



Lidia Zapór

# Nanomateriały w środowisku pracy

Zalecenia dla przedstawicieli przedsiębiorstw  
odpowiedzialnych za BHP dotyczące  
oceny i ograniczania ryzyka zawodowego  
dla pracujących w narażeniu na nanomateriały

Lidia Zapór

# **Nanomateriały w środowisku pracy**

## **Zalecenia dla przedstawicieli przedsiębiorstw odpowiedzialnych za BHP dotyczące oceny i ograniczania ryzyka zawodowego dla pracujących w narażeniu na nanomateriały**

Warszawa 2022

Opracowano w ramach V etapu programu wieloletniego pn. „Poprawa bezpieczeństwa i warunków pracy” finansowanego w latach 2020-2022 w zakresie badań naukowych i prac rozwojowych ze środków Narodowego Centrum Badań i Rozwoju.  
Projekt nr II.PB.10, pt. „Ocena in vitro aktywności biologicznej wybranych nanostrukturalnych cząstek stałych jako potencjalnych czynników zaburzających funkcjonowanie układu hormonalnego”.  
Koordynator Programu: Centralny Instytut Ochrony Pracy-Państwowy Instytut Badawczy

Autor:  
dr Lidia Zapór – Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy

Opracowanie graficzne i projekt okładki:  
Jolanta Maj

Opracowanie redakcyjne:  
Monika Piech-Rzymowska

Copyright by Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy  
Warszawa 2022

**CIOP**  **PIB**

Centralny Instytut Ochrony Pracy – Państwowy Instytut Badawczy  
ul. Czerniakowska 16, 00-701 Warszawa  
tel. (22) 623 36 98, [www.ciop.pl](http://www.ciop.pl)

# 1. Wstęp

W 2011 r. Komisja Europejska przedstawiła definicję nanomateriału (zalecenie KE 2011/696/UE) [1], która została znowelizowana w Zaleceniu Komisji z dnia 10 czerwca 2022 r. dotyczącym definicji nanomateriału (2022/C 229/01) [2].

## Według zaktualizowanej definicji:

1. „Nanomateriał” oznacza naturalny, powstały przypadkowo lub wytworzony materiał składający się z cząstek w stanie stałym, które występują albo samodzielnie, albo jako możliwe do zidentyfikowania cząstki składowe w agregatach lub aglomeratach, i w którym co najmniej 50% takich cząstek w liczbowym rozkładzie wielkości spełnia co najmniej jeden z poniższych warunków:

- a) co najmniej jeden zewnętrzny wymiar cząstki mieści się w zakresie 1-100 nm;
- b) cząstka ma wydłużony kształt, taki jak pręt, włókno lub rurka, gdzie dwa wymiary zewnętrzne są mniejsze niż 1 nm, a drugi wymiar jest większy niż 100 nm;
- c) cząstka ma kształt płytki, gdzie jeden wymiar zewnętrzny jest mniejszy niż 1 nm, a pozostałe wymiary są większe niż 100 nm.

Podczas określania liczbowego rozkładu wielkości cząstek można nie uwzględniać cząstek o co najmniej dwóch ortogonalnych wymiarach zewnętrznych wynoszących powyżej 100 um.

Jednakże za nanomateriał nie uznaje się materiału o powierzchni właściwej przypadającej na objętość mniejszej niż 6 m<sup>2</sup>/cm<sup>3</sup>.

2. Na potrzeby pkt 1 stosuje się następujące definicje:

- a) „cząstka” oznacza drobinę materii o określonych granicach fizycznych; za „cząstki” nie uznaje się pojedynczych cząsteczek;
- b) „agregat” oznacza cząstkę zawierającą silnie powiązane lub stopione cząstki;
- c) „aglomerat” oznacza zbiór słabo powiązanych cząstek lub agregatów, w którym ostateczna wielkość powierzchni zewnętrznej jest zbliżona do sumy powierzchni poszczególnych składników.

