

*Magdalena Popławska**Urszula Mikołajczyk**Stella Bujak-Pietrek*

NOWY SEKTOR PRACOWNICZY – PRZEGLĄD DANYCH O NANOPRODUKCJI I DZIAŁALNOŚCI BADAWCZO-ROZWOJOWEJ W DZIEDZINIE NANOTECHNOLOGII W POLSCE

NEW SECTOR OF EMPLOYMENT – A REVIEW OF DATA ON NANOPRODUCTION, RESEARCH AND DEVELOPMENT
IN THE FIELD OF NANOTECHNOLOGY IN POLAND

Instytut Medycyny Pracy im. prof. J. Nofera / Nofer Institute of Occupational Medicine, Łódź, Poland
Zakład Środowiskowych Zagrożeń Zdrowia / Department of Environmental Health Hazards

STRESZCZENIE

Nanotechnologia to obecnie jedna z najprężniej rozwijających się dziedzin nauki, dotycząca projektowania, wytwarzania i wykorzystania nanomateriałów. Przez pojęcie ‘nanomateriał’ rozumie się produkt zbudowany ze struktur o wymiarach nanometrowych (1–100 nm). Ze względu na niewielkie wymiary oraz unikatowe właściwości zastosowanie nanomateriałów budzi coraz większe zainteresowanie w różnych dziedzinach przemysłu i nauki. W Polsce istnieje niewiele przedsiębiorstw zajmujących się działalnością nanotechnologiczną. Dominują w tym obszarze głównie jednostki naukowe (m.in. instytuty badawcze, uczelnie wyższe czy jednostki naukowe Polskiej Akademii Nauk). Med. Pr. 2015;66(4):575–582

Słowa kluczowe: nanocząstki, nanotechnologia, nanoobjekty, nanomateriały, zastosowanie, skutki zdrowotne

ABSTRACT

Nanotechnology is currently one of the fastest developing areas of science, focusing on the design, manufacture and use of nanomaterials. The term “nanomaterial” means any product made of nanometer-size (1–100 nm) structures. Due to the small size and unique properties of the applied nanomaterials there is a growing interest in their application in various fields of industry and science. In Poland, there are very few companies that carry on nanotechnology activities. Research institutes, universities and research units of the Polish Academy of Sciences predominate in these activities. Med Pr 2015;66(4):575–582

Key words: nanoparticles, nanotechnology, nanoobjects, nanomaterials, application, health effects

Autorka do korespondencji / Corresponding author: Magdalena Popławska, Instytut Medycyny Pracy im. prof. J. Nofera, Zakład Środowiskowych Zagrożeń Zdrowia, ul. św. Teresy 8, 91-348 Łódź, e-mail: mag.pop@imp.lodz.pl
Nadesłano: 11 maja 2015, zatwierdzono: 24 lipca 2015

WSTĘP

Nanotechnologia jest dziedziną nauki i techniki, która rozwija się intensywnie od kilkudziesięciu lat, więc stosunkowo krótko. W ostatnich latach zaobserwowano jej dynamiczny rozwój i wzrost popularności. Duże zainteresowanie nanotechnologią jest związane z potrzebą poprawy jakości codziennego życia ludzi. Zastosowanie innowacyjnych technologii umożliwia modyfikowanie i otrzymywanie nanomateriałów charakteryzujących się zupełnie nowymi lub ulepszonymi właściwościami.

Popularność nanotechnologia zawdzięcza działaniom na poziomie nanoskali oraz możliwością jej zastosowania zarówno w nauce, jak i w przemyśle. Obecnie nanotechnologia z dużym powodzeniem stosowana jest na świecie w technice, medycynie, farmacji, energetyce, budownictwie czy przemyśle spożywczym [1–3]. Oszacowano, że w 2015 r. dochód światowego rynku ze sprzedaży produktów nanotechnologicznych wyniesie około 1 bln dolarów [4].

Zastosowanie nanotechnologii budzi wiele emocji – pozytywnych i negatywnych. Przypuszcza się, że ekspozycja na cząstki o wymiarach nanometrowych

w miejscu pracy i środowisku naturalnym może zagrażać ludzkiemu zdrowiu. Wzrost wykorzystania procesów i produktów nanotechnologicznych, niekontrolowane uwalnianie tych cząstek do środowiska oraz ekspozycja zawodowa mogą spowodować, że staną się one „azbestem” XXI w. [4].

METODY PRZEGLĄDU

W niniejszej pracy dokonano przeglądu piśmiennictwa w języku polskim i angielskim na temat charakterystyki i zastosowania nanotechnologii, a także zagrożeń dla zdrowia człowieka i dla środowiska naturalnego, które wynikają z użytkowania nanomateriałów. Piśmiennictwo wyszukiwano z wykorzystaniem następujących słów kluczowych: nanotechnologia (nanotechnology), nanomateriały (nanomaterials), nanocząstki (nanoparticles), zastosowanie (application), narażenie zawodowe (occupational exposure), skutki zdrowotne (health effects) i zagrożenie zdrowotne (health risk). Przeszukano następujące bazy danych: PubMed, Elsevier, Springer, Google Scholar, Google i Baztech.

