

dr inż. ELŻBIETA JANKOWSKA
 mgr inż. JOANNA ŁUKASZEWSKA
 Centralny Instytut Ochrony Pracy
 – Państwowy Instytut Badawczy
 Kontakt: eljan@ciop.pl

Potencjalne narażenie na nanocząstki ditlenku krzemu podczas rozpylania preparatu do zabezpieczania lakieru samochodowego

W artykule przedstawione zostały wyniki badania potencjalnego narażenia na nanocząstki ditlenku krzemu podczas rozpylania komercyjnie dostępnego preparatu Profilline Nano Paint Protect (PNPP). Preparat ten jest przeznaczony do zabezpieczania lakieru samochodowego i może być stosowany zarówno w zakładach usługowych, jak również przez użytkowników prywatnych. Podstawą oceny potencjalnego narażenia na nanocząstki ditlenku krzemu były wyniki badań zmienności stężeń i rozkładów wymiarowych cząstek o wymiarach – od nanometrowych (10 nm) do mikrometrowych (10 µm) – czyli cząstek, które są z reguły wdychane przez człowieka. Stwierdzono, że podczas 10-sekundowego rozpylania preparatu w odległości 52 cm od powierzchni, na którą rozpylano preparat, występują znaczne wzrosty stężeń emitowanych cząstek.

Słowa kluczowe: nanocząstki, ditlenek krzemu, narażenie zawodowe, wentylacja

Potential exposure to nanoparticles during spraying of preparation for protecting car varnish

Potential exposure to nanoparticles during spraying of preparation for protecting car varnish

The article presents results of investigation of potential exposure to silicon dioxide nanoparticles during spraying of commercially available preparation Profilline Nano Paint Protect (PNPP). This preparation is intended for protecting car varnish and can be applied both in repair shops as well as by private users. The base of assessing of potential exposure to silicon dioxide nanoparticles were results of investigation of changes of concentrations and size distributions of particles in the wide range – from nanometer-size (10 nm) to micrometer-size (10 µm) - it means particles which are usually inhaled by humans. It was found that during 10 seconds spraying of preparation in the distance of 52 cm from the surface, to which preparation was being sprayed, considerable increases of concentrations of emitted particles were obtained.

Keywords: nanoparticles, silicon dioxide, occupational exposure, ventilation

Fot. Ales/Bigstockphoto



Wstęp

Postęp cywilizacyjny jest powiązany z rozwojem technologicznym, wynikającym z nowych odkryć i badań naukowych. Obecnie dąży się do zmniejszenia przedmiotów (co prowadzi do oszczędności energii, materiałów, miejsca i przyczynia się do zmniejszenia ilości odpadów) oraz do ulepszania własności produktów stosowanych w procesach pracy i w życiu codziennym. Pozytywne efekty w tych obszarach działań można osiągnąć przez stosowanie nanomateriałów – dzięki ich unikatowym własnościom w porównaniu z własnościami w skali makro – co zdeteminowało dynamiczny rozwój w dziedzinie wytwarzania

i stosowania nanomateriałów w wielu gałęziach przemysłu i w zakładach pracy o różnej skali produkcji i usług: poczynając od małych i średnich przedsiębiorstw, kończąc na bardzo dużych koncernach.

Istotne korzyści wynikające ze stosowania nanomateriałów, z uwagi na własności uzyskiwanych produktów, mogą się jednak wiązać z zagrożeniem zdrowia osób je wytwarzających lub użytkujących. Nanocząstki przedostając się do organizmu człowieka mogą być przyczyną wielu chorób, w tym chorób dotychczas jeszcze nierozpoznanych. Dlatego na całym świecie są obecnie podejmowane prace badawcze z zakresu oceny ryzyka zawodowego wynikającego z narażenia na nanocząstki oraz badania

efektów zdrowotnych u osób zatrudnionych w procesach wytwarzania i stosowania nanomateriałów, a także w społeczeństwie stosującym produkty zawierające nanomateriały [1-6].

