

Dobór sprzętu filtrującego do ochrony układu oddechowego przed nanocząstkami – w tym wirusami

Fot. boffi/Bigstockphoto



W artykule zawarto podstawowe informacje dotyczące ochrony układu oddechowego przed aerozolami zawierającymi nanocząstki. Z nanocząstkami coraz częściej mamy do czynienia nie tylko w pracy zawodowej, na skutek rozwoju nowych technologii, ale również w życiu codziennym. Rosnąca ilość zagrożeń docierających drogą oddechową, związana z rozwojem przemysłu, nowymi technologiami i zanieczyszczeniem środowiska jest sytuacją, z którą coraz częściej musimy się mierzyć. Niezwykle istotna z punktu widzenia zdrowia społeczeństwa jest również rosnąca świadomość użytkowników sprzętu ochrony układu oddechowego odnośnie do ist-

niejących zagrożeń. Przywykliśmy już na ulicach naszych miast do widoku osób w półmaskach filtrujących, chroniących przed smogiem.

Historia oczyszczania powietrza do oddychania sięga czasów Cesarstwa Rzymskiego, gdzie w pierwszym wieku naszej ery najprawdopodobniej po raz pierwszy zastosowano środek ochrony układu oddechowego. Ochrona poprzez stosowanie indywidualnego sprzętu ochrony układu oddechowego w dzisiejszym świecie staje się zjawiskiem coraz powszechniejszym. Nie dotyczy ona już tylko pracowników, ale również osób prywatnych – obecnie wszyscy chronimy się wszak przed nowym koronawirusem.

Słowa kluczowe: nanocząstki, nanoaerozol, sprzęt filtrujący, ochrona układu oddechowego, półmaski filtrujące

Selection of filtering respiratory protective devices for protection against nanoparticles

This article provides basic information about protection of respiratory system from aerosols that contain nanoparticles. Nanoparticles, with which we are increasingly dealing not only in work, as a result of the development of new technologies, but also in everyday life. The growing number of hazards absorbed through the respiratory system, related to the development of industry, new technologies and pollution of the environment in which we live, is nowadays a situation that we must face more and more often. The growing awareness of users of respiratory protective devices regarding existing hazards is also extremely important from the point of view of public health. We have already got used to the image of people in filtering masks on the streets of our cities, protecting against smog.

The history of purifying air for breathing goes back to the Roman Empire, where in the first century AD most probably the first time a respiratory protection was used. Respiratory protection through the use of individual solutions in the form of respiratory protection equipment, in today's world is becoming a more common phenomenon. It no longer applies only to employees but also to private individuals - xxxx

Keywords: nanoparticles, nanoaerosol, filtering equipment, respiratory protection, filtering half masks

Wstęp

Gwałtowny rozwój przemysłu, nowych technologii i gospodarki światowej stał się przyczyną intensywnego rozwoju gałęzi związanej ze strukturami nano- nanotechnologii. Coraz powszechniejsze jest wykorzystywanie nanododatków, nanoproszków, nanowypełniaczy, nanopowłok, nanokapsuł. Wpływa to na nasilenie się zagrożenia związanego z generowaniem i obecnością w środowisku pracy nanoobjektów, najczęściej w postaci zawieszonych w powietrzu nanocząstek, czyli nanoaerozolu.

Z danych GUS z 2017 roku wynika, że obecnie w Polsce, spośród zagrożeń występujących na stanowiskach pracy, 21% stanowią zagrożenia chemiczne i pyłowe, docierające do organizmu najczęściej przez układ oddechowy [1]. W ostatnich latach nasiliło się występowanie jeszcze innej grupy powszechnych zagrożeń w postaci nanocząstek biologicznych – wirusów, których rozmiary mieszczą się najczęściej w granicach od 20 do 300 nm [25]. Globalizacja i podróże lotnicze w znacznym stopniu ułatwiają ich szybkie rozprzestrzenianie się. Do najbardziej znanych z ostatnich lat należą epidemie ptasiej grypy (2003-2006), SARS (2002-2003), świńskiej grypy (2009-2010), Eboli (2013-2016) i obecna COVID-19 (od 2019).

Granice 100 nm należy traktować jednak umownie. Jak wskazują autorzy różnych publikacji, istnieją obiekty o większych rozmiarach (do około 250 nm), które zalicza się do kategorii nanocząstek [2-5]. Dolną granicę wielkości nanocząstek stanowi rozmiar pojedynczych atomów i wyznacza się ją na około 0,2 nm. Warto jednak zauważyć, że nie każdy obiekt, który jest wystarczająco mały, można zaliczyć do kręgu zainteresowań „nanonauki” czy nanotechnologii. Warunkiem koniecznym jest bowiem wykazywanie przez obiekt w postaci nanometrycznej właściwości, które nie występują w większej skali.

Właściwością charakterystyczną nanocząstek jest także znacznie bardziej rozwinięta powierzchnia właściwa w porównaniu z tradycyjnymi materiałami. Na przykład powierzchnia właściwa cząsteczek nanopochodnych krzemu,

zawartych w objętości równej objętości kropli deszczu, jest w przybliżeniu równa powierzchni dużego boiska piłkarskiego.

Pojęciem szerszym w stosunku do pojęcia nanocząstki jest nanomateriał. Jest to materiał zbudowany z elementów nanometrycznych, o rozmiarach około 0,2-100 nm.

Materiały nanometryczne i cząstki nanometryczne wykazują właściwości, które nie występują w tych samych materiałach w skali makro. Te unikatowe cechy stanowią o właściwościach użytkowych produktów wytwarzanych przez nanotechnologie, których nie można uzyskać przy zastosowaniu tradycyjnych materiałów. Stąd też tak duże zainteresowanie świata technicznego nanoobjektami, intensywny rozwój nanotechnologii oraz duże środki przeznaczane na badania.

