 2001. Functional Biomaterials: Design of novel Biomaterials. *Annual Review of Materials Research* 31: 183-201.
[63] Stodolak-Zych E., Frączek-Szczypta A., Błażewicz M. 2011. Nonokompozyty polimerowo-ceramiczne w chirurgii kości. *Materiały Kompozytowe Stosowane w Przemyśle* 3: 54-58.
[64] Stodolak-Zych E., Gadomska K., Łącz A., Boguń M. 2009. Polymer-ceramic composition for application in the bone surgery.*J. Phys. Conf. Ser.* 146 (1): 1-6.
[65] Bordes P., Pollet E., Averous L. 2009. Nano Biocomposites: Biopolimer Polyester Nanoclay. *Science* 34 (2): 125-155.
[66] Popov V.N. 2004. Carbon nanotubes: properties and applications. *Mat. Sci. Eng.* R(43): 61-102.
[67] Collins P.G. 2000. Nanotubes for Electronics. *Scientific American* 67-69.
[68] Hong S., Myung S. 2007. Nanotube Electronics: A flexible approach to mobility. *Nature Nanotechnology* 2 (4): 207-208.
[69] Charlie J.C., Roche S. 2007. Electronic and transport properties of nanotubes. *Reviews of Modern Physics* 79 (2): 677-732.
[70] Wang X., Li Q., Xie J., Jin Z., Wang J., Li Y., Jiang, K., Fan S. 2009. Fabrication of Ultralong and Electrically Uniform Single-Walled Carbon Nanotubes on Clean Substrates. *Nano Letters* 9 (9): 3137-3141.
[71] Dekker C. 1999. Carbon nanotubes as molecular quantum wires. *Physics Today* 52 (5): 22-28.
[72] Menon, M. 1997. Carbon Nanotube: Nanoscale Metal-Semiconductor-Metal Contact Devices. *Physical Review Letters* 79: 4453-4456.
[73] Smith B.W., Monthioux M.L., David E. 1998. Encapsulated C-60 in carbon nanotubes. *Nature* 396 (6709): 323-324.
[74] Tang Z.K., Zhang L., Wang N., Zhang X.X., Wen G.H., Li G.D., Wang J.N., Chan C.T., Sheng P. 2001. Superconductivity in 4 Angstrom Single-Walled Carbon Nanotubes. *Science* 292: 2462-2465.

Copyright © 2017 Institute of Industrial Organic Chemistry, Poland

[75] Takesue I., Haruyama J., Kobayashi N., Chiashi S., Maruyama S., Sugai T., Shinohara H. 2006. Superconductivity in Entirely End-Bonded Multiwalled Carbon Nanotubes. *Phys. Rev. Lett.* 96 (5): 057001.
[76] Star A. 2004. Nanotube Optoelectronic Memory Devices. *Nano Letters* 4 (9): 1587-1591.
[77] Karousis N., Tagmatarchis N., Tasis D. 2010. Current Progress on the Chemical Modification of Carbon Nanotubes. *Chem. Rev.* 110 (9): 5366-5397.
[78] Pacios P.M. 2012. *Carbon Nanotubes as Platforms for Biosensors with Electrochemical and Electronic Transduction.* Heidelberg : Springer.
[79] Bratcher M., Pesce-Rodriguez R., Kaste P., Ramaswamy A.L. 2002. Nanotube Modification of Energetic Materials, Proceedings of the 38th Meeting of the JANNAF Combustion Subcommittee, Destin, FL.
[80] Matthas L., Pulci O., Bechstedt F. 2013. Massive Dirac quasiparticles in the optical absorbance of Graphene silicene, germane and tinene. *J. Phys. Condensed Matter.* 25 (39): 395-305.
[81] Roome N.J., Carrey J.D. 2014. Beyond Graphene: Stable Elements Monolayers of Silicen and Germanene. *ACS Appl. Mater. Interf.* 6 (10): 7743-7750.
[82] Astruc D. 2008. *Nanoparticles in Catalysis.* Wiley VCH.
[83] Sarbak Z. 2009. *Nieorganiczne materiały nanoporowate.* Poznań : Wyd. Nauk. UAM.
[84] Vollath D. 2013. *Nanoparticles-Nanocomposites-Nanomaterials.* Willey VCH.
[85] Wittstock A., Biener J., Erlebacher J., Baumer M., (Eds.). 2012. Mechanical properties of nanoporous gold. In: Nanoporous Gold: From an Ancient Technology to a High Technical Material. Royal Society of Chemistry.
[86] Wittstock A., Baumer M. 2014. Catalysis by Unsupported Skeletal Gold Catalysis. *Accounts of Chemical Research* 47: 731-739.
[87] Odrożek K., Maresz K., Koreniuk A., Mrowiec-Bidoń J. 2013. Nanocząstki złota jako aktywne katalizatory utleniania glukozy. *Prace Naukowe Instytutu Inżynierii Chemicznej PAN* 17: 105-115.
[88] Caroll M.K., Anderson A.M., Gorka C.A. 2014. Preparation Silica Aerogel *via* a rapid supercritical extraction method. *J. Visualized Experiments* 84: e51421; doi: 10.3791/51421.
[89] Zieliński R. 2017. *Surfaktanty. Budowa, właściwości, zastosowania.* Wydanie 3, Poznań : Wyd. Uniwersytetu Ekonomicznego w Poznaniu; ISBN: 9788374179263.
[90] Lasoń E., Ogonowski J. 2010. Kapsułkowanie w kosmetyce. *Towaroznawcze Problemy Jako*ści 4 (25): 97-105.
[91] Runowski M. 2014. Nanotechnologia, nanomateriały, nanocząstki: wielofunkcyjne struktury typu rdzeń/powłoka. *Chemik* 9: 764-769.
[92] Menon M. 1997. Carbon Nanotube: Nanoscale Metal-Semiconductor-Metal Contact Devices. *Physical Review Letters* 79: 4453-4456.
[93] Lu W., Lieber C.M. 2007. Nanoelectronics from the Bottom Up. *Nat. Mater.* 6: 841-850.
[94] Słoma M. 2017. *Nano materiały węglowe w technologii elektroniki drukowanej.* Warszawa : Wyd. Politechniki Warszawskiej.
[95] Margillo J.F. 2007. *Nanotechnology 101.* London : Greenwood Press.
[96] Davies A.G., Thompson J.M.T., (Eds.). 2007. *Advances Nanoengeneering, Materials and Assembly.* In: Royal Society Series Advances in Science Vol. 3, Imperial College Press.
[97] Czerwińska M. 2014. Zastosowanie nanomateriałów w przemyśle zbrojeniowym. *Chemik* 68 (6): 536-543.
[98] Tiwari A. 2012. Military nanotechnology. *International Journal of Engineering Science & Advanced Technology* 2 (4): 825.
[99] McGovern C. 2010. Commoditization of nanomaterials. *Nanotechnol. Perceptions* 6: 155-178.
[100] Nanomaterials: Moving towards stabilization. *Eur. Business Rev.* July–August 2011, 70-72.
[101] Bitnar Z., Bartos P.J.M., Nemecek J., Snilauer V., Zeman J., (Eds.). 2009. *Nanotechnology in Construction.* Springer Verlag.
[102] Fic S., Kłonica M., Szewczak X. 2016. Wpływ hydrofobizacji na trwałość powierzchni ceramiki budowlanej. *Polimery* 61 (1): 46-48.

