

dr MAŁGORZATA POŚNIAK (ORCID: 0000-0003-1175-2024)

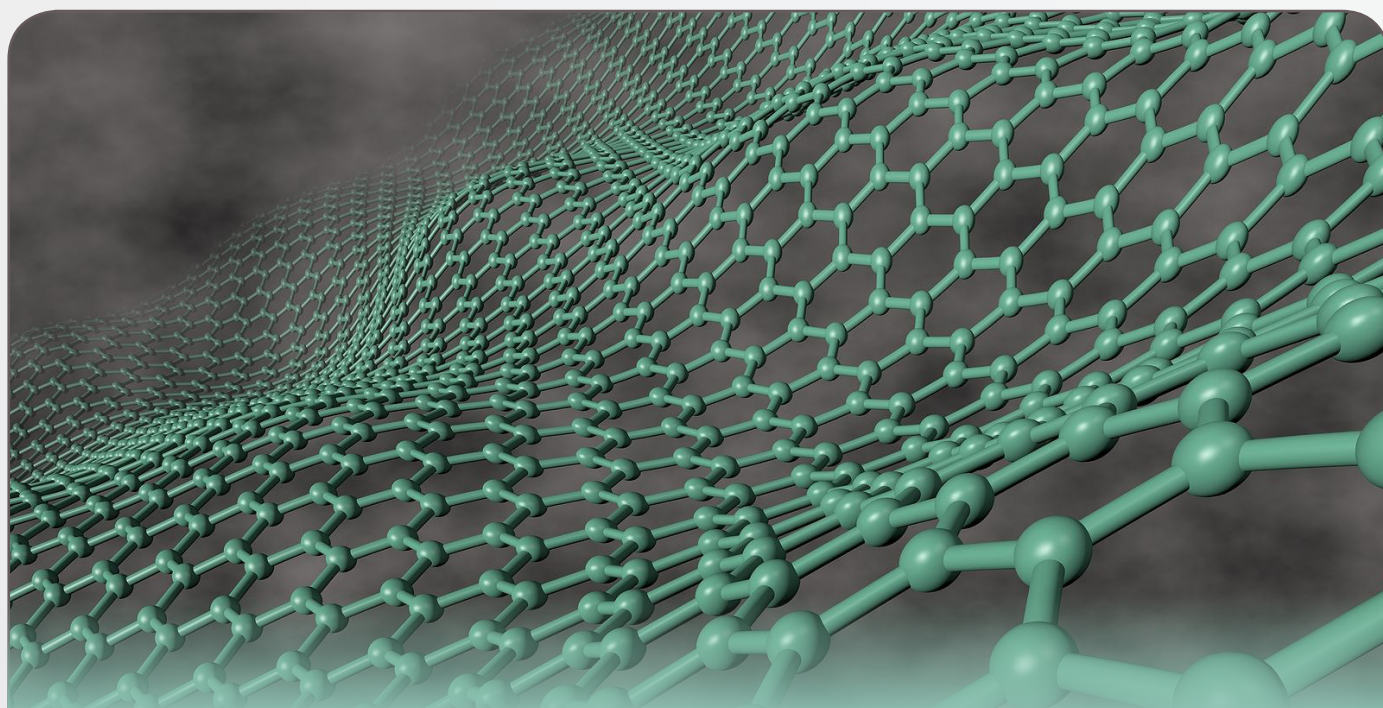
Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy

Kontakt: mapos@ciop.pl

DOI: 10.5604/01.3001.0015.2299

Metody oceny ryzyka zawodowego przy stosowaniu nanomateriałów

Fot. ogwen/Bigstockphoto



Stosowanie nanomateriałów w różnych dziedzinach krajowej gospodarki z jednej strony przyczynia się do wytwarzania produktów ułatwiających życie człowieka i do poprawy komfortu tego życia, z drugiej zaś, w przypadku nieprawidłowego zarządzania ryzykiem, może powodować zagrożenie dla zdrowia pracowników. Z tego względu konieczne jest identyfikowanie, ocenianie i ograniczanie zagrożenia związanego z narażeniem pracowników na te niebezpieczne materiały. Przedstawione w artykule szacunkowe metody oceny ryzyka zawodowego są obecnie jedynym rozwiązaniem umożliwiającym prawidłowe zarządzanie ryzykiem stwarzanym przez projektowane nanomateriały (ENMs) i podejmowanie odpowiednich działań w celu ograniczenia zagrożeń. Wdrożenie tych metod umożliwi polskim pracodawcom dostosowanie się do zaleceń wynikających z dyrektywy 98/24 EC w obszarze zarządzania ryzykiem zawodowym związanym z tymi specyficznymi substancjami chemicznymi.

