



Nanoodpady jako nowy rodzaj odpadów potencjalnie zagrażających środowisku

Dorota RODEWALD, Zenon FOLTYNOWICZ

Uniwersytet Ekonomiczny w Poznaniu

al. Niepodległości 10, 61-875 Poznań

telefon: 61 8569213, fax: 61 8543993

e-mail: dorota.rodewald@ue.poznan.pl; zenon.foltynowicz@ue.poznan.pl

Streszczenie

Nanoodpady to nowy rodzaj odpadów zawierających materiały nanometryczne. Wyróżnia się różne formy nanoodpadów. Gospodarka tymi odpadami oraz określenie poziomu ich szkodliwości to nowe wyzwania, na które zwraca uwagę coraz więcej naukowców. Pomocnym narzędziem może okazać się określenie norm klasyfikacji nanoodpadów. Zwraca się uwagę na potrzebę rozwoju badań w obszarze postępowania z nanoodpadami, w celu uniknięcia potencjalnych zagrożeń płynących z niekontrolowanego i nieprzewidzianego uwalniania nanocząstek z odpadów do środowiska naturalnego.

Abstract

Nanowaste as a new kind of waste potentially harmful to the environment

Nanowaste is a new kind of waste containing nanometric materials. There are various forms of nanowaste. Nanowaste management and determining the level of environmental harmfulness of this waste is a new challenge, which draws attention of more and more researchers. Classification standards of nanowaste may be a helpful tool in this case. There is a need to develop research in the field of nanowaste treatment, to avoid uncontrolled and unexpected release of nanoparticles from waste into the environment.

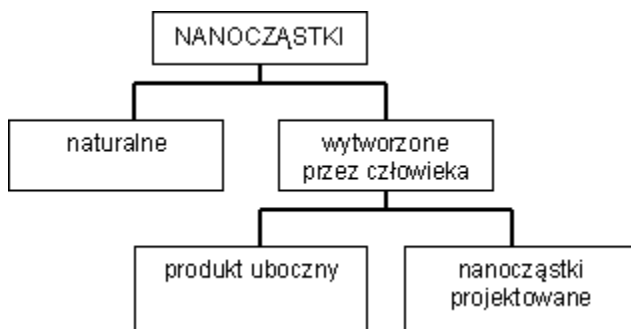
1. Wstęp

Termin nanoodpady obejmuje odpady zawierające materiały w rozmiarach nanometrycznych. Mogą to być przykładowo nanocząsteczki tlenku ceru, które zawarte są w niektórych dodatkach do paliw, czy nanocząsteczki dwutlenku tytanu, będące składnikiem niektórych kosmetyków. Wyróżnia się dwie istotne przyczyny potencjalnie bardziej szkodliwego oddziaływania nanomateriałów na środowisko naturalne w porównaniu z materiałami konwencjonalnymi. Po pierwsze, materiały w skali nano charakteryzują się często odmiennym zachowaniem od tych samych materiałów w skali makro. Przykładowo większa powierzchnia czynna nanomateriałów powoduje, że są one bardziej reaktywne i 'chętniej' oddziałują z innymi substancjami w swoim otoczeniu. Po

drugie, mogą zachowywać się jak nośniki dla innych zanieczyszczeń, powodując w ten sposób większe ich rozprzestrzenianie się w środowisku [1].

2. Nanocząstki i zagrożenia

Nanocząstki ze względu na źródło powstawania można podzielić (Rysunek 2.1) na naturalnie występujące w środowisku (w wyniku rozkładu materiałów geologicznych lub organicznych) oraz takie, które pojawiły się wskutek działalności człowieka (zamierzonej lub niezamierzonej) [2].



Rysunek 2.1. Podział nanocząstek ze względu na sposób powstawania [2].

Zagrożenia wynikające ze stosowania nanomateriałów odnoszą się najczęściej do nanocząstek projektowanych. Biorąc pod uwagę rosnące zastosowanie nanocząstek i nanomateriałów w produktach (w tym konsumenckich) i rozpatrując scenariusze ich obiegu w środowisku, stwierdza się, że mogą one dostać się do naturalnych systemów (woda, gleba, powietrze) poprzez ścieki komunalne i przemysłowe. W systemach tych mogą następnie ulec bioakumulacji, z czego wynika potencjalne zagrożenie dla środowiska [3,4]. Rozwój nanotechnologii przynosi wiele korzyści, należy mieć jednak na uwadze, że jednocześnie generuje nowy typ odpadów.