Copyright © 2017 Institute of Industrial Organic Chemistry, Poland

[103] Czarnecki L. 2007. Nanotechnologia w budownictwie. *Przegląd Budowlany* 1: 40-53.
[104] Choma J., Dziura A., Jamioła D., Nyga P., Jaroniec M. 2010. Synteza nanocząstek złota na powierzchni koloidów krzemionkowych. *Ochrona Środowiska* 32 (3): 3-6.
[105] Choma J., Jedynak K., Górka J, Jaroniec M. 2010. Właściwości adsorpcyjne mezoporowatych węgli z nanocząstkami ditlenku tytanu otrzymanych w obecności kopolimerów blokowych. *Ochrona Środowiska* 32 (4): 3-9.
[106] Upadhyayula V.K.K., Deng S., Mithell M.C., Smith G.B. 2009. Application of carbon nanotube technology for removal of contaminants in drinking water: A review. *Science of the Total Environment.* 408 (1): 1-13.
[107] Jiang C, Wang R., Ma W. 2010. The effect of magnetic nanoparticles on *Microcystis aeruginosa* removal by a composite coagulant. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects* 369 (1-3): 260-267.
[108] Krishnaraj C., Jagan E.G., Rajasekar S., Selvakumar P., Kalaichelvan P.T., Mohan N. 2010. Synthesis of silver nanoparticles using *Acalypha indica* leaf extracts and its antibacterial activity against water borne pathogens, *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces* 76 (1): 50-56.
[109] Płaza G., Kowalska E., J. Radomska J., Czerwosz E., Jangid K., Gawior K., Ulfig K., Janda-Ulfig K. 2009. Wpływ wielościennych nanorurek węglowych na wzrost bakterii z rodzaju *Bacillus* i produkcję biosurfaktantów. *Ochrona Środowiska* 31 (1): 21-24.
[110] Wang J., Zheng S., Shao Y., Liu J., Xu Z., Zhu D. 2010. Amino-Functionalized Fe_3O_4:SiO_2 Core-Shell Magnetic Nanomaterial as a Novel Adsorbent for Aqueous Heavy Metals Removal. *J. Colloid Interface Sci.* 349: 293-299.
[111] Qui X., Alvarez P.J.J., Li Q. 2013. Applications of nanotechnology in water and water treatment. *Water Research* 47 (12): 3931-3946.
[112] Gebhard A., Knör N., Haupert F., Schlarb A. 2008. Nanopartikelverstärkte Hochleistunsthermoplaste für extreme tribologische Belastungen im Automobilbau. *Tribologie und Schmierungstechnik* 4.
[113] Żaba K., (red.). 2012. *Doskonalenie jakości procesów technologicznych*. Kraków : Wyd. Nauk. AKAPIT.
[114] Bąk Ł., Śliwiński T. 2013. Powłoki ochronne – zastosowanie w przemyśle motoryzacyjnym. *Zesz. Nauk. Politechniki Śląskiej Ser. Transport* 78: 5-12.
[115] Kosmetyki samochodowe. waw.myjauto.pl/category/29/ nanoterchnologia.html [strona dostępna 20.11.2017]
[116] Głód D., Adamczak M., Bednarski W. 2014. Wybrane aspekty zastosowania nanomateriałów w produkcji żywności. *Żywność, Nauka, Technologia, Jakość* 5 (96): 36-52.
[117] Rodewald D. 2011. Charakterystyka produktów kosmetycznych z nanosrebrem dostępnych na polskim rynku. Materiały konferencyjne Interdisciplinary Scientific Conference for PhD students, Hradec Králové, Czechy, 25-29.04.2011.
[118] Goel A., Kapoor S., Raman R., Pascal R.M.J., Kim H-W., Fetrrerina J.M.F. 2012. Alkali-free bioactive glasses for bone tissue engineering: a preliminary investigation. *Acta Biomater.* 18 (11): 361-372.
[119] Yanen H.O., (Ed.). 2011. *Bioactive glasses, Materials, Properties and Applications.* Woolhead Pub. Limited.
[120] Dagdeviren C., Yang B.C., Su Y., Tran P.L., Joe P., Anderson E., Xia J., Doraisany V., Dandeshti B., Feng X., Lu B., Poston R., Khalpe Z., Ghaffan R., Huang Y., Stepian M.J., Rogers J.A. 2014. Conformal piezoelectric energy harvesting a storage from motions of heart lung and diaphragm. *Proc. Nat. Acad. Sci. USA (PNAS)* 111 (5): 1927-1932.
[121] Gourav G., Ankur K., Rahul T., Sachin K. 2016. Applications and Future of Composite Materials: Review. *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology* 5 (5): 6908-6911.
[122] Tjong S.C., Chen H. 2004. Nanocrystalline materials and coatings. *Mater. Sci. Eng.* 45 (1-2): 1-88.
[123] Wang F., Banerjee D., Liu Y., Chen X., Liu X. 2010. Upconversion nanoparticles in biological labelling, imaging, and therapy. *Analyst* 135: 1839-1854.
[124] Liu L., Guo G., Jayanthi C., Wu S. 2002. Colossal Paramagnetic Moments in Metallic Carbon Nanotori. *Phys. Rev. Lett.* 88 (21): 217206.

