

Paweł SZEWCZYK, Katarzyna MIDOR
Politechnika Śląska
Wydział Organizacji i Zarządzania

OCENA ZAGROŻEŃ ZE STRONY PRODUKTÓW OPARTYCH NA NANOTECHNOLOGII

Streszczenie. W przeciwieństwie do licznych konwencjonalnych technik produkcji, techniki nanoprodukcji wymagają szczególnych projektów procesów i urządzeń oraz ich prowadzenia i kontroli. Z kolei, aby wykorzystać rynkowy potencjał nanotechnologii należy scharakteryzować niepewności środowiskowe, zdrowotne i bezpieczeństwa stwarzane przez nanoprodukty na drodze identyfikacji szans i zagrożeń na wczesnym etapie rozwoju produktów.

Opierając się na przeglądzie najnowszej literatury w artykule omówiono niektóre problemy związane z prowadzeniem analiz szans i zagrożeń, jakie stwarzają nanotechnologie na obecnym etapie ich rozwoju.

Słowa kluczowe: nanotechnologia, środowisko, ekologia, zdrowie.

HAZARD ASSESSMENT OF NANOTECHNOLOGY – BASED PRODUCTS

Summary. Unlike many conventional manufacturing techniques, nanomanufacturing techniques require unique facility and process design as well as operation and control. Accordingly, the environmental burden of most nanomanufacturing techniques may be more profound than that of many other conventional techniques.

Taking advantage of the newest literature chosen problems concerning the opportunities and threats created by nanotechnologies were presented.

Keywords: nanotechnology, environment, ecology, healthy.

1. Wprowadzenie

Nanotechnologia jest ekscytującym obszarem naukowego rozwoju, który obiecuje „więcej z mniej”. Proponuje sposoby tworzenia mniejszych, tańszych, lżejszych i szybszych urządzeń, które mogą wykonywać mądrzejsze rzeczy, stosować mniej materiałów i zużywać mniej energii. Istnieje wiele przykładów zastosowań nanotechnologii od najprostszych do bardzo

złożonych. Z kolei, głównym impulsem rozwoju nowych i lepszych materiałów zawsze była możliwość kontrolowania ich struktury przy coraz mniejszej skali wielkości. Ogólne właściwości materiałów tak zróżnicowanych, jak farby i czipy krzemowe to właściwości określone przez ich strukturę w skalach mikro i nano [1].

Termin *nanotechnologia* wykorzystywany jest do opisu właściwości i zastosowań materiałów o wymiarach z przedziału od 1 do 100 nm¹⁾. Postępy w rozumieniu zdarzeń molekularnych w skali atomowej w powiązaniu z nowymi metodami pomiarowymi i obserwacjami doprowadziły do rozwoju nowych produktów i procesów wytwórstwa, które obejmują nanotechnologię. Materiały nanostrukturalne definiowane są jako małe struktury o kontrolowanym kształcie, wielkości, składzie chemicznym i funkcjach (np. nanocząstki, nanorurki, nanodruty, nanofilmy i kropki kwantowe). Przykłady przemysłów lub sektorów, w których wykorzystywane są nanoproducty obejmują ceramikę, membrany, powłoki, kompozyty, wyroby ochrony skóry, biotechnologię, półprzewodniki i cienkie filmy [2, 3]. Obszar ten gwałtownie rośnie, w związku z tym w krótkim czasie rozwijane będą nowe zastosowania i produkty.

Chociaż niektóre zastosowania nowych nanostruktur znajdują się w fazie badań podstawowych, inne zastosowania nanotechnologii znalazły już swoje odbicie na rynku. Z jednej strony występują produkty zastępujące składniki masowe za pomocą odpowiedników w nanoskali, jak udoskonalone kremy przeciwsłoneczne, a z drugiej strony są produkty, które, wykorzystując nowe zjawiska nanoskali, jak właściwości emisyjne nanorurek węglowych, umożliwiają tworzenie ultralekkich płaskich ekranów monitorów w telefonach komórkowych czy źródeł światła opartych na kropkach kwantowych [3].

W 2003 roku Renzo Tomellini – przewodniczący Nanotechnology Unit Komisji Europejskiej [4] stwierdził, że nanotechnologie, opisywane jako nowa rewolucja przemysłowa, mające potencjał wprowadzenia gruntownych zmian w zakresie wszystkich aspektów społecznych, wymagają podjęcia intensywnych badań w obszarze ryzyka tych nowych technologii w celu uzyskania dla nich społecznej akceptacji. Dwa główne elementy mają tu znaczenie: czy nanotechnologie są pożyteczne oraz czy są niebezpieczne? Jedynie właściwa wiedza uzyskana na podstawie szerokich badań naukowych może dostarczyć odpowiedzi na te pytania.