Podstawowymi rozwiązaniami problemu oceny ryzyka zawodowego stwarzanego przez nanomateriały są metody *control banding* (metody CB), uwzględniające właściwości fizykochemiczne i specyfikę oddziaływania nanocząstek na żywe organizmy. Metody te są coraz powszechniej stosowane w państwach UE, w USA i Kanadzie, a także zalecane przez Międzynarodową Organizację Pracy, Światową Organizację Zdrowia oraz Europejską Agencję Bezpieczeństwa i Zdrowia w Pracy.

Słowa kluczowe: nanomateriały, narażenie zawodowe, ocena ryzyka, metody control banding (CB)

Methods of occupational risk assessment related to the use of nanomaterials

The use of nanomaterials in the different areas of the national economy, on one hand, contributes to the manufacture of products that make human life easier and more comfortable, but on the other, if the risk is not properly managed, it can pose a threat to the workers' health. Therefore, it is necessary to identify, assess and reduce the risk of occupational exposure to these hazardous materials. Presented in the article methods for estimation of the occupational risk are now the sole solution to properly manage the risk posed by engineering nanomaterials (ENMs) and to take appropriate measures to reduce it. Their application will enable Polish employers to comply with the recommendations of Directive 98/24 EC in the area of occupational risk management related to these specific chemical substances.

The main means to solving the problem of occupational risk assessment, posed by nanomaterials, are control banding methods (CB methods), that take into account the physicochemical properties and specific impact of nanoparticles on living organisms. These methods are increasingly used in EU countries, in the USA and Canada, and are recommended by the International Labour Organisation, the World Health Organisation and the European Agency for Safety and Health at Work.

Keywords: nanomaterials, occupational exposure, risk assessment, control banding methods

Wstęp

Nieprawidłowe zarządzanie ryzykiem związanym z narażeniem na niebezpieczne substancje chemiczne i ich mieszaniny może powodować zagrożenie dla zdrowia pracowników zatrudnionych w procesach produkcji. Konieczne jest zatem identyfikowanie, ocenianie i ograniczanie tego zagrożenia. Dla pracodawców i specjalistów zajmujących się zarządzaniem ryzykiem chemicznym pomocne są szacunkowe metody oceny ryzyka zawodowego, zaprojektowane specjalnie pod kątem nanomateriałów.

Obecnie podstawowymi metodami rozwiązyjącymi problem oceny ryzyka zawodowego stwarzanego przez nanomateriały są, podobnie jak w przypadku tradycyjnych substancji chemicznych, metody *control banding* (metody CB), uwzględniające właściwości fizykochemiczne i specyfikę oddziaływania nanocząstek na żywe organizmy. Metody te są coraz powszechniej stosowane w państwach UE, w USA i Kanadzie. W ostatnim dziesięcioleciu opracowano kilka niospecyficznych metodyk CB dla różnych typów środowisk pracy (np. dla małych i dużych przedsiębiorstw przemysłowych oraz laboratoriów), a każdy z tych instrumentów ma swoje mocne i słabe strony [1-6].

Komitet Techniczny (TC 229 – Nanotechnologia) Międzynarodowego Komitetu Normalizacyjnego (ISO) opracował znormalizowany dokument techniczny ISO/TS 12901-2:2014 z metodą CB dla projektowanych nanomateriałów (ENMs). Międzynarodowa Organizacja Pracy, Międzynarodowa Organizacja Zdrowia, a także Europejska Agencja Bezpieczeństwa i Zdrowia w Pracy rekomendują metody CB jako narzędzie oceny tych nowych i niecałkowicie poznanych, potencjalnie niebezpiecznych czynników środowiska pracy. Ważniejsze z tych narzędzi to: CB Nanotool-2, Precautionary Matrix, ANSES CB, NanoSafer, The Guidance czy Stoffenmanager Nano.