Nanocząstki i nanomateriały zachowują właściwości fizykochemiczne charakterystyczne dla skali makro, a dodatkowo posiadają zespół oryginalnych cech, co związane jest z rozmiarem cząstek. Z jednej strony z racji wielkości podlegają one już nie tylko prawom fizyki klasycznej, ale są dla nich właściwe także zachowania opisywane przez fizykę kwantową. Wykazują cechy, zwłaszcza elektryczne i optyczne, znacznie różne od materiałów w rozmiarach makrometrycznych. Dualizm charakteru nanocząstek stanowi jedną z największych zalet tego rodzaju obiektów. Dodatkowo nanocząstki posiadają rozmiary, które pozwalają im między innymi na przenikanie przez większość barier, również tych na poziomie bioorganicznym. Powstanie narzędzi sterowania nanoobjektami (w tym mikroskopów nanoskali) pozwala na wykorzystanie niewielkich wymiarów nanocząstek jako ich charakterystycznej cechy w wielu dziedzinach. Szczególnie istotne jest ich zastosowanie w medycynie precyzyjnej.

Wszelkie zastosowania i wykorzystania nanotechnologii muszą odpowiadać wysokiemu poziomowi ochrony zdrowia publicznego, bezpieczeństwa konsumentów i pracowników oraz środowiska, ustalonemu przez Unię Europejską. Liczba produktów na bazie nanotechnologii na rynku szybko rośnie. Nanocząsteczki istnieją w przyrodzie lub mogą być wytwarzane w wyniku ludzkiej działalności w sposób zamierzony lub niezamierzony. Biorąc pod uwagę fakt, że mniejsze cząsteczki mają większe pole powierzchni reaktywnej na jednostkę masy niż większe cząsteczki, to ich toksyczność i potencjalne oddziaływanie na zdrowie może również wzrosnąć [2]. Nanomateriały stanowią obecnie jedną z najdynamiczniej rozwijających się grup materiałów. Korzyści wynikające z ich stosowania wynikają z faktu, że wykazują one szereg specyficznych właściwości niezwykle przydatnych do zastosowań praktycznych.

Zagrożenia i działania niepożądane nanocząstek

Sprzęt ochrony układu oddechowego należy do szczególnego rodzaju środków ochrony indywidualnej (ŚOI) najczęściej chroniących przed zagrożeniami, których skutek może być odwrócony w czasie. Jeżeli skaleczymy się nie stosując

rękawic chroniących przed przecięciem, np. podczas pracy w masarni, skutek będzie natychmiastowy. Natomiast jeżeli toksyczne substancje przedostaną się do naszego organizmu przez układ oddechowy podczas wdychania powietrza, to skutek ich szkodliwego oddziaływania może pojawić się dopiero po kilku dniach, miesiącach czy latach, czego przykładem jest pylica płuc.

Dlatego tak ważne jest uświadomienie sobie potencjalnego zagrożenia, z jakim mamy do czynienia przy kontakcie z nanoobjektami i nanoaerozolami. Poniżej podajemy kilka informacji dotyczących szkodliwego oddziaływania nanocząstek na żywe organizmy.

Badania *in vivo* na zwierzętach oraz *in vitro* na komórkach ludzkich poddanych działaniu nanocząstek wykazały, że małe cząstki są bardziej toksyczne niż duże. W niektórych przypadkach ich reaktywność zależy od pola powierzchni, a nie od masowego stężenia wdychanych cząstek. Wykazano również, że cząstki mogą powodować niekorzystny wpływ na zdrowie człowieka i zwierząt [3]. W celu oceny ryzyka kontaktu z nanomateriałami należy najpierw w pełni poznać ich właściwości fizykochemiczne. Ze względu na swój rozmiar nanoproszki mogą różnie reagować z otaczającym światem. Przykładem może tu być oddziaływanie w powietrzu. Siła grawitacji działa na cały otaczający nas świat, jednak sposób oddziaływania powietrza z cząstkami jest różny w zależności od ich wielkości, np. cząsteczka o wielkości 10 μm będzie pokonywać dystans 1 m w powietrzu przez 5,4 min, podczas gdy cząsteczka o wielkości 10 nm pokona tę odległość w 13 dni. Wynika to z tego, że mechanizm ruchu nanocząstek w powietrzu spowodowany jest dyfuzją, a nie siłami bezwładności.

Czas unoszenia się w powietrzu cząstek jest różny w zależności od ich wielkości. Im cząstka mniejsza, tym dłużej unosi się w powietrzu, co również ma bardzo duży wpływ na zwiększenie zagrożenia nanocząstkami, w tym wirusami.

Oceny toksyczności nanocząstek dokonuje się w odniesieniu do poszczególnych organizmów: ssaków, bakterii, pierwotniaków, skorupiaków, glonów, roślin [4,5]. Toksyczność dla grupy ssaków bada się głównie u gryzoni (myszy, szczury). Bardzo niewiele jest prób oceny stanu zdrowia ludzi narażonych zawodowo. Nieliczne badania prowadzone na ludzkich liniach komórkowych metodą kometową ujawniły wyraźne uszkodzenia DNA. U eksperymentalnych gryzoni, nanocząstki TiO_2 oraz Au wywołują zmiany w węzłach chłonnych, wątrobie i mięśni sercowym. Nanocząstki Ag , Fe , Ti uszkadzają mitozę komórkową [6]. Nanocząstki srebra gromadzą się w narządach wewnętrznych, łatwo przechodzą przez barierę krew-mózg. Nanocząstki mogą wywierać również efekt genotoksyczny w sposób bezpośredni (stres oksydacyjny) i pośredni (reakcje zapalne). Dotyczy to głównie nanocząstek tlenku cynku, dwutlenku krzemu, dwutlenku tytanu i nanorurek [7]. Do organizmów przenikają one drogą wziewną, przezskórną oraz przez przewód pokarmowy. Zasadniczy mechanizm niepożądanego działania polega na wywoływaniu stresu oksydacyjnego w wyniku gromadzenia się

nanocząstek w komórkach. Stres oksydacyjny wywołuje dysfunkcję organelli komórkowych, zaburzenia transportu elektronów w mitochondriach.

