

## NANOMATERIAŁY W SEKTORZE OPIEKI ZDROWOTNEJ: ZAPOBIEGANIE RYZYKU ZAWODOWEMU

Dziedzina nanotechnologii rozwija się w szybkim tempie, czemu towarzyszy upowszechnianie się zjawiska korzystania z nanomateriałów. Podobnie jak ma to miejsce w przypadku wielu innych sektorów, nanotechnologia wywiera coraz większy wpływ na sektor opieki zdrowotnej, co wiąże się ze znacznym ryzykiem narażenia pracowników na oddziaływanie nanomateriałów w ich środowisku pracy. Stosowanie nanotechnologii i nanomateriałów w sektorze opieki zdrowotnej może wiązać się z różnymi korzyściami, np. techniki i metody miniaturyzacji połączyły się z technikami syntezy chemicznej i kontroli procesu łączenia cząsteczek, doprowadzając do opracowania rewolucyjnych rozwiązań w zakresie profilaktyki, diagnostyki i leczenia chorób. Niezależnie jednak od prowadzonych badań, dziedzina nanotechnologii rozwija się w szybszym tempie niż wiedza na temat wpływu nanomateriałów na zdrowie i bezpieczeństwo. Wiele kwestii pozostaje w dalszym ciągu niewyjaśnionych, co wzbudza obawy w kwestii oceny zagrożeń dla bezpieczeństwa i higieny pracy (BHP).

W niniejszej broszurze e-fakty wyjaśniono, w jaki sposób pracownicy służby zdrowia mogą narazić się na oddziaływanie nanomateriałów w swoim miejscu pracy podczas wykonywania swoich codziennych obowiązków. W broszurze przedstawiono również informacje na temat kroków, jakie można podjąć, aby uniknąć potencjalnego narażenia.

### 1 Wprowadzenie

#### 1.1 Sektor opieki zdrowotnej

Znaczny odsetek unijnej siły roboczej jest zatrudniony w sektorze opieki zdrowotnej. Zgodnie z *Planem działań dotyczącym pracowników opieki zdrowotnej w UE* [1] możliwości zatrudnienia w tym sektorze zwiększają się wskutek starzenia się społeczeństwa i związanego z tym faktem wzrostu zapotrzebowania na usługi w zakresie opieki zdrowotnej.

W sektorze opieki zdrowotnej działalność prowadzą przedsiębiorstwa i podmioty publicznej służby zdrowia wykonujące różnego rodzaju świadczenia zdrowotne, takie jak usługi diagnostyczne, leczenie i usługi w zakresie profilaktyki zdrowotnej, w bezpośredni lub pośredni sposób. Usługi opieki zdrowotnej mogą być świadczone w różnych miejscach, m.in. w szpitalach, klinikach dentystycznych, pojazdach ratownictwa medycznego oraz w domach. Niniejsza broszura e-fakty jest adresowana głównie do osób zajmujących się bezpośrednim świadczeniem usług medycznych (np. lekarzy, pielęgniarek lub farmaceutów), a także do pracowników ściśle związanych z sektorem opieki zdrowotnej, np. laborantów lub personelu sprzątającego. Dlatego też niniejsza broszura e-fakty nie dotyczy pracowników administracyjnych ani pracowników zajmujących się produkcją sprzętu medycznego.



Autor: Raya Gergovska

## 1.2 Czym są nanomateriały?

Nanomateriały to materiały zawierające cząstki, których jeden lub większa liczba wymiarów mieści się w przedziale 1–100 nm <sup>(1)</sup>, co stanowi rząd wielkości porównywalny do wielkości atomów i cząsteczek. Mogą one występować naturalnie, np. jako składnik pyłu wulkanicznego, lub stanowić niezamierzony produkt uboczny działalności człowieka – np. nanomateriały zawarte w spalinach wytwarzanych przez silniki Diesla. Znaczna ilość nanomateriałów jest jednak wytwarzana celowo i wprowadzana do obrotu, i to właśnie tym materiałom wykorzystywanym w sektorze opieki zdrowotnej poświęcona jest niniejsza broszura e-fakty.

Choć nanomateriały mogą tworzyć aglomeraty lub agregaty o wielkości przekraczającej 100 nm, mogą one ulec dekompozycji, doprowadzając do uwolnienia nanomateriałów. Dlatego też wspomniane aglomeraty/agregaty powinny również być traktowane jak nanomateriały w ramach wszelkich ocen ryzyka związanego z nanomateriałami [3, 4].

Znaczna część nanomateriałów jest wytwarzana i wprowadzana do obrotu, ponieważ cechuje się określonymi właściwościami i zachowuje się w określony sposób, wynikający głównie z ich niewielkiego rozmiaru, co powoduje, że pokrywają one większe powierzchnie, a także z uwagi na fakt, że wykazują one inne właściwości, takie jak zmodyfikowane (powleczone) powierzchnie lub określone właściwości morfologiczne (kształt cząsteczek). Niniejsza broszura e-fakty koncentruje się wyłącznie na wytwarzanych nanomateriałach wykorzystywanych w sektorze opieki zdrowotnej i nie obejmuje nanomateriałów powstających jako niezamierzony skutek uboczny działalności człowieka, np. nanocząsteczek występujących w spalinach wytwarzanych przez silniki Diesla.

## 2 Nanomateriały w sektorze opieki zdrowotnej

Po przedostaniu się do wnętrza ciała człowieka nanomateriały mogą krążyć po ciele, przemieszczając się przez naczynia krwionośne, wnikając do komórek i wchodząc w reakcje z biocząsteczkami występującymi na powierzchni komórek lub w ich wnętrzu w różnych częściach ciała człowieka [5]. Z uwagi na tę właściwość nanomateriały są wykorzystywane w sektorze opieki zdrowotnej w ramach nowatorskich metod wykrywania chorób, leczenia i podejmowania działań profilaktycznych.

Stosowanie nanomateriałów wiąże się z następującymi głównymi korzyściami leczniczymi: nadanie właściwości rozpuszczalnych (lekom, które w innych okolicznościach nie uległyby rozpuszczeniu), pełnienie funkcji nośnika substancji hydrofobowych, wykazywanie cech wielofunkcyjnych, czynne i bierne ukierunkowywanie działania leku, ligandy (pominięcie rozmiaru) oraz obniżona toksyczność [6]. Ponadto z uwagi na swoje szczególne właściwości nanomateriały mogą być również wykorzystywane w narzędziach diagnostycznych jako składnik środków umożliwiających obrazowanie oraz w implantach i strukturach inżynierii tkankowej.

Właściwości i sposób zachowania nanomateriałów umożliwia zatem prowadzenie działań diagnostycznych, monitorowanie, leczenie i profilaktykę chorób, takich jak choroby układu krążenia, choroby nowotworowe, schorzenia układu mięśniowo-szkieletowego i stany zapalne, choroby neurodegeneracyjne i psychiatryczne, cukrzyca i choroby zakaźne (np. infekcje bakteryjne i wirusowe, takie jak HIV (ludzki wirus niedoboru odporności)) [7].

W tabeli 1 przedstawiono szczegółowe informacje na temat niektórych nanomateriałów wykorzystywanych obecnie w sektorze opieki zdrowotnej.

<sup>(1)</sup> Zgodnie z zaleceniem Komisji Europejskiej [1]:

- „Nanomateriał” oznacza „naturalny, powstały przypadkowo lub wytworzony materiał zawierający cząstki w stanie swobodnym lub w formie agregatu lub 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. Rozkład wielkości cząstek materiału jest wyrażony jako iloraz liczby obiektów w danym zakresie wielkości i liczby obiektów ogółem”.
- „W określonych przypadkach, uzasadnionych względami ochrony środowiska, zdrowia, bezpieczeństwa lub konkurencyjności, zamiast wartości progowej liczbowego rozkładu wielkości cząstek wynoszącej 50% można przyjąć wartość z zakresu 1–50%”.
- „W drodze odstępstwa od powyższych ustaleń za nanomateriały należy uznać fulereny, płatki grafenowe oraz jednościenne nanorurki węglowe o co najmniej jednym wymiarze poniżej 1 nm”.