3. Zaleca się, aby w odniesieniach do materiałów lub kwestii dotyczących produktów nanotechnologii stosowano definicję terminu „nanomateriał” określoną w najnowszym zaleceniu lub innym akcie zawierającym definicję nanomateriału na potrzeby polityki horyzontalnej i w prawodawstwie przyjętym przez Komisję lub prawodawcę Unii:

*a) w przypadku Komisji – podczas przygotowywania prawodawstwa, programów polityki lub programów badawczych oraz podczas wdrażania takiego prawodawstwa lub realizacji takich programów, również we współpracy z innymi instytucjami i agencjami Unii;*

*b) w przypadku państw członkowskich – podczas przygotowywania prawodawstwa, programów polityki lub programów badawczych oraz podczas wdrażania takiego prawodawstwa lub realizacji takich programów;*

*c) w przypadku podmiotów gospodarczych – podczas przygotowywania i prowadzenia ich działań i badań. [2]*

Rozporządzenie Komisji Europejskiej 2018/1881 [3] zmieniające rozporządzenie (WE) nr 1907/2006 Parlamentu Europejskiego i Rady [4] wprowadziło termin „nanopostać”, który należy definiować zgodnie z zaleceniem Komisji w sprawie definicji nanomateriału. Rozporządzenie 2018/1881 [3] nakłada na producentów obowiązek rejestrowania od 1 stycznia 2020 r. wszystkich nanopostaci, jakie posiada dana substancja wprowadzana do obrotu z przedłożeniem stosownych dokumentacji, w tym raportu bezpieczeństwa chemicznego i scenariuszy narażenia, w których powinny zostać zawarte środki kontroli ryzyka.

Po 1 stycznia 2020 r. nanopostać substancji – jeżeli nie została zarejestrowana – istnieje nielegalnie na rynku. Aktualnie w Europejskiej Agencji ds. Chemikaliów (ECHA) zostało zarejestrowanych ponad 330 substancji w formie nanopostaci (dane z 17.08.2022).

Dokumentem, który w całym łańcuchu dostaw dostarcza kompleksowych informacji o substancji, jest karta charakterystyki. Rozporządzenie Komisji (UE) 2020/878 [4] wprowadziło zmiany w załączniku II do rozporządzenia REACH nr 1907/2006 [5] m.in. odnośnie do nowych wymogów dla nanopostaci substancji i obowiązku umieszczania informacji o nanopostaciach w karcie charakterystyki. Karty charakterystyki niespełniające wymogów załącznika do nowego rozporządzenia można dostarczać do 31 grudnia 2022 roku.

## 2. Ocena ryzyka zawodowego dla pracujących w narażeniu na nanomateriały

Ocena ryzyka zawodowego jest procesem wieloetapowym. Podstawowe znaczenie w tym procesie ma etap identyfikacji substancji i zagrożeń, jakie może ona powodować. W przypadku nanomateriałów realizacja tego etapu często była utrudniona ze względu na niewystarczającą ilość danych, ograniczoną często do informacji dotyczących postaci konwencjonalnych danej substancji, a więc w większym niż „nano” (1-9 m) rozmiarze cząstek. Zmiany w prawodawstwie dotyczące obowiązku rejestracji nanopostaci zgodnie z rozporządzeniem REACH [3] obowiązek przekazywania informacji w łańcuchu dostaw za pomocą narzędzia, jakim są karty charakterystyki, powinny być w założeniu ułatwieniem dla pracodawców i osób odpowiedzialnych za bhp na stanowiskach pracy w aspekcie oceny ryzyka zawodowego dla pracujących w narażeniu na nanomateriały projektowane.

### Zagrożenia dla zdrowia i bezpieczeństwa związane z nanomateriałami

Specyfika działania nanomateriałów wpływająca na ich toksyczność i losy w środowisku zależy od szeregu czynników takich jak: skład chemiczny, wielkość i rozkład wielkości cząstek, kształt (sferoidalne, wydłużone, płaskie, wielokształtne), wskaźnik kształtu (stosunek długości do szerokości), krystaliczność, rozpuszczalność w wodzie, funkcjonalizacja i modyfikacja powierzchni, pole powierzchni i in. Wymagania dotyczące badań poszczególnych parametrów są zawarte w rozporządzeniu REACH [3] oraz wytycznych Europejskiej Agencji ds. Chemikaliów (ECHA, 2022).

Nanomateriały, na które narażeni są pracownicy w środowisku pracy, mogą przedostać się do organizmu przez układ oddechowy, układ pokarmowy oraz skórę. Po wnikięciu do organizmu mogą one ulegać wchłanianiu, dystrybucji, metabolizmowi i wydalaniu. Badania toksykologiczne wykazały obecność nanomateriałów w: płucach, wątrobie, nerkach, sercu, mózgu, śledzionie, tkance kostnej, narządach rozrodczych (jądrach, jajnikach) oraz tkankach płodów. Badania naukowe wskazują też na możliwość ich biokumulacji w organizmie.

