

Nanotechnologie w budownictwie europejskim

Stan wiedzy na rok 2009
streszczenie

Fleur van Broekhuizen
Pieter van Broekhuizen

Amsterdam, listopad 2009 r.



Kolofon

Tytuł: Nanotechnologie w budownictwie europejskim – stan wiedzy na rok 2009 - streszczenie
Autorzy: F.A. van Broekhuizen i J.C. van Broekhuizen
Komitet sterujący: R. Gehring (EFBWW), D. Campogrande (FIEC), J. Gascon (FCC, Hiszpania), U. Spannow (3F, DK), J. Waage (FNV Bouw, NL)

Niniejszy raport powstał na zlecenie: EFBWW (Europejskiej Federacji Pracowników Budowlanych i Przemysłu Drzewnego) i FIEC (Europejskiej Federacji Przemysłu Budowlanego) w ramach europejskiego dialogu społecznego.

Podziękowania

Niniejsze studium otrzymało grant Komisji Europejskiej, Dyrekcji Generalnej ds. Zatrudnienia na mocy umowy przyznania grantu nr VS/2008/0500 – SI2.512656 w ramach europejskiego dialogu społecznego w przemyśle budowlanym.

Autorzy składają podziękowania przedsiębiorstwom (firmom budowlanym, producentom surowców i produktów oraz zakładom przetwórstwa odpadów), organizacjom branżowym, instytucjom badawczo-rozwojowym oraz osobom fizycznym za nieoceniony wkład, jaki wnieśli do badania, za ich spostrzeżenia oraz otwartość w dyskusjach.

Dalsze informacje o raporcie można otrzymać od:

IVAM UvA BV

Amsterdam-NL

Tel.: +31 20 525 5080

www.ivam.uva.nl

E-mail: office@ivam.uva.nl

Informacje zaczerpnięte z niniejszego raportu mogą być wykorzystywane pod warunkiem podania właściwego źródła.

IVAM UvA b.v. nie ponosi odpowiedzialności za żadne szkody lub straty wynikające ze stosowania lub wykorzystania wyników niniejszego raportu.

Streszczenie

Niniejszy raport zawiera studium dostępności, zastosowania oraz zagadnień z zakresu higieny i bezpieczeństwa nanoproductów w budownictwie europejskim w roku 2009. Zaprezentowane spostrzeżenia poparte są sondażem przeprowadzonym w całej Europie wśród pracodawców, pracowników i przedstawicieli pracowników branży budowlanej, obszernymi wywiadami z kilkoma kluczowymi zainteresowanymi stronami oraz obszerną literaturą.

Przemysł budowlany dysponuje bardzo ograniczoną wiedzą na temat dostępności i działania nanomateriałów. Dotyczy to pracodawców i pracowników firm budowlanych, a także przedstawicieli pokrewnych profesji, takich jak architekci, inżynierowie budownictwa oraz zleceńodawców robót budowlanych.

Ten brak świadomości oraz fakt, że nanokomponenty są często zbyt drogie, by wchodzić w skład konkurencyjnych cenowo produktów skutkuje tym, że jedynie ograniczona liczba nanoproductów znajduje obecnie zastosowanie na placu budowy. Główne typy produktów obecnych na rynku to ulepszone nanocząstkami materiały betonowe i cementowe, nanopowłoki oraz materiały izolacyjne. Trwają jednak intensywne prace badawcze i rozwojowe i oczekuje się, że ze względu na wyjątkowe (przewidywane) właściwości nanoproductów w przyszłości nastąpi zwiększenie ich różnorodności oraz udziału w rynku.

Zastosowanie tych produktów może jednakże powodować powstanie nowych zagrożeń dla bezpieczeństwa i higieny pracy robotników na budowie, które nauka dopiero zaczyna poznawać. Dotyczy to w szczególności robót, podczas których generowane są nanocząstki lub aerozole. Typowe czynności o potencjalnie wysokim narażeniu na oddziaływanie nanocząstek to stosowanie nanoproductów mokrych lub pylistych, obróbka maszynowa nanoproductów suchych lub prefabrykowanych oraz czyszczenie lub konserwacja zastosowanych materiałów i sprzętu. Mimo to na ogół brakuje szczegółowych informacji o składzie produktów oraz o potencjalnych, związanych z nanokomponentami zagrożeniach dla bezpieczeństwa i zdrowia, a informacje dostępne producentom surowców znikają w miarę przepływu produktów w dół łańcucha dostaw do użytkownika.

W rezultacie przeciętne przedsiębiorstwo budowlane będzie mieć duże trudności z przeprowadzeniem właściwej analizy ryzyka oraz zorganizowaniem bezpiecznego stanowiska pracy dla swoich pracowników. Jednym ze sposobów radzenia sobie z nieznanym jest przestrzeganie zasady ostrożnego zarządzania. Aby pomóc uzupełnić braki w wiedzy, zalecane jest opracowanie pewnej liczby narzędzi wspierających przedsiębiorstwa budowlane (np. systemu rejestracji i notyfikacji, wartości referencyjnych dla nanowielkości lub dobrych praktyk dla niektórych czynności wysokiego ryzyka) przy wprowadzaniu zasady ostrożnego zarządzania w życie.

Spis treści

Streszczenie	3
1. Wstęp.....	5
2. Nanotechnologia w budownictwie.....	7
2.1 Czynniki wpływające na stosowanie nanoproductów w budownictwie.....	8
2.2 Działania mające zapewnić bezpieczeństwo w środowisku pracy	13
3. Nanoproducty na placu budowy	15
3.1 Wprowadzenie.....	15
3.2 Cement, beton i mokra zaprawa	16
3.3 Powłoki i farby.....	17
3.4 Nanotechnologia i infrastruktura.....	19
3.5 Materiały izolacyjne.....	20
4. Zagrożenia dla zdrowia	22
4.1 Wprowadzenie.....	22
4.2 Drogi narażenia	23
4.3 Kwestie BHP związane z kilkoma rodzajami nanocząstek.....	24
4.4 Możliwe podejścia do bezpiecznego stosowania nanoproductów.....	25
5. Możliwe dalsze działania zwiększające bezpieczeństwo w miejscu pracy..	29

1. Wstęp

W ramach europejskiego dialogu społecznego FIEC (Europejska Federacja Przemysłu Budowlanego) oraz EFBWW (Europejska Federacja Pracowników Budowlanych i Przemysłu Drzewnego) zleciły instytutowi IVAM UvA BV zbadanie aktualnego poziomu świadomości wśród zainteresowanych stron oraz sporządzenie zestawienia nanoproduktów realnie dostępnych na europejskim rynku budowlanym. Niniejsze streszczenie zawiera podsumowanie wyników zakrojonego na szeroką skalę badania stanu wiedzy w roku 2009 w odniesieniu do dostępności, zastosowania oraz zagadnień BHP w kwestii nanoproduktów w europejskiej branży budowlanej. Raport główny pt. „Nanotechnologie w budownictwie europejskim – stan wiedzy na rok 2009” zawiera szczegółowe omówienie wyników badania.

Ze względu na stałe dążenie rynku ku trwalszym, bardziej zbilansowanym i tańszym produktom, trwają nieprzerwane prace badawczo-rozwojowe nad produktami dla budownictwa. Jedną z nowości technologicznych jest stosowanie w tych badaniach nanotechnologii. Nanotechnologia to po prostu umiejętność obserwowania, kontrolowania i wpływania na materiały (i ich zachowanie) z dokładnością do 1 nanometra (nm) (tj. w zakresie wielkości ok. 10.000 razy mniejszym od grubości ludzkiego włosa). Wiąże się to z zaawansowanymi technikami obrazowania stosowanymi do badania i ulepszania zachowania materiału, a także do projektowania i wytwarzania bardzo drobnoziarnistych proszków, cieczy lub substancji stałych zawierających cząstki wielkości od 1 do 100 nm, tzw. nanocząstek. Firmy stosują nanocząstki, by nadać swoim produktom nowe lub ulepszone właściwości. Na przykład przezroczyste, odbijające promienie podczerwieni powłoki szyb pomagają lepiej sterować klimatem wewnątrz budynków, ultramocne materiały betonowe umożliwiają wznoszenie cieńszych i lżejszych konstrukcji, a powłoki samoczyszczące pomagają ograniczyć zanieczyszczenie powietrza substancjami organicznymi.

Chociaż internet jest bogatym źródłem informacji o nanotechnologii stosowanej w budownictwie i choć oczekiwania co do jej przyszłości są duże, obecnie jedynie ograniczona liczba nanoproduktów faktycznie dociera na plac budowy, głównie ze względu na to, że technologie i same nanokomponenty są zbyt drogie, by wytwarzać przy ich użyciu produkty mogące konkurować z już istniejącymi. Niektórzy znaczący gracze w tej branży uważają, że: *„pod tym względem przemysł budowlany pozostaje w tyle o około 10 lat za przemysłem ogólnie, a to z powodu związanych z tym kosztów oraz standardów technicznych i bezpieczeństwa obowiązujących w odniesieniu do stosowanych materiałów”*.

