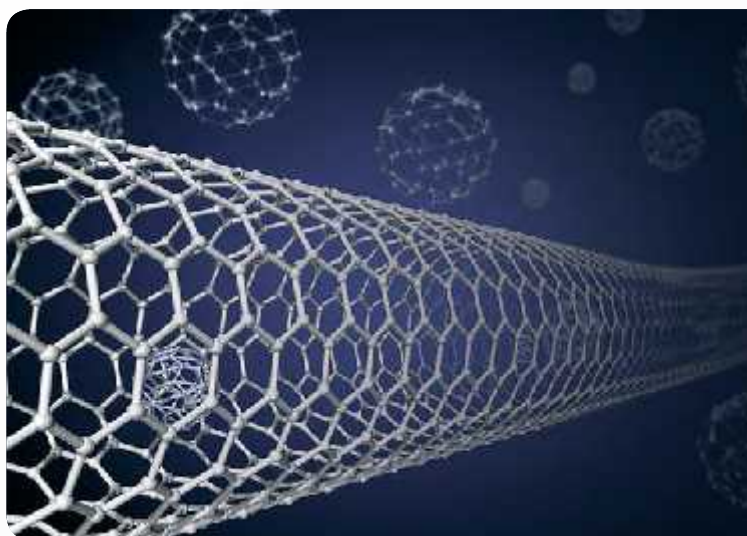


# Bezpieczeństwo i higiena pracy a rozwój nanotechnologii

Fot. Tom De Spiegelaere / Bigstockphoto



W artykule przedstawiono problemy i niezbędne działania, jakie należy podjąć w dziedzinie bezpieczeństwa i higieny pracy z produktami nanotechnologii. Wydaje się, że obecnie największe ryzyko związane z nanotechnologią polega na braku jej kontroli, tj. niewystarczających środkach do monitorowania środowiska pracy i środowiska naturalnego oraz braku przepisów prawnych regulujących tę kontrolę.

## Occupational safety and health and nanotechnology

This article presents the problems and necessary actions that should be taken in the field of health and safety at work in relation to nanotechnology products. At present, it seems that lack of control is the greatest risk associated with nanotechnology. It consists in insufficient methods of monitoring the working environment and the natural environment and no legal provisions regulating this control.

## Wstęp

W ostatnich latach zauważalny jest ogromny postęp w dziedzinie nanotechnologii. Jej produkty są wytwarzane i stosowane w wielu bardzo różnorodnych sekcjach gospodarki, takich jak elektronika, budownictwo, biomedycyna, przemysł włókienniczy, motoryzacyjny, spożywczy, energetyczny, farmaceutyczny, chemiczny, kosmetyczny i in. (rys.). O dynamice rozwoju nanotechnologii mogą świadczyć również nakłady finansowe na rozwój badań na przestrzeni ostatnich lat i zaplanowane na najbliższą przyszłość: w 2007 r. rynek nanotechnologiczny szacowano na ok. 2,3 mld USD, w roku 2011 – na ok. 4 mld, natomiast w 2015 r. ma już osiągnąć 81 mld dolarów [1, 2].

Produkty nanotechnologii niosą ze sobą, zdaniem naukowców, oprócz szerokich możliwości aplikacyjnych również nowe, niedostatecznie poznane zagrożenia dla człowieka i środowiska, w tym środowiska pracy. Według raportu Europejskiej Agencji Bezpieczeństwa i Zdrowia w Pracy (EU OSHA) nanomateriały i nanotechnologie są postrzegane jako jedno z głównych nowych zagrożeń dla zdrowia pracowników [3].

W artykule przedstawiono problemy i niezbędne działania, jakie należy podjąć w dzie-

dzinie bezpieczeństwa i higieny pracy podczas wytwarzania i przetwarzania produktów nanotechnologii.

## Czym są nanomateriały

Do grupy tzw. nanomateriałów lub nanocząstek (w języku potocznym oba terminy są często stosowane zamiennie) zaliczane są struktury fizyczne, które posiadają co najmniej jeden z wymiarów w granicach pomiędzy  $1 \div 100$  nanometrów ( $10^{-9}$  m), [4]. Jest to wymiar niewidoczny dla ludzkiego oka. Dla zobrazowania wielkości: średnica pojedynczego atomu jest rzędu 0,1 nm, wiele chorobotwórczych wirusów ma wymiary ok. 100 nm, przeciętna bakteria ma długość 2,5 mikrometra (czyli jest ok. tysiąc razy większa). Rozmiar w skali nano posiadają podstawowe składniki i struktury komórek żywych – cząsteczki białka mają średnicę ok.  $5 \div 50$  nm, średnica ludzkiego DNA<sup>1</sup> wynosi ok. 2,5 nanometra, grubość błon komórkowych nie przekracza kilkudziesięciu nanometrów.