3. Nanoodpady jako nowy rodzaj odpadów

Nanoodpady mogą występować w czterech formach [5-7]:

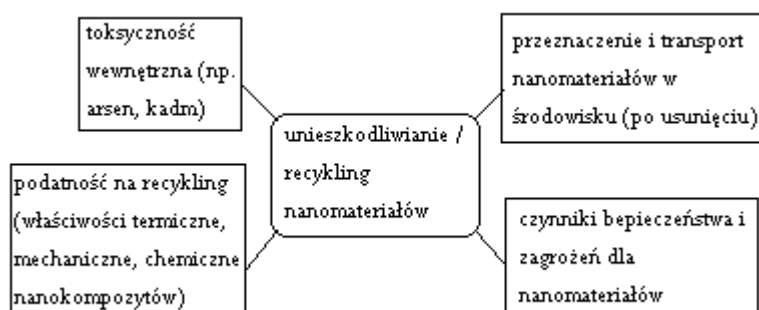
- czyste wytwarzane nanomateriały (np. nanorurki węglowe),
- przedmioty (materiały i powierzchnie) zanieczyszczone nanomateriałami,
- ciekłe zawiesiny zawierające nanomateriały,
- stałe formy z nanomateriałami (w masie lub na powierzchni).

Czasami wyróżnia się dodatkowy strumień nanooodpadów: nanoproducty uboczne (organiczne lub nieorganiczne) [6].

Nie istnieją żadne specjalne regulacje odnośnie nanooodpadów. Sugeruje się, że obecnie panujące prawa i regulacje są w większości wystarczające, mogą jednak wymagać dostosowania [8]. Podnoszone są kwestie z zakresu gospodarki nanooodpadami i czy powinna ona (a jeśli tak to w jakim zakresie) różnić się od gospodarki odpadami

konwencjonalnymi. Zwraca się uwagę na przykłady z przeszłości, gdy materiały dostarczające korzyści okazywały się w konsekwencji mieć negatywny wpływ na zdrowie ludzi i na środowisko naturalne. Historia uczy nas także, że z braku odpowiedniej wiedzy oraz wytycznych, decyzje odnośnie gospodarki odpadami były błędnie podejmowane [9]. W celu uniknięcia takiego toku wydarzeń w przypadku nanomateriałów i odpadów powstałych z ich stosowania oraz zdefiniowania odpowiedniej strategii niezbędne jest zebranie odpowiednich danych zarówno jakościowych jak i ilościowych. Niestety obecnie niewiele takich danych jest dostępnych.

Schemat (Rysunek 3.1) przedstawia zakres informacji niezbędnych dla określenia strategii unieszkodliwiania czy recyklingu nanomateriałów [6].



Rysunek 3.1. Informacje dla potrzeb unieszkodliwiania / recyklingu nanomateriałów [6].

4. Badania nad nanocząstkami i nanoodpadami w zakresie środowiskowym

W zakresie recyklingu zużytych nanocząstek, z pewnością nanocząstki metali szlachetnych będą obiektem zainteresowania, ze względu na swoją wysoką cenę. W przypadku innych nanocząsteczek sposobem na ich usunięcie z wody, powietrza czy gleby może być bioakumulacja przy użyciu odpowiednich roślin i grzybów, jednakże mechanizm tego procesu nie jest jeszcze do końca rozpoznany. Sánchez (et al.) w swoich badaniach niszczyli nanocząstki poprzez nieodwracalną agregację lub rozpuszczanie, a następnie z otrzymanym materiałem postępowali w konwencjonalny sposób [10].

Kim (et al.) odkryła obecność nanocząsteczek siarczku srebra w osadach ściekowych. Wcześniejsze badania wykazały, że nanocząstki srebra są skutecznie usuwane ze ścieków (ponad 90%), wskutek czego zostają zakumulowane w osadach. Wyniki badań Kim (et al.) sugerują, że rozpuszczone srebro, wytrącony chlorek srebra czy metaliczne nanocząstki srebra są przekształcane w procesie oczyszczania ścieków w nanocząsteczki siarczku srebra, które pozostają w osadach [11].