Nanocząstki projektowane mogą wywoływać uszkodzenia DNA. Wskazują na to wyniki testu kometowego wykonane na liniach komórkowych (ssaki, skorupiaki, ryby) poddanych działaniu nano S_2O_2 , Cu , ZnO . Nie wyklucza się genotoksycznego działania, zwłaszcza nanocząstek tlenku cynku, dwutlenku krzemu, dwutlenku tytanu i nanorurek [8]. Działanie nanocząstek zależy w dużej mierze od drogi wchłaniania [9]. Niepożądany wpływ cząstek o wymiarach nanometrycznych może pojawić się na wielu stanowiskach pracy. Znaczne zagrożenia zdrowia występują w laboratoriach placówek naukowych zajmujących się nanoproblematyką, w szczególności syntetyzowaniem projektowanych nanocząstek, przydatnych w nanotechnologii.

Nie mniejsze zagrożenia dotyczą sektora otrzymywania nanokompozytów na skalę przemysłową. Kontakt z nanocząstkami występuje przy obsłudze wszystkich procesów technologicznych z udziałem nanomateriałów. Narażenie występuje nie tylko w toku produkcji wyrobów z udziałem nanokomponentów, ale również podczas pakowania, transportu, magazynowania gotowych produktów. Do znacznej emisji nanocząstek dochodzi w trakcie szlifowania, cięcia, wiercenia, remontów, ręcznego spryskiwania nanofarbami. Szczególnie zagrożony może być personel medyczny placówek onkologicznych stosujących niektóre leki przeciwnowotworowe – cytostatyki. Nanocząstki emitowane są w odlewniach żeliwa, podczas spawania, wytapiania, zgrzewania, wulkanizacji, lutowania oraz w trakcie innych procesów technologicznych wymagających obróbki w wysokiej temperaturze [11].

Do powstawania nanocząstek dochodzi także podczas spawania i procesów pokrewnych z materiałów dodatkowych, materiału podstawowego i jego powłok ochronnych, gazów ochronnych i otaczającego powietrza pod wpływem wysokiej temperatury lub promieniowania UV. Zachodzą wtedy takie procesy fizykochemiczne, jak: odparowanie, utlenianie, kondensacja, rozkład, spalanie, w wyniku których powstają dymy, pyły i gazy. W trakcie spawania, które jest procesem termicznym cząstki stałe tworzą się na skutek kondensacji par, częściowo połączonej z procesami chemicznymi, np. utleniania, lub przez niepełne spalanie substancji organicznych. Szczególnie drobne cząstki powstają w procesach lutowania i spawania w osłonie gazów ochronnych, a większe w metodach spawania elektrodą otuloną i drutem proszkowym z odparowania żużla. Źródłem nanocząstek mogą być również pyły wytwarzane na skutek obróbki mechanicznej, w ostrzeniu, frezowaniu lub skrawaniu. Na skutek szlifowania lub ścierania uwalniane są cząsteczki o wielkości 1 μm lub mniejsze, nieprzekraczające wielkości 100 nm.

Narażenie na nanocząstki występuje również w rolnictwie, gdzie pojawiają się bioaerozole w postaci pyłków roślinnych, mąki piekarniczej, endotoksyn, wirusów, których wielkość osiąga

wymiar nawet do 0,1 nm [12]. Nanocząsteczki emitowane z pieców piekarniczych mogą wchodzić w skład dymów w wędzarniach. Wielkość uwalnianych cząstek w tych procesach mieści się w granicach 14-673 nm, z czego większość stanowią cząstki o średnicy 160-300 nm. Całkowite stężenie cząstek oszacowano na 500 000-2 500 000 cząstek na 1 cm³. Liczba cząsteczek mierzona w strefie oddychania spawaczy podczas standardowych czynności wynosiła 7,78 x 10⁵ cząsteczek na 1 cm³ przy średniej średnicy cząstki 181 nm [12].

Świdwińska-Gajewska przeanalizowała występowanie nanocząsteczek na różnych stanowiskach pracy [13]. Stwierdziła, że narażenie na cząstki o średnicy powyżej 100 nm występuje podczas skrawania metali, spawania, lutowania, w piekarniach oraz na lotniskach. Najwyższe stężenie cząstek w powietrzu obserwuje się na stanowiskach spawacza, gdzie wielkość cząstek, występujących w maksymalnym stężeniu, nie przekracza 600 nm. Narażenie na pyły sadzy technicznej badano w zakładach produkcyjnych na różnych stanowiskach, począwszy od pracownika administracyjnego, poprzez operatora aparatury kontrolno-pomiarowej, mechanika przyrządów, nadzorcę procesu, monterę, spawacza, operatora pieca, procesu i przenośnika, skończywszy na magazynierze i ekipie sprzątającej. Najniższe stężenie zaobserwowano na stanowiskach administracyjnych – ok. 0,17 mg/m³, a najwyższe na stanowisku magazyniera – 4,04 mg/m³ [13]. Podobne wyniki opisano w pracy Gardinera i in., gdzie najniższe narażenie na pyły sadzy występowało na stanowiskach administracyjnych, natomiast najwyższe zaobserwowano wśród pracowników magazynu [14].

Nanorurki węglowe CNT uważane są za jeden z najbardziej obiecujących materiałów w nanotechnologii. Odnaczają się atrakcyjnymi właściwościami, dzięki czemu są stosowane w wielu gałęziach przemysłu. Różne metody syntezy, oczyszczania i procesowej obróbki CNT prowadzą do otrzymania CNT o zróżnicowanych właściwościach fizycznych, które mogą znaleźć szerokie zastosowanie. Mogą być wykorzystywane m.in. w materiałach kompozytowych i medycznych oraz w materiałach magazynujących energię. Nanorurki węglowe powodują jednak toksyczną reakcję w organizmie po zajęciu płuc, która zależy od czasu ekspozycji i dawki.