Tabela 1: Najważniejsze rodzaje materiałów wykorzystywanych w sektorze opieki zdrowotnej

Rodzaj nanomateriału	Zastosowania w sektorze opieki zdrowotnej
Cząstki metaliczne (np. tlenek żelaza(III), złoto lub srebro)	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Leczenie nowotworów metodami hipertermicznymi</li> <li>▪ Selektywna bioseparacja magnetyczna</li> <li>▪ Pokrywanie przeciwciałami antygenów swoistych dla komórek w celu oddzielenia ich od otaczającej macierzy</li> <li>▪ Badania przewodzenia błon</li> <li>▪ Przenoszenie leków</li> <li>▪ Wykorzystywanie w charakterze środka cieniującego przy obrazowaniu rezonansem magnetycznym</li> </ul>
Nanocząsteczki srebra	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Środek przeciwdrobnoustrojowy</li> <li>▪ Składnik szerokiego spektrum wyrobów medycznych, w tym cementu kostnego, narzędzi chirurgicznych, masek chirurgicznych</li> </ul>
Nanocząsteczki złota	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Zwiększają rozpuszczalność leków</li> <li>▪ Umożliwiają dalszą koniugację</li> </ul>
Nanomateriały węglowe (fulereny i nanorurki węglowe)	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ „Buckminsterfulereny” (struktury węglowe składające się z 60 atomów węgla o kształcie przypominającym piłkę do rugby) są wykorzystywane w systemach nośnikowych dla leków w celu zapewnienia optymalizacji przenoszenia i uwalniania produktów leczniczych w odpowiedniej części ciała [5]</li> <li>▪ Wykorzystywane do powlekania protez i implantów chirurgicznych</li> <li>▪ Funkcjonalizowane nanorurki węglowe: <ul style="list-style-type: none"> <li>○ przeznaczone do przenoszenia substancji w celach terapeutycznych</li> <li>○ przeznaczone do zastosowań biomedycznych, np. jako stenty naczyniowe oraz przy stymulowaniu wzrostu i regeneracji neuronów</li> <li>○ przeznaczone do celów terapii genowej, z uwagi na możliwość związania helisy DNA z nanorurką</li> </ul> </li> </ul>
Kropki kwantowe	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Służą oznaczaniu różnych biocząsteczek w celu monitorowania złożonych zmian komórkowych i zdarzeń powiązanych z chorobami</li> <li>▪ Technologia optyczna [8]</li> <li>▪ Technologie diagnostyki chorób i badań przesiewowych</li> </ul>
Dendrymery	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Spolimeryzowane makrocząsteczki – struktury o wysoce rozgałęzionej strukturze, których nanojamy lub kanały wewnętrzne wykazują inne właściwości, niż nanojamy lub kanały zewnętrzne</li> <li>▪ Wykorzystywane jako nośnik różnego rodzaju produktów leczniczych (np. przeciwnowotworowych, przeciwbakteryjnych itp.) przyczyniający się do zwiększenia rozpuszczalności i biodostępności słabo rozpuszczalnych produktów leczniczych</li> </ul>
Nanocząsteczki lipidowe	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Mogą łączyć się z błoną komórkową, dostarczając cząsteczki do wnętrza komórek</li> </ul>
Nanocząsteczki ceramiczne	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Systemy nieorganiczne wykorzystywane do przenoszenia produktów leczniczych (jeżeli są porowate i biogodne); wykorzystywane do celów kosmetycznych (tlenek cynku, tlenek tytanu)</li> </ul>

Rodzaj nanomateriału	Zastosowania w sektorze opieki zdrowotnej
Nanorurki, nanodruły, nanocząsteczki magnetyczne	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Technologie diagnostyki chorób i badań przesiewowych, uwzględniając miniaturowe układy typu „lab-on-a-chip” [8]</li> </ul>

Sporządzona przez autorów w oparciu o szereg źródeł [5, 6, 8–11].

Okres, jaki musi upłynąć od momentu wynalezienia wyrobu medycznego lub produktu medycznego do momentu jego dopuszczenia do zastosowania klinicznego jest niezwykle długi. Pewne nowe rozwiązania w dziedzinie nanotechnologii są jednak obecnie opracowywane i wkrótce staną się dostępne. Rozwiązania te dotyczą m.in. usprawnienia obrazowania medycznego [5], wprowadzenia podskórnych układów scalonych stale monitorujących kluczowe parametry, takie jak tętno, temperatura ciała i poziom glukozy w krwi [5] oraz ograniczenia rozwoju i przenoszenia patogenów do minimum [8].

### 3 Zagrożenia związane z nanomateriałami, na jakie narażeni są pracownicy służby zdrowia

Choć stosowanie nanomateriałów w sektorze opieki zdrowotnej wiąże się z wieloma korzyściami dla pacjentów, materiały te mogą również skutkować narażeniem pracowników służby zdrowia na nowe zagrożenia.

Niedobór wiedzy w zakresie dostępnych informacji na temat toksyczności wytwarzanych materiałów w dalszym ciągu nie został uzupełniony, co utrudnia przeprowadzanie ocen ryzyka (zob. biuletyn e-fakty 72 dostępny pod adresem: <https://osha.europa.eu/en/publications/e-facts/e-fact-72-tools-for-the-management-of-nanomaterials-in-the-workplace-and-prevention-measures/view>) poświęcony narzędziom zarządzania ryzykiem związanym z nanomateriałami). Główne wyzwania w tym zakresie polega na zidentyfikowaniu potencjalnych zagrożeń, na jakie mogą być narażeni pracownicy służby zdrowia mający styczność z wytworzonymi nanomateriałami lub nanourządzeniami. Z uwagi na szczególne właściwości tych materiałów w nanoskali – związane głównie z ich niewielkim rozmiarem, ale również z kształtem cząsteczek, właściwościami chemicznymi, stanem powierzchniowym (np. obszar powierzchniowy, funkcjonalizacja, obróbka powierzchni) oraz stanem agregacji/aglomeracji [8, 12], oddziaływanie tych materiałów na ciało człowieka, a co za tym idzie ich wpływ na zdrowie, prawdopodobnie różni się od wpływu wywieranego przez te same materiały o tym samym składzie w skali makro. Opisana sytuacja stanowi źródło obaw związanych z wpływem narażenia na oddziaływanie nanomateriałów w miejscu pracy na zdrowie.

W normalnych warunkach środowiskowych nanomateriały mogą tworzyć aglomeraty lub agregaty o wielkości przekraczającej 100 nm, zmieniając (ale niekoniecznie tracąc) swoje specyficzne właściwości. W przypadku słabo związanych aglomeratów oraz, w niektórych przypadkach, nawet w przypadku mocniej związanych agregatów może jednak dojść do uwolnienia nanomateriałów. Prowadzone obecnie badania służą ustaleniu, czy do takiego uwolnienia nanomateriałów może dojść w płynie płucnym po wchłonięciu tego rodzaju aglomeratów lub agregatów przez drogi oddechowe [8, 12]. Dlatego też przy przeprowadzaniu oceny ryzyka w miejscu pracy należy wziąć pod uwagę również aglomeraty i agregaty zawierające nanomateriały.

Mechanizm narażenia wewnętrznego po przedostaniu się nanomateriałów do wnętrza ciała może obejmować dalsze wchłanianie, rozprowadzanie oraz metabolizm. Niektóre nanomateriały zostały wykryte np. w płucach, wątrobie, nerkach, sercu, narządach rozrodczych, płodzie, mózgu, śledzionie, kośćcu i tkankach miękkich [13]. Niektóre kwestie związane z bioakumulacją nanomateriałów i mechanizmami ich usuwania z komórek i organów nie zostały jeszcze rozstrzygnięte. Dodatkowe obawy wzbudza fakt, że o ile sam nanomateriał może nie być toksyczny, to może on pełnić rolę konia trojańskiego, tj. może on pełnić funkcję nośnika dla bardziej toksycznego materiału, który zwiąże się z nim i w ten sposób dostanie się do wnętrza ciała, organów lub komórek [14].

Nanomateriały wywierają najpoważniejszy wpływ na płuca, powodując stany zapalne, uszkodzenie tkanki, wystąpienie stresu oksydacyjnego, toksyczność przewlekłą, cytotoksyczność, zwłóknienie i przyczyniając się do powstawania nowotworów. Niektóre nanomateriały mogą również wywierać wpływ na układ krążenia. Potencjalnie niebezpieczne właściwości wytwarzanych nanomateriałów są obecnie przedmiotem badań [8, 12].

Nanomateriały mogą przedostać się do wnętrza ciała człowieka na różne sposoby, co może wiązać się z narażeniem na ryzyko dla zdrowia w miejscu pracy:

- **Wchłonięcie przez drogi oddechowe** stanowi najpowszechniejszą drogę narażenia na oddziaływanie nanocząsteczek w miejscu pracy [15, 16]. Wdychane nanocząsteczki mogą osadzać się w drogach oddechowych i płucach, w zależności od ich kształtu i rozmiaru. Po ich pochłonięciu przy oddychaniu, cząsteczki mogą przeniknąć przez nabłonek płucny, przedostać się do krwiobiegu i dotrzeć do kolejnych organów i tkanek. Niektóre wdychane nanomateriały zostały również wykryte w mózgu, gdzie dostały się za pośrednictwem nerwu węchowego.
- Do **wchłonięcia drogą pokarmową** może dojść wskutek niezamierzonego przeniesienia nanocząsteczek występujących na zanieczyszczonych powierzchniach z dłoni do ust lub wskutek spożycia zanieczyszczonej żywności lub wody. Do wchłonięcia drogą pokarmową może również dojść w konsekwencji wchłonięcia nanomateriału przez drogi oddechowe, ponieważ wdychane cząsteczki usuwane z dróg oddechowych za pośrednictwem nabłonka migawkowego mogą zostać połknięte [15, 16]. Niektóre nanomateriały wchłonięte drogą pokarmową mogą przeniknąć przez nabłonek jelitowy, przedostać się do krwiobiegu i dotrzeć do kolejnych organów i tkanek.
- Narażenie wskutek przenikania przez **skórę** jest w dalszym ciągu przedmiotem badań [15, 16]. Nieuszkodzona skóra wydaje się skutecznie chronić przed wnikaniem nanomateriałów [17]. Z badań wynika, że uszkodzenia skóry zmniejszają skuteczność tej ochrony, ale poziom wchłaniania jest prawdopodobnie niższy niż ten obserwowany w przypadku wdychania. Niezależnie od tego należy jednak unikać kontaktu nanomateriałów ze skórą i kontrolować długość tego kontaktu.