Problemy metodyczne związane z badaniem narażenia na nanocząstki pochodzące ze specjalnie wytworzonych nanomateriałów (*Engineered nanomaterials* – ENMs) wynikają z faktu, że metody grawimetryczne powszechnie stosowane do określania stężeń cząstek o mikrowymiarach występujących na stanowiskach pracy [7-8] mogą być niewystarczająco dokładne w odniesieniu do badania stężeń nanocząstek. Ponadto, zgodnie z definicją nanomateriału, parametrami charakteryzującymi nanocząstki są bardziej

stężenie liczbowe (liczba cząstek w jednostce objętości), rozkład wymiarowy (udział cząstek w zależności od ich wymiarów) i powierzchnia nanocząstek, niż stężenie masowe [9]. O ile obecnie na rynku jest dostępna szeroka gama przyrządów umożliwiających określanie stężeń i rozkładów wymiarowych cząstek od kilku nanometrów do kilkudziesięciu mikrometrów, to brak jest przyrządu, który umożliwiałby wykonywanie pomiarów w całym zakresie.

Nie jest również możliwe odróżnianie cząstek pochodzących ze specjalnie wytworzonych nanomateriałów (ENMs) od cząstek wszechobecnych w powietrzu (np. cząstek naturalnie występujących w powietrzu), od cząstek pochodzących z procesów (np. spawania, spalania oleju w silnikach Diesla) lub cząstek niezawierających nanocząstek z ENMs, a pochodzących ze stosowania produktów będących mieszaniną substancji chemicznych i nanocząstek z ENMs (np. cząstek pochodzących z rozpylania preparatów). Z uwagi na to, prowadzone obecnie badania mogą być jedynie analizowane pod kątem potencjalnego narażenia na nanocząstki pochodzące ze specjalnie wytworzonych nanomateriałów (ENMs).

Głównymi kryteriami przyjmowanymi do oceny potencjalnego narażenia na nanocząstki z ENMs występujące w procesach pracy są istotny wzrost stężenia oraz zmiana rozkładu wymiarowego w odniesieniu do tych parametrów określonych przed procesami. Stężenie i rozkład wymiarowy cząstek określone bezpośrednio przed wykonywaniem prac z użyciem produktów zawierających nanocząstki pochodzące z ENMs często jest nazywane „tłem cząstek”. Obecnie nie ma ogólnie przyjętych kryteriów do oceny istotności wzrostu stężeń ponad „tło cząstek”, z uwagi na brak danych w zakresie wpływu takiego wzrostu na szkodliwość dla ludzi w zależności od rodzaju nanomateriału.

Powszechnie dostępną grupą produktów zawierających nanocząstki, które mogą być

stosowane zarówno w zakładach usługowych, jak również przez użytkowników prywatnych są kosmetyki samochodowe. W artykule przedstawiono wyniki badania potencjalnego narażenia na nanocząstki ditlenku krzemu, poprzez określenie stężeń i rozkładów wymiarów cząstek, podczas rozpylania komercyjnie dostępnego preparatu Profiline Nano Paint Protect (dalej PNPP) z SONAX. Zgodnie z deklaracją producenta preparat ten jest przeznaczony do zabezpieczenia lakieru samochodowego. W karcie charakterystyki preparatu PNPP dostępnej na stronie internetowej (http://cempol.pl/msds/lib/exe/fetch.php/sonax:236000_profiline_nano_paint_protect.pdf (06.08.2013) podano, że jest on złożony ze skompensowanego gazu oraz roztworu alkoholu z nano-ditlenkiem krzemu. W karcie charakterystyki podano zawartości procentowe składników niebezpiecznych, takich jak propan-2-ol, alkohol laurylowy (n-dodekanol, alkohol dodecyłowy), propan, butan, natomiast brak jest informacji na temat zawartości procentowej nano-ditlenku krzemu w preparacie.