Ocena ryzyka zawodowego związanego z występowaniem ENMs stanowi w Polsce poważny problem dla pracodawców w zakładach produkujących, przetwarzających lub stosujących substancje chemiczne w postaci nanomateriałów. Z uwagi na brak ustalonych wartości najwyższych dopuszczalnych stężeń w powietrzu na stanowiskach pracy dla nanomateriałów metoda ilościowej oceny ryzyka w ich przypadku nie jest możliwa do zastosowania. Natomiast metody szacunkowej oceny ryzyka nie są znane przez zarządzających bezpieczeństwem w polskich przedsiębiorstwach. Z tego względu głównym celem artykułu jest scharakteryzowanie dostępnych w piśmiennictwie szacunkowych metod oceny ryzyka zawodowego związanego z zawodowym narażeniem na ENMs oraz zachęcenie do stosowania tych metod.

CB Nanotool-2

Metoda została opracowana przez S. Paika i D. Zalka [1] i od 12 lat jest powszechnie stosowana do oceny i ograniczania ryzyka zawodowego stwarzanego przez ENMs [7]. CB Nanotool-2 jest przeznaczona zarówno dla ekspertów bhp, jak i osób nieposiadających doświadczenia w ocenie ryzyka chemicznego. Jest stosunkowo prostym narzędziem, opartym na zasadach ustanowionych przez COSHH Essential [7].

Podstawą tej metody jest zebranie danych o właściwościach toksycznych i fizykochemicznych stosowanych nanomateriałów (NM) oraz substancji macierzystych (PM) wykorzystywanych do ich otrzymywania, a także informacji charakteryzujących potencjalne narażenie na nanocząstki. Dane te służą do ustalenia wartości liczbowych łącznego wskaźnika ciężkości następstw oraz łącznego wskaźnika prawdopodobieństwa wystąpienia szkodliwych efektów w stanie zdrowia pracowników narażonych na nanocząstki. Na podstawie podanych 15 wskaźników ciężkości następstw, określających możliwość wchłaniania się NM przez układ oddechowy i osadzania się w jego różnych rejonach, a także na podstawie działania miejscowego i działania układowego wyznacza się łączny wskaźnik ciężkości następstw. Ponieważ wyniki badań przedstawionych w piśmiennictwie wskazują na większą toksyczność nanomateriałów w stosunku do substancji macierzystych, 70% łącznego wskaźnika ciężkości następstw odnosi się do oceny nanomateriałów, a pozostałe 30% – do oceny materiałów macierzystych. Podczas ustalania 5 wskaźników prawdopodobieństwa wystąpienia szkodliwych efektów bierze się pod uwagę przede wszystkim dane dotyczące liczby narażonych pracowników oraz czas i częstotliwość narażenia. Dodatkowo uwzględnia się pylistość nanomateriałów i zamglenia w przypadku nanomateriałów używanych w zawieszinie. Na tej podstawie wyznacza się łączny wskaźnik prawdopodobieństwa. Maksymalna wartość łącznego wskaźnika ciężkości następstw oraz wskaźnika prawdopodobieństwa wynosi 100. Wskaźnik mieszczący się w zakresie od:

- 0-25 świadczy o małej możliwości wystąpienia ciężkich następstw i bardzo nieprawdopodobnym wystąpieniu ryzyka zawodowego stwarzanego przez nanomateriały,
- 26-50 – o średniej możliwości wystąpienia ciężkich następstw i mało nieprawdopodobnym wystąpieniu ryzyka zawodowego,
- 51-75 – o wysokiej możliwości wystąpienia ciężkich następstw i prawdopodobnym wystąpieniu ryzyka zawodowego,
- 6-100 – o bardzo wysokiej możliwości wystąpienia ciężkich następstw i wysoce prawdopodobnym wystąpieniu ryzyka zawodowego. Poziom ryzyka zawodowego związanego

z narażeniem na ENMs szacuje się w skali czterostopniowej na podstawie wyznaczonych łącznych wskaźników ciężkości następstw i prawdopodobieństwa dla danej operacji.