### Do najpoważniejszych skutków działania nanomateriałów są zaliczane:

- stany zapalne w tkance płucnej,
- zmiany zwłóknieniowe w tkance płucnej,
- zmiany w układzie sercowo-naczyniowym,
- zmiany neurologiczne w tym zmiany patologiczne w mózgu,
- wpływ na rozrodczość,
- działanie mutagenne i genotoksyczne,
- działanie rakotwórcze.

Dane toksykologiczne wskazują też na możliwość oddziaływania na układ immunologiczny, hormonalny oraz wpływ na mikrobiom jelitowy. Badania własne wykazały zdolność nanocząstek srebra, platyny, złota i tritlenku molibdenu do indukcji aromatazy – enzymu szlaku syntezy steroidów płciowych (17 $\beta$ -estradiolu i/lub testosteronu) w badaniach na komórkach kory nadnerczy człowieka. Największy potencjał w indukowaniu zmian w produkcji hormonów wykazywały nanocząstki srebra, zwłaszcza o wielkości cząstek < 10 nm.

### **Największe zagrożenie mogą stwarzać nanomateriały:**

- nierozpuszczalne, sztywne, wchodzące w skład frakcji respirabilnej, biotrwale włókna o określonej geometrii i wysokim współczynnikiem wydłużenia, spełniające kryteria ustanowione dla włókien przez WHO (długość > 5  $\mu$ m; średnica < 3  $\mu$ m, współczynnik wydłużenia, czyli stosunek długości do średnicy > 3:1);
- wchodzące w skład frakcji respirabilnej, nierozpuszczalne, biotrwale, sztywne włókna o wysokim współczynnikiem proporcji (ang. High Aspect Ratio Nanomaterials, HARNs), ale nie spełniające kryteriów włókien wg WHO;
- cząstki wchodzące w skład frakcji respirabilnej, nierozpuszczalne, biotrwale, ziarniste.

Zagrożenia dla bezpieczeństwa człowieka mogą również wynikać z wysokiej wybuchowości, palności i potencjału katalitycznego niektórych nanomateriałów w postaci proszku, w szczególności nanoproszków metali.

## **2.1. Prawdopodobieństwo narażenia w miejscu pracy**

Prawdopodobieństwo narażenia zależy od postaci, w jakiej występuje nanomateriał w środowisku pracy, stężenia nanomateriału, czasu trwania narażenia, rodzaju wykonywanych czynności zawodowych.

Największe narażenie pracowników może nastąpić przy czynnościach i procesach przebiegających z możliwością uwalniania swobodnych nanocząstek, np. w postaci pyłów, cieczy, kropli aerozoli. Narażenie na nanocząstki związane w matrycach, zamknięte w kapsułach, wchodzące w skład powłok, jest o wiele mniejsze, o ile nie są one poddawane procesom mechanicznym lub termicznym. Emisja nanomateriału może występować na każdym etapie jego „cyklu życia”: począwszy od produkcji, poprzez stosowanie, a skończywszy na procesach recyklingu lub niszczenia nanomateriału uznanego za odpad. Dane pomiarowe powietrza w środowiskach pracy pozwalają na wskazanie czynności o największym prawdopodobieństwie uwalniania nanomateriału.

**Czynności stanowiące największe prawdopodobieństwo narażenia na nanomateriały to:**

- sortowanie, pakowanie i rozpakowywanie (otwieranie pojemników, zaworów, zdejmowanie uszczelek, opróżnianie opakowań, przelewanie cieczy),
- ważenie, filtracja i separacja,

- sporządzanie zawiesin (mieszanie, wytrząsanie, sonikacja),
- przetwarzanie i obróbka,
- rozpylanie i natryskiwanie,
- czyszczenie wyposażenia procesowego,
- pobieranie próbek,
- wymiana filtrów,
- czyszczenie miejsc pracy, podłóg i ścian,
- usuwanie rozlanego materiału,
- gromadzenie odpadów.