Copyright © 2017 Institute of Industrial Organic Chemistry, Poland

[125] Pacios P.M. 2012. *Carbon Nanotubes as Platforms for Biosensors with Electrochemical and Electronic Transduction.* Heidelberg : Springer.
[126] Maliński T. 2007. Nitric oxide and nitro oxidative stress in Alzheimer's disease. *J. Alzheimer's* 11 (2): 207-218.
[127] Kozak A., Liu F., Funovics A., Jacoby A., Kubant R., Maliński T. 2005. Role of peroxynitrite in process of vascular tore regulation by nitric oxide and prostanaids a nanothechnological approach. *Prostaglandins Leukotrienes and Fatty Acids* 71: 105-113.
[128] Nano in cosmetics and personal care. http://www.nanoandme.org/nano-products/cosmetics-and-sunscreen/ [strona dostępna: 25.11.2017].
[129] Rodewald D., Foltynowicz Z. 2011. Nanokosmetyki jako nowy trend w przemyśle kosmetycznym. *Świat Przemysłu Kosmetycznego* 4: 12-15.
[130] Makles Z. 2005. Nanomateriały – nowe możliwości, nowe za grożenia. *Bezpieczeństwo Pracy* 2: 2-4.
[131] Rodewald D. 2014. *Ocena trwałości mikrobiologicznej preparatów kosmetycznych w opakowaniach polimerowych modyfikowanych nanosrebrem.* Rozprawa doktorska, Uniwersytet Ekonomiczny w Poznaniu.
[132] Urbaniak W., Foltynowicz Z. 2005. *Sposób otrzymywania nanocząsteczek metali zdyspergowanych w matrycy nieorganicznej.* Patent RP 190289.
[133] Campos-Cuerva C., Zieba M., Sebastian V., Martínez G., Sese J., Irusta S., Contamina V., Arruebo M., Santamaria J. 2016. Screen-printed nanoparticles as anti-counterfeiting tags. *Nanotechnology* 27: 095702; DOI: 10.1088/0957-4484/27/9/095702.
[134] Jakubiak P., Foltynowicz Z. 2006. *Nanokompozyty polimerowe na bazie pochodnych celulozy oraz sposób ich wytwarzania.* Zgł. Pat. AE 2/2006.
[135] Jakubiak P., Foltynowicz Z. 2004. Nanokompozyty polimerowe – nowoczesne rozwiązania na rynku opakowań. *Opakowanie* 6: 6-12.
[136] Foltynowicz Z., Kozak W., Fiedorow R. 2002. Studies of Oxygen Uptake on O_2 Scavengers Prepared from Different Iron-Containing Parent Substances. *Packaging Technology and Science* 15: 1-7.
[137] Foltynowicz Z., Kozak W., Urbaniak W. 2007. *Adsorbent tlenu oraz sposób jego wytwarzania.* Patent RP 19082.
[138] Foltynowicz Z., Bardenshtein B., Sängerlaub S., Antvorskov H., Kozak W. 2017. Nanoscale, zero valent iron particles for application as oxygen scavenger in food packaging. *Food Packaging and Shelf Life* 11: 74-83; DOI: 10.1016/j.fpsl.2017.01.003.
[139] Frydrych E., Foltynowicz Z., Kowalak S. 2013. *Niemetaliczny pochłaniacz tlenu.* Patent RP 215298 UP RP nr P-386285 (15.10.2008).
[140] Foltynowicz Z, Kozak W., Stoińska J., Urbańska M. 2017. *Sposób wytwarzania nanożelaza oraz zastosowanie nanożelaza wytworzonego tym sposobem do pochłaniania tlenu w opakowaniach oraz w pochłaniaczach tlenu.* Patent RP 227585.
[141] Foltynowicz Z., Kozak W., Stoińska J., Urbańska M., Muc K., Forysiak A. Kublicka K. 2017. *Nanoiron based oxygen scavengers.* Patent JP 6093713.
[142] Foltynowicz Z., Kozak W., Stoińska J., Urbańska M. 2010. *Sposób wytwarzania nanożelaza oraz zastosowanie nanożelaza do pochłaniania tlenu w opakowaniach i do pochłaniaczy tlenu.* Patent RP 227096.
[143] Foltynowicz Z., Kozak W., Stoińska J., Urbańska M., Muc K., Kublicka K. 2011. *Nanokompozytowy pochłaniacz tlenu.* Zgłoszenie patentowe P.397499.
[144] Foltynowicz Z., Kozak W., Stoińska J., Urbańska M., Muc K., Forysiak A. Kublicka K., *Nanoiron based oxygen scavengers.* Patent WO2012091587A1, 2012; WO2012091587A4, 05.07.2012; PCT/PL2011/050055, 2011.
[145] Foltynowicz Z., Kozak W., Stoińska J., Urbańska M., Muc K., Forysiak A. Kublicka K. 2013. *Nano- iron-based oxygen scavengers.* Patent EP 2658666A1.
[146] Foltynowicz Z., Kozak W., Stoińska J., Urbańska M., Muc K., Forysiak A. Kublicka K. 2013. *Nanoiron-based oxygen scavengers.* Zgłoszenie patentowe Israel Nr 227146.