Precautionary Matrix

Metoda opublikowana przez Szwajcarskie Federalne Biuro ds. Zdrowia Publicznego i Federalne Biuro ds. Środowiska w wytycznych dotyczących zapobiegawczych działań podczas produkcji i stosowania projektowanych nanomateriałów jest przeznaczona nie tylko dla pracodawców i zarządzających bhp oraz służb odpowiedzialnych za ochronę środowiska naturalnego, lecz także dla użytkowników produktów zawierających nanomateriały [9]. Jej zastosowanie umożliwia ocenę potrzeb w zakresie niespecyficznych środków prewencji, a ponadto pomaga w identyfikacji ryzyka przy produkowaniu, przetwarzaniu i stosowaniu ENMs. W metodzie tej oblicza się wskaźnik charakteryzujący środki zapobiegawcze V , uwzględniając współczynniki charakteryzujące nanocząstki (N) i specyficzne warunki pracy (S) oraz określające potencjalne zagrożenie (W) i poziom narażenia (E). Poszczególnym współczynnikiem (N , S , W i E) przypisuje się odpowiednie wagi liczbowe, korzystając z tabel opracowanych przez autorów metody, i po obliczeniu wskaźnika charakteryzującego potrzeby w zakresie środków prewencji klasyfikuje się oceniane stanowisko pracy do jednej z dwóch kategorii: A ($V \leq 20$) lub B ($V \geq 21$).

ANSES CB

Ta metoda, przeznaczona przede wszystkim dla środowiska pracy i osób zajmujących się ograniczaniem ryzyka chemicznego związanego z występowaniem nanomateriałów w środowisku pracy, została opracowana przez Francuską Agencję Żywności, Środowiska oraz Zawodowego Bezpieczeństwa i Zdrowia ANSES [5]. Podobnie jak w poprzednich metodach CB również tu poziom ryzyka jest pochodną potencjalnej wielkości emisji nanocząstek i potencjalnych zagrożeń, ale ryzyko kategoryzowane jest do 5 poziomów, dla których przewidziano odpowiednie rozwiązania techniczne środków ochrony zbiorowej. ANSES CB wykorzystuje 5 pasm zagrożenia, które zawierają się w zakresie od HB1 (bardzo niskie – brak istotnego ryzyka dla zdrowia) do HB5 (bardzo wysokie – poważne zagrożenie, które wymaga wykonania przez eksperta kompleksowej oceny zagrożeń). Zakresy narażenia są przydzielane na podstawie emisji i mogą być pogrupowane według następujących 4 poziomów: EP1 (ciało stałe), EP2 (ciecz), EP3 (proszek) i EP4 (aerazol). Te 5 poziomów zagrożenia i 4 zakresy narażenia bezpośrednio powiązane z 5 poziomami ograniczania ryzyka (CL), które są uszeregowane od najniższego CL1 (wentylacja naturalna lub mechaniczna ogólna)

do najwyższego CL5 (pełna izolacja i przeglądy przez specjalistę są wymagane).

Stoffenmanager Nano

Jest to metoda do szacunkowej oceny ryzyka zawodowego związanego z narażeniem na nanomateriały, opracowana w The Netherlands Organization (TNO) for Applied Scientific Research [4]. Podstawą oceny ryzyka w tej metodzie są algorytmy charakteryzujące narażenie pracowników na nanocząstki emitowane z nanomateriałów oraz zagrożenie wynikające z ich toksycznego oddziaływania.

Ustalenie poziomu narażenia wymaga zebrania danych dotyczących przebiegu ocenianego procesu i warunków pracy na ocenianym stanowisku pracy. Te informacje pozwolą na przypisanie odpowiednich wartości liczbowych współczynnikom określającym: czas i częstotliwość stosowania ENMs, środki ochrony zbiorowej i indywidualnej, stężenie nanocząstek uwarunkowane odległością stanowiska od źródła emisji oraz stężenie tła. Współczynniki te są podstawą do obliczenia wskaźnika charakteryzującego narażenie na nanomateriały.