Autorzy pracy dokonali przeglądu dostępnej literatury na temat potencjalnego zagrożenia zdrowia ludzkiego i środowiska nanorurkami węglowymi [15]. Przedstawili badania prowadzone nad cyklem życia CNT, począwszy od momentu uwolnienia ich do środowiska na etapie produkcji po wykorzystanie gotowego produktu. Emisja nanorurek węglowych w zależności od zastosowania występuje na wszystkich etapach cyklu życia produktu, takich jak synteza, produkcja półproduktów, dalsze przetwarzanie, użycie produktu i rozkład. Emisja CNT z miejsca produkcji do otaczającego powietrza zależy od procesu kontroli, procedur obsługi (rozlewanie, pakowanie), sprzątania itp. Procedury te mogą prowadzić do uwolnienia nanorurek do ścieków. Różne efekty obserwowane w badaniach najprawdopo-

Tabela 1. Fizyczne właściwości przykładowych grup wirusów [25]

Table 1. Physical properties of selected groups of viruses [25]

Rodzina	Kształt	Średnica, nm
Circoviridae	sferyczny	17-22
Adenoviridae	sferyczny	75-80
Reoviridae	sferyczny	60-80
Caliciviridae	sferyczny	35-39
Paramyxoviridae	sferyczny-pleomorficzny	150-300
Retroviridae	sferyczny-pleomorficzny	90-120
Coronaviridae	sferyczny	80-160

Tabela 2. Proponowane wartości NDS w odniesieniu do substancji występujących w postaci nanocząstek zawieszonych w powietrzu

Table 2. Proposed NDS values in regard of substances in the form of nanoparticles suspended in the air

Nanomateriał	Parametr	Proponowane NDS	Oszacowane DNEL ¹
TiO ₂	cząstki < 100 nm	0,1 mg/m ³	
TiO ₂	cząstki - 20 nm chroniczne wdychanie		0,017 mg/m ³
MW CNT ²	Baytubes/Bayer	0,05 mg/m ³	
MW CNT	cząstki - 10-20 nm krótkotrwałe wdychanie chroniczne wdychanie		0,201 mg/m ³ 0,033 mg/m ³
MW CNT ²	Nanocyl	0,0025 mg/m ³	
SW CNT ³		0,007 mg/m ³	
Fuleren		0,8 mg/m ³	
Fulereń	krótkotrwałe wdychanie chroniczne wdychanie		4,44 mg/m ³ 0,27 mg/m ³
Toner fotokopiarek		0,006 mg/m ³	
Granulowane materiały odporne biologicznie ⁴	gęstość > 6000 kg/m ³ cząstki < 100nm	20 tys. cząstek/cm ³	
Granulowane materiały odporne biologicznie	gęstość < 6000 kg/m ³ cząstki < 100 nm	40 tys. cząstek/cm ³	
Ag	cząstki < 100 nm	0,01 mg/m ³	

¹ DNEL (ang. *Derived No-Effect Level*) – pochodne poziomy niepowodujące zmian w organizmie.

² MW CNT – wielościennie nanorurki węglowe.

³ SW CNT – jednościenne nanorurki węglowe.

⁴ Materiały, które mają tendencję do pozostawania w organizmie biologicznym, zamiast być wydalane lub rozkładane, np. tlenki metali.

dobniej wynikają z właściwości poszczególnych nanorurek węglowych.

Badania podkreślają konieczność prowadzenia dalszych badań etotoksyczności, gdyż CNT mogą wywoływać stres oksydacyjny, zapalenie i uszkodzenie komórek. Ponadto mogą mieć negatywny wpływ na wydajność komórek, a przy długoterminowej ekspozycji wywoływać patologiczne skutki, takie jak ziarniaki, zwłóknienie, pogrubienie ścianek. Efekty te były zauważalne w zależności od dawki i czasu ekspozycji. Szczegółową analizę zagrożeń nanowłóknami węglowymi w małej fabryce zatrudniającej 10 osób w Stanach Zjednoczonych przedstawiono w pracy z 2009 r. [16].

Największe zagrożenie nanorurkami występuje podczas operacji wykańczania czy cięcia włókien, które mogą spowodować mokre lub suche otarcia (rozdarcia) ich fragmentów. Podczas użytkowania niszczenie matrycy materiału w tkaninach kompozytowych może spowodować uwalnianie CNT, ponieważ nanorurki są ekstremalnie stabilne i nie są degradowane w takim samym stopniu co polimery.

Wirusy jako nanocząstki w procesie filtracji traktowane są tak samo, jak zwykłe nanocząstki o określonym rozmiarze i kształcie. Rozmiar jest

głównym czynnikiem mającym wpływ na skuteczność filtracji. Większość wirusów ma kształt sferyczny lub polimorficzny. W tabeli 1. zestawiono przykłady grup wirusów wraz z ich średnicą i kształtem.

Analiza ryzyka i dobór sprzętu ochrony układu oddechowego

Badania naukowe mające na celu oszacowanie ryzyka związanego z niebezpieczeństwem wdychania nanocząstek udowodniły, że ich liczba i pole powierzchni odgrywają istotną rolę w rozwoju zapalenia płuc wśród pracowników. Pomimo prowadzonych dotąd badań, nadal nie ma jasnych wytycznych umożliwiających ilościową ocenę istniejącego zagrożenia [6]. Toksyczność poszczególnych nanocząstek jest bardzo zróżnicowana, dlatego nie można ustalić wspólnego kryterium. Każda nanocząstka w zależności od materiału, z którego została utworzona (C, Ti, Ag, Au, Cd), charakteryzuje się inną strukturą, kształtem, powierzchnią, właściwościami fizycznymi i chemicznymi, rozpuszczalnością, cytotoxycznością [17,18].