Określenie parametrów cząstek w powietrzu podczas rozpylania preparatu PNPP

Warunki i metodyka badań

Badanie potencjalnego narażenia na nanocząstki ditlenku krzemu, zawarte w preparacie PNPP prowadzono poprzez pomiar stężeń i rozkładów wymiarowych cząstek emitowanych podczas trzykrotnego rozpylania przez pracownika preparatu PNPP na płytkę o wymiarach 35 x 35 cm, umiejscowioną w odległości 52 cm od miejsca pobierania próbek powietrza i na wysokości 1 m od podłogi (w warunkach typowych dla rozpylania preparatu na powierzchnię samochodu). We wszystkich trzech przypadkach preparat PNPP rozpylano przez 10 sekund. Stosowanie płytki, na którą rozpylano preparat PNPP miało

na celu symulowanie rzeczywistych procesów pracy podczas stosowania preparatu. Należy podkreślić, że podczas rozpylania preparatu mierzone mogły być nie tylko cząstki ditlenku krzemu, ale również cząstki powstające w wyniku rozpylania pozostałych składników preparatu PNPP oraz cząstki wszechobecne w powietrzu, nazywane „tłem cząstek”.

Badania przeprowadzono w komorze (o wymiarach 3 x 4,7 x 2,3 m), aby w jak największym stopniu zniwelować wpływ otaczającego powietrza na wyniki badań. Próbniki, umożliwiające pobieranie próbek do poszczególnych przyrządów były umiejscowione w taki sposób, aby było możliwe jednoczesne pobieranie próbek, przy niezakłóceniu wpływu pobierania poszczególnych próbek na pozostałe próbki. Szczegółowy program wykonywania badań przedstawiono w tabeli 1.

Badania stężeń i rozkładów wymiarowych cząstek podczas rozpylania preparatu PNPP zostały wykonane z użyciem różnych przyrządów pomiarowych. Stosowane przyrządy pomiarowe mają różne zasady działania, co determinuje wykonywanie badań dla ściśle określonych zakresów wymiarowych cząstek. Wynika to z faktu, że brak jest przyrządu pomiarowego, który umożliwiałby jednoczesne badanie głównych parametrów charakteryzujących nanocząstki, co jest zasadniczym utrudnieniem w procesie badania potencjalnego narażenia na nanocząstki. Wykonywanie badań z zastosowaniem różnych przyrządów do określania parametrów charakteryzujących cząstki jest jednym z zaleceń przedstawionych w publikacji <https://www.vci.de/Downloads/Tiered-Approach.pdf> (06.08.2013) [6]. Mierzono zatem:

- stężenie liczbowe cząstek o wymiarach 20–1000 nm (licznikiem P-Trak, TSI)
- stężenie powierzchniowe cząstek o wymiarach 10–1000 nm (anizatorem Aero-Trak, TSI)
- stężenie liczbowe i rozkłady wymiarowe cząstek z zakresów wymiarach: 0,4–0,5 μm,

Tabela 1. Program wykonywania badań podczas rozpylania preparatu PNPP

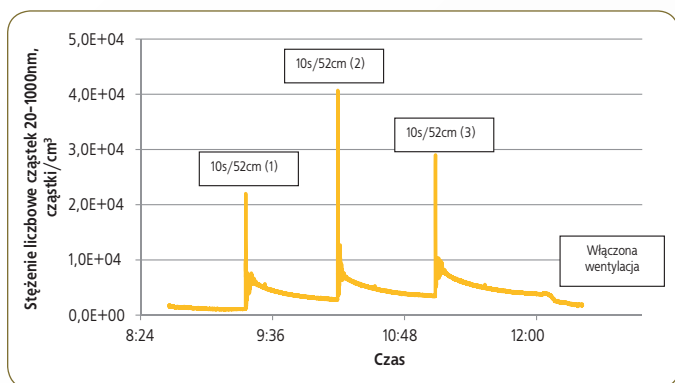
Table 1. Program of investigations during PNPP spraying