Tak małe rozmiary substancji warunkują właściwości (fizyczne, chemiczne, mechaniczne,

<sup>1</sup> DNA – kwas deoksyrybonukleinowy.

optyczne, biologiczne itp.), odmienne od własności tych samych substancji o większym wymiarze cząstek (mikro, tj.  $10^{-6}$  m). Nanocząstki charakteryzują się względnie niską masą, mają zmienioną reaktywność chemiczną, większą zdolność utleniania, inny ładunek powierzchniowy, inaczej rozpuszczają się w cieczach, mogą mieć nawet o kilkaset stopni Celsjusza niższą temperaturę topnienia.

Na szczególne właściwości nanocząstek/nanomateriałów wpływa nie tylko wielkość, ale ich kształt, stopień rozdrobnienia, wszelkie modyfikacje powierzchni, a przede wszystkim wysoki stosunek powierzchni do objętości (powierzchnia właściwa).

## Potencjalne zagrożenia

Jest bardzo prawdopodobne, że dzięki rozmiarom porównywalnym z podstawowymi strukturami biologicznymi, nanocząstki mogą wchodzić w interakcje ze składnikami komórek organizmów żywych i powodować trudne obecnie do oszacowania skutki zdrowotne dla ludzi i zwierząt oraz zmiany w środowisku naturalnym.

Wyniki nielicznych badań na zwierzętach wskazują, że substancje o udowodnionej niskiej

toksyczności, po rozdrobnieniu do wielkości nano, mogą nabywać właściwości toksycznych – powodują głównie stres oksydacyjny i powstawanie reakcji zapalnych w organizmie. Wykazano, że pyły ditlenku tytanu o wielkości nano wywołują zmiany zapalne w pęcherzykach płuc narażonych zwierząt o znacznie większym nasileniu, niż pyły frakcji o większym rozmiarze cząstek o tym samym stężeniu. Podobne zależności otrzymano w badaniach polistyrenu o różnym rozmiarze cząstek, a nawet złota (metalu uznanego za mało reaktywny, niepowodujący szkodliwych zmian w organizmie zwierząt i ludzi).

Dostępne dane toksykologiczne pochodzące z badań na zwierzętach dotyczą krótkotrwałego narażenia na duże dawki (stężenia) badanych nanomateriałów. Brak danych dotyczących narażenia przewlekłego zwierząt sprawia, że trudno dokonać ekstrapolacji wyników do rzeczywistych warunków przewlekłego narażenia w miejscu pracy. Dlatego też uznaje się, że obecny stan wiedzy na temat toksyczności nanomateriałów jest ograniczony, [2, 5, 6]. Istnieją jednak naukowe przesłanki, świadczące o tym, że przy ocenie zagrożeń stwarzanych przez nanocząstki należy uwzględnić ryzyko działania na układ oddechowy, sercowo-naczyniowy (krążenia), wydzielania wewnętrznego (hormonalny) oraz nerwowy (w tym mózg), [3, 5].

W publikowanych w ostatnich latach raportach NIOSH (National Institute for Occupational Safety and Health, USA 2007) oraz Komitetu Naukowego ds. Nowopoznanych Zagrożeń Zdrowia (SCENIHR – Scientific Committee on Emerging and Newly Identified Health Risks), działającego przy EU OSHA identyfikowane są najważniejsze obszary, w których należy prowadzić badania, w celu ustalenia zagrożeń związanych z nanomateriałami oraz zasad bezpiecznego postępowania z nimi [5, 6, 7].

## Rozwój regulacji prawnych

Stosowanie nanotechnologii w licznych i zróżnicowanych dziedzinach gospodarki utrudnia wprowadzenie jednolitych ram regulacyjnych na szczeblu wspólnotowym. Produkty nanotechnologii podlegają często przepisom wynikającym z różnych dyrektyw (chemicznej, kosmetycznej, o produktach biobójczych, o wyrobach medycznych itp.), które nie zawsze są spójne.