W tym kontekście problemem żywotnym dla społecznej akceptacji jest identyfikowanie wpływów środowiskowych i ryzyka związanego z nanoproductami na wczesnym etapie ich rozwoju, a to wymaga intensywnych badań dla odróżnienia ryzyka rzeczywistego od ryzyka domniemanego, nieopartego na wiarygodnych danych. Wcześniejsze próby formalnej oceny ryzyka środowiskowego były utrudnione przez niedostatek danych toksykologicznych [4, 5], co przeszkadzało w zarządzaniu ryzykiem w przypadku pracowników nanotechnologicznych oraz przekazywaniu informacji o ryzyku szerszej społeczności [4, 6].

Obecnie istnieje wiele pozycji literaturowych w języku polskim, w których można znaleźć szczegółowe opisy zarówno typowych metod nanoprodukcji, jak i opisy właściwości oraz zastosowań przykładowych nanostruktur [7, 8, 9, 10].

Bazując na przeglądzie najnowszej literatury w artykule omówiono niektóre problemy związane z prowadzeniem analiz szans i zagrożeń, jakie stwarzają nanotechnologie na obecnym etapie ich rozwoju.

2. Wpływ procesów nanoprodukcji na środowisko

W procesie produkcji materiału lub urządzenia o nanowymiarach wszystkie nanoprodukty muszą przechodzić wiele różnych etapów. Pod wpływem coraz lepszego rozumienia chemicznych właściwości materiałów, zasad biologicznych i praw fizyki w nanoskali zostały sformułowane nowe podejścia do procesów produkcji. W poniższej tabeli 1 ukazano aspekty rozwoju materiałów i produktów w nanoskali, w porównaniu z dotychczasowymi praktykami.

Tabela 1

Nowy sposób postrzegania rozwoju materiałów i produktów

Produkcja klasyczna		Nanoprodukcja
Dotychczasowe postrzeganie		Konieczne zmiany i nowe postrzeganie
Właściwości ciał stałych	Nanocząstki tracą swoje właściwości typowe dla ciał stałych i można je postrzegać jako wielkie cząsteczki o nowych właściwościach elektronicznych, chemicznych i optycznych	Właściwości wiązań Mechanika kwantowa
Dominacja objętościowa	Nanocząstki cechuje bardzo duży stosunek powierzchni do objętości, stąd też dominują atomy powierzchniowe oraz ich właściwości chemiczne, termiczne lub magnetyczne	Dominacja powierzchniowa
Prosta miniaturyzacja	Zamiast miniaturyzacji nanocząstki i nanostruktury mogą się tworzyć i być kontrolowane przez zjawiska samoorganizacji na podobieństwo mechanizmów w przyrodzie	Synteza i manipulacja atomami Kombinacja z procesami samoorganizacji

Zródło (Source): [11] – rys. 13, s. 18.

2.1. Źródła wpływu na środowisko

Metody produkcji wyrobów w skali nano istnieją od ponad 150 lat (np. Faraday uzyskał koloidalne złoto w 1857 roku). Wiele z nich ulegało w znacznym stopniu ewolucji, zaś inne są całkiem nowe. Jednakże liczbowe dane odnośnie zużycia wody, chemikaliów i energii oraz inwentaryzacji cyklu życia bywają dostępne dopiero od niedawna. Wśród badających aspekty cyklu życia nanoproductów istnieje zgoda, że to faza produkcyjna jest największym źródłem wpływu na środowisko. Większość badań oceny cyklu życia²⁾ (LCA) lub wpływu cyklu życia (LCI), odnoszących się do produktów końcowych nie ujawnia szczegółowych danych, które leżąc u podstaw analizy wpływu i jest trudno dokonać dezagregacji wyników związanych z fazą produkcji. Brak transparentności, znaczne rozbieżności w zbiorach danych oraz różnice w metodologii lub prezentacji wyników są źródłem powstania luk wiedzy oraz stosunkowo nieznacznego wykorzystywania wyników istotnych badań. Z badań tych można wysnuć pewne ogólne wnioski na temat źródeł względnie wysokich wartości ilorazów odpady/produkty i potencjalnych wpływów środowiskowych procesów produkcji, bez uwzględniania specyfiki produktu lub typu procesu produkcji, mianowicie [3]:

- Istnieją ostrzejsze wymagania czystości i mniejsza tolerancja dla zanieczyszczeń w trakcie przebiegu procesu w porównaniu z konwencjonalnymi procesami produkcyjnymi.
- Efektywność wykorzystywania materiału lub wydajność procesu może być niska.
- W odniesieniu do pojedynczego produktu lub szarży pojawiają się potrzeby powtórnego przebiegu procesów czy procesów następnych.
- Pojawia się konieczność stosowania chemikaliów toksycznych, zasadowych lub kwasowych oraz rozpuszczalników organicznych.
- Występuje potrzeba średniej lub wysokiej próżni lub innych specjalistycznych środowisk.
- W procesach stosowane lub generowane są gazy cieplarniane.
- W związku z ostrymi wymaganiami czystości i wykorzystywania wody jako rozpuszczalnika występuje jej wysoka konsumpcja oraz znaczne zużycie energii.
- Ujawnia się potencjalna ekspozycja na chemikalia w miejscu pracy i w czasie katastrof.

Chociaż obecna masowa produkcja nanowyrobów jest stosunkowo skromna, w szczególności w porównaniu z całkowitą produkcją chemikaliów, ilość ta będzie rosła, gdyż znajduwane zostają nowe zastosowania, a starsze produkty i procesy są zastępowane przez technologie oparte na nanotechnologii. Wiele materiałów stosowanych w nanowyrobach występuje rzadko i zapotrzebowanie czasami przekracza poziom ich produkcji. Wzbudza to troskę o dostępność, cenę i przydatność substytutów i podkreśla potrzebę prowadzenia precyzyjnych, globalnych analiz strumieni materiałów.

3. Ocena ryzyka w cyklu życia produktów opartych na nanotechnologii

Przemysł jest głównym „graczem” na polu projektowania i produkcji wyrobów i w sposób ciągły próbuje stosować czystsza produkcję oraz zapobiegać zanieczyszczeniom. W tym celu projektuje właściwe procesy, odpowiednią obróbkę końcową wyrobów oraz wprowadza substytucję materiałową. Często jako najbardziej obiecująca droga do redukcji potencjalnych negatywnych oddziaływań na zdrowie i środowisko wydaje się być dobrowolne inicjatywy do stosowania przez przemysł.

3.1. Problemy z wiarygodnym charakteryzowaniem nanomateriałów

Jednym z kluczowych problemów w zakresie nanotoksykologii jest brak norm i definicji. Ciągłe nie ma spójnego międzynarodowego podejścia do oceny czy i jakie ryzyko stwarzają jakiego rodzaju materiały nanotechnologiczne [12]. Zasadniczym problemem jest porównywanie wyników badań i formułowanie wniosków bez dysponowania odpowiednimi normami i charakterystyką nanomateriału.

W pracy [13] stwierdzono, że nanomateriały uzyskane ze źródeł komercyjnych nie są scharakteryzowane tak dobrze, jak informuje producent. Na przykład, pewien producent informował, że oferowany rodzaj nanocząstek ma średnicę 30 nm i chociaż wielkość 30 nm mogła być bliska średniej średnicy, zwykle w materiale występują nanocząstki z przedziału wielkości od 5 nm do 300 nm. Badając zmienność właściwości nanomateriałów w różnych partiach produktu autorzy stwierdzili, że niektóre partie mające morfologię sferyczną zawierały morfologie mieszane – sfery i pręty. Ostatecznie opisali 3 główne przyczyny problemów:

1. Nanomateriały mogą być niehomogeniczne i, w przeciwieństwie do cząsteczek o znanym składzie chemicznym, są tworzone z próbek charakteryzujących się rozkładem wielkości.
2. Nie istnieją znormalizowane metody pomiaru wielkości cząstek i pola ich powierzchni; stąd stosowane są różne metody do określania tych wielkości. Wiele instrumentów potrzebnych do charakteryzowania materiałów w nanoskali jest drogie i/lub specjalistycznych, co ogranicza ich dostępność. Jest to szczególnie prawdziwe w przypadku małych początkujących przedsiębiorstw.
3. Występuje zmienność właściwości produkowanych nanomateriałów między partiami, a nie wszystkie partie są charakteryzowane.

Z powyższych rozważań wynika, że w przypadku badań wpływu nanomateriałów na środowisko i zdrowie człowieka konieczne jest prowadzenie niezależnych badań charakterystyk materiałów komercyjnych, jeśli uzyskiwane wyniki mają mieć znaczenie naukowe.