Pomimo tego należy odnotować, że wzrasta ilość dostępnych nanoproduktów. Nanoprodukty budowlane charakteryzują się wyjątkowymi właściwościami, ale mogą również stanowić nowe zagrożenie dla zdrowia i bezpieczeństwa robotników na budowie. Ze względu na to, że nanomateriały i nanoprodukty jako takie są nowością, dopiero co zaczynamy rozumieć¹ istotę

¹ Istnieją różnorodne kwestie otwarte związane z zagrożeniem dla zdrowia oraz przebiegiem narażenia na działanie nanomateriałów i nanoproduktów. Z drugiej strony posiadamy znaczną wiedzę i doświadczenie w dziedzinie oceny stanu bezpieczeństwa i higieny w środowisku pracy oraz zarządzania zagrożeniami wynikającymi z narażenia. Wykorzystanie posiadanej wiedzy do poradzenia sobie z nieznanym stanowi wyzwanie dla osób wykorzystujących nanoprodukty przy pracy.

zagrożenia, jakie mogą stanowić dla zdrowia i bezpieczeństwa. To, a także duże oczekiwania wobec potencjału rynkowego nanoproductów² w niedalekiej przyszłości sprawia, że w celu podjęcia w razie potrzeby odpowiednich środków ważne jest śledzenie od samego początku przebiegu wydarzeń w dziedzinie nanotechnologii oraz świadomość istnienia niewiadomych w kwestii bezpieczeństwa i higieny stosowania nanomateriałów i nanoproductów. Niniejszy raport ma na celu dostarczyć nieco więcej informacji o stosowanych obecnie w budownictwie nanoproductach i ich właściwościach, aby umożliwić przeprowadzenie oceny ryzyka opartej na lepszej znajomości zagadnienia.

Mówiąc o nanomateriałach i nanoproductach należy zdawać sobie sprawę z faktu, że nie uzgodniono jeszcze ich definicji, a w związku z tym z łatwością może dochodzić do nieporozumień. W niniejszym raporcie przyjęto, że:

1. nanomateriałem jest materiał zbudowany z cząstek stałych zawierający nanocząstki lub ich aglomeraty lub agregaty w formie stałej lub rozproszonej w cieczy, lub wewnętrzne lub zewnętrzne nanostruktury lub domeny o rozmiarach nanometrowych.
2. nanoproduct to wszelkiego rodzaju produkt, do którego celowo dodawany jest nanomateriał w celu wpłynięcia na właściwości tegoż produktu.

Nanocząstki zostały zdefiniowane jako cząstki „konstruowane” (zrobione przez człowieka, w celu odróżnienia ich od „naturalnych” cząstek o rozmiarach nanometrowych, które powstają np. podczas erupcji wulkanów) o wielkości 1-100 nm. Cząstki te mogą być rozpuszczalne lub nie. Obecnie tylko cząstki nierozpuszczalne określa się mianem nanocząstek, ponieważ to trwałe cząstki nierozpuszczalne są głównym przedmiotem zainteresowania pod kątem potencjalnych skutków zdrowotnych typowych dla obiektów nanometrowych. Aktualnie prowadzone są dyskusje nad potencjalnymi typowymi dla obiektów nanometrowych skutkami zdrowotnymi rozpuszczalnych nanocząstek, również ze względu na ich typowe dla obiektów nanometrowych działanie w środowisku.

² Na przykład patrz www.hessen-nanotech.de

2. Nanotechnologia w budownictwie

W celu uzyskania pełnego przeglądu aktualnej dostępności i zastosowania nanomateriałów i nanoproductów na placach budowy oraz przedstawienia bieżących wydarzeń, które w bliskiej przyszłości mogą wpłynąć na stosowanie nanoproductów, a także w celu zasygnalizowania i przedstawienia w odpowiedniej perspektywie kwestii bezpieczeństwa i higieny w środowisku pracy wynikających ze stosowania tych produktóv podjęto działania w trzech kierunkach:

1. Szeroko zakrojone poszukiwania informacji w literaturze (naukowej) oraz źródłach internetowych dostarczyły informacji o nanomateriałach i nanoproductach stosowanych w budownictwie, a także o zagadnieniach BHP, które mogą być istotne dla sposobu ich stosowania.
2. Federacje FIEC i EFBWW przeprowadziły sondaż wśród swoich członków w 24 krajach Europy w celu zbadania ogólnej świadomości (przedstawiciele) pracodawców oraz pracowników w zakresie stosowania nanoproductów w branży (sondaż jest zwany dalej „sondażem 2009”). Sondaż 2009 miał na celu umożliwić uzyskanie informacji na temat pierwszych doświadczeń w tej dziedzinie, przyczyn, dla których zrezygnowano z dotychczasowych produktóv na rzecz nanoproductów oraz zagadnień BHP poruszanych przez dostawców. W żadnym wypadku sondaż nie miał na celu umożliwić dogłębnego zaznajomienia ze szczegółami współczesnego wykorzystania nanoproductów i sposobu pracy z nimi w budownictwie, ponieważ wymagałoby to zastosowania o wiele bardziej złożonej metodologii.
3. Przeprowadzono obszerny wywiady z robotnikami budowlanymi oraz pracodawcami, architektami, producentami oraz naukowcami prowadzącymi prace badawczo-rozwojowe nad materiałami i produktami budowlanymi w celu uzyskania wyczerpujących informacji o bieżących działaniach w dziedzinie nanoproductów przeznaczonych dla branży budowlanej. Rezultaty rozmów są istotne dla przedstawienia we właściwej perspektywie wyników sondażu 2009 oraz informacji zaczerpniętych z literatury i źródeł internetowych, oraz dla zwrócenia uwagi na te najnowsze działania w dziedzinie nanotechnologii, które obecnie można uznać za najważniejsze dla branży budowlanej.

Tabela 0-1 Zestawienie typowego przygotowania zawodowego (profil pełnionych funkcji) respondentóv sondażu 2009 oraz zestawienie rodzajóv organizacji, do któryv zwrócono się w celu przeprowadzenia obszernych rozmóv

Respondenci ³	Funkcja	Obszerne wywiady (%)	Rodzaj organizacji
6	Pracodawca	21	Przemysł budowlany
4	Malarz (pracownik, przedstawiciel pracowników)	21	Producent (surowców)
4	Doradca ds. bezpieczeństwa (pracownik, przedstawiciel pracowników)	9	Organizacje branżowe
3	Różne (pracownik, przedstawiciel pracowników)	4	Architekci
11	Nieokreślone (pracownik, przedstawiciel pracowników)	42	Uniwersytet B&R
38 ⁴	Doradcy ds. BHP / higienišci pracy (tylko z Holandii)		

³ Ogółem otrzymano 28 odpowiedzi z 14 różnych krajóv Europy i dodatkowo 38 od specjalistóv BHP z Holandii, które zostały omóvione osobno.

⁴ Pula odpowiedzi otrzymanych od holenderskich higienistóv pracy i doradcóv ds. BHP (łącznie 38 respondentóv) jest wyjątkowa na tle pozostałych odpowiedzi uzyskanych w sondażu 2009. W związku z tym zostały one poddane osobnej ocenie. Uzyskane w ten sposób wyniki okazały się całkowicie zgodne z pozostałymi.

Wyniki zostały przedstawione w poniższych rozdziałach. W tabeli 0-1 przedstawiono zestawienie profili pełnionych funkcji respondentów sondażu 2009 oraz rodzajów organizacji, do których zwrócono się w celu przeprowadzenia obszernych wywiadów.

2.1 Czynniki wpływające na stosowanie nanoproductów w budownictwie

W roku 2003 specjaliści ds. badań i rozwoju (B&R) podzielali duże oczekiwania co do mającego wkrótce nastąpić rozwoju nanoproductów przeznaczonych dla przemysłu budowlanego. Jednakże, bardzo niewiele z oczekiwanych wówczas productów faktycznie trafiło na teraźniejsze place budowy⁵. Można wskazać wiele przyczyn takiego rozwoju wypadków. W poniższych rozdziałach omówione zostaną te najważniejsze.

Konkurencja cenowa

Główną przyczyną, dla której nanoproducty nadal nie trafiają do przemysłu budowlanego choć potencjalnie mogą cieszyć się powodzeniem wśród społeczeństwa, są związane z ich stosowaniem koszty. Obecnie nanomateriały, a w rezultacie nanoproducty, są ze względu na technologię potrzebną do ich produkcji nadal znacząco droższe od alternatywnych materialów produkowanych bez zastosowania nanotechnologii. W branży budowlanej oznacza to, że projekt zostaje wstrzymany już w fazie prac badawczo-rozwojowych nad nanoproductem, jeśli przewiduje się, że nigdy nie osiągnie on konkurencyjnej ceny. W znaczącym stopniu wynika to z faktu, że producty budowlane niemal zawsze są dostarczane w dużych ilościach, a niewielkie różnice cenowe na poziomie kilograma materialu przekładają się na ogromny wzrost kosztów ogólnych, po uwzględnieniu wielkości całkowitej zadania budowlanego.

W rezultacie producenci materialów budowlanych niechętnie opracowują nanoproducty, a te, które zostały opracowane są stosowane jedynie na wyraźne życzenie. Dzieje się tak w szczególności w przypadku productów o dużej objętości, np. betonu lub zaprawy oraz powłok budowlanych. Z kolei w przypadku np. materialów izolacyjnych, powłok architektonicznych i powłok do powierzchni szklanych, obecne zainteresowanie społeczeństwa usprawnianiem zarządzania energią w kontekście zmian klimatycznych oraz ograniczeniem emisji gazów cieplarnianych stymuluje dalsze wprowadzanie ich na rynek.

Parametry techniczne

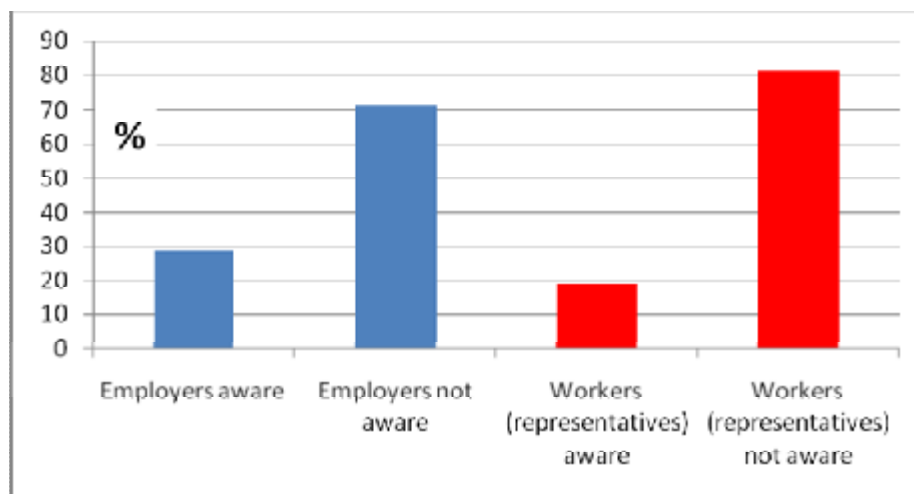
Parametry techniczne productu to drugi czynnik ograniczający wdrożenie nanoproductów na dużą skalę. Powinny one zostać gruntownie sprawdzone pod kątem spełniania norm technologicznych obowiązujących dla danego materialu. Naturalnie, jest to zależne od sektora rynku. Na przykład, w przypadku betonu jest to kwestia o fundamentalnym znaczeniu. W przypadku samoczyszczących powłok okiennych kwestia ta jest znacznie mniej istotna, choćby ze względu na zdecydowanie mniej surowe normy bezpieczeństwa.