Podstawowym problemem jest brak zharmonizowanej terminologii (definicji) dotyczącej produktów nanotechnologii oraz brak jasnych zasad związanych z wprowadzaniem do ich obrotu.

### Konieczność sprecyzowania definicji produktów nanotechnologii

Definicje nanomateriałów najczęściej formułowane są w odniesieniu do:

- wyłącznie do wielkości: przybliżone określenie wielkości („rzędu 100 nm lub mniej”) lub też szczegółowy rząd wielkości („od 1 do 100 nm”)
- specyficznych właściwości (wynikających z efektów związanych z wielkością) jako niezależnego kryterium (np. aktywność powierzchniowa,

duża powierzchnia właściwa, efekty kwantowe) lub też posłużenie się takimi właściwościami jako kryterium dodatkowym.

Normy międzynarodowe (ISO TS/27687) określają „nanoskalę” jako posiadającą „co najmniej jeden wymiar rzędu 100 nm lub mniej”. Dokonują też rozróżnienia pomiędzy nanoobjektami i materiałami nanostrukturalnymi.

Nanoobjekty są definiowane jako „oddzielne części materiału o jednym, dwóch lub trzech wymiarach zewnętrznych w nanoskali”, tj. materiały składające się z pojedynczych obiektów o bardzo małych wymiarach. Pod względem morfologicznym należą tu: nanowiry (np. silikon), nanocząstki (np. nanocząstki metali), nanorurki (np. nanorurki węglowe, fulereny), nanopłytki (nanopłytki tlenku cynku), nanowłókna (poliester). Nanoobjekty mogą występować w postaci proszków, zawiesin, roztworów, żeli (kolooidów), tworzyć agregaty i aglomeraty, których rozmiar jest większy niż 100 nm (nawet do 500 nm), a także stanowić część składową nanomateriałów.

Materiały nanostrukturalne są definiowane jako materiały „mające strukturę wewnętrzną lub powierzchniową w nanoskali” (np. cechujące się porami o wymiarach nano) i wykazujące specyficzne właściwości, odmienne niż te same materiały w skali mikro. Do nanomateriałów należą nanonapełniacze, nanokompozyty, nanopowłoki.

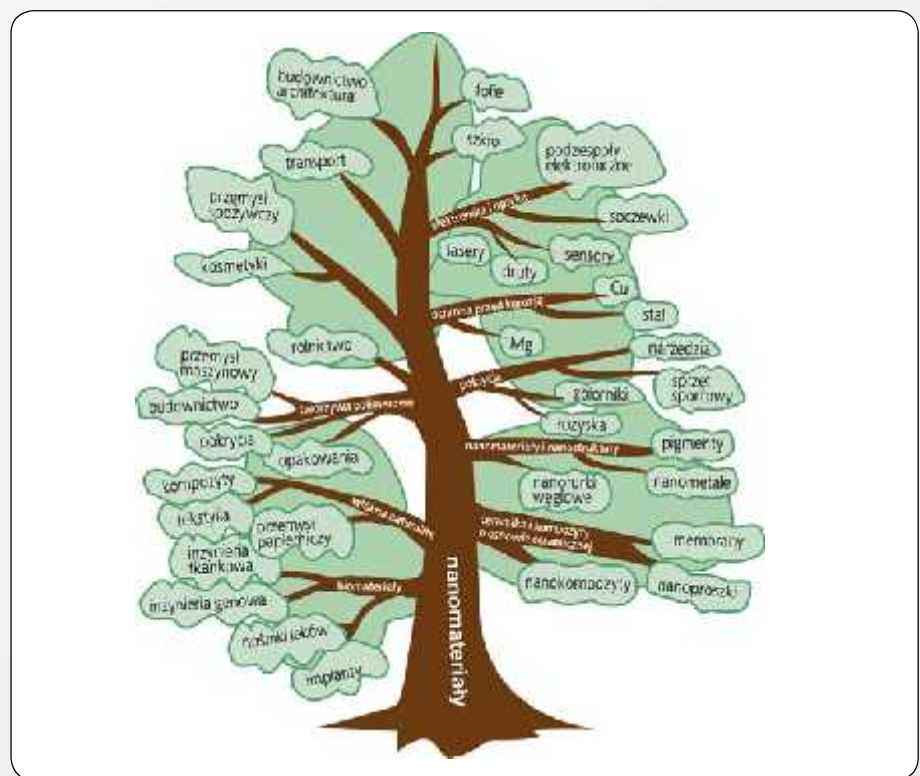
Obecnie na forum międzynarodowym trwa dyskusja na temat podstaw definicji nanomateriałów, z której wynika, że granicę 100 nm należy traktować umownie. Według stanowiska SCENIHR podstawą definicji nanomateriału powinno być kryterium wielkości, a nie właści-