Copyright © 2017 Institute of Industrial Organic Chemistry, Poland

[147] Foltynowicz Z., Kozak W., Stoińska J., Urbańska M., Muc K., Forysiak A. Kublicka K. 2013. *Nanoiron-based oxygen scavenger.* Zgłoszenie patentowe USA 2014004232A1.
[148] An update on nanotechnology in the USA. *The Magazine Nano* 2009: 15-24.
[149] Moore D. 2009. Be all you can be: the nano-enhanced army. *The Magazine Nano* 15: 18.
[150] Kubota N. 2007. *Propellants and explosives. Thermochemical aspects of combustion. 2nd ed.* Weinheim : J. Wiley-VCK.
[151] Christian P., van der Kammer F., Baalousha M., Hofmann T. 2008: Nanoparticles: Structure, properties, preparation and behaviour in environmental media. *Ecotoxicology* 17 (5): 326-343.
[152] Rossi C., Estève A., Vashishta P. 2010. Nanoscale Energetic Materials. *J. Phys. Chem. Solids* 71 (2): 57-58.
[153] Walley, S.M., Field J.E., Greenway M.W. 2006. Crystal sensitivities of energetic materials. *Mater. Sci. Technol.* 22: 402-413.
[154] Garstka J. 2006. Nanotechnologia – zmiana oblicza pola walki. *Przegląd Wojsk Lądowych* 88.
[155] Altman J. 2008. Military uses of nanotechnology – to much complexity for International Security. *Complexities* 14 (1): 62-70.
[156] Altman J., 2004. Military uses of nanotechnology perspectives and concerns. *Security Dialoge* 35 (1): 61-79.
[157] Comet M., Schnell F., Pichot V., Mory J., Risse B., Spitzer D. 2014. Boron as fuel for ceramic thermites. *Energy & Fuels* 28 (6): 4139-4148.
[158] Glebov E., Yuan L., Kishtopa L. 2001. Coating of Metal Powders with Polymers in Supercritical Carbon Dioxide. *Ind. Chem. Res.* 40 (19): 4057-4068.
[159] Gromov A., Ilyin A., Förter-Barth U., Teipel U. 2007. Characterization of Aluminum Powders: Aluminum Nanopowders Passivated by Non-Inert Coatings. *Propellants Explos. Pyrotech.* 31 (4): 401-409.
[160] Yaghmaee M.S., Shokri B., Rahimipour M.R. 2009. Size dependence Surface activity of metallic nanoparticles. *Plasma Processes Polym.* 6: 876-832.
[161] Shenhar R., Rotello V.M. 2003. Nanoparticles: Scaffolds and Building Blocks. *Acc. Chem. Res.* 36: 549-561.
[162] Thostenson E., Li C., Chou T. 2005. Nanocomposites in context. *Composites Science and Technology* 65 (3-4): 491-516.
[163] Yuan Y., Jiang W., Wang Y.J. 2014. Hydrothermal Preparation of Fe_2O_3/Graphene Nanocomposite and its Enhanced Catalytic Activity of Thermal Decomposition of Ammonium Perchlorate. *Appl. Surf. Sci.* 303 (1): 354-359.
[164] Zhigach A.N., Leipunsky I.O., Kudrov B.V. 2011. Aluminized HNIW-Based Nanocomposite-Synthesis and Explosive Properties. Proc. of European 2011 Seminar, Session S11b, Reims, France, May 2011.
[165] Revell P.A. 2006. The biological effects of nanoparticles. *Nanotechnol. Perceptions* 2: 283-298.
[166] Sindhu T.K., Sarathi R., Chakravarthy S.R. 2007. Generation and Characterization of Nano Process. *Bulletin Materials Science* 30 (2): 187.
[167] Pragnesh D., Chaturvedi S. 2010. *Nanocatalyst for Composite Solid Rocket Propellants.* Germany : Lambert.
[168] Jayaraman K., Anand K.V, Chakravarthy S.R, Sarathi R. 2009. Effect of Nano-Aluminum in Plateau-Burning and Catalyzed Composite Solid Propellant Combustion. *Combustion and Flame* 156 (8): 1662-1673.
[169] Florczak B., Cudziło S. 2009. Katalityczny efekt nanocząstek Fe_2O_3 na spalanie heterogenicznego stałego paliwa rakietowego PBAN/NH_4ClO_4/HMX/Al. *Biuletyn WAT* LVIII (4): 187.
[170] Kleppinger D.H. 1971. *Potential for powder metallurgy applications in army material.* Progress in Powder Metallurgy 1971 P/M in: Ordnance, Metal Powder Industries Federation, New York, 1971, 85.
[171] Ludyński Z., Nita Z. 1997. Podstawy technologii wytwarzania spieków ciężkich. Konferencja Badania i rozwój nowych materiałów konstrukcyjnych oraz podstaw technologii wyrobów uzbrojenia wojskowego, Kołobrzeg 1997, 15/1-15/20.