Nanomateriały mogą również zostać wprowadzone do ciała człowieka drogą pozajelitową<sup>(2)</sup>; wskutek przypadkowego ułucia igłą, skaleczenie lub innego rodzaju uszkodzenia skóry [15].

Biorąc pod uwagę działania podejmowane w sektorze opieki zdrowotnej, pracownicy narażeni na największe ryzyko styczności z nanomateriałami to pracownicy przygotowujący i podający nanoleki lub pracownicy wykonujący pracę na obszarach, na których takie leki są wykorzystywane, ponieważ mogą oni łatwo narażać się na styczność z cząstkami lotnymi (np. personel farmaceutyczny i pielęgniarski, lekarze, pracownicy służb środowiskowych, personelu zajmujący się dostarczaniem i odbiorem dostaw).

Inne sytuacje wiążące się z narażeniem na oddziaływanie nanomateriałów w kontekście opieki zdrowotnej [15] obejmują:

- utylizację odchodów pacjentów przyjmujących nanoleki;
- przypadki rozsypania się nanomateriałów;
- korzystanie z przedmiotów zanieczyszczonych nanomateriałami;
- spożywanie żywności i napojów, które miały styczność z nanolekami; oraz
- sprzątanie obszarów, na których stosuje się nanoleki, i wykonywanie prac konserwacyjnych na tych obszarach.

Do potencjalnego narażenia może również dojść w ramach procedur dentystycznych i chirurgicznych wymagających frezowania, wiercenia, ścierania i polerowania stosowanych materiałów medycznych zawierających nanomateriały. Przykładem takiej sytuacji podwyższonego ryzyka jest leczenie dentystyczne ubytków w uzębieniu, polegające zazwyczaj na wypełnianiu ubytków plombami zawierającymi nanomateriały (np. wypełnienia nano-ceramiczne) i ich późniejszym dopasowywaniu do formy anatomicznej zęba poprzez szlifowanie ich powierzchni za pomocą wysokoobrotowych narzędzi.

<sup>(2)</sup> Jeżeli lek lub inna substancja jest wprowadzana do wnętrza ciała drogą pozajelitową, oznacza to, że jest ona wprowadzana w inny sposób niż za pośrednictwem przewodu pokarmowego (np. poprzez wstrzyknięcie).

W trakcie wykonywania tej procedury istnieje ryzyko uwolnienia nanocząsteczek do powietrza i ich wdychania zarówno przez pacjenta, jak i przez pracowników służby zdrowia.

Niektóre potencjalne zagrożenia dla BHP związane z nanomateriałami wykorzystywanymi w sektorze opieki zdrowotnej zostały przedstawione w tabeli 2.

**Tabela 2: Przykładowe nanomateriały wykorzystywane w sektorze opieki zdrowotnej i wiążące się z nimi potencjalne zagrożenia dla zdrowia i zagrożenia dla BHP**

Przykładowe nanomateriały	Potencjalne zagrożenia dla zdrowia i zagrożenia dla BHP
Nanomateriały węglowe	Istnieją dowody potwierdzające, że po ich wchłonięciu przez drogi oddechowe nanomateriały węglowe mogą prowadzić do chorób płuc, uwzględniając wpływ zbliżony do wpływu wywieranego przez azbest [9]
Dendrymery	<p>Pomimo ich powszechnego stosowania w przemyśle farmaceutycznym, na przykład jako nośniki leków antynowotworowych, wprowadzanie dendrymerów do ciała człowieka podlega ograniczeniu z uwagi na ich nieodłączną toksyczność [11].</p> <p>Odnotowano przypadek występowania wyprysków kontaktowych alergicznych zbliżonych do tych obserwowanych w przypadku rumienia wielopostaciowego wskutek narażenia na oddziaływanie dendrymerów [14].</p>
Nanocząsteczki srebra	<p>Zgodnie z wynikami uzyskanymi w ramach projektu ENRHES [18] stosowanie nanocząsteczek srebra wiąże się z potencjalnym zagrożeniem dla zdrowia człowieka, ale badania toksyczności tych nanocząsteczek znajdują się jeszcze na wczesnym etapie. Komitet Naukowy UE ds. Pojawiających się i Nowo Rozpoznanych Zagrożeń dla Zdrowia został poproszony o przedstawienie opinii naukowej na temat wpływu nanocząsteczek srebra na bezpieczeństwo, zdrowie i środowisko oraz jego roli w kontekście zwiększania odporności na środki przeciwdrobnoustrojowe [19]. Stosowanie tego nanomateriału wzbudza poważne obawy, ponieważ przyjmowanie nanocząsteczek srebra w wysokich dawkach może wywierać negatywny wpływ na zdrowie, prowadząc do obrzęku płuc i powstania plam na skórze [3]. Najczęstszą udokumentowaną reakcją organizmu ludzkiego na długotrwałe narażenie na oddziaływanie nanocząsteczek srebra jest srebrzyca lub argyria (tj. występowanie przebarwień skóry o kolorze szarym lub szaro-niebieskim lub zabarwienie skóry, paznokci, oczu, błon śluzowych lub organów wewnętrznych na czarno wskutek osadzania się srebra) [20]. Symptomy te są nieodwracalne i nieuleczalne [20].</p> <p>W sektorze opieki zdrowotnej nanocząsteczki srebra były wykorzystywane jako środek antybakteryjny do opatrywania ran, chroniący poważnie poparzonych pacjentów przed infekcjami. Wykorzystywanie nanocząsteczek srebra w tym celu stanowiło jedną z głównych dróg narażenia pracowników służby zdrowia na ich oddziaływanie. Ponadto zgłoszono obawy dotyczące pośredniego negatywnego wpływu nanocząsteczek srebra na zdrowie człowieka, przejawiającego się zwiększoną odpornością drobnoustrojów na srebro [19].</p> <p>W badaniach przeprowadzonych na szczurach udokumentowano, że nanocząsteczki srebra mogą przedostawać się do mózgu za pośrednictwem górnych dróg oddechowych [12]</p>
Dwutlenek tytanu (TiO <sub>2</sub> )	Międzynarodowa Agencja Badań nad Rakiem zakwalifikowała wdychanie cząstek TiO <sub>2</sub> do kategorii 2B, „przypuszczalnie rakotwórcze dla ludzi” [21]. NIOSH (Krajowy Instytut Zdrowia i Bezpieczeństwa w Pracy) w Stanach

	Zjednoczonych zaleca obniżenie dopuszczalnej wartości narażenia w odniesieniu do najdrobniejszych cząsteczek TiO <sub>2</sub> : 0,3 mg/m <sup>3</sup> w przypadku nanocząsteczek TiO <sub>2</sub> (<100 nm) wobec 2,4 mg/m <sup>3</sup> w przypadku drobnych cząsteczek (>100 nm) [22]
Nanocząsteczki złota	W trakcie badania toksyczności nanocząsteczek złota wdychanych przez szczury zaobserwowano gromadzenie się złota w płucach i nerkach [23]

Źródło: kompilacja sporządzona przez autorów.

Poza zagrożeniami dla zdrowia aerolizacja nanopyłu lub nanocząstek palnych może wiązać się z ryzykiem wybuchu lub pożaru.

Należy odpowiednio ocenić potencjalne zagrożenia dla BHP związane z nanomateriałami i zarządzać tymi zagrożeniami w sektorze opieki zdrowotnej, aby zapewnić odpowiedni poziom ochrony bezpieczeństwa i zdrowia pracowników.

## 4 Zapobieganie

Zgodnie z unijną dyrektywą 89/391/EWG [24] pracodawcy muszą przeprowadzać regularne oceny ryzyka w miejscu pracy oraz ustanowić odpowiednie środki zapobiegawcze – przepisy tej dyrektywy mają również zastosowanie w odniesieniu do występujących w miejscu pracy zagrożeń związanych z nanomateriałami. Ponadto w dyrektywie 98/24/WE w sprawie środków chemicznych w miejscu pracy [25] ustanowiono surowe przepisy w zakresie zarządzania ryzykiem związanym z substancjami w miejscu pracy, które mają również zastosowanie do nanomateriałów, ponieważ są one objęte zakresem definicji „substancji”.

Dlatego też obowiązek przeprowadzania oceny ryzyka w miejscu pracy ustanowiony w tych dyrektywach dotyczących ochrony pracowników oraz ustalona w nich hierarchia środków kontroli [eliminowanie, zastępowanie, podejmowanie środków technicznych u źródła, podejmowanie środków organizacyjnych oraz, w ostateczności, stosowanie środków ochrony indywidualnej] mają zastosowanie również w odniesieniu do miejsc pracy w sektorze opieki zdrowotnej oraz do nanomateriałów.