WYNIKI PRZEGLĄDU

W roku 1959 Richard P. Feynman – amerykański fizyk-noblista – po raz pierwszy przedstawił koncepcję nanotechnologii, w której zakładał, że być może w przyszłości będzie istniała możliwość tworzenia dowolnych struktur z wykorzystaniem pojedynczych elementów materii. Twierdzenie to wywołało spore zamieszanie w środowisku naukowym, jednak dopiero skonstruowany kilkanaście lat później skaningowy mikroskop tunelowy przyczynił się do gwałtownego rozwoju nanotechnologii, umożliwiając otrzymywanie struktur w skali nanometrowej [5–7]. Na podstawie kolejnych odkryć podejmowano badania, których celem było wytwarzanie i stosowanie cząstek w nanoskali. Otrzymywane cząstki były produktami nowej generacji, które bardzo zmodyfikowały przemysł [8].

Nanotechnologia jest obecnie jedną z najprężniej rozwijających się dziedzin nauki. Podstawowymi cechami odróżniającymi ją od innych technologii są projektowanie, synteza i wykorzystanie cząstek o wymiarach nanometrowych. Przedrostek ‘nano-’ wywodzi się z języka greckiego i oznacza karła. Nanoobiekt jest definiowany jako fragment materii (cząstki), której co najmniej jeden z wymiarów występuje w skali nano (1–100 nm) [9,10].

Ze względu na wymiary cząstek nanomateriały można podzielić na nanowłókna, nanopłytki i nano-

cząstki. Nanoobjekty mogą łączyć się ze sobą silnymi wiązaniami (tworząc zbiór cząstek zwany agregatem) lub słabymi wiązaniami (tworząc aglomeraty) [11]. Cząstki o wymiarach 1–100 nm charakteryzują się odmiennymi właściwościami chemicznymi, biologicznymi, optycznymi czy mechanicznymi od tych samych struktur występujących w mikroskali. Na odmienne właściwości cząstek w nanoskali wpływa nie tylko ich wielkość, ale także kształt, niska masa, powierzchnia właściwa i ładunek powierzchniowy. Wszystkie wyżej wymienione cechy oddziałują na poprawę właściwości produktów nanotechnologicznych, m.in. na wytrzymałość mechaniczną, twardość, odporność chemiczną, przewodnictwo elektryczne i termiczne, reaktywność chemiczną i przejrzyistość [6,12,13].

Ze względu na źródło pochodzenia nanoobjekty można podzielić na naturalne, antropogeniczne i zaprojektowane. Ich obecność w powietrzu jest skutkiem naturalnych i samoistnie zachodzących procesów rozkładu oraz utleniania materiałów organicznych lub minerałów, erozji czy parowania (np. sól morską). Pożary lasów i erupcje wulkaniczne również mogą powodować wzrost stężenia frakcji cząstek drobnych w powietrzu [7,14].

Oprócz cząstek pochodzenia naturalnego do środowiska emitowane są również cząstki określane jako ultradrobne (ultrafine), pochodzenia antropogenicznego. Mogą one powstawać w mechanicznych procesach pyłotwórczych i procesach zachodzących w podwyższonej temperaturze (takich jak spawanie, lutowanie, cięcie, szlifowanie), a także w wyniku gotowania, smażenia, spalania opału i paliw w silnikach Diesla [15–18].

Istotną grupę cząstek o wymiarach kilku lub kilkadziesiąt nanometrów stanowią cząstki projektowane, celowo wytworzone przez człowieka i stosowane w różnych procesach nanotechnologicznych [19].

Zastosowanie nanomateriałów

Nanotechnologia daje możliwość produkcji i wykorzystania wielu materiałów o nowych właściwościach. Dzięki zastosowaniu nanomateriałów otrzymywane produkty charakteryzują się znacznie korzystniejszymi właściwościami w porównaniu z produktami zbudowanymi z cząstek o większej średnicy. Produkcja nanomateriałów cieszy się obecnie dużym zainteresowaniem, co przekłada się na ich zastosowanie w wielu branżach przemysłowych, a także w dziedzinach biomedycznych i stomatologii.

Zastosowanie produktów nanotechnologicznych jest w medycynie i farmacji wszechstronne. Głównym celem wykorzystywania nanotechnologii w medycynie

i farmacji jest zwiększenie skuteczności stosowanych leków oraz zmniejszenie lub wyeliminowanie skutków ubocznych związanych z użyciem danych farmaceutyków. Zastosowanie struktur o wymiarach nanometrowych jako układów transportujących związki biologicznie czynne umożliwia precyzyjne docieranie leku do miejsca docelowego. Nanomateriały wykorzystywane są również w celu ulepszenia właściwości farmakokinetycznych i farmakodynamicznych wybranych leków [20–22].