3.2. Badanie postrzegania, procedur i osiągnięć przemysłu nanotechnologii

W pracy [14] przedstawiono wyniki badań ankietowych na temat sposobów jak radzą sobie z ryzykiem przedsiębiorstwa wykorzystujące nanomateriały (NM) w produkcji. Zwrócono się z pisemnym kwestionariuszem do 135 przedsiębiorstw w Niemczech (87) i w Szwajcarii (48), które zostały wytypowane na podstawie ich stron WWW, przeglądów literatury oraz kontaktów osobistych. Uzyskano odpowiedzi z 40 firm, co stanowiło poziom odpowiedzi wielkości 29,6%. Sektor chemiczny reprezentowało 38% firm, a 33% to sektor dóbr konsumpcyjnych. Główne pola zastosowań nanomateriałów w tych sektorach przemysłowych to powłoki i cienkie folie dla różnych materiałów (np. szkło, drewno, tekstylia), zastosowania medyczne oraz wyroby elektroniczne. W kwestionariuszu umieszczono 3 pytania dotyczące postrzegania przez przemysł zagadnień przezorności, odpowiedzialności i regulacji. Kolejne 4 pytania odnosiły się do wybranych przemysłowych procedur, zaś pytanie ósme pozwoliło przemysłowi na sformułowanie własnej oceny powyższych procedur i zagadnień.

Przedsiębiorstwa postrzegały siebie jako instytucje odpowiedzialne za potencjalne wpływy na zdrowie ludzi i środowisko zarówno na etapie badań, rozwoju, jak i na etapach produkcji nanomateriałów, jednakże odpowiedzialność ta była stopniowo, w ramach cyklu życia produktu, przekazywana do innych interesariuszy. Oczywiście poczucie się przemysłu do odpowiedzialności jest niespójne w odniesieniu do uregulowań. Odpowiedzi uczestników badań różniły się w zakresie przyjęcia norm przemysłowych czy uregulowań rządowych odnośnie postępowania z nanomateriałami w trakcie każdego etapu cyklu życia. Większość przedsiębiorstw było zdania, że etap produkcji powinny regulować normy przemysłowe, natomiast na etapach stosowania i utylizacji wyrobów zawierających nanomateriały opinie były podzielone między normy przemysłowe a regulacje rządowe.

Propozycja objęcia regulacjami rządowymi odpowiedzialności w trakcie całego cyklu życia jest problematyczna, gdyż dotąd rządowe regulacje nie obejmowały nanomateriałów. Wynika z tego wniosek, że istnieje luka między polityką przemysłową a publiczną w zakresie zapewnienia bezpiecznego rozwoju i stosowania wyrobów zawierających nanomateriały.

Zdaniem autorów publikacji obecny poziom dobrowolnego zaangażowania się przemysłu w zapewnienie bezpieczeństwa związanego z wykorzystywaniem nanomateriałów jest niewystarczający. Choć wiele zastosowań nanomateriałów może być bezpieczne, ciągle istnieje możliwość narażenia konsumentów na nieokreślone ryzyko. W tej sytuacji rozwój aktywnych strategii zarządzania ryzykiem staje się pilnym zadaniem rządów i przemysłu, w celu minimalizacji ryzyka zaistnienia szkód w środowisku i zdrowiu człowieka.

4. Najnowsze inicjatywy agend rządowych w USA i w Szwajcarii

W listopadzie 2013 roku, w USA, Narodowy Instytut Bezpieczeństwa Pracy i Zdrowia (NIOSH) opublikował dokument [15], w którym zidentyfikowano i opisano strategie kontroli ekspozycji pracowników w czasie produkcji i stosowania nanomateriałów inżynierskich.

W dokumencie tym stwierdzono, że wiele badań skupia się na zrozumieniu toksykologii pojawiających się nanomateriałów oraz na ocenach ekspozycji, natomiast bardzo mało badań dotyczy kontroli zagrożeń związanych z ekspozycjami na nanomateriały. Kontrola ekspozycji w ramach zagrożeń w pracy jest podstawową metodą ochrony pracowników. Tradycyjnie stosowane są następujące metody:

- eliminacja,
- substytucja,
- kontrole inżynierskie,
- kontrole administracyjne,
- instrumenty ochrony osobistej.