Ponadto jeżeli dany nanomateriał lub makromateriał o takim samym składzie wykazuje właściwości rakotwórcze lub mutagenne, należy spełnić warunki określone w dyrektywie 2004/37/WE w sprawie narażenia na działanie czynników rakotwórczych lub mutagenów podczas pracy [26]. Niezależnie od tego, ustawodawstwo krajowe może przewidywać surowsze przepisy w tym zakresie, dlatego też należy się z nim zapoznać.

Przeprowadzanie oceny ryzyka związanego z nanomateriałami w miejscu pracy może jednak okazać się trudne z uwagi na aktualne ograniczenia dotyczące:

1. wiedzy na temat szkodliwych właściwości nanomateriałów;
2. dostępnych metod i urządzeń pozwalających zidentyfikować nanomateriały i źródła emisji oraz zmierzyć poziomy narażenia; oraz
3. informacji na temat występowania nanomateriałów, w szczególności w mieszaninach lub wyrobach, a także na dalszych etapach łańcucha użytkowania, w przypadku wykorzystywania lub przetwarzania nanomateriałów lub produktów zawierających nanomateriały.

Karty charakterystyki (SDS), które stanowią istotne źródło informacji w kontekście zapobiegania zagrożeniom związanym z substancjami niebezpiecznymi w miejscach pracy, zawierają zazwyczaj niewielką ilość lub nie zawierają żadnych informacji na temat występowania nanomateriałów i ich właściwości, zagrożeń dla pracowników i sposobów przeciwdziałania tym zagrożeniom [13, 27–29]. Dlatego też zaleca się, aby organizacje nawiązały kontakt z dostawcami i zwróciły się o udzielenie dodatkowych informacji.

Ponadto, ponieważ nanomateriały uznaje się za substancje, zastosowanie mają również przepisy rozporządzenia REACH (rejestracja, ocena, udzielanie zezwoleń i stosowane ograniczenia w zakresie chemikaliów) [30] i rozporządzenia CLP (klasyfikacja, oznakowanie i pakowanie substancji i mieszanin) [41], przy czym zmiany w załączniku II do rozporządzenia REACH [31], ramy prawne w zakresie SDS, a także wytyczne Europejskiej Agencji Chemikaliów (ECHA) w sprawie SDS [32], dostarczające dodatkowych porad dotyczących właściwości nanomateriałów, mają przyczynić się do poprawy jakości informacji zamieszczanych w SDS. W broszurze e-fakty 72: <https://osha.europa.eu/en/publications/e-facts/e-fact-72-tools-for-the-management-of-nanomaterials-in-the-workplace-and-prevention-measures>) przedstawiono dostępne wytyczne i narzędzia ułatwiające zarządzanie zagrożeniami związanymi z nanomateriałami w kontekście istniejących ograniczeń i stanu badań. Jak do tej pory nie opracowano szczegółowych wytycznych w zakresie zapobiegania zagrożeniom dla BHP związanym z wykorzystywaniem nanomateriałów w sektorze opieki zdrowotnej. Środki, których stosowanie zaleca się w innych sektorach (np. środki adresowane do laboratoriów badawczych [33]), mogą jednak okazać się przydatne, przy czym główne zasady i podejścia przewidziane w tych środkach można przenieść na grunt sektora opieki zdrowotnej.

## 4.1 Eliminowanie i zastępowanie

Podobnie jak w przypadku innych substancji niebezpiecznych działania w obszarze eliminowania i zastępowania powinny być podejmowane przed zastosowaniem innych środków zapobiegawczych (np. w celu całkowitego wyeliminowania narażenia jakichkolwiek pracowników na oddziaływanie materiałów). W wielu przypadkach zawierające nanomateriały substancje chemiczne, produkty lecznicze lub urządzenia są jednak wykorzystywane w sektorze opieki zdrowotnej ze względu na ich specyficzne właściwości oraz z uwagi na fakt, że pełnią określoną funkcję. Dlatego też w wielu przypadkach w sytuacji, w której dany nanomateriał stanowi zagrożenie dla pracowników służby zdrowia, jego wyeliminowanie lub zastąpienie innym mniej niebezpiecznym zamiennikiem może nie być możliwe, ponieważ wspomniany zamiennik może nie posiadać takich samych pożądaných właściwości i może nie wywierać takiego samego (pozytywnego) wpływu. Należy jednak zawsze pamiętać o konieczności zachowania równowagi między pożądanymi właściwościami i skutkami, z jednej strony, a zagrożeniami dla zdrowia, z drugiej strony, oraz dokładnie rozważyć możliwość wyeliminowania i zastąpienia stosowanych nanomateriałów. Ponadto można również:

- unikać stosowania nanomateriałów, które mogą przybrać postać cząstek unoszących się w powietrzu (takich jak proszki lub pyły), dzięki wykorzystywaniu ich mniej niebezpiecznej formy, np. poprzez rozpuszczanie nanomateriałów w postaci proszku i stosowanie ich w formie płynu, pasty, granulek lub mieszanek lub poprzez ich związanie z ciałami stałymi; oraz
- ograniczyć ryzyko wystąpienia niebezpiecznych sytuacji, modyfikując powierzchnię nanomateriału, na przykład poprzez pokrycie go inną substancją, aby dostosować jego skłonność do pylenia, rozpuszczalność i inne właściwości.

## 4.2 Kontrole inżynieryjne

Z uwagi na charakter pracy wykonywanej w sektorze opieki zdrowotnej większość miejsc pracy, takich jak pomieszczenia dla pacjentów w szpitalach lub nawet domy pacjentów, może nie być wyposażona w systemy techniczne ograniczające lub eliminujące narażenie na oddziaływanie nanomateriałów u ich źródła, na przykład w układy tworzące barierę fizyczną między daną osobą a nanomateriałem. Techniki inżynieryjne można jednak stosować w ramach innych działań, takich jak przygotowywanie produktów leczniczych zawierających nanomateriały, np. tabletek lub maści, w komorach rękawicowych.

Innym skutecznym środkiem zapobiegania ryzyku jest przeprowadzanie działań takich jak przygotowywanie nanoleków, próbek tkanek pacjentów, płynów ustrojowych lub odchodów mogących zawierać nanomateriały (jeżeli pacjent jest leczony nanolekami) lub przygotowywanie lub przeprowadzanie analizy próbek za pomocą analitycznych substancji chemicznych zawierających nanomateriały na czystych stołach laboratoryjnych wyposażonych w wysokosprawne filtry powietrza (HEPA). Poziom narażenia na wycieki i emisje pyłów lub oparów zawierających nanomateriały z próbek lub produktów do obróbki próbek należy kontrolować za pomocą wysokowydajnego systemu



wentylacji w połączeniu ze środkami ochrony indywidualnej, w szczególności rękawicami i maskami (zob. sekcja 4.4).

W laboratoriach, salach operacyjnych lub obszarach o podwyższonym standardzie bezpieczeństwa (np. z uwagi na ryzyko zakażenia), a także na obszarach magazynowych zazwyczaj stosuje się miejscowe układy wentylacji wyciągowej. Takie układy służą również do wylapywania nanomateriałów. W przypadku nanomateriałów zaleca się korzystanie ze standardowych filtrów wieloetapowych, w tym wysokosprawnych filtrów powietrza (HEPA H14) lub filtrów powietrza o ultraniskiej penetracji aerozolu, jako ostatnich filtrów przed ponownym wprowadzeniem powietrza wylotowego. W każdym przypadku należy przeprowadzić ocenę odpowiedności stosowanych układów filtrowania.

### 4.3 Środki organizacyjne

Środki zapobiegania ryzyku stosowane w miejscach pracy w sektorze opieki zdrowotnej, w których stosuje się niebezpieczne nanomateriały, obejmują:

- ustanowienie specjalnych obszarów lub miejsc pracy do celów przetwarzania nanomateriałów, oddzielonych od pozostałych miejsc pracy i wyraźnie oznaczonych odpowiednimi znakami;
- ograniczenie liczby pracowników narażonych na oddziaływanie nanomateriałów do minimum;
- ograniczenie czasu narażenia pracowników na oddziaływanie nanomateriałów do minimum;
- wprowadzenie zakazu dostępu dla nieupoważnionych członków personelu;
  - regularne czyszczenie (przecieranie na mokro) obszarów pracy, na których wykorzystuje się lub przetwarza nanomateriały; oraz
  - monitorowanie poziomów stężenia nanomateriałów w powietrzu, np. w zestawieniu z poziomami tła w przypadku, gdy nie dochodzi do przetwarzania nanomateriałów.



Autor: Jim Holmes

Ponieważ jak do tej pory nie ustanowiono ustandaryzowanego podejścia do stosowania znaków bezpieczeństwa ani do oznaczania miejsc pracy lub pojemników zawierających nanomateriały, zaleca się, aby podejmować działania z zachowaniem należytej staranności i korzystać z istniejących zwrotów R i S ustanowionych w rozporządzeniu UE w sprawie klasyfikacji, oznakowania i pakowania substancji i mieszanin (CLP) [41], a także ze znaków ostrzegawczych w celu zapewnienia odpowiednich, istotnych i konkretnych informacji na temat wszelkiego faktycznego lub potencjalnego ryzyka dla zdrowia i bezpieczeństwa związanego z korzystaniem lub przetwarzaniem nanomateriałów.