Świadomość w branży

Świadomość (lub jej brak) to kolejny kluczowy element hamujący wdrażanie nanoproductów do prac budowlanych. Nowe producty nie mogą być wykorzystywane i wypróbowywane, jeśli nie ma świadomości ich istnienia. Wiedza o nanotechnologii w budownictwie jest w Europie bardzo ograniczona i posiada ją obecnie niewielka liczba kluczowych graczy, którzy rozwijają ten rynek. Wyniki przeprowadzonego przez federacje FIEC i EFBWW sondażu 2009 mającego na celu zbadanie świadomości robotników budowlanych i ich pracodawców zostały przedstawione na Rysunku 0-1 i świadczą o tym, że większość respondentów (ok. 75%) nie wie, czy stosuje w pracy nanoproducty. Wynik ten oparto na 28 odesłanych ankietach, podczas gdy docelowo

⁵ Bartos P.J.M. 2009, Nanotechnology in Construction 3, Proceedings of the NICOM3. ISBN 978-3-642-00980-8

oczekiwano odesłania 3 ankiet przez każdego członka FIEC lub EFBWW z każdego z 24 krajów UE, do którego zwrócono się w tej sprawie (oczekiwana ilość odesłanych ankiet: 144)⁶.



Rysunek 0-1 Odpowiedzi w sondażu 2009 pracodawców i (przedstawicieli) pracowników świadomych lub nie obecności nanoproductów w swoim miejscu pracy.

Wyniki sondażu należy jednak interpretować jedynie w kategorii pewnego wskazania aktualnego stanu wiedzy w sektorze na temat stosowania nanoproductów w przemyśle budowlanym. W rzeczywistości 25% respondentów świadomych prawdopodobnie zawyża prawdziwe dane liczbowe ze względu na selekcję pozytywną: osoby świadome stosowania nanoproductów w pracy są bardziej skłonne udzielać odpowiedzi. Oto fragmenty komentarzy przedstawicieli pracowników i pracodawców budowlanych do sondażu 2009:

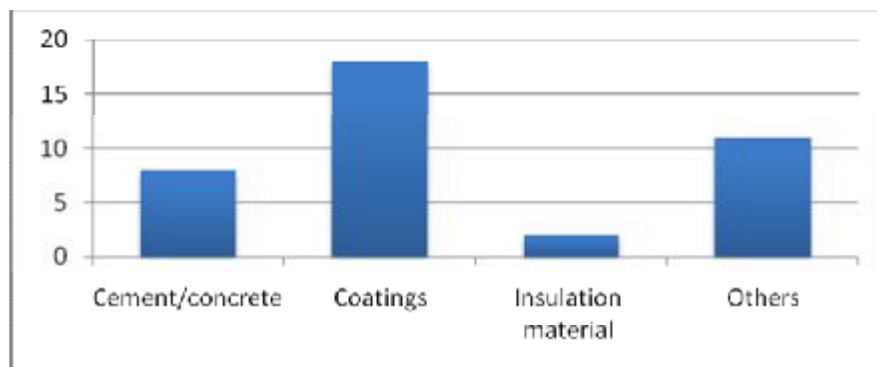
- „(...) Rozmawiałem na ten temat z kilkoma firmami i żadna z nich nie zna jakichkolwiek materiałów zawierających te produkty. Rozmawiałem też na ten temat z kilkoma osobami z Health and Safety Executive (Inspektoratu ds. BHP), i oni również nie wiedzą o istnieniu takich produktów... (UK)”.
- „(...) próbowaliśmy uzyskać informacje z kilku podsektorów budowlanych, ale do tej pory nie otrzymaliśmy użytecznych wskazówek. Kwestia ta (co niezbyt nas dziwi) jest nadal nieznana (CH)”.
- „(...) ten temat jest po prostu zbyt abstrakcyjny lub nieznan, aby w ogóle brać udział w sondażu (NL)”.

To, wraz z konkluzjami wyciągniętymi z obszernych wywiadów z kilkoma kluczowymi graczami w tej branży (tj. BASF, Heidelberg Cement, Skanska) przeprowadzonych równolegle z sondażem 2009 sugeruje, że nanotechnologia jeszcze nie spenetrowała w znaczącym stopniu sektora budowlanego. Kontakty z różnymi MŚP potwierdzają, że nanotechnologia jest rynkiem niszowym we współczesnym przemyśle budowlanym. Otrzymaliśmy jednakże również sygnały świadczące o przeciwnej sytuacji: firma świadcząca usługi doradcze w zakresie BHP dla branży instalatorskiej i energetycznej z Danii wskazała, że „(...) nie posiadają żadnych informacji o jakichkolwiek nanoproductach stosowanych w tych sektorach, ale są przekonani, że niektóre z produktów, z którymi mają do czynienia są w rzeczywistości nanoproductami”.

Respondenci sondażu 2009 pracujący z nanoproductami najczęściej używają produktów cementowych lub betonowych, powłok lub materiałów izolacyjnych (patrz Rysunek 0-2). Inne

⁶ Odpowiedzi na ankietę otrzymano z 14 różnych krajów, przy czym typowa ilość odpowiedzi z każdego kraju - za wyjątkiem Holandii - wyniosła 1 lub 2. Znacząco wyższa ilość odpowiedzi uzyskanych z Holandii wynika z prowadzonego tam równolegle (krajowego) przedsięwzięcia dotyczącego nanoproductów w przemyśle budowlanym oraz związanym z nimi narażeniem zawodowym.

rodzaje produktów, w tym produkty do budowy dróg i chodników, środki lub tekstylia zmniejszające palność zostały wskazane zaledwie przez kilku respondentów. Wszyscy respondenci stosowali nanoproducty ze względu na ich działanie (pomijając produkt alternatywny), a niekiedy (dodatkowo) na specjalne życzenie klienta.



Rysunek 0-2 Nanoproducty wskazane jako faktycznie stosowane; ilość produktów według rodzaju produktu, na podstawie sondażu 2009

Co ciekawe, niektórzy respondenci odpowiadający „*Nie, nie jestem świadomy tego, że pracuję z nanoproductami*” wskazują, że mogą ewentualnie pracować z niektórymi rodzajami nanoproductów, gdy zostanie im przedstawiona konkretna lista rodzajów produktów (ok. 18% wszystkich respondentów: pracowników, przedstawicieli pracowników i pracodawców). Rodzaje produktów rozpoznawanych zazwyczaj przez tych respondentów częściowo pokrywają się z produktami wymienionymi z nazwy przez respondentów pracujących z nanoproductami świadomie (ok. 21% wszystkich respondentów: pracowników, przedstawicieli pracowników i pracodawców). Świadczy to o braku ogólnej wiedzy na temat charakteru produktów stosowanych w pracy, ale można to również interpretować jako wskazanie grup produktów, w których respondenci mogą spodziewać się pojawienia się nanoproductów w pierwszej kolejności. Odpowiedź ta może jednak ewentualnie wynikać z wpływów marketingu łączącego wyróżniające się pod względem technologicznym działanie produktu z przedrostkiem „*nano-*”, sugerującym, że wszystkie „nowe”, „wyjątkowe” lub „supermocne” produkty mogą być nanoproductami.

Korzyści, jakie nanotechnologia daje branży

Stosowanie nanotechnologii w badaniach nad ulepszonymi materiałami i w celu ich rozwoju wymaga posiadania dużego działu badań i rozwoju dysponującego drogimi urządzeniami i wykwalifikowanym personelem wdrożonym do ich obsługi. Jednakże, ponieważ przemysł budowlany nigdy nie był mocno zorientowany na badania i rozwój (B&R), działania te w odniesieniu do nanomateriałów prowadzone są przede wszystkim przez dużych, międzynarodowych producentów takich jak BASF, AKZO-NOBEL, DuPont, Heidelberg i Italcementi lub w wyspecjalizowanych instytutach badawczych (uniwersyteckich lub prywatnych). Pośrednio implikuje to, że MŚP odgrywają niewielką, lub w ogóle nie odgrywają żadnej roli w obecnych pionierskich działaniach nanotechnologicznych w sektorze budowlanym. Wyjątkami są: MŚP typu spin-off posiadające umowy umożliwiające im korzystanie z infrastruktury badawczej należącej do ich większej firmy „macierzystej”, MŚP utworzone jako akademickie firmy typu spin-off (i które mogą korzystać z urządzeń uczelni) koncentrujące się na konkretnych niszowych „nanorynkach”, np. na produkcji i projektowaniu na zlecenie specyficznych nanomateriałów, a także niewielka liczba MŚP, którym udało się wykorzystać sukcesy i przełomy dokonane przez większe firmy do innowacyjnego rozwoju własnych linii produktów.

Obecnie sytuacja ta ulega zmianie w dziedzinie powłok. Nanopowłoki są zazwyczaj „bardziej” zaawansowane w rozwoju w porównaniu z innymi produktami budowlanymi, takimi jak beton czy materiały izolacyjne, a metody stosowania nanomateriałów stają się coraz bardziej powszechnie znane wśród producentów. Dlatego w przypadku farb i powłok również MŚP zaczynają odgrywać większą rolę i produkują własne linie nanoproductów.