wości. Proponuje się również rozszerzenie definicji nanomateriału o rozmiar poniżej 1000 nm, co pozwoli na uwzględnienie aglomeratów [8].

### Konieczność regulacji prawnych związanych z wprowadzaniem produktów nanotechnologii do obrotu

W krajach UE obrót chemikaliami reguluje rozporządzenie REACH [9]. Podstawowym problemem w rejestracji nanocząstek zgodnie z tymi przepisami jest ich właściwa identyfikacja, tj. ustalenie, czy należy rejestrować je jako substancje nowe (odrębne), skoro różnią się tak wieloma parametrami od tych samych substancji o większym wymiarze cząstek. Jeśli tak, to czy rejestracja powinna przebiegać z dostarczeniem pełnej dokumentacji badań w zależności od tonażu? Nadmienić należy, że nanomateriały najczęściej „wymykają się” progom tonażowym narzuconym przez rozporządzenie – większość z nich produkowana jest w ilościach poniżej tony. Na stronie Europejskiej Agencji Do Spraw Chemikaliów (ECHA) w lipcu 2010 r. opublikowano poradnik *Nanomaterials in IUCLID 5.2*. Podano w nim praktyczne wskazówki, jak uwzględnić nanomateriały w dossier rejestracyjnym. Do 2011 r. w ECHA zarejestrowano dwa nanomateriały: ditlenek krzemu i sadzę techniczną.

Obecnie wydaje się konieczne uwzględnienie wielkości nano w scenariuszach narażenia opracowywanych dla rejestrowanych substancji o większym rozmiarze cząstek i uwzględnianie nanozagrożeń w kartach charakterystyki produktów.



Zastosowanie nanotechnologii  
*The use of nanotechnology*

Źródło: <http://chemia.wii-10.krakow.pl/chemia/inne/06pan/nim/index.htm>

Zwraca się też uwagę na konieczność nałożenia na producentów obowiązku przekazywania informacji o obecności nanoskładnika w produktach konsumenckich, w postaci odpowiedniego oznakowania produktów. W maju 2011 r. na spotkaniu IOMC (*Inter-Organization Programme for the Sound Management of Chemicals*), działającym przy OECD, zaproponowano zwroty ostrzegawcze w następującym brzmieniu: „Zawiera projektowane nanomateriały. Uwaga. Zagrożenie nieznanne” lub „Zawiera projektowane nanomateriały. Uwaga. Zagrożenie nie w pełni scharakteryzowane” [10].

## Badania dotyczące charakterystyki nanomateriałów

Metrologia obiektów o rozmiarach w skali nano wymaga opracowania nowych procedur badawczych i zastosowania niekonwencjonalnych metod pomiarowych uwzględniających zjawiska, które nie występują lub są pomijalne w makroskali. Charakterystyka nanocząstek jest też trudna z powodu szybkich zmian ich właściwości fizykochemicznych, wynikających m.in. ze zdolności do aglomeracji i agregacji w powietrzu, jak również z powodu wielu parametrów, które należałoby mierzyć. Ważne jest określenie parametrów, takich jak: liczba cząstek (objektów), ich wielkość, rozkład, kształt, struktura krystaliczna, zdolność aglomeracji i agregacji, wielkość powierzchni i rodzaj jej modyfikacji, rozpuszczalność w cieczach, budowa chemiczna, zdolności katalityczne [2, 3, 6]. Według SCENIHR [5] należy zidentyfikować właściwości każdej nanocząstki mogącej spowodować zagrożenie dla zdrowia lub środowiska i wymienić je na etykietach.