Informacje o niepożądanym działaniu nanocząstek uzyskane z badań doświadczalnych na ssakach wskazują na prawdopodobieństwo zagrożeń

Tabela 3. Ocena ryzyka wobec aerozoli zawierających nanocząstki
 Table 3. Risk assessment of aerosols containing nanoparticles

Dane stanowisk pracy	Ocena ryzyka/Dobór typu i klasy sprzętu ochrony układu oddechowego		
	1. stopień	2. stopień	3. stopień
	Ryzyko małe	Ryzyko średnie	Ryzyko duże
Czas narażenia < 8 godz./dobę i < 40 godz./tydzień i Stężenie substancji szkodliwych < NDS lub DNEL	brak konieczności stosowania sprzętu ochrony układu oddechowego		
Czas narażenia > 8 godz./dobę lub > 40 godz./tydzień i Stężenie substancji szkodliwych < NDS lub DNEL		istnieje konieczność stosowania sprzętu ochrony układu oddechowego półmaski filtrujące klasy FFP3 lub półmaski z filtrami klasy P3	
Czas narażenia < 8 godz./dobę i < 40 godz./tydzień i Stężenie substancji szkodliwych < 9 x NDS lub DNEL		istnieje konieczność stosowania sprzętu ochrony układu oddechowego półmaski filtrujące klasy FFP3 lub półmaski z filtrami klasy P3	
Czas narażenia > 8 godz./dobę lub > 40 godz./tydzień lub Stężenie substancji szkodliwych > 9 x NDS lub DNEL			istnieje konieczność stosowania sprzętu ochrony układu oddechowego maska z filtrami klasy P3 lub filtrujący sprzęt z wymuszonym przepływem powietrza wyposażony w maskę klasy TM3 lub filtrujący sprzęt z wymuszonym przepływem powietrza wyposażony w kaptur klasy TH3
Brak propozycji NDS lub brak oszacowania DNEL dla substancji występujących na stanowisku pracy			istnieje konieczność stosowania sprzętu ochrony układu oddechowego maska z filtrami klasy P3 lub filtrujący sprzęt z wymuszonym przepływem powietrza wyposażony w maskę klasy TM3 lub filtrujący sprzęt z wymuszonym przepływem powietrza wyposażony w kaptur klasy TH3
Narażenie na kontakt z wirusami Niezależnie od czasu narażenia			istnieje konieczność stosowania sprzętu ochrony układu oddechowego półmaska filtrująca klasy FFP3 maska z filtrami klasy P3 lub filtrujący sprzęt z wymuszonym przepływem powietrza wyposażony w maskę klasy TM3 lub filtrujący sprzęt z wymuszonym przepływem powietrza wyposażony w kaptur klasy TH3

zdrowia w narażeniu zawodowym. Mimo wielu ukierunkowanych starań, dotąd nie ma ani wiarygodnej oceny istniejącego zagrożenia, informacji o liczbie narażonych zawodowo, ani o stężeniach nanocząstek na najbardziej zagrożonych stanowiskach [19]. Na obecnym etapie badań nie rozporządzamy metodami wiarygodnej oceny toksyczności poszczególnych rodzajów nanocząstek, ponieważ nie wiemy dokładnie, jakie właściwości danej nanocząstki decydują o jej toksyczności – stężenie liczbowe, masa, rozmiar, powierzchnia czy kształt. Dlatego w ramach OECD stworzono grupy robocze, których zadaniem jest zwrócenie uwagi na wpływ nanomateriałów na środowisko.

Obecność nanomateriałów w produktach roślinie, a pracownicy mogą wejść w kontakt z nanomateriałami, gdy używają przedmiotów zawierających nanomateriały.

Istnieją trzy główne drogi narażenia na nanocząstki w miejscu pracy.

- **Wdychanie** – najczęstsza droga narażenia. Narażenie przez układ oddechowy może wystąpić na przykład w czynnościach generujących pył (cięcie, piaskowanie, wiercenie lub obróbka skrawaniem) lub w innych procesach, które mogą powodować tworzenie się aerozolu.

- **Przenikanie przez skórę.** Nienaruszona skóra jest ogólnie uważana za dobrą barierę przed cząstkami, w tym nano. Jednak przenikanie nanocząstek przez uszkodzoną lub chorą skórę jest możliwe.

- **Połykanie** nanocząstek jest najczęściej skutkiem przeniesienia cząstek z rąk do ust z zanieczyszczonych powierzchni. Wnikanie cząstek przez układ pokarmowy może również towarzyszyć narażeniu inhalacyjnemu, jeśli część wdychanych cząstek jest transportowana z dróg oddechowych do ust i połykana.

- **W przypadku wirusów** zakażenie może nastąpić wszystkimi możliwymi drogami: przez kontakt bezpośredni, powietrze, wodę, wydzie-

liny i wydaliny. Głównymi drogami wchłaniania do organizmu są jednak błony śluzowe i droga inhalacyjna. Dlatego tak istotna jest prawidłowa ochrona układu oddechowego.

Narażenie pracowników na nanocząstki może wystąpić podczas całego cyklu życia produktów nano- i we wszystkich fazach ich produkcji, na przykład podczas:

- procesu produkcji nanomateriałów
- produkcji wyrobów zawierających nanomateriały
- pracy z produktami zawierającymi nanomateriał
- przetwarzania produktu zawierającego nanomateriały
- stosowania aerozoli zawierających nanomateriały (na przykład do powlekania lub malowania)
- czyszczenia i konserwacja elementów zawierających nanomateriały
- procesów rozbiórki i likwidacji.