Duże oczekiwania wiąże się z możliwością wykorzystania tych materiałów w terapii nowotworowej. W badaniach eksperymentalnych wykazano, że wstrzykiwane bezpośrednio do tkanki nowotworowej nanorurki węglowe powodują pod wpływem działania fali radiowej degradację komórek nowotworowych. Zastosowanie tego typu terapii pozwoliłoby znacznie zahamować rozwój nowotworu, jednocześnie nie powodując uszkodzeń zdrowych tkanek [23,24].

Zastosowanie nanoobjektów jako nośników daje także możliwość rozszerzenia diagnostyki niektórych chorób ośrodkowego układu nerwowego (np. choroby Alzheimera) i opracowania skutecznych leków zapobiegających rozwojowi tej choroby [20]. Specyficzne właściwości cząstek o wymiarach nanometrowych znalazły również zastosowanie w stomatologii. Obecnie dostępne są na rynku pasty do zębów, płyny do higieny jamy ustnej, systemy wiążące, materiały kompozytowe, żywice akrylowe, materiały do wypełnień i liczne inne produkty, do których produkcji wykorzystywana jest nanotechnologia.

Dodatek drobnych cząstek znacząco wpływa na właściwości i jakość materiałów stomatologicznych, dzięki czemu uzyskuje się materiały o zwiększonej m.in. sprężystości, twardości, lepkości i odporności na złamanie. W stomatologii wykorzystywana jest również właściwość antybakteryjna i przeciwgrzybicza niektórych nanomateriałów, co pozwala na ich zastosowanie nie tylko w środkach do higieny jamy ustnej, ale także materiałach używanych podczas leczenia lub w implantologii [6,25].

Duże oczekiwania konsumentów wobec produktów kosmetycznych zmuszają producentów do wprowadzania innowacyjnych technologii. Zastosowanie cząstek o wymiarach nanometrowych w kosmetykach w postaci nanoemulsji bądź nanokapsulek ma znaczącą rolę w poprawie stabilności i wzroście przyswajalności aktywnych biokomponentów kosmetycznych (takich jak nienasycone kwasy tłuszczowe, witaminy, przeciwutleniacze) oraz zwiększa skuteczność ich działania. Poza

tym metody nanokapsułkowania zwiększają skuteczność i trwałość filtrów UV zawartych w kremach do opalania oraz pozwalają na kontrolowane uwalnianie poszczególnych składników kosmetycznych [26,27].

Nanotechnologię w przemyśle spożywczym wykorzystuje się zarówno do produkcji żywności, jej obróbki, konserwacji, jak i do wytwarzania opakowań spożywczych. Zastosowanie nanotechnologii w produkcji żywności ma na celu poprawę struktury produktów, wzbogacenie ich w składniki funkcjonalne, zwiększenie rozpuszczalności i uwalniania substancji aromatycznych, poprawę dostępności związków bioaktywnych i zwiększenie homogenności produktu. Do produkcji opakowań wykorzystywane są głównie nanokompozyty polimerowe, z kolei w produkcji żywności najczęściej stosuje się nanoemulsje i nanokapsułki (głównie mikrosfery i liposomy) [3,28,29]. Zastosowanie nanokapsulek zapewnia ochronę substancji odżywczych, witamin, substancji zapachowych i barwników, ale także umożliwia ich transport i kontrolowane uwalnianie [26].

W przemyśle budowlanym stosowane są różne rodzaje nanomateriałów. Celem jest poprawa właściwości najważniejszych materiałów budowlanych, głównie stali i betonu. Nanotechnologię zaczęto wykorzystywać także przy produkcji materiałów izolacyjnych nowej generacji, termochromatycznego szkła, samoczyszczących i antybakteryjnych farb oraz przy produkcji nanopowłok do powierzchni drewnianych. Modyfikacja materiałów budowlanych przez zastosowanie nanomateriałów ma na celu poprawę ich właściwości mechanicznych, tj. sprężystości, wytrzymałości na rozciąganie i zginanie, zwiększenie odporności na korozję, poprawę plastyczności, zmniejszenie porowatości, nadanie produktom cech samoczyszczących, termoodpornych i antybakteryjnych, zwiększenie odporności na zarysowania oraz ochronę materiałów przed promieniami UV. Jednymi z nanomateriałów najczęściej stosowanych w przemyśle budowlanym są polimery fluorowęglowe, tlenek krzemionki, jony srebra, tlenki glinu, tytanu i cynku. Przy produkcji niektórych materiałów izolacyjnych używane są także aerozele i nanopianki polimerowe, które nawet 8-krotnie mogą zwiększać skuteczność tych produktów [2,30–33].

Podobnie jak w budownictwie zastosowanie nanotechnologii budzi duże zainteresowanie w przemyśle meblarskim. Celem stosowania nanomateriałów jest nie tylko poprawa jakości produktów meblarskich, ale także znaczne zredukowanie częstości ich konserwacji i napraw. Dzięki cząstkom w nanoskali otrzymy-

wane produkty powstają z lepszych, trwalszych i mocniejszych materiałów. Materiały te są również odporne na odbarwienia i degradację pod wpływem działania promieni UV. Lakiery zawierające cząstki o wymiarach nanometrycznych charakteryzuje zwiększona twardość i wytrzymałość na zarysowania. Poza tym zastosowanie powłok bakteriobójczych, samoczyszczących i wodoodpornych jest wskazane przy produkcji mebli i wyposażenia dla placówek medycznych, saun, transportu publicznego czy sektora żywnościowego. Mimo że zastosowanie nanomateriałów niesie ze sobą dużo korzyści, wiele czynników ogranicza ich wykorzystanie – m.in. koszt produkcji, trwałość czy bezpieczeństwo użytkowników [34].