Ostatecznie na podstawie tego wskaźnika przypisuje się końcowy wskaźnik poziomu narażenia [3]. W metodzie Stoffenmanager Nano kategorie zagrożeń (od A do E, podobnie jak w CCOSH Essentiale) są ustalane na podstawie aktualnych danych literaturowych charakteryzujących toksyczność nanomateriałów i ich właściwości fizykochemiczne. W przypadku braku informacji o szkodliwym działaniu nanomateriału kategoryzacja zagrożeń powinna być dokonana przez ekspertów na podstawie ich profesjonalnego osądu. Ostateczny poziom ryzyka jest ustalany na podstawie kombinacji 5 kategorii zagrożeń (A-E) i 4 kategorii narażenia.

Bardzo pomocne dla oceniających ryzyko zawodowe są zaproponowane przez TNO [4] kategorie zagrożeń dla najpowszechniej stosowanych nanomateriałów. Nanocząstki metali i ich substancji chemicznych o średnicy aerodynamicznej ≤ 50 nm – takich jak: srebro, żelazo, złoto, lantan, cyna, ditlenek tytanu, ditlenek ceru, tlenek cynku, kobaltu i żelaza, ditlenek krzemu, tritlenek glinu i antymonu, glinokrzemiany oraz polimery i dendrymety – zostały zaliczone do kategorii zagrożenia D, a o średnicy > 50 nm – do kategorii zagrożenia C. Kategorię zagrożenia E przypisano nanocząstkom ołowiu, kwarcu i krystalobalitu oraz wszystkim nanocząstkom pochodzącym od materiału macierzystego sklasyfikowanego jako rakotwórczy, mutageny, działający szkodliwie na rozrodczość lub uczulający. Ta najwyższa kategoria zagrożenia została również przypisana innym nanomateriałom, pochodzącym od materiałów o niezbadanych właściwościach toksycznych.

Metoda opracowana przez TNO stanowiła podstawę do stworzenia narzędzia informa-

tycznego pod nazwą Stoffenmanager Nano-tool. To łatwe do zastosowania i niewymagające specjalistycznej wiedzy eksperckiej narzędzie jest ogólnie dostępne (w języku holenderskim i angielskim) na portalu TNO (<https://www.tno.nl>). Jest ono rekomendowane przez holenderski inspektorat pracy do oceny ryzyka, przede wszystkim przedsiębiorcom z małych zakładów, w których są stosowane nanomateriały. Zamieszczone na portalu Europejskiej Agencji Bezpieczeństwa i Zdrowia w Pracy studium przypadku na temat zastosowania programu Stoffenmanager Nano-tool (<https://osha.europa.eu>) przez mały zakład jest potwierdzeniem, że metody CB pozwoliły pracodawcom stosującym produkty zawierające nanocząstki oceniać ryzyko zawodowe stwarzane przez te produkty. Dzięki zastosowaniu tej metody spełnili oni zalecenia holenderskiej inspekcji pracy wynikające ze wskazań dyrektywy 98/24 EC [10] w obszarze zarządzania ryzykiem zawodowym związanym z tymi specyficznymi substancjami chemicznymi.

NIOSH-Nanotool: przewodnik dla pracodawców i pracowników

Bardzo ważny z punktu widzenia zarządzania ryzykiem związanym z występowaniem produkowanych nanomateriałów jest opracowany przez Narodowy Instytut Bezpieczeństwa i Higieny Pracy w USA (National Institute for Occupational Safety and Health, NIOSH) przewodnik dla pracodawców i pracowników, zawierający proste porady dotyczące prawidłowego organizowania bezpiecznych stanowisk pracy, na których są obecne czynniki stanowiące nowe, niecałkowicie rozpoznane zagrożenie dla zdrowia i środowiska naturalnego [11]. Podobnie jak w innych metodach procedura rozpoczyna się od zidentyfikowania wszystkich ENMs produkowanych lub stosowanych na danym stanowisku pracy (I etap). W przypadku braku pewności, czy stosowana substancja/mieszanka jest nanomateriałem lub czy zawiera w swoim składzie nanomateriał, należy zwrócić się do dostawcy o podanie tych informacji, a gdy nie ma on możliwości dostarczenia tych danych, należy przyjąć, że ENMs są obecne.