Czas	Kolejność badań
do 9:21	Pomiary w komorze przed 1. rozpylaniem preparatu PNPP
09:22	Pierwsze rozpylanie preparatu PNPP przez 10 s – pomiar w odległości 52 cm od miejsca rozpylania
10:10	Drugie rozpylanie preparatu PNPP przez 10 s – pomiar w odległości 52 cm od miejsca rozpylania
11:04	Trzecie rozpylanie preparatu PNPP przez 10 s – pomiar w odległości 52 cm od miejsca rozpylania
od 12:04	Włączenie wentylacji i odciąganie powietrze z komory ze strumieniem objętości ok. 2000 m ³ /h

Tabela 2. Porównanie stężeń cząstek emitowanych podczas rozpylania preparatu PNPP ze stężeniem cząstek „tła” oraz stężeniami cząstek między rozpylaniem preparatu mierzonymi z użyciem różnych przyrządów

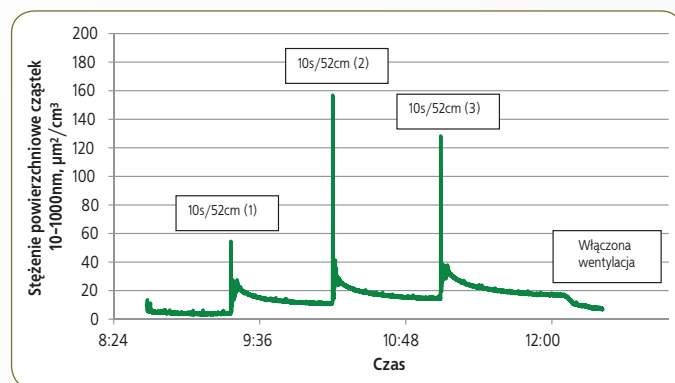
Table 2. Comparison of particles concentrations emitted during preparation spraying with concentrations of "background" particles and concentrations of particles between preparation spraying measured with used different devices

Parametry	Wzrost stężenia cząstek podczas rozpylania preparatu PNPP, krotność						
	P-Trak	Aero-Trak	Grimm				Dust-Trak
	cząstki						
	20–1000 nm	10–1000 nm	0,4–0,5 μm	0,5–1 μm	1–3 μm	3–10 μm	0,1–10 μm
W odniesieniu do stężeń cząstek przed 1. rozpylaniem							
1. rozpylenie	21	13	10	29	176	182	44
2. rozpylenie	38	37	12	34	191	323	70
3. rozpylenie	27	31	14	38	195	225	46
W odniesieniu do stężenia określonego bezpośrednio przed:							
2. rozpyleniem	14	14	3	4	6	69	31
3. rozpyleniem	8	9	3	4	7	44	19



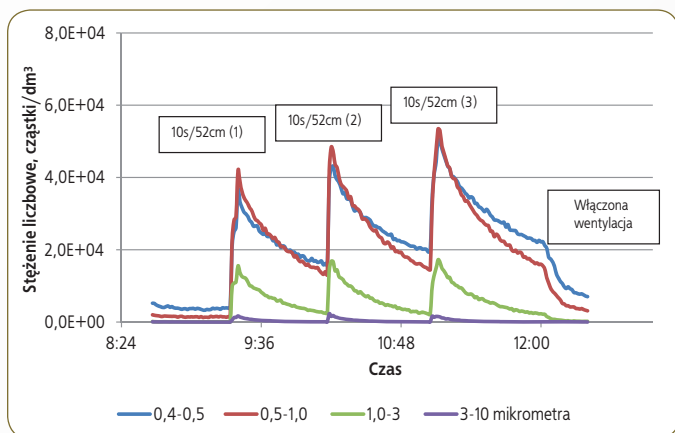
Rys. 1. Stężenie liczbowe cząstek od 20 nm do 1000 nm w powietrzu przed, w trakcie i po rozpyleniu preparatu PNPP (pomiar P-Trak)