Poza wyżej wymienionymi gałęziami przemysłu i nauki nanomateriały są używane również w produkcji środków ochrony indywidualnej. Zastosowanie funkcjonalnych materiałów z dodatkiem nanokompozytów polimerowych, nanotlenków metali czy nanorurek węglowych ma na celu poprawę właściwości ochronnych poprzez zwiększenie ognioodporności, odporności na działanie substancji chemicznych i czynników biologicznych [35].

Skutki zdrowotne

Ze względu na unikalne właściwości produkcja i wykorzystanie nanocząstek stają się coraz powszechniejsze. Obecność tych struktur w otoczeniu – wynikająca z zastosowania i użytkowania nanomateriałów – może stanowić poważne zagrożenie dla zdrowia człowieka i środowiska naturalnego. Z badań na zwierzętach laboratoryjnych wynika, że cząstki o wymiarach nanometrycznych, ze względu na swoje niewielkie rozmiary, są zdolne do pokonywania barier ustrojowych i akumulacji w wielu narządach wewnętrznych (nerkach, wątrobie, sercu, śledzionie), powodując określone skutki zdrowotne. Przypuszcza się również, że nanocząstki docierające do mózgu poprzez nerw węchowy mogą bezpośrednio wpływać na funkcjonowanie ośrodkowego układu nerwowego.

Cząstki o wymiarach nanometrycznych mogą dostawać się do organizmu głównie drogą inhalacyjną, ale również w wyniku kontaktu ze skórą lub układem pokarmowym [36,37]. Badania toksykologiczne na zwierzętach pokazują, że ekspozycja na te cząstki może skutkować zaburzeniami w funkcjonowaniu m.in. układu oddechowego i krążenia, a u niektórych zwierząt laboratoryjnych (głównie szczurów) – upośledzać funkcjonowanie układu rozrodczego lub powodować uszkodzenia płodu. U zwierząt narażonych na nanocząstki

drogą inhalacyjną zaobserwowano infekcje dróg oddechowych, liczne stany zapalne płuc, zwłóknienie płuc i wielogniskowe zapalenie ziarniniakowe [38]. Badania toksyczności wykazały, że niektóre powszechnie stosowane nanomateriały – takie jak nanorurki węglowe [39], ditlenek tytanu czy jony srebra [40] – mogą działać cytotoksycznie, genotoksycznie, mutagennie i rakotwórczo (powodując m.in. uszkodzenia DNA komórek nabłonka płuc, komórek wątroby, fibroblastów i mutacje genowe w komórkach rozrodczych myszy) oraz indukować powstawanie nowotworów. Poza tym wywołują stres oksydacyjny, powodując reakcje zapalne i uszkodzenia struktur komórkowych [41].

Rozwój nanotechnologii w Polsce i na świecie

Nowoczesne technologie i materiały są podstawą rozwoju wielu przedsiębiorstw i wprowadzania na rynek innowacyjnych produktów, które niosą wiele korzyści dla ich konsumentów [42]. W rozwoju badań w dziedzinie nanotechnologii przodują Stany Zjednoczone (USA) i państwa Unii Europejskiej (UE). Od kilku lat obserwuje się także szybkie tempo rozwoju i wzrost wysokości dotacji przeznaczanych na działalność badawczo-rozwojową w Rosji i krajach azjatyckich, głównie w Chinach i Japonii.

Pod koniec 2011 r. światowa wartość nakładów finansowych na badania i rozwój w dziedzinie nanotechnologii wynosiła 65 mld dolarów, a w 2014 r. wzrosła do 100 mld dolarów [43]. Z raportu opublikowanego przez Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego wynika, że w Polsce fundusze przeznaczane na rozwój nanotechnologii są znacznie niższe niż w innych krajach rozwiniętych gospodarczo. Całkowita wartość tych nakładów jest porównywalna z kosztami przeznaczanymi na pojedyncze projekty prowadzone w ramach programów badawczych w wyżej wymienionych państwach.

W UE i USA największy rozwój miał miejsce w obszarze nanoelektroniki i nanomateriałów oraz nauk biologicznych i medycznych [44]. Czołowe miejsce na świecie we wdrażaniu nanotechnologii do sektora gospodarczego zajmują Stany Zjednoczone, natomiast w Europie przodują w tym Niemcy [43]. W Polsce większość przedsiębiorstw jest na początkującym etapie wdrażania nowych strategii nanotechnologicznych. Brak zintegrowanych działań między sektorem badawczym a przedsiębiorstwami oraz niewielka wiedza przedsiębiorców o możliwościach, jakie daje rozwój i wykorzystanie nanotechnologii, powodują, że wprowadzanie nowych rozwiązań nanotechnologicznych jest wciąż ograniczone [44].