## Badania toksycznego działania nanomateriałów

Perspektywa rozwoju nanotechnologii i występowania nanocząstek na stanowiskach pracy wymaga oceny ich działania toksycznego, tymczasem wiedza na temat toksyczności nanomateriałów jest ograniczona. W projekcie rezolucji Parlamentu Europejskiego w sprawie aspektów regulacyjnych dotyczących nanomateriałów [6] oraz raportach SCENIHR [5] i NIOSH [7] przyznaje się, że obecny stan wiedzy na temat szkodliwego działania nanocząstek jest niewystarczający i konieczna jest w związku z tym intensyfikacja badań toksykologicznych w zakresie szkodliwości nanocząstek dla zdrowia człowieka.

W dziedzinie toksykologii najważniejsze potrzeby badawcze to:

- Ocena istniejących metod pod względem ich przydatności do badań toksyczności nanomateriałów. Niezbędne jest dostosowanie istniejących metod do szczególnych właściwości nanomateriałów (głównie rozwiązanie problemów metodycznych związanych z agregacją i aglomeracją nanocząstek). Dane naukowe wskazują, że nie ma metod uniwersalnych, mo-

gących mieć zastosowanie do badania wszystkich nanomateriałów.

- Intensyfikacja badań toksykologicznych zarówno *in vitro*, jak i *in vivo*, w celu określenia krótko- i długotrwałych skutków narażenia na nanomateriały oraz poznania mechanizmów ich toksycznego działania. Pożądane są zwłaszcza dane dotyczące toksykokinetyki (wchłanianie, rozmieszczenie w organizmie, metabolizm, wydalanie), działania genotoksycznego nanocząstek oraz określenie ich zdolności do pokonywania barier: krew-mózg i krew-łożysko. Ważne jest powiązanie danych dotyczących właściwości fizykochemicznych nanocząstek z ich toksycznością i znalezienie parametru, który ma decydujący wpływ na efekt toksyczny. Toksyczność substancji chemicznych zależy w głównej mierze od ich budowy i właściwości fizykochemicznych. W tradycyjnej toksykologii można określić zależność: dawka (stężenie) – odpowiedź ze strony organizmu. W przypadku nanomateriałów dane naukowe wskazują, że nie tylko budowa chemiczna i stężenie, ale szereg innych parametrów, takich jak np. rozmiar, kształt czy struktura krystaliczna, może decydować o ich toksyczności.

- Rozwój metod oceny toksyczności nanomateriałów prowadzonych w warunkach *in vitro* (ich walidacja i standaryzacja).

## Ocena narażenia pracowników i monitorowanie środowiska pracy

Według raportu EU-OSHA „Prognozy ekspertów dotyczące „pojawiającego się” ryzyka chemicznego w pracy” [3] lista „produktów nanotechnologii”, mogących stanowić nowe lub rosnące zagrożenie dla zdrowia pracowników w najbliższej przyszłości w przemyśle obejmuje: nanorurki węglowe, fulereny, nanoglinki, metale w postaci nanoproszków (srebro, żelazo), tlenki metali (tytanu, krzemu, glinu, ceru), sadzę techniczną, polistyren, dendrymery. Należy mieć świadomość, że liczba pracujących narażonych na nanocząstki jest o wiele większa, aniżeli tylko zatrudnionych przy produkcji nanomateriałów projektowanych, gdyż nanocząstki mogą być uwalniane jako produkt uboczny w wielu procesach produkcyjnych, głównie związanych z powstawaniem pyłów i aerozoli, takich jak obróbka termiczna (spawanie, wytapianie, zgrzewanie, lutowanie, spalanie) oraz obróbka mechaniczna (polerowanie, cięcie, szlifowanie, frezowanie).

Do oceny narażenia pracowników i monitorowania środowiska pracy niezbędne jest podjęcie działań w dwóch podstawowych kierunkach. Jednym z nich są prace nad rozwojem i standaryzacją metod pomiarowych nanocząstek w powietrzu środowiska pracy.