Następnie w celu pełnego/lepszego poznania ryzyka wynikającego z zawodowego narażenia na ENMs należy zebrać dane charakteryzujące właściwości fizykochemiczne i toksyczne (II etap). Trzeba znaleźć informacje dotyczące rozkładu wymiarowego i zawartości ENMs w nanoproductach, charakteryzujące kształty nanocząstek, a także informacje na temat działania rakotwórczego, mutagennego i szkodliwego na rozrodczość (sami ENMs lub produktów macierzystych), rozpuszczalności w wodzie, trwałości w środowisku, gęstości i stanu skupienia (w przypadku ciał stałych należy określić, czy są to cząstki pierwotne, czy aglomeraty lub agregaty).

Na kolejnym etapie trzeba zidentyfikować zagrożenie dla zdrowia (III etap). W omawianej

metodzie ustalono cztery kategorie zagrożeń: 1, 2a, 2b i 3. Dalej (IV etap) należy dla każdego produkowanego, przetwarzanego lub stosowanego ENM zidentyfikować wszystkie czynności, podczas których istnieje potencjalna możliwość uwolnienia nanocząstek, podając: ilość użytego ENM, postać, w jakiej następuje emisja do powietrza (pył/mgła), czas trwania czynności, częstotliwość wykonywanej czynności oraz liczbę narażonych pracowników. Następnie ustala się prawdopodobieństwo wystąpienia narażenia na ENMs (V etap) na podstawie warunków procesu i środków prewencyjnych przed zagrożeniami (w omawianej procedurze można sklasyfikować wielkość narażenia do trzech kategorii) i (etap VI) wybiera się odpowiednie środki prewencji.

We wszystkich przedstawionych metodach oceny ryzyka zawodowego związanego z narażeniem na nanocząstki wydzielające się z nanomateriałów wyznaczony poziom ryzyka jest wskazówką do podejmowania odpowiednich działań prewencyjnych, czyli do realizacji celu głównego oceny ryzyka zawodowego.

Metody CB – wady i zalety

Obecnie metody CB stanowią dużą grupę metod do wykrywania i kategoryzowania ryzyka związanego ze stosowaniem produkowanych nanomateriałów, przede wszystkim w placówkach zajmujących się badaniami nad nanomateriałami oraz zakładach stosujących lub produkujących ENMs, ale w małych ilościach [6, 12-15]. Metody ANSES CB, Stoffenmanager Nano i CB Nanotool-2 bazują na ocenie zagrożeń dla zdrowia pracowników stwarzanych przez ENMs, która jest dokonywana na podstawie informacji dotyczących ich klasyfikacji podanych w kartach charakterystyk. Niestety te powszechnie stosowane źródła informacji o niebezpiecznych substancjach chemicznych w przypadku projektowanych nanomateriałów nie zawierają kompletnych informacji dotyczących ich właściwości fizykochemicznych oraz szkodliwego oddziaływania na zdrowie człowieka i środowisko. Dokonana ocena 513 kart charakterystyk nanomateriałów wykazała, że większość z tych kart nie zawiera wystarczających danych do oceny zagrożeń [18]. Ten stan będzie się systematycznie poprawiał z uwagi na objęcie nanomateriałów obowiązkiem rejestracji wynikającym z wprowadzonych zmian do rozporządzenia REACH. Według Derka H. Brouwera z punktu widzenia poziomu uszczegółowienia i stosowalności w szerokim zakresie działalności zawodowej modele ANSES CB i Stoffenmanager Nano wydają się najbardziej odpowiednimi narzędziami do oceny ryzyka związanego z nanomateriałami [12]. CB Nanotool-2 i ANSES CB są raczej zalecane do stosowania przez ekspertów mających doświadczenie w ocenie ryzyka, podczas gdy Stoffenmanager Nano-tool można polecić osobom, które nie muszą zawodowo zajmować się tymi zagadnieniami.