Naukowcy z Instytutu Chemii Fizycznej PAN opracowali w ciągu ostatnich pięciu lat metodę usuwania nanozanieczyszczeń. Punktem wyjścia było stwierdzenie, że stosowane obecnie metody mechanicznego i chemicznego oczyszczania ścieków nie eliminują nanozanieczyszczeń. Opracowana metoda polega na dodawaniu do zanieczyszczonego roztworu dwóch substancji: surfaktantu i polimeru. Przy odpowiednim dobraniu stężeń

wszystkie zanieczyszczenia znajdują się w pływającej warstwie wierzchniej, pod którą znajduje się oczyszczona woda z pozostałym polimerem, który niemal w całości można odzyskać. Natomiast warstwę wierzchnią surfaktantu można zebrać metodami mechanicznymi i zutylizować lub przetworzyć tak aby odzyskać zawarte w niej substancje [12].

5. Klasyfikacja nanoodpadów jako narzędzie w określaniu ich poziomu szkodliwości

Aktualnie nie są dostępne żadne opublikowane dane odnośnie ilości nanoodpadów pochodzących z procesów technologicznych oraz produktów powstałych w wyniku nanotechnologii. Ilość nanoodpadów może być wobec tego jedynie szacowana na podstawie ilości wytwarzanych nanomateriałów i stopnia ich zastosowania w różnorodnych produktach [5]. Jako, że produkcja nanomateriałów i nanoproduktów w ostatnich latach dynamicznie wzrasta, można spodziewać się także w konsekwencji wzrostu ilości nanoodpadów w czasie. Masowa konsumpcja generuje proporcjonalnie masową ilość odpadów [13]. Musee sugeruje, że utworzenie uniwersalnej klasyfikacji nanoodpadów jest niezbędne w określaniu stopnia ich szkodliwości. Proponowaną przez niego klasyfikację, uwzględniającą ekspozycję i szkodliwość nanomateriału przedstawia Tabela 5.1 [5].

Tabela 5.1. Klasyfikacja nanoodpadów [5].

Klasa nanoodpadu	Niebezpieczeństwo	Narażenie	Profil ryzyka
Klasa I	Nietoksyczny	Niskie do wysokiego	Żadne do bardzo niskiego
Klasa II	Szkodliwy do toksycznego	Niskie do średniego	Niskie do średniego
Klasa III	Toksyczny do bardzo toksycznego	Niskie do średniego	Średnie do wysokiego
Klasa IV	Toksyczny do bardzo toksycznego	Średnie do wysokiego	Wysokie
Klasa V	Bardzo toksyczny do skrajnie toksycznego	Średnie do wysokiego	Wysokie do bardzo wysokiego

Przykład poniżej (Tabela 5.2.) przedstawia sposób przyporządkowywania nanoproduktów zawierających konkretne nanomateriały do poszczególnych klas nanoodpadów.

Tabela 5.2. Określenie profilu nanoproduktu i przyporządkowanie do klasy nanoodpadu [5].

Nano produkt	Nano materiał	Niebezpieczeństwo	Narażenie	Ryzyko	Potencjalna klasa nanoodpadu
Produkt do pielęgnacji ciała	Ag	Średnie	Wysokie	Średnie	Klasa II / III
	Fulereny	Wysokie	Wysokie	Wysokie	Klasa IV / V
	Fe ₂ O ₃	Średnie	Wysokie	Średnie	Klasa II / III
	TiO ₂	Niskie	Wysokie	Niskie	Klasa I