Obecnie w przypadku wszystkich substancji w postaci aerozolu, niezależnie od wielkości cząstek, narażenie zawodowe jest charakteryzowane na podstawie stężenia masowego substancji w powietrzu środowiska pracy, wyrażonego np. w mg/m<sup>3</sup> powietrza. Dla włókien kryterium oceny narażenia oparte jest na ich ilości

w jednostce powietrza. W przypadku narażenia na nanocząstki, zastosowanie stężenia masowego zdaniem naukowców nie odzwierciedla w pełni wielkości narażenia. Nanocząstki stanowią bowiem bardzo małą frakcję w całkowitej masie aerozolu i dlatego nie mogą być oznaczane metodami wagowymi. Nie ma prawnie ustalonych zaleceń, co do rodzaju parametrów, które należałoby mierzyć – masę, liczbę, rozkład wielkości cząstek czy powierzchnię. Naukowe przesłanki wskazują, że w przypadku substancji w postaci nanocząstek lepszą miarą narażenia jest pole powierzchni i liczba cząstek w objętości powietrza (stężenie liczbowe) niż stężenie masowe. Ostatnie doniesienia potwierdzają, że pole powierzchni jest parametrem odgrywającym kluczową rolę w toksyczności nanocząstek [2, 3, 5].

Drugim ważnym kierunkiem prac jest opracowanie wartości normatywnych lub wskaźnikowych do oceny narażenia. Obecnie nie ma ustalonych, opartych na kryteriach zdrowotnych wartości normatywnych higienicznych dla nanocząstek, jak również wartości wskaźnikowych. Nie ma też opracowanych wartości DNEL (DNEL – pochodny poziom dawkowania (stężenie), przy którym nie obserwuje się szkodliwych zmian). Problematycznym zagadnieniem jest, czy wartości dopuszczalnych stężeń opracowane dla substancji w skali makro (tzw. bulk) można odnosić do wielkości nano.

W niektórych krajach, np. w Wielkiej Brytanii proponuje się podejście pragmatyczne i stosowanie w ocenie narażenia tzw. dawki (poziomu) wyznaczającej (*benchmark dose/level*) jako dopuszczalnego poziomu narażenia [11]. I tak, dla nierozpuszczalnych i słabo rozpuszczalnych nanocząstek, nienależących do kategorii cząstek włóknistych, rakotwórczych, mutagennych i działających szkodliwie na rozrodczość proponuje się wartość dopuszczalnego stężenia referencyjnego na poziomie: 0,066 x OEL (*occupational exposure limit*); dla nanocząstek dobrze rozpuszczalnych w wodzie na poziomie: 0,5 x OEL; dla nanocząstek o działaniu rakotwórczym, mutagennym i działających szkodliwie na rozrodczość: 0,1 x OEL; dla nanomateriałów włóknistych: 0,01 włókna/ml (przy definicji włókna: cząstka o współczynniku kształtu większym od 3:1 i długości powyżej 5000 nm). Należy pamiętać, że dawka wyznaczająca nie jest oparta na kryteriach zdrowotnych.<sup>2</sup>

W USA (NIOSH) zaproponowano wartość TLV (Threshold Limit Value) dla nano ditlenku tytanu na poziomie 15 razy niższym niż dla substancji w skali mikro, tj. 0,1 mg/m<sup>3</sup>.

## Ocena ryzyka zawodowego

Obecnie nie ma wystarczającej wiedzy do przeprowadzenia ilościowej oceny ryzyka

<sup>2</sup> Dawka wyznaczająca – pojęcie stosowane do oceny ryzyka związanego z narażeniem na substancje chemiczne nierakotwórcze. Oznacza dolną granicę przedziału ufności, np. 95%, dla wielkości narażenia (lub dawki pobranej), które może spowodować niewielki wzrost, np. 5% lub 10%, częstości występowania szkodliwych efektów zdrowotnych.

zawodowego związanego z narażeniem na nanomateriały. Z uwagi na brak wartości normatywnych i wartości odniesienia oraz trudności metod pomiarowych, zarówno w materiałach EU OSHA jak i NIOSH przyjmuje się, że ocena ryzyka zawodowego w związku z narażeniem na nanomateriały powinna być oceną jakościową [6, 7].

W artykule nie przedstawiono pełnej oceny ryzyka z jej wszystkimi etapami, lecz zwrócono szczególną uwagę na identyfikację zagrożeń.

Identyfikacja zagrożeń związanych z narażeniem na nanocząstki powinna uwzględnić [2, 6, 7]:

- charakterystykę (budowa chemiczna, właściwości fizykochemiczne, a przede wszystkim właściwości specyficzne związane z wielkością)
- źródła nanocząstek, tj. ich obecność na każdym etapie cyklu ich życia (produkcji, obróbki, pakowania, transportu, przetwarzania i konserwacji oraz podczas recyklingu i likwidacji jako odpadów)

• zagrożenia (drogi narażenia, rodzaj działania szkodliwego dla zdrowia człowieka, ryzyko ekspozycji itp.).