Ponadto należy również przestrzegać pewnych ogólnych zasad mających zastosowanie niezależnie od tego, czy w danym miejscu pracy wykorzystuje się nanomateriały, czy też nie:

- plany pracy powinny być opracowywane w oparciu o wyniki oceny ryzyka, z udziałem pracowników. Jeżeli praca ma być wykonywana w miejscach pracy, w których dochodzi do przetwarzania nanomateriałów o nieznanym stopniu toksyczności, czynniki te należy wziąć pod uwagę. W ramach zarządzania ryzykiem nie należy koncentrować się wyłącznie na znanych zagrożeniach, ale również przeprowadzać oceny i zarządzać nanomateriałami w miejscach pracy, w których brak jest odpowiednich informacji na temat zagrożeń i stopnia narażenia lub w których takie informacje są niepełne lub niepotwierdzone.
- Należy unikać wywierania presji czasu.
- Należy organizować odpowiednie szkolenia, aby zagwarantować, że pracownicy dysponują umiejętnościami i wiedzą pozwalającymi im wykonywać powierzoną im pracę w bezpieczny sposób oraz że potrafią chronić się przed narażeniem na jakiegokolwiek emisje nanomateriałów.

- Odpowiednie wytyczne i informacje należy zawsze przekazywać wszystkim pracownikom, w szczególności jeżeli pracownicy wykonują tylko jedną czynność lub jeżeli nie są zaznajomieni z ogólnymi zagrożeniami chemicznymi oraz z konkretnymi zagrożeniami związanymi z wykorzystywaniem nanomateriałów (np. personel sprząający, praktykanci). Wspomniane informacje powinny uwzględniać wytyczne dotyczące środków ochrony, na przykład sposobu bezpiecznego obchodzenia się z produktami leczniczymi lub próbkami zawierającymi nanomateriały; rozdrabniania lub polerowania wypełnień i powierzchni zawierających nanomateriały; oraz utylizacji produktów. Wspomniane informacje powinny również zostać udokumentowane w instrukcjach stanowiskowych.
- Stosowanie ostrożnego podejścia do zapobiegania ryzyku związanemu z nanomateriałami: należy stosować wszystkie dostępne środki zgodnie z hierarchią środków zapobiegawczych, aby ograniczyć uwalnianie nanomateriałów.

Pracownicy przetwarzający potencjalnie niebezpieczne nanomateriały lub pracownicy w inny sposób narażeni na ich oddziaływanie powinni zostać objęci programami monitorowania stanu zdrowia – w tym kontekście należy prowadzić szczegółową dokumentację dotyczącą sytuacji narażenia.

## 4.4 Środki ochrony indywidualnej

Ze środków ochrony indywidualnej należy korzystać wyłącznie w ostateczności, w przypadku braku możliwości dostatecznie skutecznego zmniejszenia poziomu narażenia za pomocą wskazanych powyżej środków. Jeżeli po przeprowadzeniu oceny ryzyka zastosowanie środków ochrony indywidualnej okaże się konieczne, należy opracować program w zakresie ich stosowania. Dobry program środków ochrony indywidualnej obejmuje następujące elementy: dobór odpowiednich środków, ich dopasowywanie, organizowanie szkoleń w zakresie ich stosowania oraz ich konserwacja. Pracownicy sektora opieki zdrowotnej z reguły korzystają ze środków ochrony indywidualnej w swojej pracy z uwagi na występowanie innych zagrożeń dla zdrowia (np. spowodowanych czynnikami biologicznymi)<sup>(3)</sup> [34]. Stosowane środki ochrony indywidualnej należy jednak poddać ocenie w celu ustalenia, czy można z nich korzystać również w celu zapewnienia ochrony przed nanomateriałami.

Aby zagwarantować, że środki takie zapewniają odpowiedni poziom ochrony i mogą być odpowiednio wykorzystywane, należy ocenić rytm pracy i stan zdrowia ich użytkownika. Badania przeprowadzane na środkach ochrony indywidualnej powinny umożliwić zagwarantowanie, że pracownicy korzystający z tych środków będą mogli wykonywać swoją pracę w bezpieczny sposób oraz że będą mogli w razie konieczności korzystać jednocześnie z innych niezbędnych elementów wyposażenia (np. okularów) lub narzędzi. Należy pamiętać o tym, że poziom ochrony zapewniany przez środki ochrony indywidualnej może ulec zmniejszeniu przy jednoczesnym wykorzystywaniu szeregu zestawów takich środków. Dodatkowe zagrożenia inne niż zagrożenia związane z nanomateriałami również mogą wywierać wpływ na środki ochrony indywidualnej, zmniejszając ich skuteczność. Dlatego też przy dokonywaniu wyboru tych środków należy wziąć pod uwagę wszystkie zagrożenia występujące w danym miejscu pracy. Wszystkie wykorzystywane środki ochrony indywidualnej powinny posiadać oznakowanie CE, przy czym należy je stosować zgodnie z instrukcjami dostarczonymi przez producenta, nie wprowadzając w nich żadnych modyfikacji.

### 4.4.1 Ochrona dróg oddechowych

W przypadku wykonywania czynności wiążących się z obecnością lotnych nanomateriałów, np. ścierania, szlifowania lub frezowania mostków lub implantów zawierających nanomateriały, miejscowe układy wentylacji wyciągowej mogą okazać się niewystarczające. W takich przypadkach należy również stosować środki ochrony dróg oddechowych. Filtry HEPA, pochłaniacze i maski wykonane z włóknistych materiałów filtrujących zapewniają skuteczną ochronę przed lotnymi nanomateriałami. Do środków skutecznie chroniących przed tego rodzaju zagrożeniami zalicza się maski zakrywające

<sup>(3)</sup> Przepisy dyrektywy 89/686/EWG regulują kwestie związane z projektowaniem i korzystaniem ze środków ochrony indywidualnej oraz służą zapewnieniu, aby takie środki spełniały swoją zamierzoną funkcję środków chroniących pracowników przed określonymi zagrożeniami.

połowę lub całą twarz wyposażone w filtry P3/FFP3 lub P2/FFP2. Filtry o współczynniku ochrony 3 zapewniają lepszą ochronę, niż filtry o współczynniku ochrony 2 [35, 36]. Maski twarzowe muszą być odpowiednio szczelne [36] – wszyscy użytkownicy powinni regularnie przechodzić badania szczelności.

Wybór środka ochrony dróg oddechowych (RPD) będzie zależał od:

- typu, rozmiaru i stężenia lotnego nanomateriału;
- współczynnika ochrony przypisanego do RPD (który obejmuje skuteczność filtrowania oraz szczelność przylegania do twarzy); oraz
- warunki pracy.

Jeżeli środki ochrony dróg oddechowych nie zakrywają oczu, należy również stosować środki ochrony oczu (ściśle przylegające okulary ochronne).

#### 4.4.2 Rękawice

Rękawice są powszechnie wykorzystywane w sektorze opieki zdrowotnej. Zasadniczo w celu zapewnienia ochrony przed zagrożeniami chemicznymi należy stosować rękawice spełniające wymogi ustanowione w normach z serii EN 374 <sup>(4)</sup>. W przypadku nanomateriałów potwierdzono skuteczność rękawic wykonanych z polimerów syntetycznych, takich jak lateks, nityl lub neopren [36]. Skuteczność rękawic w zapewnianiu ochrony przed oddziaływaniem określonego nanomateriału będzie zależała od postaci, w jakiej dany nanomateriał występuje w miejscu pracy (pył, ciecz itp.), dlatego też należy zasięgnąć odpowiednich informacji w tym zakresie u dostawców rękawic. Grubość materiału, z którego wykonano rękawice, stanowi istotny czynnik wpływający na szybkość przenikania nanomateriału. Dlatego też zaleca się stosowanie dwóch rękawic jednocześnie [37].

#### 4.4.3 Odzież ochronna

Zamiast materiałów tkanych należy korzystać z materiałów włókienniczych z włókniny (materiałów hermetycznych), takich jak polietylen o wysokiej gęstości (niska pyłochłonność i niski poziom uwalniania pyłu), przy czym należy unikać korzystania z odzieży ochronnej wykonanej z tkanin bawełnianych [36].

W przypadku korzystania z odzieży ochronnej wielokrotnego użytku, np. kombinezonów, należy wprowadzić środki zapewniające regularne pranie takiej odzieży, aby uniknąć wtórnego narażenia pracowników. Należy ustanowić procedurę służącą zagwarantowaniu zakładania przez pracowników czystych kombinezonów i odzieży ochronnej i usuwania zabrudzonej odzieży w taki sposób, by nie doprowadzić do zanieczyszczenia poszczególnych osób lub miejsca pracy nanomateriałami.

### 4.5 Zapobieganie wybuchom lub pożarom

Z uwagi na swój niewielki rozmiar, nanomateriały w proszku mogą stwarzać zagrożenie wybuchem, ponieważ wykazują inne właściwości niż materiał gruboziarnisty o tym samym składzie <sup>(5)</sup> [38]. Należy zachować ostrożność w sytuacjach, w których dochodzi do powstawania nanomateriałów w proszku (np. wskutek ścierania, szlifowania lub polerowania implantów lub mostków zawierających nanomateriały), lub przy obchodzeniu się z takimi sproszkowanymi nanomateriałami (np. ich mieszaniu, czyszczeniu lub utylizacji).