Czynniki wpływające na narażenie na nanocząstkę związane są z takimi aspektami, jak:

- forma materiału: czy nanomateriał jest „wolny” lub związany z innymi ciałami, np. cieczą
- zdolność uwalniania się nanocząstek z produktu podczas przetwarzania
- ilość używanego materiału
- częstotliwość i czas pracy
- stosowane środki zarządzania ryzykiem
- ilość materiału biologicznego – wirusów.

Ponieważ nie znamy ostatecznego wpływu nanomateriałów na zdrowie ze względu na brak danych toksykologicznych dotyczących nanomateriałów, narażenie pracownika powinno zostać zmniejszone do minimum. W celu zapewnienia pracownikom najwyższej możliwej ochrony przed nanocząstkami pracodawcy powinni dysponować maksimum wiedzy na temat składu nanomateriałów i możliwości generowania, powstawania nanoaerozoli. Dzięki temu będą mogli zidentyfikować potencjalne źródła narażenia i przeprowadzić ocenę ryzyka.

W odniesieniu do pracowników narażonych na nanomateriały należy stosować nadzór medyczny, wskazane jest też utworzenie rejestru ekspozycji. Wszyscy pracownicy mający kontakt z nanomateriałami i narażeni na nanoaerozole powinni przejść odpowiednie szkolenie i być na bieżąco informowani o istniejącym zagrożeniu i metodach ograniczenia ryzyka, w tym stosowaniu ochron układu oddechowego. Jednak przed zastosowaniem sprzętu ochrony układu oddechowego należy pamiętać o podstawowej kolejności podejmowania działań mających na celu wyeliminowanie lub ograniczenie ryzyka. SOI są ostatnim ogniwem systemu ochrony zdrowia i życia człowieka w środowisku pracy i powinny być używane wówczas, gdy zawiodą inne działania.

Ze względu na brak zdefiniowanych wartości NDS w odniesieniu do większości substancji chemicznych występujących w postaci aerozoli zawierających nanocząstki, w doborze odpowiedniego typu sprzętu ochrony układu oddechowego należy kierować się podobnymi zasadami, jak w przypadku aerozoli zawierających substancje rakotwórcze.

W tabeli 2. zestawiono proponowane wartości NDS odnoszące się do najczęściej spotykanych substancji występujących w postaci nanoaerozoli [20-24]. Przywołano również przykładowe wartości DNEL (ang. *Derived No-Effect Level* – pochodne poziomy niepowodujące zmian w organizmie), które zostały oszacowane w odniesieniu do niektórych substancji [20-24].

Biorąc pod uwagę wymienione aspekty, należy dokonać oceny ryzyka narażenia pracowników na wdychanie substancji szkodliwych. Narzędzie wspomagające taką analizę przedstawiono w tabeli 3., zawierającej trzystopniową skalę oceny ryzyka ułatwiającą dobór odpowiedniego sprzętu ochrony układu oddechowego. Dodatkowo wyodrębniło zagrożenie w postaci wirusów.

Przy doborze sprzętu ochrony układu oddechowego należy wziąć pod uwagę wartość wskaźników ochrony określoną dla poszczególnych typów sprzętu ochrony układu oddechowego.

Zalecenia dotyczące doboru filtrującego sprzętu przeznaczonego do ochrony przed nanocząstkami – w tym wirusami

Najbardziej skutecznym rozwiązaniem ochrony układu oddechowego przed nanoaerozolami (w tym wszelkimi wirusami) jest filtrujący sprzęt ze wspomaganie przepływu, skompletowany z maską lub półmaską.

Godne polecenia jest także stosowanie tego typu rozwiązań podczas prowadzenia prac w zanieczyszczonej atmosferze połączonej z uciążliwymi warunkami klimatycznymi, gdyż dodatkowy nadmuch powoduje poprawę komfortu oddychania dzięki zmniejszeniu się oporów oddychania i dodatkowemu chłodzeniu.

Sprzęt oczyszczający z wymuszonym przepływem powietrza, skompletowany z kapturem lub hełmem, jest kolejnym rozwiązaniem zapewniającym ochronę na odpowiednim poziomie. W tym przypadku jednak luźno dopasowane części twarzowe kompletowane z elementami filtrującymi wymagają znacznego nadciśnienia, które wytwarzane pod częścią twarową przez dmuchawę uniemożliwia przedostawanie się zanieczyszczeń powietrza do jej wnętrza. Mimo niższej skuteczności w porównaniu ze sprzętem ze wspomaganie, ochrony z wymuszonym przepływem powietrza stanowią interesującą propozycję, głównie ze względu na różnorodność rozwiązań części twarzowych, które często umożliwiają jednoczesną ochronę układu oddechowego, oczu, twarzy, a także głowy użytkownika.

Kolejnym typem sprzętu są maski lub półmaski skompletowane z filtrami klasy P3, najlepiej kapsułowanymi, wykonanymi z plisowanej włókniny o znacznej powierzchni filtracyjnej. Ma to wpływ na obniżenie oporów oddychania i wzrost skuteczności ochrony całego układu. Pamiętać należy, że ten sam filtr klasy P3 w połączeniu z maską zapewni ochronę co najmniej 10-krotnie wyższą niż w połączeniu z półmaską. Decyduje o tym całkowity przeciek wewnątrz kompletnego zestawu, wielokrotnie niższy w przypadku maski.

Najmniej rekomendowane jest stosowanie półmasek filtrujących. Wynika to z ich wysokich wartości całkowitego przecieku wewnętrznego i niskich wartości wyznaczonego wskaźnika ochrony APF, którego wartość na poziomie 10 jest analogiczna dla półmasek filtrujących klasy FFP2 i FFP3.

Półmaski filtrujące przeznaczone do ochrony przed nanocząstkami, biorąc pod uwagę charakter zagrożenia i jego możliwe konsekwencje dla osób narażonych, powinny odznaczać się najwyższą skutecznością i ergonomią.