Upowszechnianie znajomości nanozagadnień w ramach łańcucha użytkowników

Dla przeciętnego robotnika budowlanego szczegółowa wiedza na temat chemicznych właściwości produktu, z którym pracuje, nie jest priorytetem numer jeden. Potrzebne mu są natomiast informacje techniczne i z zakresu BHP. Zasada ta jest prawdziwa w przypadku „normalnych” produktów i stosuje się jednakowo do nanoproductów. Stosowanie znormalizowanych metod w celu zidentyfikowania zagrożeń dla zdrowia pracowników wynikających z narażenia na nanoproducty jest obecnie przedmiotem debaty, a wiele kwestii dotyczących możliwości stosowania tych metod pozostaje otwartych. W rezultacie panuje powszechna niepewność co do związanych z nanoproductami zagrożeń dla zdrowia i bezpieczeństwa, a same nanoproducty należy traktować i stosować z zachowaniem pewnej ostrożności.

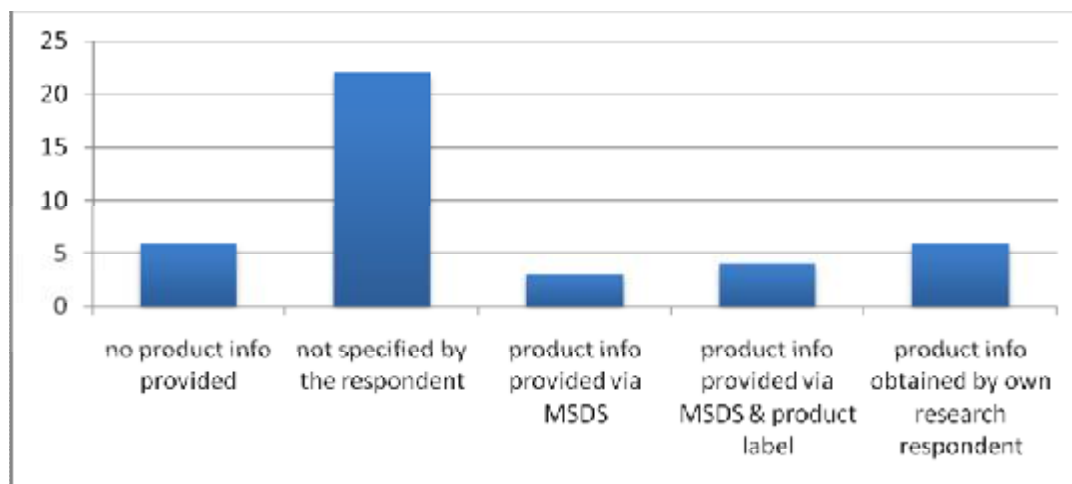
Nanomateriały mogą być dużo bardziej reaktywne (na gram materiału) niż ich odpowiedniki powstałe bez zastosowania nanotechnologii i mogą zachowywać się w odmienny od nich sposób. Mogą zatem również inaczej wpływać na zdrowie i wpływ ten może być poważniejszy. Ustalone limity bezpieczeństwa, po przekroczeniu których wymagana jest rejestracja i komunikowanie ryzyka dla zdrowia i bezpieczeństwa, są zatem prawdopodobnie za wysokie, aby zapewniać bezpieczne miejsce pracy i powinny zostać obniżone. W związku z tym w Europie lobby ETUI i ETUC dąży do zmiany tej sytuacji poprzez wprowadzenie nowelizacji rozporządzenia REACH i nałożenie obowiązku notyfikacji wszystkich nanomateriałów celowo dodawanych do produktów.

W obecnej sytuacji istnieją jedynie ograniczone sposoby zasięgnięcia informacji o składzie chemicznym nanoproductu. Niewielu producentów stosujących składniki o nanometrowych rozmiarach lub nanomateriały powiadamia swoich klientów o tym fakcie, ponieważ nie są do tego zobowiązani rozporządzeniem w sprawie klasyfikacji, oznaczania i pakowania substancji i mieszanin (CLP)⁷. Jak wynika z sondażu 2009, zaledwie w przypadku 7 z 41 nanoproductów wskazanych jako stosowane respondenci zaznaczyli, że są informowani o ich charakterystyce poprzez karty charakterystyki (MSDS), a z tych jedynie w 4 przypadkach MSDS zalecają dla nanoproductu środki ochrony inne niż te, które zalecano w przypadku (zwykłych) produktów stosowanych uprzednio przez to samo przedsiębiorstwo budowlane (patrz Rysunek 0-3). Uzyskana reakcja wskazuje na to, że w przypadku większości produktůw ich aspekty istotne dla zdrowia lub bezpieczeństwa są w mierny sposób komunikowane w ramach łańcucha użytkowników (według respondenta, czyli albo robotnika budowlanego albo pracodawcy, brakuje kart charakterystyki 34 produktůw). W przypadku produktůw posiadających MSDS, to od producenta lub dostawcy zależy, czy MSDS będzie zawierać informacje na temat zdrowia i bezpieczeństwa specyficzne dla nanoskładnika. W przypadku produktůw wskazanych przez respondentów sondażu 2009 większość ich kart charakterystyki nie zawiera żadnej oznaki obecności jakiegokolwiek nanoskładnika, podczas gdy karta techniczna niekiedy wyraźnie wskazuje, a niekiedy sugeruje lub zdaje się sugerować (na przykład nazwą produktůw), że produkt

⁷ http://ec.europa.eu/environment/chemicals/dansub/home_en.htm; polska wersja rozporządzenia (WE) nr 1272/2008: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2008:353:0001:1355:pl:PDF>

w rzeczywistości zawiera co najmniej jeden nanomateriał. Informacje jednoznacznie dotyczące nanomateriałów podane na karcie technicznej wahają się od dość szczegółowych: podanego rozmiaru i obrazu SEM⁸ nanocząstki lub opisu pola powierzchni aktywnej nanomateriału na gram, po „zwykłą” adnotację, że produkt zawiera na przykład nanokwarc (bez dalszej specyfikacji wyglądu tego kwarcu).

We wszystkich przypadkach, w których dostarczono więcej informacji o nanoprodukcje, producenci twierdzą, że ich produkt nie jest niebezpieczny gdy jest stosowany zgodnie z zaleceniami, i że w żadnym przypadku do prawidłowego stosowania nanoproduktu nie są wymagane specjalne umiejętności lub szkolenie pod kątem nanomateriałów. Co więcej, w przypadku większości nanoproduktów wymienionych w sondażu 2009 wskazano, że zalecane środki ochrony „nie różnią się od dotychczasowych”, w przypadku gdy stosowano produkty, które nie zawierały nanomateriałów oraz informowano, że stosowanie tych produktów nie wpływa na sposób pracy. Jedynie przy dwóch produktach zalecono większe środki ochrony niż przy produktach nienanomateriałowych o podobnym zastosowaniu. W sondażu 2009 dotyczyło to dwóch produktów cementowych zawierających nanokrzemionkę. Równocześnie otrzymano także sygnały, że nanoprodukty mogą ułatwiać pracę.

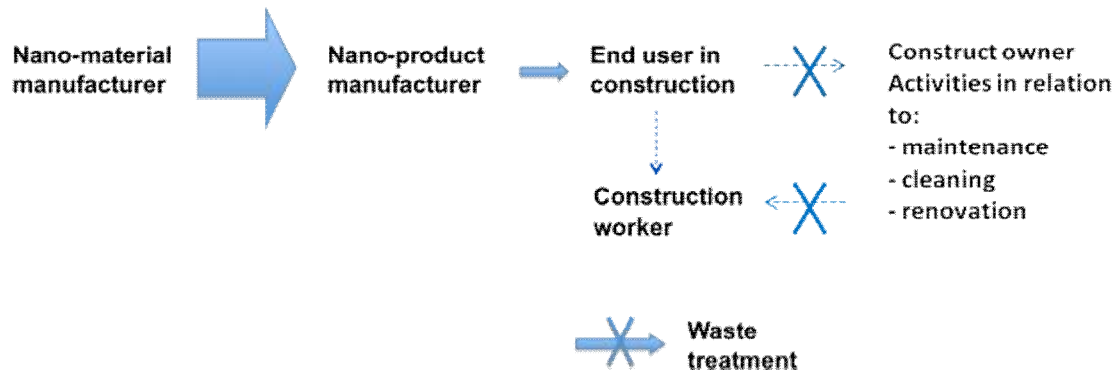


Rysunek 0-3 Specyfikacja informacji o produkcie w przypadku nanoproduktów, które w sondażu 2009 wskazano jako produkty używane (w liczbach)

Obecny łańcuch dostaw informacji można z grubsza przedstawić następująco (patrz też Rysunek 0-4). Producenci „surowców” nanomateriałowych dostarczają następnemu użytkownikowi w łańcuchu (najczęściej wytwórcy produktów) szczegółowe informacje o właściwościach materiału (takich jak reaktywność, specyficzne zachowania, wielkość, kształt, struktura krystaliczna, masa i gęstość) oraz specyfikacje dotyczące BHP i zagadnień środowiskowych (w stopniu, w jakim są znane). W zależności od łączącej ich relacji biznesowej informacje te mogą być jedynie wymaganym prawnie minimum, lub być obszerniejsze w przypadku relacji opartej na wzajemnym zaufaniu. Jednakże, zazwyczaj na tym etapie łańcuch nanospecyficznych informacji się kończy. Wytwórcy produktów najczęściej stosują nanomateriał jako dodatek w stężeniach niższych niż te obligujące do rejestracji i zgłaszania. Jedynie niektórzy wytwórcy zawiadamiają swoich klientów w każdym przypadku. Niekiedy jednak ogranicza się to do podania właściwości z informacją, że została ona „osiągnięta dzięki nanotechnologii”, bez

⁸ Skaningowa mikroskopia elektronowa

podania dalszych szczegółów. Dla klienta jest to wówczas nadal kwestia zgadywania, co tak naprawdę znajduje się w tym nanoproductzie.