<sup>(4)</sup> EN 374-1:2003: Rękawice chroniące przed substancjami chemicznymi i mikroorganizmami – Część 1: Terminologia i wymagania; EN 374-2:2003: Rękawice chroniące przed substancjami chemicznymi i mikroorganizmami – Część 2: Wyznaczanie odporności na przesiąkanie; oraz EN 374-3:2003: Rękawice chroniące przed substancjami chemicznymi i mikroorganizmami – Część 3: Wyznaczanie odporności na przenikanie substancji chemicznych.

<sup>(5)</sup> Wybuchowość większości pyłów organicznych i wielu pyłów metalicznych wzrasta wraz ze zmniejszaniem się wielkości ich cząsteczek. Wydaje się, że górny poziom wielkości cząstek wchodzących w skład wybuchowego obłoku pyłu wynosi 500 µm. Obecnie nie określono dolnego poziomu wielkości cząstek, poniżej którego można by wykluczyć ryzyko wybuchu pyłu.

Środki zapobiegawcze stosowane w odniesieniu do sproszkowanych nanomateriałów zasadniczo pokrywają się ze środkami stosowanymi w odniesieniu do wszystkich innych materiałów gruboziarnistych wykazujących właściwości wybuchowe i łatwopalne oraz wybuchowych obłoków pyłu i powinny być zgodne z wymaganiami dyrektywy 99/92/WE w sprawie minimalnych wymagań dotyczących bezpieczeństwa i zdrowia pracowników zatrudnionych na stanowiskach pracy, na których może wystąpić atmosfera wybuchowa. Środki te obejmują:

- ograniczenie kontaktu farmaceutów z takimi materiałami do określonych stref oraz, w miarę możliwości, wykonywanie prac w obojętnej atmosferze;
- rozpuszczenie materiałów poprzez zwilżanie miejsca pracy (przeciwdziałanie powstawaniu pyłów);
- usunięcie urządzeń niskoiskrowych i innych źródeł zapłonu lub wyeliminowanie warunków sprzyjających gromadzeniu się ładunków elektrostatycznych z miejsca pracy; zamiast wspomnianych urządzeń należy w miarę możliwości korzystać z urządzeń iskrobezpiecznych (obwody sygnalizacyjne i sterownicze zasilane prądem elektrycznym o niskim natężeniu i napięciu).
- usuwanie warstw pyłu poprzez ich zmywanie; oraz
- ograniczanie składowania materiałów wybuchowych lub łatwopalnych w miejscu pracy do minimum. W tym kontekście można korzystać z worków antystatycznych.

## 4.6 Kontrola skuteczności środków

Wyniki oceny ryzyka należy poddawać regularnym przeglądom, przy czym należy przeprowadzać regularne kontrole procesu wyboru i wdrażania środków zarządzania ryzykiem w celu sprawdzenia ich skuteczności. Oznacza to konieczność zapewnienia prawidłowego funkcjonowania wszystkich środków ochrony, takich jak stoły laboratoryjne lub kabiny przepływu laminarnego, a także konieczność regularnego przeprowadzania inspekcji wszystkich urządzeń wentylacyjnych oraz powiązanych z nimi układów filtrowania powietrza. Ponadto w razie konieczności należy przeprowadzić i zaktualizować ocenę stosowności wykorzystywanych środków ochrony indywidualnej.

Dodatkowo skuteczność środka zarządzania ryzykiem można ocenić, analizując poziom stężenia nanomateriałów w powietrzu przed zastosowaniem środka zapobiegawczego i po jego zastosowaniu. Poziomy narażenia zmierzone w momencie zastosowania środków zarządzania ryzykiem nie powinny znacząco odbiegać od poziomów stężenia tła, jeżeli nie stwierdzono wystąpienia źródła wytwarzanych nanomateriałów. Można również stosować inne pośrednie metody pomiaru skuteczności technicznych środków zapobiegawczych, takie jak próby dymne lub pomiary prędkości kontrolnej.

Wartości dopuszczalnego stężenia nanomateriałów w miejscu pracy (<sup>6</sup>) [39, 40] mogą zostać wyznaczone w przyszłości; głównym celem działań w zakresie zarządzania ryzykiem w miejscu pracy powinno być jednak ograniczanie narażenia na oddziaływanie nanomateriałów do minimum, dlatego też samo zapewnienie zgodności z dopuszczalnym stężeniem w miejscu pracy nie może zostać uznane za wystarczające.

## Odniesienia

1. Komisja Europejska (KE), *Dokument roboczy służb Komisji na temat Planu działań dotyczącego pracowników opieki zdrowotnej w UE*, SWD(2012) 93 wersja ostateczna, Strasburg, 18 kwietnia 2012 r. Dokument dostępny pod adresem: [http://ec.europa.eu/dgs/health\\_consumer/docs/swd\\_ap\\_eu\\_healthcare\\_workforce\\_en.pdf](http://ec.europa.eu/dgs/health_consumer/docs/swd_ap_eu_healthcare_workforce_en.pdf)
2. Zalecenie Komisji z dnia 18 października 2011 r. dotyczące definicji nanomateriału, Dz.U. L 275, s. 38–40. Dokument dostępny pod adresem: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2011:275:0038:0040:EN:PDF>

<sup>(6)</sup> Zob. na przykład Holenderski Komitet Społeczno-Ekonomiczny (SER) (2012), *Provisional Nano Reference Values for Engineered Nanomaterials* oraz Nanowerk (2012), *SAFENANO Team Complete BSI British Standards Guide to Safe Handling of Nanomaterials*.

3. Komisja Europejska (KE), *Dokument roboczy służb Komisji: Rodzaje i zastosowania nanomateriałów, w tym względy bezpieczeństwa. Towarzyszący komunikatowi Komisji do Parlamentu Europejskiego, Rady i Europejskiego Komitetu Ekonomiczno-Społecznego w sprawie drugiego przeglądu regulacyjnego poświęconego nanomateriałom*, SWD(2012) 288 final, Bruksela, 3 października 2012 r. Dokument dostępny pod adresem: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=SWD:2012:0288:FIN:EN:PDF>
4. Europejska Agencja Bezpieczeństwa i Zdrowia w Pracy (EU-OSHA), *Narażenie na oddziaływanie nanocząsteczek w miejscu pracy* (ang. *Workplace Exposure to Nanoparticles*), Europejskie Obserwatorium Ryzyka, przegląd literatury, 2009 r. Dokument dostępny pod adresem: [http://osha.europa.eu/en/publications/literature\\_reviews/workplace\\_exposure\\_to\\_nanoparticles](http://osha.europa.eu/en/publications/literature_reviews/workplace_exposure_to_nanoparticles)
5. Lauterwasser, C., *Mały rozmiar, który ma znaczenie: szanse i zagrożenia związane z nanotechnologią* (ang. *Small size that Matter: Opportunities and Risks of Nanotechnologies*), sprawozdanie Allianz Center of Technology i OECD, nieopatrzone datą. Dokument dostępny pod adresem: <http://www.oecd.org/dataoecd/32/1/44108334.pdf>
6. Kale, S.N., *Nanomateriały i ich zastosowania w sektorze opieki zdrowotnej* (ang. *Nanomaterials and their Applications in Healthcare*), prezentacja przedstawiona podczas ICS-UNIDO, warsztatów SISSA poświęconych komputerowemu systemowi opracowywania i odkrywania potencjalnych produktów leczniczych dla krajów rozwijających się, 2009 r.
7. Filipponi, L., Sutherland, D., *Medycyna i opieka zdrowotna. Moduł 2 – zastosowania nanotechnologii* (ang. *Medicine and Healthcare. Module 2 – Applications of Nanotechnologies*), Interdisciplinary Nanoscience Centre (iNANO), 2010 r. Dokument dostępny pod adresem: <http://nanoyou.eu/>
8. Ellis, J.R., *Nanomateriały oraz ich możliwe zastosowania terapeutyczne* (ang. *Nanomaterials and Their Potential in Therapy*), 2012 r. Dokument dostępny pod adresem: <http://www.mddionline.com/blog/devicetalk/nanomaterials-and-their-potential-therapy> (data uzyskania dostępu: 20 października 2012 r.).
9. Nanowerk, *Wprowadzenie do nanotechnologii* (ang. *Introduction to Nanotechnology*), 2012 r. Dokument dostępny pod adresem: [http://www.nanowerk.com/nanotechnology/introduction/introduction\\_to\\_nanotechnology\\_1.php](http://www.nanowerk.com/nanotechnology/introduction/introduction_to_nanotechnology_1.php) (data uzyskania dostępu: 19 października 2012 r.).
10. Mody, V.V., Siwale, R., Singh, A., Mody, H.R., „Wprowadzenie do nanocząstek metalicznych” (ang. 'Introduction to metallic nanoparticles') w *Journal of Pharmacy & BioAllied Science*, 2012 r., nr 2(4): s. 282–289.
11. Jain, K., Kesharwani, P., Gupta, U., Jain, N.K., „Toksyczność dendrymerów: pora stawić czoła wyzwaniu” (ang. 'Dendrimer toxicity: let's meet the challenge') w *International Journal of Pharmaceutics*, 2010 r., nr 394(1–2): s. 122–142.
12. Haase, A., Rott, S., Mantion, A., Graf, P., Plendl, J., Thünemann, A.F., Meier, W.P., Taubert, A., Luch, A., Reiser, G., „Wpływ nanocząsteczek srebra na główne mieszane kultury komórek nerwowych: przyjmowanie, stres oksydacyjny i ostre reakcje wapniowe” (ang. 'Effects of silver nanoparticles on primary mixed neural cell cultures: uptake, oxidative stress and acute calcium responses') w *Toxicological Sciences*, 2012 r., nr 126(2): s. 457–468.
13. SafeWork Australia, *Ocena w zakresie zaburzeń układu mięśniowo-szkieletowego i etykiet związanych ze stosowaniem wytworzonych nanomateriałów* (ang. *An Evaluation of MSDS and Labels Associated with the Use of Engineered Nanomaterials*). Dokument dostępny pod adresem: <http://safeworkaustralia.gov.au/AboutSafeWorkAustralia/Whatwedo/Publications/Pages/RP201006EvaluationOfMSDSAndLabels.aspx>
14. Toyama T., Matsuda H., Ishida I., Tani M., Kitaba S., Sano S., Katayama I., „Przypadek wystąpienia wyprysków kontaktowych alergicznych zbliżonych do tych obserwowanych przy toksycznej nekrolizie naskórka na skórze dłoni wskutek kontaktu z dendrymerami” (ang. 'A