Copyright © 2017 Institute of Industrial Organic Chemistry, Poland

[172] Cudziło S., Czugała M. 2009. Zastosowanie spaleniowej syntezy do wytwarzania nanoproszków wolframu i renu przeznaczonych na spieki ciężkie. *Biuletyn WAT* 58 (3): 7.
[173] https://www.globalsecurity.org/military/systems/munitions/index.html [strona dostępna: 25.11.2017].
[174] Tungsten: The perfect metal for bullets and missiles. BBC News 2014, http://www.bbc.com/news/magazine-28263683 [strona dostępna: 25.11.2017].
[175] Musee N. 2011. Nanowastes and the Environment: Potential New Waste Management Paradigm. *International Environment* 37: 112.
[176] http://tech.wp.pl/kat,130034,title,rosyjska-armia-i-policja-zosta-13.na-wyposazone-w-nano-pancerze,wid,15898379,wiadomosc.html [strona dostępna 25.03.2014].
[177] Marcisz J., Garbarz B., Adamczyk M., Wiśniewski A. 2012. New-precitates hardened steels of wide range of strength an toughness and high resistance to piercing with projectiles. *Problems of Mechatronics* 4 (10): 39.
[178] Stępień J., Garbarz B., Burdek M., Marcisz J., Burian W. 2009. Nowoczesne materiały stalowe do wytwarzania okuć, łusek, korpusów pocisków rakietowych i artyleryjskich oraz pancerzy. *Problemy Techniki Uzbrojenia* 38 (111): 15.
[179] Marcisz J., Garbarz B., Burian W., Wiśniewski A. 2011. Mechanizmy odkształcenia dynamicznego w ultra-wytrzymałych stalach nanostrukturalnych przeznaczonych na pancerze. *Problemy Techniki Uzbrojenia* 2 (118): 41.
[180] Garbarz B., Marcisz J., Adamczyk M., Wiśniewski A. 2011. Ultrahigh-strength nanostructured steels for armours. *Problemy Mechatroniki, Uzbrojenie, Lotnictwo, Inżynieria Bezpieczeństwa* 1 (3): 25.
[181] Garbarz B., Marcisz J., Burian W., Wiśniewski A. 2012. The nano-duplex nanos-ba steel for application in construction of armours. IXth International Armament Conference Scientific aspects of armament & safety technology, Pułtusk 2012, 286.
[182] Lince J.R. 2004. Tribology of co-sputtered nanocomposite Au/MoS_2 solid lubricant films over a wide contact stress range. *Tribol. Lett.* 17: 419-428.
[183] Dey A., Sikder A.K., Talawar B.M., Chottopadhyay S. 2015. Towards New Directions in Oxidizers-Energetic Fillers for Composite Propellants: An Overview. *Centr. Eur. J. Energ. Mater.* 12 (2): 377-399.
[184] Miziołek A.W., McNesby K.L., Russell R.S. 2002. Military Applications of Laser Induced Breakdown Spectroscopy (LIBS). Abstract Book for Pittcon, New Orleans, LA.
[185] Xu J., Fisher, T.S. 2006. Enhancement of thermal interface materials with carbon nanotube arrays. *Int. J. Heat Mass Transfer* 49: 1658-1666.
[186] Son Y., Pal S.K., Tasciuk T.B., Ajayan P.M., Siegiel R.W. 2008. Thermal resistance of the native interface between vertically aligned multiwall carbon nanotube arrays and their SiO_2/Si substrate. *J. Appl. Phys.* 103: 024911.
[187] Unikrishman V.U., Reddy N., Banerjee D., Rostam-Abadin R. 2008. Thermal of defective enhance defective carbon-nanotube polimer nanocomposites. *Interaction and Multiscale Mechanics* 1 (4): 397-409.
[188] De Neve A. 2009. *Military use of nanotechnology and converging technologies: trends and future impacts.* Royal High Institute for Defence Center for Security and Defence Studies, Focus Paper, 8:1.
[189] Ratner D., Ratner M. 2002. Nanotechnology. A gentle introduction to the next big idea. *Prentice Hall Professional Technical Reference* 102: 4-16.
[190] Chen Y., Li H., Sun Z. 2010. Development of infrared detectors using single carbon-nanotube-based field-effect transistors. *IEEE Trans. Nanotechnol.* 9: 582-589.
[191] Holt G.C. 2008. Negative index of refraction and metamaterials. *Nanotechnol. Perceptions* 4: 201-205.
[192] Lezec H.J., Dionne J.H, Atwater H.A. 2007. Negative refraction at visible frequencies. *Science* 316: 430-432.
[193] Seachman N.J., Williams L.C. 1998. *Platen cover for a digital document scanner with electrically switchable reflectance modes.* Patent USA 5790211.
[194] Lopez R., Boatman L.A., Hayr T.E. 2004. Switchable reflectivity on silicon from a composite VO_2-SiO_2 protecting layer. *Appl. Phys. Lett.* 85: 1410-1412.