W omawianym dokumencie opisano dostępne technologie możliwe do zastosowań w przemyśle nanotechnologii. Niektóre z nich zostały już w przemyśle ocenione, natomiast w przypadku innych wykazano ich skuteczność w kontrolowaniu podobnych procesów w innych przemysłach. Identyfikacja i adaptowanie skutecznych metod kontroli jest ważnym, pierwszym krokiem w procesie redukcji ekspozycji pracowników na nanomateriały inżynierskie.

Autorzy dokumentu NIOSH mają nadzieję, że stanie się on pomocny przy wyborze metod inżynierskiej kontroli w procesach produkcji i stosowania wyrobów w obszarze nanotechnologii.

Z kolei szwajcarski Związkowy Urząd Zdrowia oraz Związkowy Urząd Środowiska (Bundesamt für Gesundheit und Bundesamt für Umwelt) [16] wyraziły opinię, że nanomateriały można wprowadzić i stosować jedynie wtedy, gdy ich przewidywane użycie nie zaszkodzi człowiekowi i środowisku. Odpowiedzialność za bezpieczne obchodzenie się z syntetycznymi nanomateriałami ponoszą producenci lub importerzy. Sytuacja taka tworzy stan niepewności dla gospodarki w zakresie inwestycji w nanotechnologie i obchodzenia się z nanomateriałami oraz utrudnia otwartą dyskusję na temat szans i zagrożeń ze strony nanomateriałów. Dotąd brak jest standardowych metod określania fizykochemicznych właściwości nanomateriałów, które mogą wpływać na organizmy i środowisko oraz ich oddziaływania z systemami biologicznymi.

W 2008 roku, w ramach Szwajcarskiego Planu Działań Nanomateriały Syntetyczne, sformułowano następujące zasady działania [16]:

- Stworzenie naukowych i metodycznych warunków dla poznania i eliminowania możliwych, szkodliwych wpływów syntetycznych nanomateriałów na zdrowie i środowisko.
- Stworzenie ram odpowiedzialnego obchodzenia się z syntetycznymi nanomateriałami.
- Promowanie otwartego dialogu o szansach i zagrożeniach nanotechnologii i nanomateriałów.
- Lepsze wykorzystanie istniejących instrumentów promowania rozwoju i marketingu zrównoważonych zastosowań nanotechnologii.

Końcowym efektem tych działań było opracowanie macierzy przezorności (Vorsorgeraster) dla produktów i zastosowań syntetycznych nanomateriałów w celu wzmocnienia poczucia odpowiedzialności przemysłu, przedsiębiorstw i handlu w zakresie wdrażania zasady przezorności.

Macierz przezorności pomaga gospodarce oszacować potrzebę zastosowania nanospecyficznych środków przezorności w przypadku syntetycznych nanomateriałów i ich zastosowań w odniesieniu do pracowników, użytkowników i środowiska, w zakresie wybranych parametrów. Jednocześnie pomaga w identyfikacji możliwych źródeł ryzyka w procesie rozwoju, produkcji, użycia i unieszkodliwiania syntetycznych nanomateriałów.

5. Podsumowanie

W celu osiągnięcia większości korzyści ze stosowania nowej technologii oraz, aby uzyskać jej społeczną akceptację, musi powstać ogólne przeświadczenie, że ryzyko jest w pełni zrozumiałe, można nim zarządzać i jest jasne kto i za co odpowiada. Tego wszystkiego brakuje obecnie nanotechnologii [17].

Należy unikać dotychczasowego rozproszenia badań związanego z faktem, że [18]:

- Nanotechnologia jest nadzorowana przez te same organizacje rządowe, które ją promują.
- Strategie badań nie prowadzą do jasnych odpowiedzi na krytyczne pytania.
- Współpraca jest stale utrudniana przez bariery między dyscyplinami i instytucjami.
- Interesariusze nie są w pełni zaangażowani.

Objaśnienia:

- 1) 1 nanometr (nm) = 10^{-9} m; nanotechnologia – projektowanie, charakterystyka, produkcja i stosowanie struktur, urządzeń i systemów na drodze kontrolowania kształtu i wielkości w nanoskali [Vocabulary – Nanoparticles, BSI, PAS 71:2005, poz. 2.6].

- 2) Ocena cyklu życia wyrobu (LCA) jest jedną z kilku technik zarządzania środowiskiem służącą do badania aspektów środowiskowych i potencjalnych wpływów na środowisko w całym okresie życia wyrobu (tj. „od kołyski do grobu”), począwszy od pozyskania surowców przez produkcję, użytkowanie, aż do likwidacji (wg PN-EN ISO 14040:2000).