W 2014 r. Główny Urząd Statystyczny po raz drugi opublikował raport na temat działalności w dziedzinie nanotechnologii w Polsce na podstawie informacji zawartych w formularzach PNT-05 i PNT-06 oraz bezpośrednio uzyskanych od badanych jednostek [45]. W wyniku analizy tych danych zidentyfikowano 149 jednostek naukowych i 71 przedsiębiorstw nanotechnologicznych. W ciągu roku odnotowano prawie 50-procentowy wzrost liczby przedsiębiorstw prowadzących działalność w branży nanotechnologicznej. W 2013 r., podobnie jak w 2012, wiodącym obszarem zastosowania nanotechnologii były nanomateriały. Zaobserwowano również wzrost liczby przedsiębiorstw prowadzących działalność w obszarze nanoelektroniki, nanobiotechnologii i nanomedycyny (tab. 1) [45].

W Polsce w 2013 r. przedsiębiorstwa przeznaczyły na działalność nanotechnologiczną około 230 mln zł, tj. o ponad 63 mln zł więcej niż w roku poprzednim. Z kolei sprzedaż wyrobów nanotechnologicznych przyniosła zysk w wysokości ponad 383 mln zł (ryc. 1) [45].

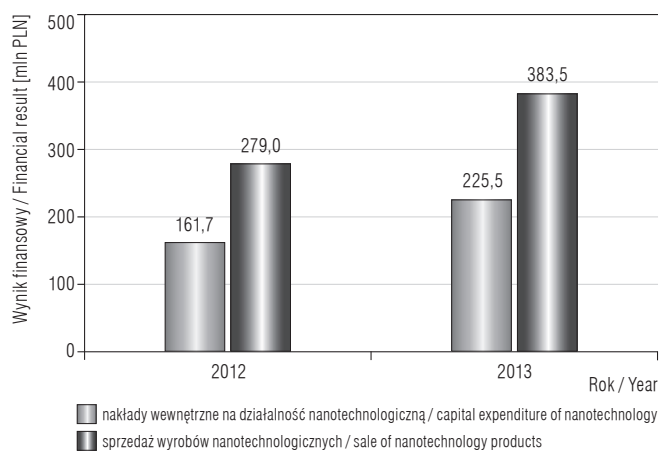
W Polsce badaniami w dziedzinie nanotechnologii zajmują się głównie jednostki naukowe. W 2013 r. prace badawcze w tej dziedzinie prowadziło 149 jednostek, głównie instytuty naukowe i ośrodki akademickie należące do sektora rządowego i prywatnych instytucji

Tabela 1. Obszar zastosowania nanotechnologii w Polsce w latach 2012 i 2013*

Table 1. The areas of nanotechnology application in Poland, 2012–2013*

Obszar Area	Przedsiębiorstwa Companies [n]	
	2012	2013
Nanomateriały / Nanomaterials	32	48
Nanoelektronika / Nanoelectronics	1	3
Nanooptyka / Nanooptics	1	1
Nanofotonika / Nanophotonics	2	1
Nanobiotechnologia / Nanobiotechnology	1	3
Nanomedycyna / Nanomedicine	1	3
Filtracja i membrany / Filtration and membranes	5	4
Oprogramowanie do modelowania i symulacji / / Software for modelling and simulation	2	1
Inne / Others	3	6
Ogółem / Total	48	71

* Na podstawie / Based on: Główny Urząd Statystyczny: Nanotechnologia w Polsce w 2013 r. [45].



Na podstawie / Based on: Główny Urząd Statystyczny: Nanotechnologia w Polsce w 2013 r. [45].

Ryc. 1. Wyniki finansowe w dziedzinie nanotechnologii w latach 2012 i 2013

Fig. 1. Financial results in the field of nanotechnology in the years 2012 and 2013

niekomercyjnych [45]. Jednostki te brały udział w międzynarodowych i krajowych projektach (m.in. Nanomitex, Nanodevice, Scaffold, Nanosh, Nanomicex, Marina, Noblesse) dotyczących zarówno produkcji i wykorzystania funkcjonalnych nanomateriałów, jak i oceny ryzyka związanego z ich zastosowaniem. Polskie jednostki naukowe brały udział w 67 projektach europejskich finansowanych w ramach 7. programu ramowego UE, z czego 62 projekty zostały zakończone, a pozostałe są w trakcie realizacji [46,47]. Na działalność jednostek badawczo-rozwojowych przeznaczono w 2013 r. kwotę o połowę niższą niż w roku poprzednim – wynosiła ona niewiele ponad 283 mln zł [45].

WNIOSKI

Polskie przedsiębiorstwa są na początkowym etapie wdrażania nowych rozwiązań nanotechnologicznych, a badaniami nad nanotechnologią zajmują się głównie jednostki naukowe. Dużą szansę na intensywny rozwój nanotechnologii i wzmocnienie pozycji w gospodarce globalnej, nie tylko w sektorze badawczym, ale również w sektorze gospodarczym, daje współpraca z zagranicznymi ośrodkami, pozyskiwanie funduszy z UE, udział w projektach unijnych i wsparcie rządu.