Rysunek 0-4 Natężenie przepływu informacji nanospecyficznych w dół łańcucha użytkowników, począwszy od dostawcy surowca po osobę odpowiedzialną za gospodarowanie odpadami. Grubość strzałek odpowiada w przybliżeniu ilości nanospecyficznych informacji dostarczanych następnemu użytkownikowi w łańcuchu.

„Nano” zwiększa sprzedaż

Zgodnie z panującym wyobrażeniem nanotechnologia i produkty, które dzięki niej powstają mają stanowić rozwiązanie wielu palących dziś kwestii, jak na przykład wyczerpujące się zasoby mineralne, zanieczyszczenie środowiska, konsumpcja energii i emisja gazów cieplarnianych, a nawet kwestii bezpieczeństwa, jak ataki terrorystyczne i pokój na świecie. Te ogromne oczekiwania doprowadziły do tego, że przedrostek „nano-” staje się tożsamy z takimi kluczowymi słowami jak *sukces*, *wysoka jakość* i *zrównoważony rozwój*. W rezultacie firmy, ale również naukowcy, zaczęli sprzedawać swoją pracę określając ją przedrostkiem „nano-” w celu przyciągnięcia klientów lub uzyskania funduszy. Trend ten rozpoczął się mniej więcej 10-15 lat temu i nawet obecnie, choć ulega odwróceniu w związku z obawami o zdrowie i bezpieczeństwo oraz ze względu na naciski organizacji branżowych chcących zapobiec chaosowi wokół zagadnień dotyczących nanotechnologii⁹, przedrostek *nano-* jest nadal stosowany dla podkreślenia wysokich parametrów technicznych produktu lub misternego, pomysłowego projektu.

Dotyczy to nie tylko produktów zawierających nanomateriały. Również całkiem standardowe produkty zawierające enzymy (których rozmiary są typowe dla skali nano) lub dyspersje olejowe (zawierające niewielkie kropelki oleju o średnicy mierzonej w nanometrach) są określane przedrostkiem „nano-”. Opisana sytuacja dotyczy też produktów, które można traktować jako przypadki wątpliwe, których materiały prototypowe były wytwarzane przy użyciu nanomateriałów lub procesów nanoproductji, ale ich faktyczne składniki nie są już nanomateriałami. Wynikająca z tego sytuacja wywołuje dezorientację: produkty wytworzone przy użyciu nanotechnologii, ale niezawierające nanocząstek w produkcie finalnym są sprzedawane jako nanoproducty, a jednocześnie dochodzi do odwrotnych sytuacji: produkty, które nie miały styczności z nanotechnologią również bywają sprzedawane jako nanoproducty.

2.2 Działania mające zapewnić bezpieczeństwo w środowisku pracy

Wbrew powyższemu wytwórcy nanoproductów coraz bardziej uświadamiają sobie potencjalne i w dużym stopniu nieznane kwestie z zakresu BHP związane ze stosowaniem i posługiwaniem się nanocząstkami. Na placu budowy narażenie na nanocząstki może występować przy:

⁹ Kontakty osobiste z wieloma różnymi spółkami produkującymi materiały.

1. zasadniczym stosowaniu nanoproductów: pracy z nanoproductami (productami gotowymi do użytku lub productami wieloskładnikowymi mieszanymi na budowie),
2. wtórnym stosowaniu nanoproductów: obróbce maszynowej nanoproductu (np. przy wierceniu, piaskowaniu lub czyszczeniu).

Staranna ocena ryzyka jest niezbędna szczególnie wówczas, gdy prace te obejmują postępowanie się pylistymi lub ciekłymi materiałami, bądź powodują wytwarzanie pyłu lub aerozoli. Typowymi przykładami są: natryskiwanie nanopowłoki, dodawanie pyłu krzemionkowego do mokrej zaprawy, piaskowanie światłoczułej fasady betonowej lub czyszczenie ściany antybakteryjnej (zawierającej srebro). Z drugiej strony, zagrożenia wynikające z narażenia na nanocząstki poprzez postępowanie się litymi (prefabrykowanymi) nanoproductami, takimi jak ulepszona nanocząstkami ceramika, szkło, stal, plastik, kompozyty, materiały izolacyjne, beton lub drewno bez konieczności jakiegokolwiek obróbki maszynowej, są przypuszczalnie niewielkie (jeśli w ogóle występują), ponieważ nanocząstki powinny pozostawać zamknięte w litej osnowie. Narażenie jednak może wystąpić wraz z upływem czasu, gdy materiał się zużyje, przy renowacji lub rozbiórce budowli.

Przy pierwszej próbie organizacji bezpiecznego miejsca pracy różnego rodzaju organizacje, takie jak liczący się producenci materiałów i Komisja Europejska zalecają stosowanie zasady ostrożnego zarządzania. W wyniku ciągłego zalecania stosowania tej zasady, popieranej w różnych kodeksach postępowania oraz przez Komisję Europejską i zainteresowanych znaczących przedstawicieli przemysłu, jak BASF i Dupont, produkcja znaczącej większości nanocząstek i nanomateriałów przebiega w postaci płynnej (zawiesin lub roztworów), w warunkach „podciśnienia” lub w systemach zamkniętych, w celu maksymalizacji kontroli cząstek i minimalizacji ryzyka narażenia. Z tych powodów i w przeciwieństwie do sytuacji sprzed kilku lat, dodatki o nanorozmiarach są najczęściej dostarczane w formie zawiesiny lub roztworu, gotowe do użycia przez wytwórcę produktu. Gdy jest to niemożliwe, na przykład w przypadku pyłu krzemionkowego do betonu ultrawysokowartościowego, gdzie dodatki muszą zachować postać proszku, opracowywane są inne rozwiązania w celu zapobieżenia narażeniom, jak na przykład stosowanie materiałów opakowaniowych (dużych toreb) rozpuszczających się w wodzie i niemających wpływu na przewidywane właściwości produktu (betonu).

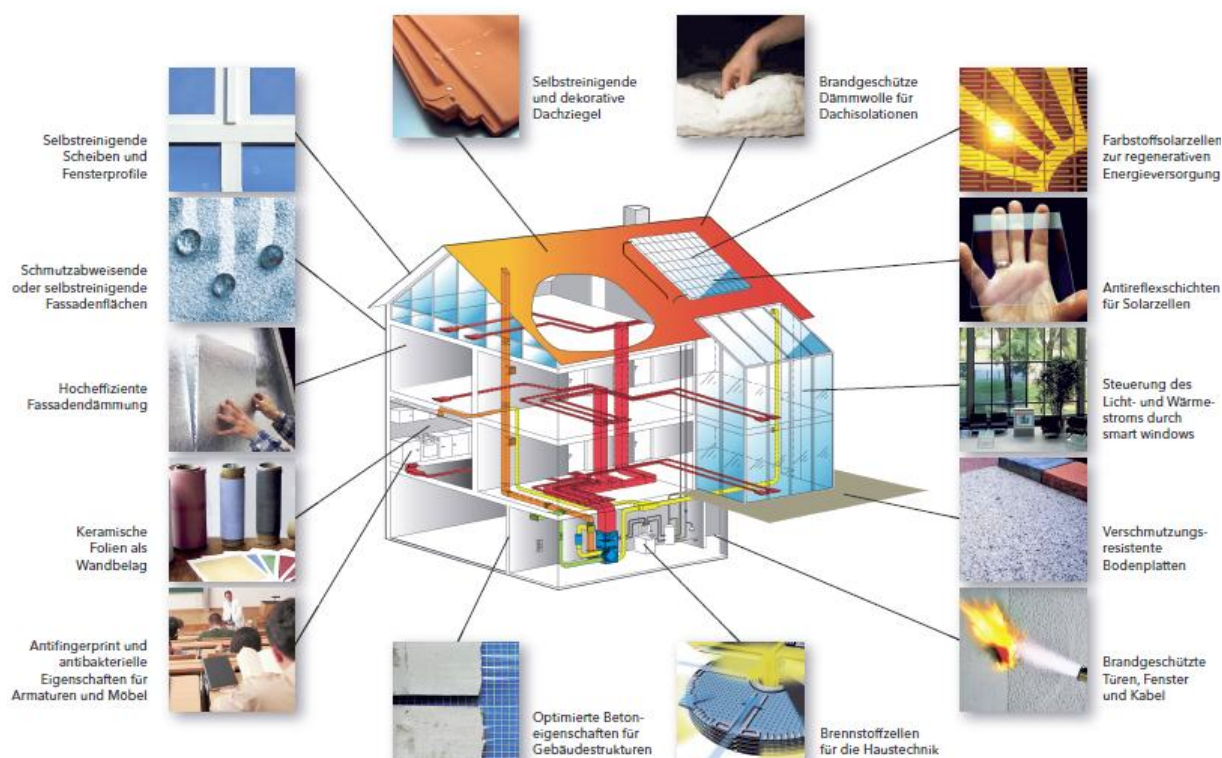
Stwierdzenie, czy specyficzne sposoby pracy i przedsięwzięte środki ochrony są wystarczające dla zapewnienia bezpieczeństwa pracy jest bardzo trudne. Urządzenia pomiarowe służące do ustalania rzeczywistego poziomu narażenia w miejscu pracy są bardzo kosztowne, trudne w obsłudze i dostarczają jedynie ograniczonej ilości danych co do prawdziwego poziomu narażenia. Zgodnie z obecnym stanem wiedzy, na rynku dostępne są różnego rodzaju środki ochrony indywidualnej przeznaczone do ochrony przed narażeniem na nanocząstki. Informacje o środkach ochrony indywidualnej można znaleźć w opublikowanych niedawno przez OECD wynikach badań, szeroko porównujących wskazówki dotyczące wyboru środków ochrony skóry i dróg oddechowych mających chronić pracowników przed ewentualnym narażeniem na wytwarzane nanomateriały¹⁰.