Jeżeli jednak pracodawca zdecyduje się na stosowanie półmasek filtrujących do ochrony przed nanoaerozolami, to powinien wybrać półmaski filtrujące klasy FFP3 wyposażone w zawór wydechowy, regulowane taśmy nagłowia i uszczelkę na całym obwodzie czaszy, doszczelniającą półmaskę do twarzy użytkownika. Przy doborze półmasek filtrujących zdecydowanie zaleca się

przeprowadzenie badania ich dopasowania do twarzy konkretnego użytkownika poprzez wyznaczenie rzeczywistego wskaźnika ochrony.

Podsumowując, przedstawiamy listę zalecanych typów sprzętu filtrującego do ochrony układu oddechowego przed nanoaerozolami w hierarchii jego skuteczności:

1. sprzęt filtrujący ze wspomaganie przepływu powietrza klasy **TM3**
2. sprzęt filtrujący ze wspomaganie przepływu powietrza klasy **TH2**
3. sprzęt filtrujący z wymuszonym przepływem powietrza klasy **TH3**
4. sprzęt filtrujący z wymuszonym przepływem powietrza klasy **TH2**
5. maski skompletowane z filtrami klasy **P3**
6. półmaski skompletowane z filtrami klasy **P3**
7. półmaski filtrujące klasy **FFP3**.

Podsumowanie

W celu uzyskania optymalnej ochrony układu oddechowego przed nanocząstkami, oprócz przeprowadzenia standardowej procedury doboru należy pamiętać, aby część twarzowa była odpowiednio dopasowana do twarzy użytkownika.

Prawidłowe dopasowanie części twarzowej ma szczególne znaczenie w przypadku ochrony przed nanoaerozolami.

Podobnie jak linie papilarne, każdy człowiek ma niepowtarzalną twarz, różniącą się rozmiarem, kształtem i różnymi cechami charakterystycznymi. Ponadto istotne są aspekty związane z pochodzeniem etnicznym, co w sumie daje bardzo obszerny zbiór kształtów twarzy. Potwierdza to konieczność prowadzenia oceny dopasowania części twarzowej dla każdego użytkownika w celu zapewnienia wymaganego poziomu ochrony przed zanieczyszczeniami występującymi na stanowiskach pracy. Sprzęt filtrujący tzw. „szczelnie dopasowany” (np. półmaski filtrujące, maski i półmaski) nie powinien być stosowany przez osoby posiadające zarost lub blizny, uniemożliwia to bowiem prawidłowe dopasowanie części twarzowej.

Sprzętu ochrony układu oddechowego nie powinny stosować osoby cierpiące na choroby układu oddechowego, np. astmę.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Warunki pracy w 2018 r. Główny Urząd Statystyczny, Informacje i opracowania statystyczne, Warszawa 2019.
- [2] Royal society and royal academy of engineering. Nanoscience and Nanotechnologies: Opportunities and Uncertainties, Londyn: The Royal Society, 2004.
- [3] BROCHOCKA, A., MAKOWSKI, K. Półmaski filtrujące do ochrony układu oddechowego przed aerozolami zawierającymi nanocząstki, PRZEMYSŁ CHEMICZNY, 2014, 93, 1: 93-98.
- [4] GE, Y., SCHIMMEL, J.P., HOLDEN, P.A. Evidence for negative effects of TiO₂ and ZnO nanoparticles on soil bacterial communities. *Environ Sci Technol* 2011, 45: 1659-1664.
- [5] WANG, B., FENG, W.Y., WANG, T.C., et al. Acute toxicity of nano and micro-scale zine powder in healthy adult mice. *Toxicol Lett* 2006 161: 115-123.
- [6] KAPUŚCIK, A. Produkcja w skali „nano”. *Inspektor Pracy* 2006, 10: 11-13. GONZALES, L., LISON, D., KIRSCH-VOLDERS, M. Genotoxicity of engineered nanomaterials. A critical review. *Nanotoxicol* 2008, 2, 4: 252-273.

[7] LIN, N., XIA, T., NEL, A.E. The role of oxidative stress in ambient particulate matter induced lung disease and its implications in the toxicity of engineered nanoparticles. *Free Radic Biol Med* 2008, 44: 1689-1699.

[8] HRISTOZOV, D., MALSCH, I. Hazard and Risk of Engineered Nanoparticles for the Environment and Human Health Sustainability 2009, 1: 1161-1194.

[9] CHENG, Y.H., CHAO, Y.C., WU, C.H., et al. Measurement of ultrafine particles concentrations and size distribution in an iron foundry. *J Hazard Mater* 2008, 158,1: 124-130.

[10] PAWLA K., LANGAUER, H. Nanoparticles, nanotechnology – potential environmental and occupational hazards. *Medycyna Środowiskowa – Environmental Medicine* 2014, Vol. 17, no. 2: 7-14.

[11] LUTHER, W. Technological Analysis: Industrial Application of Nanomaterials – chances and risks. Future Technologies Division, VDI Technologiezentrum GmbH, Dusseldorf, 2004.

[12] LEE, M.H., 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, 9,1: 127-136.

[13] ŚWIDWIŃSKA-GAJEWSKA, A.M. Nanocząstki (część 1) – Produkt nowoczesnej technologii i nowe zagrożenie w środowisku pracy – *Medycyna Pracy* 2007, 58,3:243-251.

[14] GARDINER, K., CALVERT, I.A., VANTONGEREN M.J., HARRINGTON, J.M. Occupational exposure to carbon black in its manufacture. *Ann. Occup. Hyg.* 1996, 40: 66-77.

[15] HELLAND, A. WICK, P. KOEHLER, A., SCHMID, K. SOM, C. – Reviewing the Environmental and Human Health Knowledge Base of Carbon Nanotubes. *Environmental health perspectives* 2007, 115 8.