- case of toxic epidermal necrolysis-like dermatitis evolving from contact dermatitis of the hands associated with exposure to dendrimers') w *Contact Dermatitis*, 2008 r., nr 59(2): s. 122–123.
15. Murashov, V., „Narażenie zawodowe na zastosowania nanomateriałów w medycynie” (ang. ‘Occupational exposure to nanomedical applications’) w *WIREs Nanomedicine and Nanobiotechnology*, 2009 r., nr 1: s. 203–213.
  16. Krajowy Instytut Zdrowia i Bezpieczeństwa w Pracy (NIOSH), *Podejścia do bezpiecznej nanotechnologii – obawy dotyczące zdrowia i bezpieczeństwa związane z wytwarzanymi nanomateriałami* (ang. *Approaches to Safe Nanotechnology – Managing the Health and Safety Concerns Associated with Engineered Nanomaterials*), Departament Zdrowia i Usług Społecznych. Centra Kontroli i Profilaktyki Chorób, publikacja nr 2009-125, 2009 r.
  17. Gratieri, T., Schaefer, U.F., Jing, L., Gao, M., Kostka, K.H., Lopez, R.F.V., Schneider, M., „Przenikanie cząstek kropek kwantowych przez skórę człowieka” (ang. ‘Penetration of quantum dot particles through human skin’) w *Journal of Biomedical Nanotechnology*, 2010 r., nr 6(5): str. 586–595.
  18. Projekt ENRHES, Komisja Europejska (KE), *Wytwarzane nanocząsteczki: przegląd dotyczący bezpieczeństwa dla zdrowia i bezpieczeństwa środowiskowego (ENRHES)* (ang. *Engineered Nanoparticles: Review of Health and Environmental Safety (ENRHES)*), 2009 r. Dokument dostępny pod adresem: <http://ihcp.jrc.ec.europa.eu/whats-new/enhres-final-report>
  19. Komitet Naukowy ds. Pojawiających się i Nowo Rozpoznanych Zagrożeń dla Zdrowia (SCENIHR), *Wniosek o wydanie opinii naukowej na temat wpływu nanocząsteczek srebra na bezpieczeństwo, zdrowie i środowisko oraz jego roli w kontekście odporności na środki przeciwdrobnoustrojowe* (ang. *Request for a Scientific Opinion on Nanosilver: Safety, Health and Environmental Effects and Role in Antimicrobial Resistance*), 2012 r. Dokument dostępny pod adresem: [http://ec.europa.eu/health/scientific\\_committees/emerging/docs/scenihr\\_q\\_027.pdf](http://ec.europa.eu/health/scientific_committees/emerging/docs/scenihr_q_027.pdf)
  20. Luoma, S.N., *Nanotechnologie związane z cząsteczkami srebra a środowisko: stare problemy czy nowe wyzwania?* (ang. *Silver Nanotechnologies and the Environment: Old Problems or New Challenges?*), Pew Charitable Trust i Woodrow Wilson International Center for Scholars, 2008 r. Dokument dostępny pod adresem: [http://www.nanotechproject.org/process/assets/files/7036/nano\\_pen\\_15\\_final.pdf](http://www.nanotechproject.org/process/assets/files/7036/nano_pen_15_final.pdf)
  21. Światowa Organizacja Zdrowia (WHO), *Sadza, dwutlenek tytanu i talk* (ang. *Carbon Black, Titanium Dioxide and Talc*), monografie Międzynarodowej Agencji Badań nad Rakiem dotyczące oceny ryzyka związanego z rakotwórczym wpływem na ludzi, t. 93, 2010 r. Dokument dostępny pod adresem: <http://monographs.iarc.fr/ENG/Monographs/vol93/mono93.pdf>
  22. Krajowy Instytut Zdrowia i Bezpieczeństwa w Pracy (NIOSH), „Narażenie zawodowe na oddziaływanie dwutlenku tytanu” (ang. ‘Occupational exposure to titanium dioxide’) w *Current Intelligence Bulletin*, nr 63, 2011 r. Dokument dostępny pod adresem: <http://www.cdc.gov/niosh/docs/2011-160/>
  23. Sung, J.H., Ji, J.H., Park, J.D., Song, M.Y., Song, K.S., Ryu, H.R., Yoon, J.U., Jeon, K.S., Jeong, J., Han, B.S., Chung, Y.H., Chang, H.K., Lee, J.H., Kim, D.W., Kelman, B.J., Yu, I.J., „Podprzewlekła toksyczność wdychanych nanocząstek złota” (ang. ‘Subchronic inhalation toxicity of gold nanoparticles’) w *Particle and Fibre Toxicology*, 2011 r., nr 8: s. 16.
  24. Dyrektywa Rady z dnia 12 czerwca 1989 r. w sprawie wprowadzenia środków w celu poprawy bezpieczeństwa i zdrowia pracowników w miejscu pracy (89/391/EWG), Dz.U. L 183 z 29 czerwca 1989 r. Dokument dostępny pod adresem: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CONSLEG:1989L0391:20081211:EN:PDF>
  25. Dyrektywa Rady 98/24/WE z dnia 7 kwietnia 1998 r. w sprawie ochrony zdrowia i bezpieczeństwa pracowników przed ryzykiem związanym ze środkami chemicznymi w miejscu pracy (czternasta dyrektywa szczegółowa w rozumieniu art. 16 ust. 1 dyrektywy 89/391/EWG). Dokument dostępny pod adresem: <http://eurlex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CONSLEG:1998L0024:20070628:EN:PDF>