Copyright © 2017 Institute of Industrial Organic Chemistry, Poland

[195] Hagn F., Eisolod L., Hardy J.G., Vendrely Ch., Coles M., Schreiber T., Kessler H. 2010. A conserved spider silk domain acts as a molecular switch that controls fibre assembly. *Nature* 465: 239-242.
[196] Cheng T.-W., Zeng Y.M., Wu Ch.-J. 2015. Analysis tenable negative refraction in a loss and Extrinsic semiconductor. *Appl. Optics* 54 (4): 658-662.
[197] Śmiałkowska-Opałka M. 2009. Koncepcja wojownika przyszłości. *Techniczne Wyroby Włókiennicze* 17 (1): 10-13.
[198] Hagn F., Eisoldt L., Harley J.G., Vendrely C., Coles M., Scheibel T., Kessler H. 2010. A conserved spider silk domain acts as a molecular switch that controls fibre assembly. *Nature* 465 (7295): 239-242.
[199] Moore D. 2009. Be all you can be: the nano-enhanced army. *The Magazine Nano* 15: 18.
[200] Hannah W., Thompson P.B. 2008. Nanotechnology risk and the environment: A review. *J. Environ. Monit.* 10 (3): 291-300.
[201] Brown M. 2005. Nanofibres defuse explosives. https://www.chemistryworld.com/news/Nanofibres-Defuse-Explosives/3002651.article [strona dostępna 20.11.2017]
[202] Hároz E.H., Rice W.D., Lu B.Y., Hauge R.M., Weisman R.M., Doorn S.K., Kono J. 2000. Enrichment of armchair carbon nanotubes via density gradient ultracentrifugation: Raman spectroscopy evidence. *ACS Nano* 4 (4): 1955-1962.
[203] Bystrzejewska-Piotrowska G., Golimowski J., Urban P.I. 2009. Nanoparticles: Their Potentially Toxicity, Waste and Environmental Management. *Waste Management* 29: 2587.
[204] Klapötke T.M. 2015. *Chemistry of High-energy Materials. 3rd ed.* Berlin-Boston : de Gruyter.
[205] Paduch J., Kuziak R., Krztoń H., Pospiech J. 2007. Otrzymywanie i właściwości nanomateriałów na osnowie żelaza. *Archiwum Technologii Maszyn i Automatyzacji* 27 (1): 143-152.
[206] Military Reloads with Nanotech. 2005. https://www.technologyreview.com/s/403624/Military-Reloads-with-Nanotech/ [strona dostępna: 20.11.2017].
[207] Kumar U., Sikarwar S., Sonker R.K., Yadar B.C. 2016. Carbon Nanotubes: Synthesis and Application in Solar Cell. *J. Inorganic and Organometallic Polymers and Materials* 26 (6): 1231-1242.
[208] Lyshevski S.E., (Ed.). 2016. *Dekker Encyclopedia Nanoscience and Nanotechnology.* Third edition, Vol. I-VI, CRS Press.
[209] Muratore C., Hu J.J., Voevodin A.A. 2007. Adaptive nanocomposite coatings with a titanium nitride diffusion barrier mask for high-temperature tribological applications. *Thin Solid Films* 550: 3638-3643.
[210] Muratore C., Hu J.J., Voevodin A.A. 2009. Tribological coatings for lubrication over multiple hermal cycle. *Surface and Coatings Technology* 203 (8): 957-962.
[211] Rozmus M., 2006. Cermetalowe materiały gradientowe. *Materiały Ceramiczne* 58 (4): 142-147.
[212] Chang T-W., Zeng Y.M., Wu Ch-J. 2015. Analysis tenable negative refraction in a loss and extrinsic semiconductor. *Appl. Optics* 54 (4): 658-662.
[213] Wang X., Li Z., Xu W., Kulkarni S.A. Batabyal S.K., Zhang S., Cao A., Wong L.H. 2015. TiO_2 nanotube arrays based flexible perovskite solar cells with transparent carbon nanotube electrode. *Nano Energy* 11: 728-735.
[214] Pradhan N.R. Talapatna S., Terrones M., Ajayan P.Y., Balicas L. 2017. Optoelectronic Properties Heterostructures: The Most Recent Developments Based on Graphene and Transitions metal Dicholeogenides. *Nanotechnology Magazine* 11 (2): 18-32.
[215] Borm P.J.A., Robbins D., Haubol S., Kuhibusch T., Fissan H., Donaldson K., Schins R., Stone V., Kreyling W., Lademann J., Hartmann J., Warheit D., Oberdorfer J. 2006. The potential risk of nanomaterials: A review carried out for ECETOC. *Particle and Fibre Toxicology* 3 (11): 1-25.
[216] Sahoo S.K., Parveen S., Panda J.J. 2007. The present and future of nanotechnology in human health care. *Nanomedicine, Nanotechnology, Biology and Medicine* 3 (1): 20-31.
[217] Kelly M.J. 2011. Nanotechnology and manufacturability. *Nanotechnol. Perceptions* 7: 79-81.
[218] Revell P.A. 2006. The biological effects of nanoparticles. *Nanotchnol. Perceptions* 2: 283-298.
[219] Huczko A. 2004. *Nanorurki węglowe.* Warszawa : Wyd. BeL Studio.
[220] Tomczak J. 2014. Zagrożenia wypływające z nanotechnologii. online: http:// www.Nanonet.pl/pl/index.php/nanobiznes/nanoryzyka/70-zagrożenia-wypływajace-z-Nanotechnologii [strona dostępna: 25.03.2014].