¹⁰ OECD Environment, Health and Safety Publications Series on the Safety of Manufactured Nanomaterials Nr 12 (2009) ENV/JM/MONO(2009)17

3. Nanoprodukty na placu budowy

3.1 Wprowadzenie

Całkowity udział nanoproduktów w rynku w budowlanym jest niewielki i uważa się, że dotyczy rynków niszowych¹¹. Oczekuje się, że w niedalekiej przyszłości¹² udział ten będzie się zwiększać, oraz że nanocząstki będą odgrywać istotną rolę w podstawach projektowania, rozwoju i produkcji materiałów dla przemysłu budowlanego¹³. Już teraz nanoprodukty można znaleźć w zasadzie w każdym elemencie przeciętnego domu lub budynku (patrz Rysunek 0-5).



Rysunek 0-5 Schematyczne przedstawienie typowego współczesnego domu ze wskazaniem elementów, w których mogą znajdować się nanoprodukty¹⁴.

Nanoprodukty, które wskazywano w sondażu 2009 to w przeważającej mierze materiały cementowe i betonowe, powłoki oraz materiały izolacyjne. Stwierdzono, że produkty te odpowiadają rodzajom produktów, na które zwracano uwagę w przeprowadzonych wywiadach, z czego można wywnioskować, że powłoki, wyroby cementowe i betonowe mają prawdopodobnie największy udział we współczesnym rynku nanoproduktów dla przemysłu budowlanego. Na drugim miejscu znajdują się materiały izolacyjne. Jest to również zgodne z wnioskami wypływającymi z lektury obszernej literatury w ramach niniejszego raportu. W rezultacie cement i beton, powłoki i materiały izolacyjne zostały potraktowane priorytetowo. W tym kontekście najczęściej wymieniane są następujące nanocząstki: polimery fluorowęglowe (CF), dwutlenek tytanu (TiO₂), tlenek cynku (ZnO), krzemionka (lub pył krzemionkowy; SiO₂),

¹¹ Kontakty osobiste

¹² Z 20 mln USD w 2007 r. do ok. 400 mln USD przed końcem 2017 r.; Freedonia Group Inc. *Nanotechnology in Construction* – Identyfikator: FG1495107; 01.05.2007

¹³ Nanotechnology and Construction 2006; www.hessen-nanotech.de

¹⁴ Z broszury „Einsatz von Nanotechnologien in Architektur und Bauwesen” wydanej przez HA Hessen Agentur 2007, źródła: Schrag GmbH VDI TZ

srebro (Ag), oraz tlenek glinu (Al_2O_3). Należy również odnotować jako ciekawostkę, iż nie stwierdzono dowodów stosowania w tych produktach nanorurek węglowych, choć w wielu publikacjach podawane są informacje o trwających pracach badawczo-rozwojowych nad tego typu produktami.

Polimery fluorowęglowe to molekuly podobne do teflonu, które są nanoszone na powierzchnię i sprawiają, że jest ona niezwilżalna wodą i olejem. Zazwyczaj stosowane są na szkle.

Dwutlenek tytanu (TiO_2) absorbuje promieniowanie UV i znajduje zastosowanie jako warstwa chroniąca przed degradacją promieniami UV. Niektóre postacie TiO_2 posiadają właściwości fotokatalityczne i pod wpływem światła UV katalizują degradację organicznych czynników zanieczyszczających, takich jak glony, wielopierścieniowych węglowodorów aromatycznych, formaldehydu i związków NO_x . TiO_2 stosowany jest praktycznie na wszystkich rodzajach powierzchni, które muszą być chronione filtrem UV, posiadać właściwości samoczyszczące lub mają pomagać zmniejszać zanieczyszczenie powietrza.

Tlenek cynku (ZnO) ma właściwości fotoaktywne i zastosowania podobne do TiO_2 .

Pył krzemionkowy (amorficzny SiO_2) zagęszcza beton i w warunkach alkalicznych, jak np. środowisko morskie, sprawia, że jest on mocniejszy i bardziej trwały. Może być również dodawany do betonu w celu stabilizacji wypełniaczy, takich jak popiół lotny, do powłok w celu utworzenia bardzo silnej matrycy lub stosowany jako środek zmniejszający palność. Typowe zastosowania to: beton ultrawysokowartościowy (UHPC - Ultra High Performance Concrete), powłoki odporne na zarysowanie oraz szkło ognioodporne.

Srebro (Ag) działa jak środek bakteriobójczy i może być dodawane do wszelkiego rodzaju materiałów. W budownictwie najczęściej stosowany jest w powłokach. Za działanie antybakteryjne odpowiadają faktycznie jony srebra, powstające przy rozpuszczaniu srebra w wodzie.

Tlenek glinu (Al_2O_3) stosowany jest w powłokach. Ma wchodzić w reakcję ze środkiem wiążącym oraz znacząco zwiększać odporność powłoki na zarysowanie.

3.2 Cement, beton i mokra zaprawa

W przypadku betonu osiągnięte obecnie niskim kosztem dobre wyniki stanowią poważne wyzwanie dla wszelkich mających odnieść sukces zastosowań nanotechnologii¹⁵. Jednym z obszarów, w których nanotechnologia okazuje się niezwykle przydatna, zarówno teraz jak i w niedalekiej przyszłości, jest badanie oraz dzięki lepszemu zrozumieniu - optymalizacja właściwości materiałowych¹⁶.

Stosowanie nanocząstek w materiałach cementowych i betonowych koncentruje się wokół TiO_2 i pyłu krzemionkowego. Oba te dodatki są jednak dodawane w niewielkich ilościach lub w systemie dwuwarstwowym, i ze względu na związane z tym koszty tylko wówczas, gdy jest to stanowczo wymagane ze względu na potrzebne do uzyskania właściwości. Przykłady dostępnych obecnie na rynku produktów na bazie pyłu krzemionkowego to: ChronoliaTM, AgiliaTM i DuctalTM firmy Lafarge oraz EMACO[®]Nanocrete firmy BASF.¹⁷

Fotokatalityczny cement to np.: TioCem TX Active (Heidelberg Cement¹⁸), NanoGuardStone-Protect firmy Nanogate AG¹⁹ oraz TX Arca i TX Aria (ItalCementi), które produkowane są jako spoiwo dla szerokiego asortymentu materiałów powłokowych, np. do ścian zewnętrznych,

¹⁵ NICOM3, materiały z konferencji 2009

¹⁶ Różne prezentacje oraz kontakty osobiste z firmami oraz pracownikami naukowymi podczas konferencji NICOM3, Praga 2009

¹⁷ Zgodnie z podawanymi przez nich informacjami, materiałem wyjściowym był faktycznie pył krzemionkowy, ale skupiony w trakcie procesu produkcji do większych cząstek.

¹⁸ Według podawanych przez nich informacji, TiO_2 w tym produkcie nie jest nanometrowy, ale nieco większy – w zakresie wielkości mikronowych.

¹⁹ <http://www.nanogate.de/en/>

tuneli, posadzek betonowych, kostek brukowych, płytek, dachówek, farb do znakowania dróg, płyt betonowych, tynków i farb cementowych²⁰.



Rysunek 0-6 Po lewej: Asortyment EMACO® Nanocrete. Po prawej: Kościół Jubileuszowy w Rzymie, jeden z najczęściej wskazywanych udanych zastosowań betonu fotokatalitycznego z dodatkiem TiO₂. Materiał: TX Active (TX Arca) grupy Italcementi.

Nie stwierdzono stosowania betonu wzmocnionego nanorurkami węglowymi. Jako przyczyny podano ich wysoki koszt oraz trudności z rozproszeniem w matrycy. Mimo to możliwości zastosowań nanorurek węglowych w betonie są przedmiotem wielu badań.

Ze względu na surowe wymogi jakościowe, prace rozwojowe nad materiałami trwają zwykle od 5 do 10 lat. Oczekuje się, że w niedalekiej przyszłości prace w zakresie pyłu krzemionkowego doprowadzą do stabilizacji betonu zawierającego duże frakcje agregatów betonowych¹⁵ z odzysku oraz dodatków obudowanych w celu optymalizacji procesu utwardzania.

3.3 Powłoki i farby

Ze wszystkich nanoproduktów wprowadzonych w przemyśle budowlanym to powłoki i farby odniosły do tej pory prawdopodobnie największy sukces w zdobywaniu sobie miejsca na rynku: „Zakładając, że na przeciętnym placu budowy w ogóle znajdują się jakiegokolwiek nanoprodukty, zdecydowanie najbardziej prawdopodobne byłoby znalezienie tam nanofarb lub nanopowłok”^{21,22}. Największy udział mają powłoki dekoracyjne, ale znaleźć można również powłoki budowlane o wysokiej charakterystyce roboczej, np. przemysłowe powłoki posadzkowe. Nanotechnologia znajduje zastosowanie w farbach i powłokach z następujących powodów:

1. Nanocząstki lepiej niż ich większe formy oddziałują na znajdującą się pod spodem powierzchnię dzięki głębszej penetracji, lepszemu pokryciu lub intensywniejszej interakcji między powłoką a powierzchnią, co skutkuje bardziej trwałym pokryciem powierzchni.
2. Nanocząstki są przezroczyste przy oświetleniu.
3. Przezroczystość otwiera drzwi dla stosowania nowych dodatków wprowadzających do normalnie nieprzezroczystych powłok nowe właściwości, takie jak duża odporność na zarysowanie lub promienie UV, absorpcja lub odbijanie promieniowania podczerwonego, ogniotrwałość, przewodnictwo elektryczne oraz właściwości antybakteryjne lub samoczyszczące.