**Komitet Techniczny CEN opracował szereg dokumentów wspomagających ocenę narażenia na nanomateriały, m.in.:**

- EN ISO 28439:2011. Workplace atmospheres – Characterization of ultrafine aerosols /nanoaerosols – Determination of the size distribution and number concentration using differential electrical mobility analyzing systems [6];
- EN 17058:2018. Workplace exposure – Assessment of exposure by inhalation of nanoobjects and their aggregates and agglomerates [7];
- EN 16966:2018. Workplace exposure – Measurement of exposure by inhalation of nano-objects and their aggregates and agglomerates – Metrics to be used such as number concentration, surface area concentration, and mass concentration [8];
- EN 16897:2017. Workplace exposure – Characterization of ultrafine aerosols /nanoaerosols – Determination of the number concentration using condensation particle counters [9];
- CEN ISO/TS 21623:2018. Workplace exposure – Assessment of dermal exposure to nano-objects and their aggregates and agglomerates (NOAA) (ISO/TS 21623:2017) [10].

## **2.2. Metody oceny ryzyka zawodowego**

Z uwagi na trudności w ilościowym szacowaniu narażenia, brak obowiązujących prawnie wartości normatywnych dla nanomateriałów oraz często ograniczonej wiedzy na temat ich szkodliwego działania zaleca się stosowanie uproszczonych, jakościowych metod oceny ryzyka. Jedną z nich jest metoda control banding (zarządzanie pasmami ryzyka), która opiera się na zaszeregowaniu nanomateriału do odpowiedniej „kategorii zagrożenia” (ang. hazard) i oszacowaniu różnych



„poziomów narażenia” (ang. exposure). Metoda ta umożliwia dobór środków ochronnych dla różnych kategorii zagrożeń i różnych poziomów narażenia.

**Narzędzia do oceny ryzyka zawodowego są dostępne w postaci programów komputerowych i opracowań wielu organizacji, na przykład:**

- ECETOC TRA (European Centre for Ecotoxicology and Toxicology of Chemicals; <https://www.ecetoc.org/tools/tra-main/>),
- Stoffenmanager Nano,
- CB Nanotool 2.0 (Denmark) (The Danish Environmental Protection Agency, 2011),
- ISO control banding approach (ISO/TS 12901-2:2014(E) CB nanotool) [11],
- ANSES control banding tool for nanomaterials,
- Precautionary Matrix for Synthetic Nanomaterials,
- NanoSafer,
- GUIDEnano.

Opis i porównanie metod przedstawia m.in. dokument OECD – Series on Testing and Assessment, No. 347, Part I-III [12-14].

Dokument ISO/TR 13121:2011 [15] zawiera wskazówki dotyczące informacji potrzebnych do dokonania rzetelnej oceny ryzyka i decyzji dotyczących zarządzania ryzykiem, a także tego, w jaki sposób zarządzać w obliczu niekompletnych lub niepewnych informacji przy użyciu rozsądnych założeń i odpowiednich praktyk zarządzania ryzykiem.

## 2.3. Ograniczanie ryzyka zawodowego

WHO zaleca, aby do czasu uzyskania jednoznacznych informacji odnośnie do bezpieczeństwa danego nanomateriału stosować „zasadę ostrożności”, traktując go jako potencjalnie niebezpieczny [16]. Należy opracować i stosować środki zapobiegawcze niezbędne do zredukowania narażenia lub też ograniczać ryzyko przez utrzymanie ekspozycji na możliwie najniższym poziomie.

**Do środków zapobiegawczych należą m.in.:**

- technika zastąpienia:
  - stosowanie materiału zwilżonego i „wilgotnych” metod obróbki, generujących mniejsze ilości pyłu,
  - związanie nanomateriału pylistego (proszku) w emulsji, żelu, zawieszynie lub paście;