Fig. 1. Number concentration of particles from 20 nm to 1000nm in the air before, during and after PNPP spraying (measurements with P-Trak)



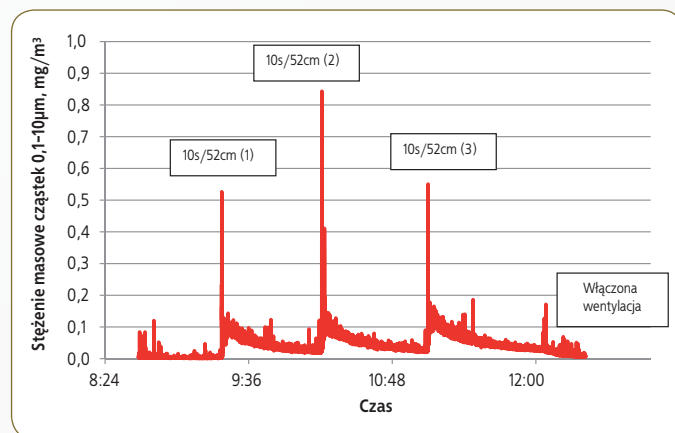
Rys. 2. Stężenie powierzchniowe cząstek od 10 nm do 1000 nm w powietrzu przed, w trakcie i po rozpyleniu preparatu PNPP (pomiar Aero-Trak)

Fig. 2. Surface concentration of particles from 10 nm to 1000 nm in the air before, during and after PNPP spraying (measurements with Aero-Trak)



Rys. 3. Stężenie liczbowe cząstek z zakresu 0,4-0,5 µm, 0,5-1 µm, 1-3 µm i 3-10 µm w powietrzu przed, w trakcie i po rozpyleniu preparatu PNPP (pomiar Grimm)

Fig. 3. Number concentration of particles from ranges 0,4-0,5 µm, 0,5-1 µm, 1-3 µm i 3-10 µm in the air before, during and after PNPP spraying (measurements with Grimm)



Rys. 4. Stężenie masowe cząstek od 0,1 µm do 10 µm w powietrzu przed, w trakcie i po rozpyleniu preparatu PNPP (pomiar Dust-Trak)

Fig. 4. Mass concentration of particles from 0,1 µm to 10 µm in the air before, during and after PNPP spraying (measurements with Dust-Trak)

0,5–1 µm, 1–3 µm i 3–10 µm (licznikiem Grimm 1.108)

- stężenie masowe cząstek o wymiarach 0,1–10 µm (fotometrem Dust-Trak, TSI)
- stężenie liczbowe i rozkład wymiarowy cząstek o wymiarach 15–98 nm (systemem analizy wymiarowej cząstek SMPS, TSI).

Pomimo że za nanocząstki uważa się cząstki, których wymiary zawierają się w zakresie 1–100 nm, to zwykle są one obecne w powietrzu w postaci aglomeratów. Dlatego badania są również wykonywane dla cząstek o większych wymiarach, obejmujących wymiary aglomeratów. Zastosowanie wymienionej aparatury pomiarowej miało na celu uzyskanie wyników badań, których analiza umożliwiłaby śledzenie zmian stężeń cząstek w szerokim zakresie ich wymiarów, począwszy od nanometrowych (10 nm) do mikrometrowych (10 µm), czyli cząstek, które są z reguły wdychane przez człowieka. Podczas badania parametrów emitowanych cząstek określano również parametry powietrza, tj. jego temperaturę i wilgotność względną, gdyż mogą one