6. Podsumowanie

Wskazuje się na ogólną tendencję do przeszacowywania efektów określonej technologii w krótkim okresie czasu oraz niedoszacowywanie efektów długoterminowych. Tę samą zależność Bystrzejewska (et al.) odnosi do nanotechnologii, której rozwój i zastosowanie w nanoproductach, w nieunikniony sposób prowadzi do produkcji nanoodpadów. Świadomość tego faktu oraz konieczność rozpatrzenia postępowania z tym nowym rodzajem odpadów jest jeszcze w fazie początkowej. Zwraca się uwagę na potrzebę rozwoju badań w tym obszarze, w celu uniknięcia potencjalnych zagrożeń płynących z niekontrolowanego i nieprzewidzianego uwalniania nanocząstek z odpadów do środowiska naturalnego. To potencjalne zagrożenie rośnie wraz ze wzrostem zastosowania nanomateriałów w różnorodnych produktach [4,14]. Zebranie niezbędnych danych do przeprowadzenia dalszych analiz (jak np. określenie ilości nanoodpadów dostających się do środowiska) wymaga współpracy pomiędzy naukowcami, producentami, przedsiębiorcami i ekonomistami [4]. Należy mieć na uwadze, że nie wszystkie materiały w nanoskali są takie same, dlatego trudno o stwierdzenia uogólniające dla całej grupy nanomateriałów [8]. Każdy nanoodpad może wymagać oddzielnego podejścia w zakresie określania potencjalnego ryzyka środowiskowego [5].

Literatura

- [1] European Commission (2011): Proactive policy needed to manage nanowaste, News Alert Issue, 27.01.2011.
- [2] Świdwińska-Gajewska A.M. (2007): Nanocząstki (część 1) – Produkt nowoczesnej technologii i nowe zagrożenie w środowisku pracy, *Medycyna Pracy*, 58(3), s. 243-251.
- [3] Brar S.K., Verma M., Tyagi R.D., Surampalli R.Y. (2010): Engineered nanoparticles in wastewater and wastewater sludge – Evidence and impacts, *Waste Management* 30, s. 504-520.
- [4] Bystrzejewska-Piotrowska G., Golimowski J., Urban P.L. (2009): Nanoparticles: Their potential toxicity, waste and environment management, *Waste Management* 29, s. 2587-2595.
- [5] Musee N. (2011): Nanowastes and the environment: Potential new waste management paradigm, *Environment International* 37, s. 112-128.
- [6] Mustafa G. (2009): Disposal/Recycling of Nanomaterials, *Advancing the Eco-Responsible Design and Disposal of Engineered Nanomaterials*, An International Workshop, Rice University, Houston, Texas, March 9-10, 2009.
- [7] Hallock M.F., Greenley P., DiBerardinis L., Kallin D. (2009): Potential risks of nanomaterials and how to safely handle materials of uncertain toxicity, *Journal of Chemical Health & Safety*, January/February 2009, s. 16-23.
- [8] Hester T. (2006): New World of Nanowaste: Review of Regulations, Positions, Policies and Action Related to Nanotechnology, *Environmental Impact of Nanotechnology EPA OSWER Conference*, Washington, DC, July 13, 2006.

- [9] Diesslin B. (2007): Nanowaste Disposal (No Small Problem), Midwest Nanotechnology Safety Workshop, Iowa State University, May 20-22, 2007.
- [10] Sánchez A., Recillas S., Font X., Casals E., González E., Puntès V. (2011): Ecotoxicity of, and remediation with, engineered inorganic nanoparticles in the environment, Trends in Analytical Chemistry, Vol. 30, No. 20, 507-516.
- [11] Nowack B. (2010): Nanosilver Revisited Downstream, Science, Vol. 330, s. 1054-1055.
- [12] Hołyst R., Fiałkowski M. (2010): Prosty przepis na usuwanie zanieczyszczeń, <http://www.ichf.edu.pl/press/2010/07/index.html> (19.05.2011r.).
- [13] Foltynowicz Z. (2006): Recycling and waste management envisage nanotechnology, Prace Naukowe Instytutu Inżynierii Ochrony Środowiska Politechniki Wrocławskiej, nr 81, s. 281-286, V Środkowoeuropejska Konferencja Recykling i odzysk materiałów polimerowych, 18-12 października 2006, Wrocław.
- [14] Foltynowicz Z. (2007): Should we be afraid of Nano Dust Emission?, 9th Workshop "Odour and Emission of Plastics Materials", s.11-1 – 11-5, 12-13 marca 2007, Kassel.