- środki inżyniersko-techniczne:
  - hermetyzacja i automatyzacja procesów,
  - stosowanie wysokowydajnej filtracji i wentylacji oraz systemów wentylacyjnych takich jak: odciągi, wyciągi, okapy chemiczne, komory rękawicowe i boksy laminarne,
  - izolowanie procesów lub części wyposażenia przez stosowanie osłon, kurtyn itp.,
  - stosowanie podajników (plastikowe tuleje lub rękawy);
- środki administracyjno-organizacyjne:
  - ograniczenie dostępu osobom nieupoważnionym (np. stosowanie kodowanych wejść),
  - ograniczenie liczby pracowników mających kontakt z nanomateriałem przez stosowanie pracy zmianowej,
  - oznakowanie miejsc o dużym ryzyku tworzenia pyłów i aerozoli,
  - zapewnienie zmywalnych powierzchni (powierzchnie robocze, ściany, podłogi łatwe w utrzymaniu czystości; w przypadku nanomateriałów należących do najwyższych grup ryzyka – podłogi z tworzywa lub żywicy),
  - właściwa konserwacja systemów zamkniętych, zakaz stosowania większej ilości nanomateriałów niż jest to konieczne,
  - wybór metod pracy, które generują możliwie najmniej aerozoli,
  - szkolenia pracowników w zakresie zwiększenia świadomości zagrożeń i ich unikania,
  - opracowywanie i wdrażanie pisemnych procedur i instrukcji bezpiecznej pracy z nanomateriałem,
  - procedura czyszczenia stanowisk pracy (urządzenia odkurzające wyposażone w filtry HEPA lub metodą „na mokro”, zakaz sprzątania na sucho),
  - procedura postępowania z odpadami (zamykanie w szczelnych pojemnikach na odpady, stosowanie podwójnych opakowań, unieruchamianie odpadów w żywicy lub cieczy),
  - stosowanie dobrych praktyk zawodowych (stosowanie mat klejących przy wejściach i wyjściach z pomieszczeń, zabezpieczanie stołów, na których wykonuje się czynności manualne sorpcyjnym papierem zapobiegającym skażeniu powierzchni itp.);
- środki ochrony indywidualnej:
  - ochrony indywidualne dróg oddechowych (maski, półmaski z filtrami klasy nie niższej niż FFP3) lub w przypadku pracy dłuższej – sprzęt ze wspomaganiem przepływu powietrza wyposażony w maski, półmaski skompletowane z filtrem klasy P3,
  - ochrona oczu (okulary, osłona twarzy),

- ochrona rąk (rękawice jednorazowe, stosowanie podwójnych rękawic),
- odzież ochronna (fartuchy lub odzież dwuczęściowa dla narażenia krótkotrwałego, kombinezony dla narażenia długotrwałego).

Dokument ISO/TS 12901-1:2012 [17] zawiera wytyczne dotyczące środków bezpieczeństwa i higieny pracy związanych z nanomateriałami inżynieryjnymi, w tym stosowania środków kontroli inżynieryjnej i odpowiedniego sprzętu ochrony indywidualnej, wytyczne dotyczące postępowania z wyciekami i przypadkowymi uwolnieniami oraz wskazówki dotyczące właściwego obchodzenia się z odpadami zawierającymi nanomateriały. Jest przeznaczony do użytku przez kompetentny personel, taki jak: kierownicy ds. BHP, kierownicy produkcji, kierownicy ds. ochrony środowiska, higieny przemysłowej/zawodowej i inne osoby odpowiedzialne za bezpieczną eksploatację obiektów zajmujących się produkcją, obsługą, przetwarzaniem i usuwaniem nanomateriałów technicznych. ISO/TS 12901-1:2012 [17] dotyczy materiałów inżynierskich, które składają się z nanoobjektów takich jak: nanocząstki, nanowłókna, nanorurki, a także agregaty i aglomeraty tych materiałów (NOAA).

Dokument ISO/TR 12885:2018 (Nanotechnologies – Health and safety practices in occupational settings [18]) opisuje zalecane praktyki w zakresie zdrowia i bezpieczeństwa w środowisku pracy związane z nanotechnologiami; szczególnie koncentruje się na profesjonalnym wytwarzaniu i stosowaniu wytworzonych nanoobjektów oraz ich agregatów i aglomeratów.

Materiały wspomagające ocenę ryzyka zawodowego oraz działania profilaktyczne można uzyskać na stronach Obserwatorium Unii Europejskiej ds. Nanomateriałów (European Union Observatory for Nanomaterials – EUON) [19]. Na stronach EUON znajdują się m.in. Informacje o poszczególnych nanomateriałach oraz branżach, w których są one stosowane [20], wytyczne ECHA, które przedstawiają siedmioetapowe podejście do oceny ryzyka i zarządzania ryzykiem wraz z poradami dla pracodawców, pracowników oraz specjalistów ds. BHP w celu zapewnienia prawidłowego stosowania różnych dyrektyw europejskich w dziedzinie nanomateriałów i nanotechnologii w miejscu pracy. Aktualny stan wiedzy na temat oceny ryzyka, jakie stanowią wytwarzane nanomateriały, przedstawiono w dokumencie OECD (Series on the Safety of Manufactured Nanomaterials No. 103. Important Issues on Risk Assessment of Manufactured Nanomaterials) [21].