Bibliografia

1. Nanoscience and nanotechnologies: opportunities and uncertainties; Royal Society and the Royal Academy of Engineering, London 2004, s. 7. <http://royalsociety.org> (dostęp: 5.09.2010).
2. Wardak A., Gorman M.E., Swami N., Deshpande S.: Identification of Risk in the Life Cycle of Nanotechnology - Based Products, *J. Ind. Ecol.*, 12, 435-448, 2008.
3. Sengul H., Theis T.L., Ghosh S.: Toward Sustainable Nanoproducts, *J. Ind. Ecol.*, 12, 329-359, 2008.
4. Tomellini R.: wywiad, 2003.
<http://www.euractiv.com/en/science/renzo-tomellini-head-nanotechnology-unit-european-commission/article-117415> (dostęp: 5.09.2010).
5. Maynard A., Baron P., Foley M., Shvedowa A., Kisin E., Castranova V.: Exposure to carbon nanotube material: Aerosol release during the handling of unrefined single-walled carbon nanotube material, *J. Toxicology and Environmental Health Part A*, 67, 2004, p. 87-107.
6. Maynard A.: Nanotechnology: A research strategy for addressing risk. Washington, DC: Woodrow Wilson International Institute for Scholars, Project on Emerging Nanotechnologies, 2006.
7. Kehsall R.W., Hamley I.W., Geoghegan M.: Nanotechnologie, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2008.
8. Nanomateriały inżynierskie, konstrukcyjne i funkcjonalne, Kurzydłowski K., Lewandowska M. (redaktorzy), Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2010.
9. Szewczyk P.: Nanotechnologie. Aspekty techniczne, środowiskowe i społeczne, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2011.
10. Cademartiri L., Ozin G.A.: Nanochemia. Podstawowe koncepcje, Państwowe Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2011.
11. Nano Produktion. Innovationspotenziale fuer hessische Unternehmen durch Nanotechnologien in Produktionsprozessen; Band 6 der Schriftenreihe der Aktionslinie Hessen – Nanotech, HA Hessen Agentur GmbH; Wiesbaden 2007, s. 18. www.hessen-nanotech.de (dostęp 15.5.2010).

12. Berger M.: Meaningful nanotechnology EHS research requires independent nanomaterial characterization;
<http://www.nanowerk.com/spotlight/spotid=15996.php> (dostęp 27.4.2010).
13. Park H., Grassian V.H.: Commercially manufactured engineered nanomaterials for environmental and health studies: Important insights provided by independent characterization; *Environmental Toxicology and Chemistry*, 29 (3), 2009, p. 715-721.
14. Helland A., Kastenholz H., Siegrist M.: Precaution in Practise. Perception, Procedures, and Performance in the Nanotech Industry, *J. Ind. Ecol.*, 12, 2008, p. 449-458.
15. Current strategies for engineering controls in nanomaterial production and downstream handling processes. U.S. Department of Health and Human Services, Centers for Disease Control and Prevention, National Institute for Occupational Safety and Health, DHHS (NIOSH) Publication No. 2014-102, Cincinnati, OH 2013.
<http://www.cdc.gov/niosh> (dostęp 18.11.2013).
16. Wegleitung zum Vorsorgeraster für synthetische Nanomaterialien, Bundesamt für Gesundheit und Bundesamt für Umwelt, Bern 2013, Version 3.0
<http://www.bag.admin.ch/nanotechnologie/12171/12174> (dostęp 20.11.2013).
17. Berger M.: Nanotechnology risk assessment could benefit from nanoparticle categorization framework; *Nanowerk Spotlight*;
<http://www.nanowerk.com/spotlight/spotid=3701.php> (dostęp 16.03.2010).
18. Berger M.: Late lessons from early warnings for nanotechnology. *Nanowerk Spotlight*;
<http://www.nanowerk.com/spotlight/spotid=6467.php> (dostęp 3.08.2009).

Abstract

Sustainable development of nanotechnology will inevitably require incorporation of life cycle thinking to analyze environmental impacts of nanomanufacturing. While many concerns have been raised regarding the human and ecological health effects of and benefits from using nanoproducts, relatively little attention has been given to the manufacturing phase.

Unlike many conventional manufacturing techniques, nanomanufacturing techniques require unique facility and process design as well as operation and control. Accordingly, the environmental burden of most nanomanufacturing techniques may be more profound than that of many other conventional techniques.

Taking advantage of the newest available literature some essential problems concerning the opportunities and threats created by nanotechnologies were presented in this paper.