- obszary (czynności), w których może wystąpić wzmożone narażenie na nanocząstki, takie jak np. transport wewnętrzny (przenoszenie), pobieranie próbek, ważenie, sporządzanie roztworów i zawiesin, wytrząsanie, mieszanie, suszenie; napełnianie lub opróżnianie naczyń, w których zachodzą reakcje; obróbka nanomateriałów: cięcie, polerowanie, ściernie itp.; pakowanie i rozpakowywanie, magazynowanie i transport; czyszczenie miejsc pracy i wyposażenia; konserwacja urządzeń i pomieszczeń (wymiana filtrów w systemach wentylacyjnych); zbieranie odpadów, ich magazynowanie i transport; awarie, uszkodzenia systemów zamkniętych (uwolnienie nanocząstek).

## Bezpieczeństwo pracy przy produkcji nanomateriałów

Dotychczas nie opracowano wymagań i przepisów prawnych dotyczących bezpieczeństwa pracy z nanomateriałami. Według raportu francuskiej agencji AFSET (L'Agence Française de Sécurité Sanitaire de l'Environnement et du Travail) zaledwie 2% badań dotyczących nanotechnologii zajmuje się analizą bezpieczeństwa nowych rozwiązań [2]. Również niewiele firm posiada wytyczne branżowe w zakresie bezpieczeństwa pracy z nanomateriałami (wśród nich jest np. BASF).

Przy tworzeniu bezpiecznych miejsc pracy obowiązuje podstawowe założenie, że jeśli ryzyko nie jest znane, należy materiał traktować jako potencjalnie niebezpieczny, tzn. opracować i stosować procedury do zredukowania narażenia (dyrektywa 98/24/EG – art. 5; 89/391/EEG).

Dla zapewnienia bezpieczeństwa przy produkcji nanomateriałów niezbędne jest podjęcie następujących działań:

- opracowanie rozwiązań technicznych ograniczających narażenie, wybór środków ochrony

indywidualnej oraz określenie kryteriów ich doboru, a także metod oceniających ich skuteczność

- opracowanie zasad zarządzania ryzykiem w miejscu pracy
- opracowanie tzw. dobrych praktyk produkcyjnych i ich wdrażanie
- monitorowanie nanomateriałów w całym cyklu ich życia (*Life Cycle Assessment*) – na etapach produkcji, przetwarzania, składowania, recyklingu i likwidacji
- edukacja i szkolenie pracodawców i pracowników w zakresie zagrożeń związanych z nanocząstkami i konieczności zachowania szczególnej higieny pracy
- uwzględnienie w przepisach o ochronie pracowników zmian zapewniających, że nanomateriały będą stosowane wyłącznie w systemach zamkniętych, dopóki niemożliwe jest ich wiarygodne wykrywanie i kontrola narażenia.

## Podsumowanie

Nanotechnologie mają szansę wyznaczyć w najbliższej przyszłości nowy poziom inżynierii, pozwalający uzyskać rewelacyjne rezultaty w wielu dziedzinach gospodarki, produktach konsumenckich i biomedycynie. Specyficzne właściwości nanocząstek wynikające z ich rozmiaru stanowią wyzwanie w badaniach toksykologicznych, w metodyce oceny narażenia i zapewnienia bezpieczeństwa produkcji. Dodatkową trudność w rozwiązaniu przedstawionych problemów stanowi konieczność zaangażowania i współpracy specjalistów z wielu dziedzin nauki, techniki i przemysłu.

Obecnie wydaje się, że największe ryzyko związane z nanotechnologiami polega na braku prowadzenia kontroli, tj. niewystarczających środkach do monitorowania środowiska pracy i środowiska naturalnego oraz braku przepisów prawnych regulujących tę kontrolę. Opracowanie rozwiązań prawnych i metodologicznych wymaga czasu, dlatego też jednym z podstawowych kierunków działań powinna być wdrażanie tzw. dobrych praktyk zawodowych ograniczających narażenie.

W CIOP-PIB podjęto prace badawcze zmierzające do opracowania zaleceń w celu ograniczenia ryzyka zawodowego związanego z narażeniem na nanomateriały w środowisku pracy.