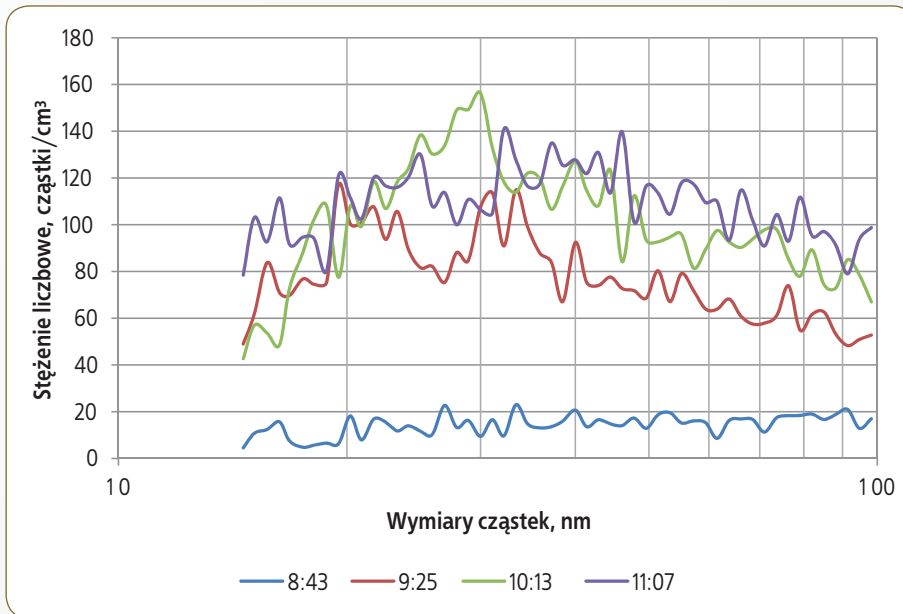
istotnie wpływać na możliwość pozostawania cząstek w stanie zawieszonym w powietrzu.

Wyniki badania parametrów cząstek w powietrzu podczas rozpylenia preparatu PNPP

Wyniki badania stężeń i rozkładów wymiarowych cząstek emitowanych podczas rozpylenia preparatu PNPP przedstawiono na rys. 1-5. oraz w tabeli 2. O ile nie można bezpośrednio porównywać wyników uzyskanych z wykorzystaniem różnych przyrządów, to wyniki przedstawionych badań umożliwiają śledzenie zmian stężeń i rozkładów wymiarowych cząstek w odniesieniu do prac związanych z rozpyleniem preparatu PNPP.

Z danych uzyskanych podczas badań wynika, że przy temperaturze powietrza w komorze $t = 23 \pm 24$ °C i wilgotności względnej powietrza $H = 12 \pm 19\%$ podczas trzykrotnego rozpylenia preparatu PNPP stężenia cząstek wzrastały znacznie, chociaż w różnym stopniu, w stosunku do stężeń cząstek określonych bezpośrednio przed 1. rozpyleniem. Z obliczeń przedstawionych w tabeli 2. wynika, że w sto-

sunku do stężeń cząstek określonych przed 1. rozpyleniem stężenia określone z użyciem różnych przyrządów podczas trzykrotnego rozpylenia preparatu PNPP były większe odpowiednio: 21–38-krotnie (stężenia liczbowe cząstek 20–1000 nm, P-Trak), 13–37-krotnie (stężenia powierzchniowe cząstek 10–1000 nm, Aero-Trak), 10–14-krotnie (stężenia liczbowe cząstek 0,4–0,5 µm, Grimm), 29–38-krotnie (stężenia liczbowe cząstek 0,5–1 µm, Grimm), 176–195-krotnie (stężenia liczbowe cząstek 1–3 µm, Grimm), 182–323-krotnie (stężenia liczbowe cząstek 0,1–10 µm, Grimm) i 44–70-krotnie (stężenia masowe cząstek 0,1–10 µm, Dust-Trak). Dokładność pomiarów wykonanych z użyciem tych przyrządów wynosi $\pm 20\%$. Tak znaczne wzrosty stężeń cząstek ponad stężenia cząstek przed 1. rozpyleniem preparatu można zawsze uznać jako istotne w kontekście oceny potencjalnego narażenia na nanocząstki pochodzące z ENMs, a zatem można powiedzieć, że w badanych przypadkach występuje potencjalne narażenia na nanocząstki ditlenku krzemu.