Skutkuje to opracowaniem nowych systemów powłok odpowiednich dla niemal wszystkich możliwych powierzchni, począwszy od plastiku po stal. W obrębie grupy nanopowłok, nacisk kładziony jest na powłoki antybakteryjne (dodatek TiO₂, ZnO lub Ag), „samoczyszczące” powłoki fotokatalityczne (TiO₂ lub ZnO), powłoki odbijające lub absorbujące promienie UV lub

²⁰ <http://www.italcementigroup.com/ENG/Italcementi+Group/>

²¹ Kontakty osobiste

²² <http://www.soci.org/Chemistry-and-Industry/Cnl-Data/2009/16/Nanocoatings-incognito>

podczerwone (TiO_2 lub ZnO), powłoki zmniejszające palność (SiO_2) oraz powłoki odporne na zarysowanie (SiO_2 lub Al_2O_3). Tego typu cechy są zazwyczaj wykorzystywane w powłokach ściennych (wewnętrznych lub zewnętrznych), powłokach do fasad drewnianych, szkła i w różnych nawierzchniach drogowych.

Fotokatalityczne, antybakteryjne i samoczyszczące farby ścienne

Najczęściej spotykane nanofarby ścienne sprzedawane są ze względu na swoje właściwości fotokatalityczne, antybakteryjne lub samoczyszczące. Przykładowe samoczyszczące powłoki fotokatalityczne to: Arctic Snow Professional Interior Paint firmy Arctic paint LTD (TiO_2), Cloucryl firmy Alfred Clouth Lack-fabrik GmbH&Co KG²³ (ZnO) oraz Amphisilan firmy Caparol²⁴. Powłoka antybakteryjna na bazie nanosrebra to np. Bioni Hygienic firmy Bioni CS GmbH (patrz też Rysunek 0-7)²⁵. Łatwą w czyszczeniu powłoką, niezwilżalną przez wodę i olej jest Fluowet ETC100 (na bazie polimerów fluorowęglowych) firmy Clariant.



Rysunek 0-7 Antymikrobowe powłoki ścienne zawierające nanocząstki srebra przeznaczone do użytku w przychodniach i szpitalach.

Nanopowłoki do powierzchni drewnianych

Nanopowłoki do wyrobów drewnianych opracowywane są z myślą o ścianach i fasadach (zastosowania zewnętrzne), ale również systemach posadzek parkietowych i meblach (zastosowanie wewnątrz budynków). Prace nad nimi skupiają się na zdolności odpychania wody (i w dużo mniejszym stopniu oleju), odporności na zarysowanie oraz ochronie przed promieniami UV. Mimo iż na rynku dostępnych jest kilka produktów, przeważa sceptyczne podejście do ich trwałości, zwłaszcza w odniesieniu do powłok zabezpieczających przed wodą i promieniami UV, a to z powodu jakości niektórych produktów pierwszej generacji²⁶. W związku z tym powłoki nowej generacji muszą udowodnić swoją skuteczność i niewiele jest przykładów ich faktycznego zastosowania na placu budowy.

Do firm promujących nową generację powłok ochronnych UV należy BYK Additives and Instruments²⁷. Powłoki te działają na bazie organicznych absorberów promieniowania UV²⁸, lub tlenków metali: ZnO i CeO_2 . TiO_2 jest rzadziej stosowany ze względu na przezroczystość i właściwości fotokatalityczne.

Bardzo odporne na zarysowanie lakiery do drewna zawierające nanokrzemionkę (SiO_2) to np. Bindzil CC30 (Baril Coatings), Nanobyk 3650 (BYK Additives and Instruments) i Pall-X Nano (Pallmann). Nanobyk 3600 (BYK Additives and Instruments) to z kolei przykład wysokoodpornej na zarysowanie powłoki na bazie dodatku nanocząstek Al_2O_3 .

²³ http://www.clou.de/frontend_live/start.cfm

²⁴ Ze względu na koszty zawierające w celu uzyskania wysokiej odporności na zarysowanie TiO_2 w skali mikro i SiO_2 w skali nano

²⁵ <http://www.bioni.de/index.php?lang=en>

²⁶ Kontakty osobiste z różnymi producentami powłok oraz osobami z branży drzewnej.

²⁷ <http://www.byk.com>

²⁸ tj. hydroksyfenylobenzotriazoli, hydroksybenzofenonów, hydroksyfenylo-S-tiazyn lub anilidów kwasu szczawowego

W odróżnieniu od zewnętrznych czynników wpływających na zużywanie się drewna, takich jak promieniowanie UV czy zarysowanie, powierzchnia drewna jest też niszczone przez właściwość drewna jaką jest przesączanie skomplikowanych związków chemicznych takich jak garbniki, co z biegiem czasu prowadzi do powstawania odbarwień. Poddawanie powierzchni drewna działaniu powłok zawierających nanoglinkę (tj. hydrotalkit $Mg_4Al_2(OH)_{12}CO_3 \cdot H_2O$; Nuplex) może opóźnić ten proces. Producentem wyrobów z tego asortymentu jest również BYK.

Nanopowłoki chroniące drewno przed wodą lub olejem to np. 2937 GORI Professional Transparent sprzedawana przez Dyrup Denmark²⁹, Percenta Nano Wood & Stone Sealant³⁰, (ochrona materiałów drewnianych i kamiennych przed wodą i olejami, najprawdopodobniej na bazie polimerów fluorowęglowych), Pro-Sil 80 firmy NanoCer³¹ oraz Nanowood firmy Nanoprotect³². Niektóre z tych powłok wyprodukowano na bazie mieszczących się w skali nano „miceli” tłuszczu w wodzie. Micele nie są uważane za nanocząstki, mimo iż są produkowane przy zastosowaniu nanotechnologii, i w związku z tym powłok tych nie należy oznaczać jako nanopowłoki.

Nanopowłoki do powierzchni szklanych

Poza przeznaczonymi do powierzchni szklanych powłokami o właściwościach samoczyszczących, fotokatalitycznych, termoodpornych, antyrefleksyjnych i zapobiegających parowaniu istnieją ciekawe propozycje z zakresu sterowania klimatem wewnątrz budynków (poprzez blokowanie promieniowania podczerwonego i widzialnego). Stosowane są rozwiązania (re-)aktywne i pasywne. Pasywne rozwiązania mają postać cienkich, działających stale folii³³. Aktywne rozwiązania z zakresu sterowania klimatem wewnątrz budynków wykorzystują technologie termochromowe, fotochromowe lub elektrochromowe, reagując odpowiednio na temperaturę, intensywność światła lub zastosowane napięcie i zmieniając stopień absorpcji promieniowania podczerwonego w celu utrzymania niskiej temperatury w budynku. Sterowanie ręcznie możliwe jest jedynie w ostatnim z wymienionych systemów. Włączenie napięcia przez dotknięcie aparatu podobnego do włącznika światła powoduje, że warstwa tlenku wolframu, którą pokryta jest szyba staje się bardziej matowa i absorbuje więcej promieni podczerwonych (patrz Rysunek 0-8).



Rysunek 0-8 (Po lewej): Szklane fasady budynków to ogromne możliwości dla innowacji z zakresu nanotechnologii w budownictwie. (Po prawej): Szyba elektrochromowa.

3.4 Nanotechnologia i infrastruktura

²⁹ www.dyrup.com

³⁰ <http://en.percenta.com/nanotechnology-wood-stone-sealing.php>

³¹ <http://www.intelcoats.com/nanop%20Indnanocer%20engl.html>

³² <http://www.nanoprotect.co.uk/wood-protection.html>

³³ Firmy prowadzące kampanie reklamowe to np. Econtrol®-Glas GmbH & Co, 3M i Saint-Gobain.

W zakresie zrównoważonego rozwoju i kontroli zanieczyszczenia środowiska prowadzone są prace badawczo-rozwojowe nad możliwością ograniczenia zanieczyszczenia powietrza pochodzącego ze spalin za pomocą infrastruktury aktywowanej przez TiO_2 . W tym celu opracowane zostały takie produkty, jak: NOxer³⁴ - betonowe kostki brukowe oraz KonwéClear³⁵ - podobna do cementu powłoka asfaltowa (patrz Rysunek 0-9). Różne firmy, jak np. Italcementi i Heidelberg Cement produkują materiały o tego typu działaniu w formie cegieł, bloków, płyt, płytek i barier dźwiękoszczelnych.



Rysunek 0-9 Od lewej do prawej: chodnik wyłożony kostką NOxer®, kostka brukowa i powłoka w tunelu TX Aria (Italcementi), droga powstała przy wykorzystaniu powłoki KonwéClear (Bouwend Nederland Podium 22, 14.12.2006).

3.5 Materiały izolacyjne

Spośród nanoproductów stosowanych w przemyśle budowlanym materiały izolacyjne wyróżniają się tym, że często nie zawierają nanocząstek, ale zrobione są z nanopianki (lub aerożelu), lub posiadają nanopęcherzyki lub nanootwory. Różnica ta jest szczególnie istotna pod kątem BHP, ponieważ sugeruje, że podczas pracy z tego typu materiałem nie należy spodziewać się zagrożeń dla zdrowia specyficznych dla *nanocząstek*.

Nanoporowate materiały izolacyjne jak np. aerozele i pewne polimerowe nanopianki mogą być od 2 do 8 razy skuteczniejsze od tradycyjnych materiałów izolacyjnych (Rysunek 0-10). Aerozele stosowane obecnie w izolacji termicznej produkowane są najczęściej na bazie krzemionki lub węgla, przy czym w przybliżeniu 96% ich masy stanowi powietrze³⁶. Przykład: Insulair® NP, materiał izolacyjny z nanoporowatego żelu firmy Insulcon B.V.³⁷ (Rysunek 0-10), który jest giętki i przeznaczony specjalnie do zastosowań w ekstremalnych temperaturach.