Należy zaznaczyć, że pomimo różnych wad metody szacunkowe są coraz powszechniej wykorzystywane do oceny ryzyka zawodowego związanego z produkcją i stosowaniem nanomateriałów na świecie. Obecnie niemożliwa jest ocena wyników stosowania tych narzędzi, ponieważ nie zostały one jeszcze całkowicie zwalidowane. Wyniki oceny uzyskiwane z wykorzystaniem metody CB Nanotool-2 były porównywane – na etapie jej wdrażania do praktyki – z oceną wykonywaną przez higienistów przemysłowych i uzyskano dobrą zgodność tych wyników [17]. Autorzy tego narzędzia CB, przeznaczonego specjalnie do jakościowej oceny ryzyka zawodowego stwarzanego przez ENMs, po 12 latach od jego opracowania i zastosowania w praktyce opublikowali badania mające na celu ilościową walidację CB Nanotool-2 [17]. To narzędzie jest powszechnie wykorzystywane do ograniczania zagrożeń stwarzanych przez ENMs przez różne instytucje na całym świecie, m.in. Safe Work w Australii czy Workplace Health and Safety Queensland, które uważają, że jest to obecnie najlepsza metoda do zarządzania ryzykiem związanym z narażeniem na ENMs, przede wszystkim w miejscu pracy.

Badania walidacyjne CB Nanotool-2 (version 2.0) prowadzono w Lawrence Berkeley National Laboratory z zastosowaniem strategii opracowanej przez NIOSH, tzw. Nanoparticle Emission Assessment Technique (NEAT), oraz z wykorzystaniem różnych technik do ilościowych pomiarów nanocząstek w powietrzu na stanowiskach pracy [19]. Stosowano liczniki kondensacyjne i optyczne cząstek, umożliwiające wykonywanie pomiarów w czasie rzeczywistym, równolegle z badaniem nanocząstek pobranych na filtry, za pomocą odpowiednich technik analitycznych do ich ilościowego oznaczenia i potwierdzenia ich obecności w analizie mikroskopowej SEM+EDS. Łącznie dokonano porównania wyników pomiarów ilościowych dla 28 procesów/czynności z użyciem ENMs z jakościową oceną ryzyka metodą CB Nanotool-2. Przeprowadzone badania walidacyjne potwierdziły wiarygodność wyników uzyskiwanych z wykorzystaniem metody CB Nanotool-2 oraz to, że środki prewencji zaproponowane na podstawie oceny jakościowej CB Nanotool-2 były wystarczające, aby zapobiec narażeniu pracowników na działanie ENMs na poziomach przekraczających ustalone limity narażenia lub poziomy tła.

Podsumowanie

Przedstawione szacunkowe metody oceny ryzyka zawodowego, zaprojektowane specjalnie pod kątem nanomateriałów, są obecnie jedynym rozwiązaniem pozwalającym na prawidłowe zarządzanie ryzykiem stwarzanym przez projektowane nanomateriały i na podejmowanie odpowiednich działań w celu ograniczenia zagrożeń. Stosowanie tych metod umożliwi polskim pracodawcom dostosowanie się do zaleceń

wynikających z dyrektywy 98/24 EC w obszarze zarządzania ryzykiem zawodowym związanym z tymi specyficznymi substancjami chemicznymi.

Mimo że w innych państwach UE oraz w USA i Kanadzie metody CB są powszechnie stosowane, to jednak konieczne jest ich ciągłe doskonalenie, a przede wszystkim przeprowadzanie ich walidacji. Rozwój metod do ilościowych pomiarów nanocząstek w powietrzu na stanowiskach pracy powinien się przyczynić do przyspieszenia procesu walidacji. Natomiast intensywne badania, prowadzone w wielu europejskich placówkach naukowych i w USA, dostarczają ciągle nowych danych toksykologicznych na temat ENM oraz informacji dotyczących narażenia zawodowego na nanocząstki i efektywności stosowanych środków prewencji. Wykorzystanie tych danych podczas stosowania metod CB wpłynie na wiarygodność uzyskiwanych wyników oceny ryzyka zawodowego związanego z ENMs.