Rys. 5. Rozkład wymiarowy cząstek od 15 nm do 98 nm w powietrzu przed („tło”) i w trakcie rozpylania preparatu PNPP (pomiaru SMPS): 8:43 – „tło”, maksymalne stężenia w wyniku 1 rozpylania (9:25), 2 rozpylania (10:13) i 3 rozpylania (11:07)

Fig. 5. Size distribution of particles from 15 nm to 98 nm in the air before (background) and during PNPP spraying (measurements with SMPS): 8:43 - background, the maximum concentrations as a result of 1 spraying (9:25), 2 spraying (10:13) and 3 spraying (11:07)

Z obserwacji krzywych przedstawionych na rys. 1.-4. wynika również, że po każdym rozpyleniu preparatu PNPP stężenia cząstek ulegały zmniejszeniu, osiągając jednak większe wartości przed kolejnym rozpyleniem preparatu PNPP niż stężenia cząstek określone dla przed 1. rozpyleniem. Krotności stężeń obliczone jako stosunki stężeń określonych podczas i bezpośrednio przed 2. rozpyleniem oraz 3. rozpyleniem są znacznie mniejsze niż w przypadku odniesienia do stężeń przed 1. rozpyleniem (tabela 2.), przy czym należy podkreślić, że część cząstek obecnych przed tymi rozpyleniami może pochodzić z poprzednich rozpyleń i zawierać nanocząstki ditlenku krzemu.

Niższe wartości stężeń przed rozpoczęciem 1. rozpylania preparatu i na końcu cyklu pomiarowego wynikają z faktu, że pomiary przed 1. rozpyleniem prowadzono bezpośrednio po wyłączeniu wentylacji miejscowej w komorze, natomiast pod koniec cyklu pomiarowego włączano wentylację miejscową i odciągano powietrze z komory ze strumieniem objętości ok. 2000 m³/h (rys. 1.-4.). Włączenie wentylacji spowodowało w ciągu ok. 20 minut spadek stężeń odpowiednio o: 50% (pomiaru P-Trak), 53% (pomiaru Aero-Trak), 67% (pomiaru Dust-Trak) i 65-89% (pomiaru Grimm).

Z analizy danych uzyskanych z zastosowaniem systemu analizy wymiarowej cząstek – SMPS wynika, że rozpylanie preparatu ma wpływ na wzrost stężeń cząstek o nanowymiarach tzn. cząstek do 100 nm (rys. 5.). Dla wszystkich przypadków rozpyleń preparatu

PNPP stwierdzono wzrosty stężeń dla poszczególnych frakcji wymiarowych cząstek z zakresu 15–98 nm w odniesieniu do pomiarów dla tych frakcji uzyskanych przed 1. rozpyleniem preparatu PNPP. A zatem jest to również dowodem na możliwość potencjalnego narażenia na nanocząstki ditlenku krzemu obecne w badanym preparacie PNPP, podczas jego rozpylania.

Podsumowanie

W wyniku analizy przeprowadzonych badań stwierdzono, że nawet podczas krótkotrwałego rozpylania preparatu PNPP (przez 10 sekund) do powietrza – w odległości 52 cm od miejsca rozpylania PNPP – były emitowane cząstki z zakresu 10 nm – 10 μm. Podczas trzykrotnego rozpylania preparatu PNPP stężenia cząstek wzrastały znacznie, chociaż w różnym stopniu (od kilkunastu – do kilkusetkrotnie), w stosunku do stężeń cząstek określonych bezpośrednio przed 1. rozpyleniem. Wskazuje to na możliwość potencjalnego narażenia na nanocząstki ditlenku krzemu obecne w rozpylanym preparacie. Potwierdzeniem możliwości potencjalnego narażenia na nanocząstki ditlenku krzemu jest również wzrost stężeń cząstek o wymiarach 15-98 nm podczas rozpylania preparatu PNPP w odniesieniu do stężeń tych cząstek przed 1. rozpyleniem preparatu.