[16] GENAIDY, A. SEQUEIRA, R., RINDER, M., REHIM, A.A. Risk analysis and protection measures in carbon nanofiber manufacturing enterprise: An Exploratory Investigation. *Science of the Total Environment* 2009, 407: 5825-5838.

[17] BUJAK-PIETREK, S. Narażenie na nanocząstki w środowisku pracy jako zagrożenie dla zdrowia. *Problemy oceny ekspozycji zawodowej. Medycyna Pracy* 2010, 61,2: 183-189.

[18] BYSTRZEJEWSKA-PIOTROWSKA G., GOLIMOWSKI J., URBAN PL. Nanoparticles: their potential toxicity, waste and environmental management. *Waste Management* 2009, 29: 2587-2595.

[19] MOHLMANN, C. German Activity on the Ultra fine Particles in the Workplaces. First International Symposium on Occupational Health Implications of Nanomaterials 12-14 October 2004, Buxto, Derbyshire.

[20] SCHULTE P.A., MURASHOV V., ZUMWALDE R., KUEMPEL E.D., GERACI, C.L. Occupational exposure limits for nanomaterials: state of the art. *J. Nanopart. Res.* 2010, 12: 1971-1987.

[21] The Japan society for occupational health. Recommendation of Occupational Exposure Limits (2018-2019). *J. Occup. Health.* 2018, 60: 419-452.

[22] ŚWIDWIŃSKA-GAJEWSKA, A.M., CZERCZAK, S. Nanosrebro – dopuszczalne poziomy narażenia zawodowego. *Medycyna Pracy* 2015, 66,3: 429-442.

[23] ŚWIDWIŃSKA-GAJEWSKA, A.M., CZERCZAK, S. Nanocząstki ditlenku tytanu – dopuszczalne poziomy narażenia zawodowego. *Medycyna Pracy* 2014, 65,3: 407-418.

[24] VAN BROEKHUIZEN, P. VAN VEELLEN W., STREEKSTRA, W.H., SCHULTE P., REIJNDERS, L. Exposure limits for nanoparticles: report of an international workshop on nano reference values. *Ann. Occup. Hyg.* 2012, Jul 56,5: 515-524.

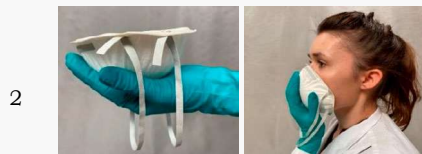
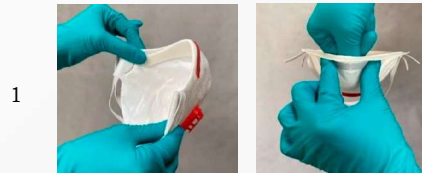
[25] BARON, S. *Medical Microbiology Edition: 4th Chapter 41 Structure and Classification of Viruses* Hans R. Gelderblom University of Texas Medical Branch at Galveston, January 1996.

Publikacja opracowana na podstawie wyników IV etapu programu wieloletniego pn. „Poprawa bezpieczeństwa i warunków pracy”, sfinansowanego w latach 2017-2019 w zakresie zadań służb państwowych przez Ministerstwo Rodziny, Pracy i Polityki Społecznej. Koordynator programu: Centralny Instytut ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy.

ZAKŁADANIE PÓLMASEK FILTRUJĄCYCH

UWAGA:

- ✓ Półmaski filtrujące mogą być stosowane tylko przez osoby nie posiadające zarostu!
- ✓ Blizny lub noszone okulary mogą uniemożliwić prawidłowe dopasowanie półmaski do twarzy!
- ✓ Używaj rękawiczek w trakcie lub myj ręce po: każdym zdjęciu/założeniu półmaski filtrującej oraz każdym poprawieniu jej dopasowania podczas pracy!



- ✓ Jeżeli półmaska jest typu składanego rozłóż ją
- ✓ Jeżeli półmaska wyposażona jest w zacisk nosowy, zegnij go w pół na kciuku

- ✓ Ułóż półmaskę na dłoni tak, aby zacisk nosowy/uszczelka nosowa znajdowały się na końcach palców
- ✓ Przyłóż półmaskę do twarzy (taśmy nagłowia powinny swobodnie zwiisać z przodu)

- ✓ Załóż taśmy nagłowia:
 - (1) szyjną
 - (2) potyliczną

- ✓ Wyreguluj/zwiąż taśmy nagłowia tak, aby półmaska nie przesuwiała się i ściśle przylegała do twarzy
- ✓ Upewnij się, że pomiędzy twarzą a półmaską nie dostały się włosy, biżuteria ani żadne elementy odzieży
- ✓ Ponownie sprawdź położenie półmaski na twarzy

- ✓ Jeżeli półmaska ma zacisk nosowy, dopasuj go do nosa tak, aby zapewnić szczelność przylegania

SPRAWDZENIE PRZYLEGANIA PÓLMASEK FILTRUJĄCYCH



- ✓ Zakryj półmaskę dłońmi i wykonaj szybki wdech – półmaska powinna się docisnąć do twarzy lub lekko zapaść
- ✓ Jeżeli poczujesz powietrze napływające do półmaski na jej obrzeżu - półmaska nie jest prawidłowo dopasowana
- ✓ Wykonaj dopasowanie ponownie i powtórz test

- ✓ Dociśnij lekko półmaskę do twarzy dłońmi, zakrywając jak największą jej powierzchnię i wykonaj szybki wydech
- ✓ Jeżeli poczujesz powietrze wypływające spod półmaski na jej obrzeżu - półmaska nie jest prawidłowo dopasowana
- ✓ Wykonaj dopasowanie ponownie i powtórz test

UWAGA: Jeżeli nie udało się uzyskać odpowiedniej szczelności półmaski po wykonaniu testów dopasowania należy zmienić jej rozmiar lub typ (kształt)