Zastosowanie nanotechnologii i nanomateriałów mimo wielu korzyści budzi także wiele obaw. Niepewność związana z bezpieczeństwem i oceną narażenia na nanocząstki podczas ich produkcji i użytkowania wynika z niedostatecznej wiedzy na temat rodzaju cząstek, ich

właściwości, mechanizmu uwalniania i wnikania do organizmu [44]. Rozporządzenia Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals (REACH, Rejestracja, Ocena, Udzielanie Zezwoleń i Stosowane Ograniczenia w Zakresie Chemikaliów) oraz Klasyfikacji, Oznakowania i Pakowania (Classification, Labeling and Packaging – CLP) nie zawierają wymogów odnoszących się wyłącznie do nanomateriałów. Producenci nanomateriałów – podobnie jak w przypadku innych substancji chemicznych produkowanych w ilości powyżej 1 t rocznie – zobowiązani są do zapewnienia bezpiecznego korzystania z materiałów, które zawierają nanoobjekty. W 2012 r. Europejska Agencja Chemikaliów (The European Chemicals Agency – ECHA) stworzyła grupę doradczą, której celem jest analiza procesu wdrażania rozporządzeń REACH i CLP w stosunku do nanomateriałów oraz pozyskanie informacji od sektora przemysłowego na temat ich dokumentowania.

Bardzo szybki wzrost wykorzystania nanomateriałów sprawia, że istotna jest ocena potencjalnego wpływu cząstek w nanoskali na zdrowie człowieka i środowisko naturalne [48]. W 2010 r. Narodowy Instytut Bezpieczeństwa i Higieny Pracy (The National Institute for Occupational Safety and Health – NIOSH) w Stanach Zjednoczonych wysunął propozycję wartości TLV (threshold limit value – najwyższe dopuszczalne stężenie) dla nanorurek węglowych wielkości $7 \mu\text{g}/\text{m}^3$ [49] i nanoditlenku tytanu wielkości $0,3 \text{ mg}/\text{m}^3$ [50].

W Polsce nie ma przepisów prawnych, na których podstawie wyznaczano by standardy higieniczne obowiązujące podczas pracy z nanomateriałami. Brak również zaleceń mających na celu oszacowanie narażenia na nanocząstki na stanowisku pracy. Ocena narażenia pracowników na projektowane nanocząstki wymaga oszacowania ekspozycji indywidualnej poprzez analizę stężenia liczbowego, powierzchniowego i masowego cząstek oraz rozkładu ich wielkości. W wyniku obiektywnych i konstruktywnych badań naukowych powinny zostać stworzone przepisy prawne, dzięki którym narażenie człowieka na nanocząstki będzie ograniczone do poziomu bezpiecznego, niezagrażającego jego zdrowiu i życiu.

PIŚMIENNICTWO

1. Dosch H., van de Voorde M.H. [red.]: Genesys white book. A new European partnership between nanomaterials science and nanotechnology and synchrotron radiation and neutron facilities. Max-Planck-Institut für Metallforschung, Stuttgart 2009, ss. 57–69
2. Van Broekhuizen F.A., van Broekhuizen J.C.: Nanotechnologie w budownictwie europejskim – stan wiedzy na rok 2009 – streszczenie. Europejska Federacja Pracowników Budowlanych i Przemysłu Drzewnego, Europejska Federacja Przemysłu Budowlanego, Amsterdam 2009 [cytowany 9 lutego 2015]. Adres: <http://www.efbww.org/pdfs/Nano%20-%20Pol%20Summary.pdf>
3. Ozimek L., Pospiech E., Narine S.: Nanotechnologies in food and meat processing. *Acta Sci. Pol. Technol. Aliment.* 2010;9(4):401–412
4. Gwinn M.R., Vallyathan V.: Nanoparticles: Health effects – Pros and cons. *Environ. Health Persp.* 2006;114(12): 1818–1825, <http://dx.doi.org/10.1289/ehp.8871>
5. Sokół J.L.: Nanotechnologia w życiu człowieka. *Econ. Manage.* 2012;1:18–29
6. Wiatr E., Nowakowska D.: Zastosowanie nanocząsteczek w materiałach stomatologicznych – przegląd piśmiennictwa. *Protet. Stomatol.* 2013;63(6):466–475, <http://dx.doi.org/10.5604/1133006>
7. Langauer-Lewowicka H., Pawlas K.: Nanocząstki, nanotechnologia – potencjalne zagrożenia środowiskowe i zawodowe. *Med. Środ.* 2014;17(2):7–14
8. Czyż K., Dobrzański Z., Patkowska-Sokoła B., Zabłocka M.: Rozwój i zastosowania nanotechnologii. *Przegl. Hodowlany* 2011;10:32–35
9. Buzea C., Pacheco I.I., Robbie K.: Nanomaterials and nanoparticles: Sources and toxicity. *Biointerphases* 2007;2(4):17–70, <http://dx.doi.org/10.1116/1.2815690>
10. Warheit D.B., Sayes C.M., Reed K.L., Swain K.A.: Health effects related to nanoparticle exposures: Environmental, health and safety considerations for assessing hazards and risk. *Pharmacol. Ther.* 2008;120:35–42, <http://dx.doi.org/10.1016/j.pharmthera.2008.07.001>
11. Jankowska E.: Nanoobjekty w środowisku pracy. *Podst. Met. Oceny Środ. Pr.* 2011;4(70):7–20
12. Maynard A.D., Kuempel E.D.: Airborne nanostructured particles and occupational health. *J. Nanopart. Res.* 2005;(7):587–614, <http://dx.doi.org/10.1007/s11051-005-6770-9>
13. Zapór L.: Bezpieczeństwo i higiena pracy a rozwój nanotechnologii. *Bezpiecz. Pr. Nauka Prakt.* 2012;1:4–7
14. Moore M.N.: Do nanoparticles present ecotoxicological risks for the health of the aquatic environment? *Environ. Int.* 2006;32:967–976, <http://dx.doi.org/10.1016/j.envint.2006.06.014>
15. Lee M., McClellan W.J., Candela J., Andrews D., Biswas P.: Reduction of nanoparticle exposure to welding aerosols by modification of the ventilation system in a workplace. *J. Nanoparticle Res.* 2007;9:127–136, <http://dx.doi.org/10.1007/s11051-006-9181-7>