## Piśmiennictwo

- [1] Zalecenie Komisji z dnia 18 października 2011 r. dotyczące definicji nanomateriału (Tekst mający znaczenie dla EOG) (2011/696/UE). Dz.U. L 275/38 z 20.10.2011.
- [2] Zalecenie Komisji z dnia 10 czerwca 2022 r. dotyczące definicji nanomateriału. (Tekst mający znaczenie dla EOG) (2022/C 229/01). Dz.U. C 229/1 z 14.06.2022.
- [3] Rozporządzenie Komisji (UE) 2018/1881 z dnia 3 grudnia 2018 r. zmieniające rozporządzenie (WE) nr 1907/2006 Parlamentu Europejskiego i Rady w sprawie rejestracji, oceny, udzielania zezwoleń i stosowanych ograniczeń w zakresie chemikaliów (REACH) w odniesieniu do załączników I, III, VI, VII, VIII, IX, X, XI i XII w celu uwzględnienia nanopostaci substancji (Tekst mający znaczenie dla EOG). Dz.U. L 308/1 z 4.12.2018.
- [4] Rozporządzenie Komisji (UE) 2020/878 z dnia 18 czerwca 2020 r. zmieniające załącznik II do rozporządzenia (WE) nr 1907/2006 Parlamentu Europejskiego i Rady w sprawie rejestracji, oceny, udzielania zezwoleń i stosowanych ograniczeń w zakresie chemikaliów (REACH) (Tekst mający znaczenie dla EOG). Dz.U. L 203/28 z 26.06.2020.
- [5] 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 (Tekst mający znaczenie dla EOG). Dz.U. L 136/3 z 29.05.2007.
- [6] EN ISO 28439:2011. Workplace atmospheres – Characterization of ultrafine aerosols/nanoaerosols – Determination of the size distribution and number concentration using differential electrical mobility analyzing systems.
- [7] EN 17058:2018. Workplace exposure – Assessment of exposure by inhalation of nanoobjects and their aggregates and agglomerates.
- [8] EN 16966:2018. Workplace exposure – Measurement of exposure by inhalation of nano-objects and their aggregates and agglomerates – Metrics to be used such as number concentration, surface area concentration, and mass concentration.
- [9] EN 16897:2017. Workplace exposure – Characterization of ultrafine aerosols/nanoaerosols – Determination of the number concentration using condensation particle counters.
- [10] CEN ISO/TS 21623:2018. Workplace exposure – Assessment of dermal exposure to nano-objects and their aggregates and agglomerates (NOAA) (ISO/TS 21623:2017).
- [11] ISO/TS 12901-2:2014. Nanotechnologies – Occupational risk management applied to engineered nanomaterials – Part 2: Use of the control banding approach.

- [12] OECD. Series on Testing and Assessment, No. 347. Evaluation of Tools and Models for Assessing Occupational and Consumer Exposure to Manufactured Nanomaterials – Part I: Compilation of tools/models and analysis for further evaluation. ENV/CBC/MONO(2021)27/REV.
- [13] OECD. Series on Testing and Assessment, No. 347. Evaluation of Tools and Models for Assessing Occupational and Consumer Exposure to Manufactured Nanomaterials – Part II: Performance testing results of tools/models for occupational exposure. ENV/CBC/MONO(2021)28.
- [14] OECD. Series on Testing and Assessment, No. 347. Evaluation of Tools and Models for Assessing Occupational and Consumer Exposure to Manufactured Nanomaterials – Part III: Performance testing results of tools/models for consumer exposure. ENV/CBC/MONO(2021)29/REV.
- [15] ISO/TR 13121:2011. Nanotechnologies. Nanomaterial risk evaluation. ICS.07.07.120.
- [16] World Health Organization. WHO guidelines on protecting workers from potential risks of manufactured nanomaterials. Geneva: WHO; 2017.
- [17] ISO/TS 12901-1:2012. Nanotechnologies – Occupational risk management applied to engineered nanomaterials – Part 1: Principles and approaches.
- [18] ISO/TR 12885:2018. Nanotechnologies – Health and safety practices in occupational settings.
- [19] <https://euon.echa.europa.eu/guidance-and-tools-for-workers>
- [20] <https://euon.echa.europa.eu/nanodata/rdi>
- [21] OECD. Series on the Safety of Manufactured Nanomaterials, No. 103. Important Issues on Risk Assessment of Manufactured Nanomaterials. ENV/CBC/MONO(2022)3.