Copyright © 2017 Institute of Industrial Organic Chemistry, Poland

[221] Ahamed M., Alsalhi M.S., Siddiqui M.K.J. 2010. Silver nanoparticle applications and human health. *Clinica Chimica Acta* 411: 1841-1848.
[222] Wachowski, L., Kirszensztejn P. 2006. *Chemiczne zagrożenia środowiska.* W: Kompendium wiedzy o ekologii. (Strzałko J., Mossor-Pietraszewska T., red.) wydanie III, rozdz. VII, str. 313-356, Warszawa-Poznań : PWN.
[223] vanLoon G.W., Duffy S.J. 2007. *Chemia środowiska w perspektywie globalnej.* Warszawa : Wyd. Nauk. PWN.
[224] Hofman M., Wachowski L. 2010. Badania zawartości platyny i ołowiu w glebie wzdłuż głównych dróg wylotowych z Poznania. *Ochrona Środowiska* 32 (3): 43-47.
[225] Pietrzak R., Wachowski L. 2012. *Obawy wynikające z możliwości negatywnego wpływu nanoobiektów na środowisko przyrodnicze i ludzi.* W: Odpady i opakowania – nowe regulacje prawne i obowiązki. (Wachowski L., red.) lipiec 2012, rozdz. 2/4.5.1, str. 1-13, Poznań : Wyd. Forum.
[226] Pietrzak R., Wachowski L. 2012. Klasyfikacja nanoodpadów jako narzędzie służące do określania poziomu ich szkodliwości. W: Odpady i opakowania –nowe regulacje prawne i obowiązki. (Wachowski L., red.) lipiec 2012, rozdz. 2/4.5.2, str. 1-13, Poznań : Wyd. Forum.
[227] Łebkowska M., Załęska-Radziwiłł M. 2011. Występowanie i ekotoksyczność nanocząstek. *Ochrona Środowiska* 33 (4): 23-26.
[228] Moore M.N. 2006. Nanoparticles present ecotoxicological risk for the health of the aquatic environment? *Environment International* 32 (8): 967-976.
[229] Fröhlich E. 2013. Cellular Targets and Mechanisms in the Cytotoxic Action of Non-Biodegradable Engineered Nanoparticles. *Curr. Drug Metab.* 14: 976-988.
[230] Park M.V., Neigh A.M., Vermeulen J.P., de la Fonteyne L.J., Verharen H.W., Briedé J.J., van Loveren H., de Jong W.H. 2011. The effect of particle size on the cytotoxicity, inflammation, developmental toxicity and genotoxicity of silver nanoparticles. *Biomaterials* 32 (36): 9810-9817.
[231] Świdzińska-Grajewska M.A. 2007. Nanocząstki (Część 1) – Produkty nowoczesnej technologii i nowe zagrożenia w środowisku pracy. *Medycyna Pracy* 58 (3): 243-251.
[232] Beck R., Guterres S., Pohlmann A. 2011. *Nanocosmetics and Nanomedicines. New Approaches for Skin Care.* Berlin, Heidelberg : Springer-Verlag.
[233] Geiser M., Kreyling W.G. 2010. Deposition and Biokinetics of Inhaled Nanoparticles. *Particle and Fibre Toxicology* 7: 2.
[234] Wachowski L., Domka L. 2000. Sources and effects of asbestos and other mineral fibers presence in ambient air. *Polish J. Environ. Stud.* 9 (6): 443-454.
[235] Tang Y., Han S., Liu H., Chen X., Huang L., Li X., Zhang J. 2013. The Role of Surface Chemistry in Determining *in Vivo* Biodistribution and Toxicity of CdSe/ZnS Core-Shell Quantum Dots. *Biomaterials* 3: 8741-8755.
[236] Karlsson H.L. 2010. The comet assay in nanotoxicology research. *Anal. Bioanal. Chem.* 398(2): 651-666.