16. Brouwer D.H., Gijsbers J.H.J., Lurvink M.W.M.: Personal exposure to ultrafine particles in the workplace: Exploring sampling techniques and strategies. *Ann. Occup. Hyg.* 2004;48(5):439–453, <http://dx.doi.org/10.1093/annhyg/meh040>
17. Zhiqiang Q., Siegmann K., Keller A., Matter U., Scherrer L., Siegmann H.C.: Nanoparticle air pollution in major cities and its origin. *Atmos. Environ.* 2000;34:443–451, [http://dx.doi.org/10.1016/S1352-2310\(99\)00252-6](http://dx.doi.org/10.1016/S1352-2310(99)00252-6)
18. Cheng Y., Chao Y., Wu C., Tsai C., Uang S., Shih T.: Measurements of ultrafine particle concentrations and size distribution in an iron foundry. *J. Hazard. Mater.* 2008;158:124–130, <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhazmat.2008.01.036>
19. Nowack B., Bucheli T.D.: Occurrence, behavior and effects of nanoparticles in the environment. *Environ. Pollut.* 2007;150:5–22, <http://dx.doi.org/10.1016/j.envpol.2007.06.006>
20. Szymański P., Markowicz M., Mikiciuk-Olasik E.: Zastosowanie nanotechnologii w medycynie i farmacji. *LAB Laboratoria, Aparatura, Badania* 2012;17(1):51–56
21. Hughes G.A.: Nanostructure – Mediated drug delivery. *Nanomedicine* 2005;(1):22–30, <http://dx.doi.org/10.1016/j.nano.2004.11.009>
22. Caruthers S., Wickline S.A., Lanza G.M.: Nanotechnological applications in medicine. *Curr. Opin. Biotechnol.* 2007;(18):26–30, <http://dx.doi.org/10.1016/j.copbio.2007.01.006>
23. Mielcarek J., Kruszyńska M., Sokołowski P.: Zastosowanie nanorurek węglowych w medycynie. *Farmacja Pol.* 2009;65(4):251–254
24. Zhang L., Gu F.X., Chan J.M., Wang A.Z., Langer R.S., Farokhzad O.C.: Nanoparticles in medicine: Therapeutic applications and developments. *Clin. Pharmacol. Ther.* 2008;(83):761–769, <http://dx.doi.org/10.1038/sj.clpt.6100400>
25. Porucznik A., Łojkowski W.: Zastosowanie nanotechnologii w białostockich gabinetach stomatologicznych. *Econ. Manag.* 2014;(2):71–81, <http://dx.doi.org/10.12846/j.em.2014.02.06>
26. Snopczyński T., Góralczyk K., Czaja K., Struciński P., Hernik A., Korcz W. i wsp.: Nanotechnologia – możliwości i zagrożenia. *Rocz. Państw. Zakł. Hig.* 2009;60(2):101–111
27. Mu L., Sprando R.L.: Application of nanotechnology in cosmetics. *Pharm. Res.* 2010;(27):1746–1749, <http://dx.doi.org/10.1007/s11095-010-0139-1>
28. Idzikowska M., Janczura M., Lepionka T., Madej M., Mościcka E., Pyzik J. i wsp.: Nanotechnologia w produkcji żywności – kierunki rozwoju, zagrożenia i regulacje prawne. *Biul. Farmacji WUM* 2012;(4):26–31
29. Sozer N., Kokini J.L.: Nanotechnology and its applications in the food sector. *Trends Biotechnol.* 2009;27(2):82–89, <http://dx.doi.org/10.1016/j.tibtech.2008.10.010>
30. Hanus M.J., Harris A.T.: Nanotechnology innovations for the construction industry. *Prog. Mater. Sci.* 2013;58:1056–1102, <http://dx.doi.org/10.1016/j.pmatsci.2013.04.001>
31. Rana A.K., Rana B.S., Kumari A., Kiran V.: Significance of nanotechnology in construction engineering. *Int. J. Recent Trends Eng.* 2009;1(4):46–48
32. Czarnecki L.: Nanotechnologia w budownictwie. *Przegl. Budowlany* 2011;(1):40–53
33. Kaleta A., Kołodziej A.: Zastosowanie nanocząstek w budownictwie. *Rocz. Inżynierii Budowlanej* 2012;(12):25–28
34. Van Broekhuizen F.A.: Nanomateriały w przemyśle meblarskim. Stan wiedzy na rok 2012 – streszczenie. Europejska Federacja Pracowników Przemysłu Budowlanego i Drzewnego, Europejska Federacja Przemysłu Meblarskiego, Europejska Federacja Producentów Mebli, Amsterdam 2012
35. Krzemińska S., Hrynyk R., Piotrowski P.: Możliwości zastosowania nanomateriałów w środkach ochrony indywidualnej. *Bezpiecz. Pr. Nauka Prakt.* 2009;5(452):7–9
36. Zbrowski A.: Monitorowanie nanocząstek w procesach wytwarzania i użytkowania. *Bezpiecz. Tech. Pożarnicza* 2013;29(1):107–111
37. Rahman M.M., Lee J.K., Jeong J., Seo Y.R.: Usage of nanoparticles with their potential toxicity assessment and regulatory guidelines. *Toxicol. Environ. Health Sci.* 2013; 5:49–54, <http://dx.doi.org/10.1007/s13530-013-0156-7>
38. Savolainen K., Alenius H., Norppa H., Pylkkänen L., Tuomia T., Kasperb G.: Risk assessment of engineered nanomaterials and nanotechnologies – A review. *Toxicology* 2010;269:92–104, <http://dx.doi.org/10.1016/j.tox.2010.01.013>
39. Reijnders L.: Human health hazards of persistent inorganic and carbon nanoparticles. *J. Mater. Sci.* 2012;47: 5061–5073, <http://dx.doi.org/10.1007/s10853-012-6288-3>
40. Roszak J., Stępnik M., Nocuń M., Ferlińska M., Smok-Pięiążek A., Grobelny J. i wsp.: A strategy for *in vitro* safety testing of nanotitania – Modified textile products. *J. Hazard. Mater.* 2013;(256–257):67–75, <http://dx.doi.org/10.1016/j.jhazmat.2013.04.022>
41. Savolainen K., Pylkkänen L., Norppa H., Falck G., Lindberg H., Tuomi T. i wsp.: Nanotechnologies, engineered nanomaterials and occupational health and safety – A review. *Saf. Sci.* 2010;48:957–963, <http://dx.doi.org/10.1016/j.ssci.2010.03.006>
42. Ministerstwo Nauki i Informatyzacji: Proponowane kierunki rozwoju nauki i technologii w Polsce do 2020 roku. Ministerstwo, Warszawa 2004