Cząstki emitowane podczas rozpylania preparatu PNPP mogą zawierać zarówno nanocząstki ditlenku krzemu, jak i cząstki pozostałych składników chemicznych preparatu. Wzrost stężeń cząstek o większych wymiarach może wynikać z faktu, że pod-

czas rozpylania preparatu PNPP są emitowane większe krople, które mogą zawierać nanocząstki ditlenku krzemu. Z kropli tych – w czasie uzależnionym od parametrów powietrza (temperatury i wilgotności względnej powietrza) – mogą uwolnić się do powietrza nanocząstki ditlenku krzemu.

Ochrona przed potencjalnym narażeniem na nanocząstki ditlenku krzemu podczas rozpylania preparatu PNPP powinna być prowadzona przede wszystkim poprzez stosowanie wentylacji mechanicznej zaprojektowanej na podstawie analizy wyników badań stężeń i rozkładów wymiarowych cząstek dla danego procesu rozpylania. Kiedy nie jest to możliwe, zwłaszcza w przypadku użytkowników prywatnych, należy stosować odpowiednie środki ochrony indywidualnej, szczególnie środki ochrony dróg oddechowych, zabezpieczające przed wdychaniem nanocząstek ditlenku krzemu i substancji chemicznych zawartych w preparacie PNPP.

PIŚMIENNICTWO

- [1] Brouwer D., Duuren-Stuurman B., Berges M., Jankowska E., Bard D., Mark D. *From workplace air measurement results toward estimates of exposure? Development of a strategy to assess exposure to manufactured nano-objects.* "J. Nanopart. Res.", 2009,11 (8): 1867-1881, DOI 10.1007/s11051-009-9772-1
- [2] Kumar P., Fennell P., Robins A. *Comparison of the behaviour of manufactured and other airborne nanoparticles and the consequences for prioritising research and regulation activities.* "J. Nanopart. Res.", 2010,12 (5): 1523-1530, DOI 10.1007/s11051-010-9893-6
- [3] Marra J. Voetz M., Kiesling H.-J. *Monitor for detecting and assessing exposure to airborne nanoparticles.* "J. Nanopart. Res.", 2010,12 (10): 21-37, DOI 10.1007/s11051-009-9695-x
- [4] Ogura I., Sakurai H., Mizuno K., Gamo M. *Release potential of single-wall carbon nanotubes produced by super-growth method during manufacturing and handling.* "J. Nanopart. Res.", 2011,13 (3): 1265-1280, DOI 10.1007/s11051-010-0119-8
- [5] 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 (6): 1971-1987, DOI 10.1007/s11051-010-0008-1
- [6] Tiered Approach to an Exposure Measurement and Assessment of Nanoscale Aerosols Released from Engineered Nanomaterials in Workplace Operations. August 2011, <https://www.vci.de/Downloads/Tiered-Approach.pdf>
- [7] PN-91/Z-04030/05. Ochrona czystości powietrza. Badania zawartości pyłu. Oznaczenie pyłu całkowitego na stanowiskach pracy metodą filtracyjno-wagową
- [8] PN-91/Z-04030/06. Ochrona czystości powietrza. Badania zawartości pyłu. Oznaczenie pyłu respirabilnego na stanowiskach pracy metodą filtracyjno-wagową
- [9] COMMISSION RECOMMENDATION of 18 October 2011 on the definition of nanomaterial. (Text with EEA relevance) (2011/696/EU). L 275/38 Official Journal of the European Union 20.10.2011

Publikacja opracowana na podstawie wyników badań uzyskanych podczas realizacji w Centralnym Instytucie Ochrony Pracy – Państwowym Instytucie Badawczym w latach 2009-2011 pracy statutowej I-30 „Badanie narażenia na nanocząstki na wybranych stanowiskach pracy”.