W chwili składania artykułu do druku Komisja Europejska opublikowała następującą definicję nanomateriału: jest to „naturalny, powstały przypadkowo lub wytworzony materiał zawierający cząstki w stanie swobodnym lub w formie agregatu bądź aglomeratu, w którym co najmniej 50% lub więcej cząstek w liczbowym rozkładzie wielkości cząstek ma jeden lub więcej wymiarów w zakresie 1 nm-100 nm”.

„Cząstka” to drobina materii o określonych granicach fizycznych, „aglomerat” – zbiór słabo powiązanych cząstek lub agregatów, w których ostateczna wielkość powierzchni zewnętrznej jest zbliżona do sumy powierzchni poszczególnych składników; „agregat” – cząstka zawierająca silnie powiązane lub stopione cząstki.

Powyższa definicja „nanomateriału” będzie stosowana do celów przyjmowania i wdrażania prawodawstwa oraz polityki i programów badawczych dotyczących produktów nanotechnologii. (zalecenie KE z dn. 18 października 2011 r. 2011/696/UE, Dz. Urz. UE L275/38)

## PIŚMIENNICTWO

- [1] W. Zatorski, L. Zapór, E. Jankowska *Wybrane zagadnienia toksyczności nanocząstek wykorzystywanych w produkcji nanokompozytów polimerowych*. „Kompozyty” 2010, 10, 3-10
- [2] Report of the AFSSET Working Group on “Physical agents, new technologies and development areas. Nanomaterials and Occupational Safety”, 2008
- [3] *European Risk Observatory Report En 8, Expert forecast on emerging chemical risks related to occupational safety and health*. European Agency for Safety and Health at Work, ISSN 1830-5946, ISBN 978-92-9191-171-4, 2009
- [4] *Nanotechnologies – Terminology and definitions for nano-objects – Nanoparticle, nanofibre and nanoplate*. ISO/TS 27687:2008
- [5] *Risk Assessment of Products of Nanotechnologies*. Scientific Committee on Emerging and Newly Identified Health Risks SCENIHR 2009
- [6] Projekt Rezolucji Parlamentu Europejskiego w sprawie aspektów regulacyjnych nanomateriałów (2008/2208 (INI). Sprawozdanie Komisji Ochrony Środowiska Naturalnego, Zdrowia Publicznego i Bezpieczeństwa Żywności Parlamentu Europejskiego. A6-0255/2009. <http://www.europarl.europa.eu/sides/getDoc.do?pubRef=-//EP//NONSGML+REPORT+A6-2009-0255+0+DOC+PDF+V0//EN>
- [7] *Progress Toward Safe Nanotechnology in the Workplace*. NIOSH, June 2007 <http://www.cdc.gov/niosh/docs/2007-123/pdfs/2007-123.pdf>
- [8] *Scientific basis for the definition of “nanomaterial”*. Scientific Committee on Emerging and Newly Identified Health Risks, SCENIHR 2010 [http://ec.europa.eu/health/scientific\\_committees/emerging/docs/scenihr\\_o\\_032.pdf](http://ec.europa.eu/health/scientific_committees/emerging/docs/scenihr_o_032.pdf)
- [9] Rozporządzenie (WE) nr 1907/2006 Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 18 grudnia 2006 r. w sprawie rejestracji, oceny, udzielania zezwoleń i stosowania ograniczeń w zakresie chemikaliów (REACH)
- [10] *Current developments/activities on the safety of manufactured nanomaterials*. Report of the OECD (ENV/JM/MONO (2011)12)
- [11] *Nanotechnologies – Part 2: Guide to safe handling and disposal of manufactured nanomaterials*. BSI British Standards Issues Nanomaterials Handling Document, “Public Document” PD 6694-2:2007. <http://www.nanolawreport.com/2008/02/articles/bsi-british-standards-issues-nanomaterials-handling-document/#axzz1VKY70HbZ>

*Publikacja opracowana na podstawie II etapu programu wieloletniego pn. „Poprawa bezpieczeństwa i warunków pracy”, finansowanego w latach 2011-2013 w zakresie badań naukowych i prac rozwojowych ze środków Ministerstwa Nauki i Szkolnictwa Wyższego/Narodowego Centrum Badań i Rozwoju. Koordynator programu: Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy.*