43. Harper T.: Global funding of nanotechnologies and its impact. Cientifica, Londyn 2011 [cytowany 27 lutego 2015]. Adres: <http://cientifica.com/wp-content/uploads/downloads/2011/07/Global-Nanotechnology-Funding-Report-2011.pdf>
44. Ministerstwo Nauki i Szkolnictwa Wyższego, Interdyscyplinarny Zespół do Spraw Nauki i Nanotechnologii: Nanonauka i nanotechnologia – narodowa strategia dla Polski. Raport. Ministerstwo, Warszawa 2006
45. Główny Urząd Statystyczny: Nanotechnologia w Polsce w 2013 r. Urząd, Warszawa 2014
46. Nanosafetycluster.eu [Internet]: EU NanoSafety Cluster [cytowany 15 kwietnia 2015] Adres: <http://nanosafetycluster.eu>
47. Cordis.europa.eu [Internet]: CORDIS. Wspólnotowy Serwis Informacyjny Badań i Rozwoju [cytowany 13 kwietnia 2015]. Adres: http://www.cordis.europa.eu/home_pl.html
48. Echa.europa.eu [Internet]: European Chemicals Agency [ECHA] [cytowany 30 kwietnia 2015]. Adres: <http://www.echa.europa.eu>
49. National Institute for Occupational Safety and Health, Department of Health and Human Services, Center for Disease Control and Prevention: Current intelligence bulletin: Occupational exposure to carbon nanotubes and nanofibers. Publication No. 161-A. Institute, Department, Center, Cincinnati 2010
50. National Institute for Occupational Safety and Health, Department of Health and Human Services, Center for Disease Control and Prevention: Current intelligence bulletin 63: Occupational exposure to titanium dioxide. Publication No. 2011-160. Institute, Department, Center, Cincinnati 2011