[237] Neal A.L. 2008. What can be inferred from bacterium-nanoparticle interactions about the potential consequences of environmental exposure to nanoparticles? *Ecotoxicology* 17 (5): 362-371.
[238] Altmann J., Gubrud M.A. 2002. Risks from military uses of nanotechnology – the need for Nanotechnology. *Lecce* 3.11-3.12.
[239] Love S.A., Maurer-Jones M. A., Thompson J.W., Lin Y.-S., Haynes C.L. 2012. Assessing Nanoparticle Toxicity. *Annu. Rev. Anal. Chem.* 5: 181-205.
[240] Moore D.F. 2007. Nanotechnology and the military, Nanoethics: The Ethical and Social Implications of Nanotechnology. (Allhoff F., Lin P., Moor J., Weckert J., Eds.) Wiley-VCH.
[241] Altman J., Gubrud M.A. 2004. Military, arms control, and security aspects nanotechnology. *Discovering the Nanoscale* 269.
[242] Bennet-Woods D. 2008. *Nanotechnology: Ethics and Society.* CRS Press.
[243] Moore D.F. 2012. Nanotech in Warfare. Some ethical concerns. *Nano Magazine* 23 (February): 14-17.
[244] Allhoff F., Lin P. 2006. What's so special about nanotechnology and nanoethics? *J. Appl. Phylosophy* 20 (2): 179-190.

Copyright © 2017 Institute of Industrial Organic Chemistry, Poland

[245] Lin P., Allhoff F. 2008. Against arrested human enhancement. *J. Evolution Technology* 18 (1): 35.
[246] Stoccoro A., Karlsson H.L., Coppedè F., Migliore L. 2013. Epigenetic Effects of Nano Sized Materials. *Toxicologlogy* 313: 3-14.
[247] Smopczyński T., Góralczyk K., Czaja K., Struciński P., Hernik A., Korcz W., Ludwicki J.K. 2009. Nanotechnologia i zagrożenia. *Roczniki Państwowego Zakładu Higieny* 60 (2): 101-111.
[248] Fairbrother A., Fairbrother J.R. 2009. Are environmental regulations keeping up with innovation? A case study of the nanotechnology industry. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 72 (5): 1327-1330.
[249] Hasselloev M., Readman J.W, Ranville J.F, Tiede K. 2008. Nanoparticle analysis and Characterization methodologies in environmental risk assessment of engineered nanoparticles. *Ecotoxicology* 17 (5): 344-361.
[250] Crane M, Handry R.D., Garrod J., Owen R. 2008. Ecotoxicity Test Methods and Environmental Hazard Assessment for Engineered Nanoparticles. *Ecotoxicology* 17 (5): 421-437.
[251] Handy R.D., Owen R., Valsami-Jones E., 2008. The ecotoxicology of nanoparticles and nanomaterials: Current status, knowledge gaps, challenges and future needs. *Ecotoxicology* 17 (5): 315-325.
[252] Key nanotechnology indicators. http://www.oecd.org/sti/nanotechnology-indicators.htm [strona dostępna: 20.11.201].
[253] Foltynowicz Z. 2017. Nanokompozyty – nowe materiały w opakowalnictwie, nowy rodzaj odpadów i nowe problemy dla recyklingu. Konferencja Logistyka odzysku, Wrocław wrzesień 2017.
[254] Nanotechnology: The Promises and Pitfalls of Science at the Nanoscale. https://www.acs.org/content/dam/acsorg/membership/acs/benefits/extra-insights/nanotech-final-040816.pdf [strona dostępna: 20.11.2017].

Received: November 20, 2017
Revised: December 20, 2017
Published: December 22, 2017

Copyright © 2017 Institute of Industrial Organic Chemistry, Poland