BIBLIOGRAFIA

- [1] PAIK, S.Y., ZALK, D.M., SWUSTE, P. Application of a pilot control banding tool for risk level assessment and control of nanoparticle exposures. *Journal of Nanoparticle Research*. 2008, 52: 419-428.
- [2] DUUREN-STUURMAN, B., et al. Stoffenmanager Nano: description of the conceptual control banding model. TNO Report V9216, 2011.
- [3] DUUREN-STUURMAN B., et al. Stoffenmanager Nano Version 1.0: A Web-Based Tool for Risk Prioritization of Airborne Manufactured Nano Objects. *Annals of Occupational Hygiene*. 2012, 56(5): 525-541.
- [4] SCHNEIDER, T., et al. Conceptual model for assessment of inhalation exposure to manufactured nanoparticles. *Journal of Exposure Science & Environmental Epidemiology*. 2011, 21: 450-463.
- [5] OSTIGUY, C., et al. Development of a specific control banding tool for nanomaterials. ANSES. French agency for food, environmental and occupational health and safety, 2010. Request no. 2008-SA-0407. <http://www.anses.fr/Documents/AP2008sa0407Ra EN.pdf>.
- [6] DIMOU, K., EMOND, C. Nanomaterials, and Occupational Health and Safety – A Literature Review about Control Banding and a Semi-Quantitative Method Proposed for Hazard Assessment. *Journal of Physics: Conference Series* 838, 2017, 012020. Open access. [7] COSHH ESSENTIALS. Controlling exposure to chemicals: a simple control banding approach. <https://www.hse.gov.uk/pubns/guidance/coshh-technical-basis.pdf>.
- [8] POŚNIAK, M., DOBRZYŃSKA, E., SZEWCZYŃSKA, M. Projektowane nanomateriały w środowisku pracy – narzędzia do oceny ryzyka. *Przemysł Chemiczny*. 2012, 9(4): 588-593.
- [9] HÖCK, J., et al. Guidelines on the Precautionary Matrix for Synthetic Nanomaterials. Federal Office of Public Health and Federal Office

for the Environment. Berne 2011, Version 2.1. <http://www.bag.admin.ch/themen/chemikalien/00228/00510/05626/index.html?lang=en>.

- [10] 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 (cztertnasta dyrektywa szczegółowa w rozumieniu art. 16 ust. 1 dyrektywy 89/391/EWG) (Dz.Urz. UE L 131 z 5.05.1998 r., s. 11).
 - [11] Working safely with engineered nanomaterials and nanoproducts. A guide for employers and employment. Ver. 4.2. August NIOSH 2012. http://www.tappinano.org/pdf/J771_NanoWorkSafetyGuidance.pdf.
 - [12] BROUWER, D.H. Control Banding Approaches for Nanomaterials. *Annals of Occupational Hygiene*. 2012, 56(5): 506-514.
 - [13] ZALK, D.M., et al. Review of qualitative approaches for the construction industry: Designing a risk management toolbox. *Safety and Health at Work*. 2011, 2(2): 105-121.
 - [14] ZALK, D.M., HEUSSEN, G.H. Banding the world together; The global growth of control banding and qualitative occupational risk management. *Safety and Health at Work*. 2011, 2(4): 375-379.
 - [15] ZALK, D.M., PAIK, S.Y. Risk Assessment Using Control Banding. [In] *Assessing Nanoparticle Risks to Human Health*. 2011, pp. 139-166.
 - [16] ZALK, D.M., PAIK, S.Y., SWUSTE, P. Evaluating the Control Banding Nanotool: A qualitative risk assessment method for controlling nanoparticle exposures. *Journal of Nanoparticle Research*. 2009, 11: 1685-1704.
 - [17] ZALK, D.M., PAIK S.Y., CHASE, W.D. A Quantitative Validation of the Control Banding Nanotool. *Annals of Work Exposures and Health*. 2019, 63: 898-917.
 - [18] LEE, J.H., et al. Evaluation of information in nanomaterial safety data sheets and development of international standard for guidance on preparation of nanomaterial safety data sheets. *Nanotoxicology*. 2013, 7(3): 338-345.
 - [19] EASTLAKE, A.C., et al. Refinement of the nanoparticle emission assessment technique into the Nanomaterial Exposure Assessment Technique (NEAT 2.0). *Journal of Occupational & Environmental Hygiene*. 2016, 13(9): 708-717.
- Publikacja opracowana na podstawie wyników V etapu programu wieloletniego „Poprawa bezpieczeństwa i warunków pracy”, finansowanego w latach 2021-2022 w zakresie zadań służb państwowych ze środków Ministerstwa Rozwoju, Pracy i Technologii.*
- Koordinator Programu: Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy.*