26. Dyrektywa 2004/37/WE Parlamentu Europejskiego i Rady w sprawie ochrony pracowników przed zagrożeniem dotyczącym narażenia na działanie czynników rakotwórczych lub mutagenów podczas pracy (szósta dyrektywa szczegółowa w rozumieniu art. 16 ust. 1 dyrektywy Rady 89/391/EWG). Dokument dostępny pod adresem: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:32004L0037R%2801%29:EN:HTML>
27. Schneider, T., Jansson, A., Jensen, K.A., Kristjansson, V., Luotamo, M., Nygren, O., Skaug, V., Thomassen, Y., Tossavainen, A., Tuomi, T., Wallin, H., „Ocena i kontrola zagrożeń dla zdrowia w miejscu pracy spowodowanych nanocząsteczkami” (ang. ‘Evaluation and Control of Occupational Health Risks from Nanoparticles’) w *TemaNord*, 2007 r., nr 581, Nordycka Rada Ministrów, Kopenhaga, 2007 r. Dokument dostępny pod adresem: [http://www.norden.org/da/publikationer/publikationer/2007-581/at\\_download/publicationfile](http://www.norden.org/da/publikationer/publikationer/2007-581/at_download/publicationfile)
28. Borm, P., Houba, R., Linker, F., *Dobre praktyki w zakresie stosowania nanomateriałów w Holandii* (ang. *Good Uses of Nanomaterials in the Netherlands*), 2008 r. Dokument dostępny pod adresem: <http://www.nano4all.nl/Reporshortsummary.pdf>
29. Austriacka Państwowa Inspekcja Pracy (ACLI), *Korzystanie z nanomateriałów w miejscu pracy* (ang. *Use of Nano at the Workplace*), 2009 r. Dokument dostępny pod adresem: [http://www.arbeitsinspektion.gv.at/NR/rdonlyres/592E7E96-E136-453F-A87B-3C393FC039E1/0/Nano\\_Untersuchung.pdf](http://www.arbeitsinspektion.gv.at/NR/rdonlyres/592E7E96-E136-453F-A87B-3C393FC039E1/0/Nano_Untersuchung.pdf)
30. Rozporządzenie (WE) nr 1907/2006 Parlamentu Europejskiego i Rady z dnia 18 grudnia 2006 r. w sprawie rejestracji, oceny, udzielania zezwoleń i stosowanych ograniczeń w zakresie chemikaliów (REACH) i utworzenia Europejskiej Agencji Chemikaliów, zmieniające dyrektywę 1999/45/WE oraz uchylające rozporządzenie Rady (EWG) nr 793/93 i rozporządzenie Komisji (WE) nr 1488/94, jak również dyrektywę Rady 76/769/EWG i dyrektywy Komisji 91/155/EWG, 93/67/EWG, 93/105/WE i 2000/21/WE, Dz.U. L 396 z 30 grudnia 2006 r. Dokument dostępny pod adresem: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:32006R1907:en:NOT>
31. Rozporządzenie Komisji (UE) nr 453/2010 z dnia 20 maja 2010 r. zmieniające rozporządzenie (WE) nr 1907/2006 Parlamentu Europejskiego i Rady w sprawie rejestracji, oceny, udzielania zezwoleń i stosowanych ograniczeń w zakresie chemikaliów (REACH), Dz.U. L 133 z 31 maja 2010 r. Dokument dostępny pod adresem: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:32010R0453:EN:NOT>
32. Europejska Agencja Chemikaliów (ECHA), *Poradnik dotyczący sporządzania kart charakterystyki*, grudzień 2011 r. Dokument dostępny pod adresem: [http://echa.europa.eu/documents/10162/17235/sds\\_en.pdf](http://echa.europa.eu/documents/10162/17235/sds_en.pdf)
33. Centra Kontroli i Profilaktyki Chorób (CDC), *Ogólne praktyki w zakresie bezpiecznego obchodzenia się z wytworzonymi nanomateriałami w laboratoriach badawczych* (ang. *General Safe Practices for Working with Engineered Nanomaterials in Research Laboratories*), publikacja DHHS (NIOSH) nr 2012–147. Dokument dostępny pod adresem: <http://www.cdc.gov/niosh/docs/2012-147/>
34. Dyrektywa 89/656/EWG – korzystanie ze środków ochrony indywidualnej z dnia 30 listopada 1989 r. w sprawie minimalnych wymagań w dziedzinie bezpieczeństwa i ochrony zdrowia pracowników korzystających z wyposażenia ochronnego (trzecia dyrektywa szczegółowa w rozumieniu art. 16 ust. 1 dyrektywy 89/391/EWG). Dokument dostępny pod adresem: <https://osha.europa.eu/en/legislation/directives/workplaces-equipment-signs-personal-protective-equipment/osh-directives/4>
35. Hessisches Ministerium für Wirtschaft, Verkehr und Landesentwicklung, „Bezpieczne korzystanie z nanomateriałów w sektorze produkcji farb – poradnik” (niem. ‘*Sichere Verwendung von Nanomaterialien in der Lack- und Farbenbranche—Ein Betriebsleitfaden*’) w *Schriftenreihe der Aktionslinie Hessen-Nanotech*, t. 11, 2009 r. Dokument dostępny pod adresem: [www.hessen-nanotech.de](http://www.hessen-nanotech.de)
36. Golanski, L., Guillot, A., Tardiff, F., *Czy konwencjonalne środki ochronne takie jak włókniste materiały filtrujące, pochłaniacze, odzież ochronna i rękawice zapewniają również skuteczną ochronę przed nanoaerozolami?* (ang. *Are Conventional Protective Devices such as Fibrous*

- Filter Media, Respirator Cartridges, Protective Clothing and Gloves also Efficient for Nanoaerosols?*), DR-325/326-200801-1, Nanosafe2, 2008 r. Dokument dostępny pod adresem: [http://www.nanosafe.org/home/liblocal/docs/Dissemination%20report/DR1\\_s.pdf](http://www.nanosafe.org/home/liblocal/docs/Dissemination%20report/DR1_s.pdf)
37. Klenke, M., *Pierwsze rezultaty stosowania procedur bezpieczeństwa w zakresie obchodzenia się z nanocząsteczkami* (ang. *First Results for Safe Procedures for Handling Nanoparticles*)m DR-331 200810-6, Nanosafe2, 2008 r. Dokument dostępny pod adresem: [http://www.nanosafe.org/home/liblocal/docs/Dissemination%20report/DR6\\_s.pdf](http://www.nanosafe.org/home/liblocal/docs/Dissemination%20report/DR6_s.pdf)
38. Dyrba, B., *Ochrona przed wybuchami: konieczność podjęcia działań w odniesieniu do nanopyłów* (niem. *Explosionsschutz: Handlungsbedarf bei Nanostäuben*), nieopatrzone data. Dokument dostępny pod adresem: <http://www.arbeitssicherheit.de/de/html/fachbeitraege/anzeigen/337/Explosionsschutz-Nanostaub/> (data uzyskania dostępu: 3 grudnia 2012 r.).
39. Holenderski Komitet Społeczno-Ekonomiczny (SER), *Orientacyjne wartości odniesienia wyznaczone dla wytwarzanych nanomateriałów* (ang. *Provisional Nano Reference Values for Engineered Nanomaterials*), 2012 r. Dokument dostępny pod adresem: [http://www.ser.nl/en/sitecore/content/Internet/en/Publications/Publications/2012/2012\\_01.aspx](http://www.ser.nl/en/sitecore/content/Internet/en/Publications/Publications/2012/2012_01.aspx) (data uzyskania dostępu: 20 października 2012 r.).
40. Nanowerk, *Zakończenie prac nad poradnikiem BSI British Standards w zakresie bezpiecznego obchodzenia się z nanomateriałami przez zespół SAFENANO* (ang. *SAFENANO Team Complete BSI British Standards Guide to Safe Handling of Nanomaterials*), 2012 r. Dokument dostępny pod adresem: <http://www.nanowerk.com/news/newsid=4136.php> (data uzyskania dostępu: 20 października 2012 r.).
41. Rozporządzenie Parlamentu Europejskiego i Rady (WE) nr 1272/2008 w sprawie klasyfikacji, oznakowania i pakowania substancji i mieszanin (rozporządzenie CLP), Dz.U. L 353 z 31 grudnia 2008 r. Dokument dostępny pod adresem: <http://echa.europa.eu/web/guest/regulations/clp/legislation>

## Dodatkowe informacje

- Europejska Agencja Bezpieczeństwa i Zdrowia w Pracy (EU-OSHA), *Internetowa baza danych studiów przypadku*, 2012 r. Dostępna pod adresem: [http://osha.europa.eu/en/practical-solutions/case-studies/index\\_html/practical-solution?SearchableText=&is\\_search\\_expanded=True&getRemoteLanguage=en&keywords%3Alist=nanotechnology&nace%3Adefault=&multilingual\\_thesaurus%3Adefault=&submit=Search](http://osha.europa.eu/en/practical-solutions/case-studies/index_html/practical-solution?SearchableText=&is_search_expanded=True&getRemoteLanguage=en&keywords%3Alist=nanotechnology&nace%3Adefault=&multilingual_thesaurus%3Adefault=&submit=Search) (data uzyskania dostępu: 23 lipca 2012 r.).
- Industriegewerkschaft Bergbau, Chemie, Energie (IGBCE), *Nanomateriały – wyzwanie dla zdrowia i bezpieczeństwa w pracy* (niem. *Nanomaterialien – Herausforderung für Arbeits- und Gesundheitsschutz*), Hauptvorstand, 2011 r. Dokument dostępny pod adresem: [http://www.saarbruecken.igbce.de/portal/binary/com.epicentric.contentmanagement.servlet.ContentDeliveryServlet/site\\_www.igbce.de/static\\_files/PDF-Dokumente/Schwerpunktthemen/Nanotechnologie/d343dc332c78e5258ecea71035bf21ca.pdf](http://www.saarbruecken.igbce.de/portal/binary/com.epicentric.contentmanagement.servlet.ContentDeliveryServlet/site_www.igbce.de/static_files/PDF-Dokumente/Schwerpunktthemen/Nanotechnologie/d343dc332c78e5258ecea71035bf21ca.pdf)
- Komisja Europejska (KE), *Dokument roboczy służb Komisji na temat Planu działań dotyczącego pracowników opieki zdrowotnej w UE, towarzyszący komunikatowi Komisji do Parlamentu Europejskiego, Rady, Europejskiego Komitetu Społeczno-Ekonomicznego i Komitetu Regionów „W kierunku odnowy gospodarczej sprzyjającej zatrudnieniu”*, Strasburg, 18 kwietnia 2012 r., SWD(2012) 93 wersja ostateczna.
- Europejska Agencja Bezpieczeństwa i Zdrowia w Pracy (EU-OSHA), *Bezpieczna konserwacja w praktyce* (ang. *Safe maintenance in practice*), 2010 r. Dokument dostępny pod adresem: <http://osha.europa.eu/en/publications/reports/safe-maintenance-TEWE10003ENC/view>
- Europejska Agencja Bezpieczeństwa i Zdrowia w Pracy (EU-OSHA), *Bezpieczeństwo i zdrowie w miejscu pracy pracowników służby zdrowia*. Dokument dostępny pod adresem: <http://osha.europa.eu/en/sector/healthcare>.