Rysunek 0-10 Od lewej do prawej: lepsza izolacja dzięki materiałom na bazie aerożeli; aerożel: opróżnione nanopory w matrycy SiO_2 ³⁸; elastyczny nanoporowaty materiał izolacyjny firmy Insulcon B.V. (2x)

Pozostałe produkty w tej kategorii to: Acryl Nanotech (na bazie nanostrukturalnego spoiwa fluorowo-poliuretanowego w połączeniu z fotokatalityczną wierzchnią warstwą tlenku żelaza)³⁹ firmy BASF i Relius Benelux służący do zabezpieczenia dachów przed wysokimi i niskimi

³⁴ <http://www.eurovia.com/en/produit/136.aspx>

³⁵ <http://hbo-kennisbank.uvt.nl/cgi/av/show.cgi?fid=3698>

³⁶ <http://en.wikipedia.org/wiki/Aerogel>

³⁷ http://www.insulcon.com/page/products/Microporous_and_Nanoporous_products.htm

³⁸ <http://www.spaceflightnow.com>

³⁹ <http://www.relius.nl/ViewDocument.asp?DocumentId=419&MenuId=90&MenuLabel=News>

temperaturami, PCI Silent firmy BASF do izolacji akustycznej, Spaceloft (zaprojektowany specjalnie dla przemysłu budowlanego) oraz Pyrogel XT firmy Aspen Aerogels⁴⁰ na bazie nanoporowatej struktury krzemionkowej, Pyrogel XTF i Pyrogel 2250 firmy Aspen Aerogels na bazie nanoporowatej struktury krzemionkowej przeznaczonej specjalnie do wyjątkowej ochrony ogniowej, Cryogel Z firmy Aspen Aerogels na bazie nanoporowatej struktury krzemionkowej przeznaczonej specjalnie do ekstremalnej izolacji przed zimnem.

⁴⁰ <http://www.aerogel.com/>

4. Zagrożenia dla zdrowia

4.1 Wprowadzenie

Gromadzone są dowody na to, że nanomateriały mogą być bardziej niebezpieczne dla ludzi niż ich odpowiedniki w skali mikro. Mimo to, należy położyć nacisk na słowo „*mogą*”, ponieważ w chwili obecnej (rok 2009) dysponujemy zbyt ograniczoną wiedzą, aby móc uogólniać. Z tego względu przy pracy z tymi materiałami zalecane jest stosowanie zasady ostrożnego zarządzania. Dwa najważniejsze czynniki wpływające na toksyczność nanomateriałów to ich *wielkość i kształt*.

Ze względu na niewielkie rozmiary nanocząstek (albo 2-wymiarowych: nonoprętów, albo 3-wymiarowych: nanocząstek) ich właściwości elektronowe mogą być różne, co znajduje odzwierciedlenie w ich reaktywności chemicznej i większej agresywności wobec normalnego funkcjonowania organizmu człowieka. Na przykład, kilka zbadanych nanomateriałów ma wyraźniejsze działanie zapalne (przez mechanizm zwany stresem oksydacyjnym), skuteczniej skupiają się przy określonych częściach ciała ludzkiego lub wiążą się z nimi i uniemożliwiają im prawidłowe funkcjonowanie. Ponadto ze względu na ich niewielkie rozmiary, ich obszar powierzchniowy jest proporcjonalnie znacząco większy od ich objętości (i masy) cząsteczkowej, przez co w przeliczeniu na jednostkę masy są dużo bardziej reaktywne.

Niewielkie rozmiary i zmienione właściwości elektronowe wpływają również na ich zachowanie fizyczne. Na przykład:

- nanocząstki mogą być tak małe, że zachowują się jak gazy,
- nanocząstki mogą być tak małe, że wnikają głębiej w płuca i są z łatwością absorbowane przez krwiobieg,
- w przeciwieństwie do większości innych substancji chemicznych mogą być absorbowane przez układ nerwowy nosa i „z łatwością” przetransportowane do ludzkiego mózgu⁴¹,
- niektóre nanocząstki mogłyby przeniknąć barierę łożyska i dotrzeć do płodu⁴²,
- ze względu na swoje rozmiary i właściwości powierzchniowe mogą dotrzeć do miejsc (komórek, organów) znajdujących się w ciele ludzkim, które do tej pory były dobrze chronione przed wnikaniem cząstek o większych rozmiarach,
- ze względu na swoje rozmiary i właściwości powierzchniowe łatwiej przenikają przez ludzką skórę niż ich większe formy, w szczególności wówczas, gdy skóra jest lekko uszkodzona (zmieniona chorobowo, sucha, poparzona przez słońce, otarta).

Oprócz wielkości, kluczową rolę dla toksycznego zachowania materiałów ma specyficzny kształt nanocząstek. Na przykład, w przypadkach, gdy cząstki mogą być stosunkowo nietoksyczne, nanoprety mogą zachowywać się jak prawdziwe igły i przebijać ludzką tkankę. Zaobserwowano również odwrotne przypadki: nanocząstki, które (ze względu na swój kształt i właściwości powierzchniowe) są w stanie pokonać specyficzne bariery ludzkiego ciała.

Pozostałe czynniki o stwierdzonym znaczeniu przy identyfikowaniu zagrożeń dla zdrowia związanych z nanomateriałami to poziom agregacji i scalenia materiału oraz jego morfologia (amorficzna lub krystaliczna), które wpływają odpowiednio na rzeczywiste możliwości narażenia na działanie materiałów o nanorozmiarach oraz intensywność ewentualnych zagrożeń związanych z tym materiałem. Jednakże, bez względu na nierozdzielnie związane

⁴¹ Oberdorster G. i in.. 2004, Translocation of inhaled ultrafine particles to the brain. *Inhalation Toxicology* 16 (6-7): 437-445

⁴² Hagens W.I. i in. 2007, What do we (need to) know about the kinetic properties of nanoparticles in the body? *Regulatory Toxicology and Pharmacology* 49: 217-229

z nimi zagrożenia, kluczowe dla wszelkich zagrożeń dla zdrowia, które stanowią nanomateriały lub nanoprodukty jest ryzyko narażenia.

4.2 Drogi narażenia

Jeśli chodzi o narażenie na działanie nanocząstek, robotnicy budowlani będą (niemal bez wyjątku) narażeni na nie przede wszystkim poprzez nanoprodukty. Znajduje to przełożenie na faktyczne narażenie robotnika na nanocząstki znajdujące się w produkcji. Na przykład, gdy robotnik wdycha pył zawierający nanocząstki, wielkość rzeczywistych ich dawek, na które robotnik zostaje narażony zależy od rozpuszczalności pyłu. Jeśli pył jest nierozpuszczalny, część nanocząstek pozostanie osadzona w matrycy i narażenie będzie tylko przez te nanocząstki, które zostaną odstonięte na powierzchni ziaren pyłu. W przypadku, gdy pył jest rozpuszczalny, narażenie wywoływać będzie całkowita ilość nanocząstek zawartych w ziarnach pyłu.

Wnioskując na podstawie charakteru codziennych prac robotnika budowlanego i produktów, z którymi zazwyczaj pracuje, prawdopodobnie największe zagrożenie dla zdrowia stanowi narażenie poprzez inhalację pyłu generowanego przez nanomateriał (w wyniku cięcia, piaskowania, wiercenia lub obróbki maszynowej) lub aerozoli podczas natryskiwania farby. Przenikanie przez skórę może również mieć znaczenie (aczkolwiek znacząco mniejsze) i stanowić poważny problem, gdy większa część ciała pozostaje nieostonięta⁴³. Narażenie poprzez wchłonięcie nie stanowi problemu pod warunkiem dbania o higienę osobistą. Narażenie ze względu na wchłonięcie wtórne (wynikające z inhalacji nanomateriałów w związku z naturalnym mechanizmem czyszczenia dróg oddechowych) jest problemem w przypadku gdy dojdzie do inhalacji.

Narażenie poprzez inhalację

Ogólna praktyczna zasada w przypadku inhalacji pyłu i aerozoli brzmi: im mniejsze cząstki, tym głębiej wnikają w płuca zanim się osadzą i tym poważniejszy może być ich wpływ na zdrowie. Typowe obserwowane efekty zdrowotne (NEAA 2005 i zawarte tam odnośniki)⁴⁴ to:

- zapalenie dróg oddechowych,
- zapalenie oskrzeli,
- astma,
- wpływ na układ krążenia.

Powyższa praktyczna zasada nie znajduje jednak zastosowania w przypadku nanocząstek, a znaczna część wdychanych nanocząstek osadza się w nosie⁴⁵. Jeśli chodzi o dalsze ich przenoszenie w obrębie ciała, zaobserwowano, że niektóre z tych nanocząstek przenoszą się do układu nerwowego, tkanek mózgu i innych organów takich jak krew, serce i wątroba, oraz szpik kostny, w których mogą oddziaływać zapalnie i wywołać kaskadę wtórnych problemów zdrowotnych (Oberdorster i in. 2004⁴¹ i zawarte tam odniesienia; nowsza analiza tematu przez

⁴³ W tradycyjnym ujęciu skóra uważana jest za dobrą barierę przed cząstkami. Zostało to obecnie poddane w wątpliwość przez niedawne badania, w których wykazano, że specyficzne nanocząstki przenikają przez zgięcia skóry (na przykład na nadgarstku) lub nienaruszoną tkankę skórną w zależności od swojej natury chemicznej, kształtu i sposobu kontaktu ze skórą (Muller-Quernheim, 2003, <http://www.orpha.net/data/patho/GB/uk-CBD.pdf>; Tinkle i in. 2003, *Environ. Health Perspect.* 111:1202-8; oraz Ryman-Rasmussen i in. 2006 *Toxicol. Sci.* 91:159-65).

⁴⁴ NEAA 2005. Particulate Mater: a Closer Look, www.rivm.nl, Netherlands Environmental Assessment Agency, E. Buijsman, J.P. Beck, L. van Bree, F.R. Cassee, R.B.A. Koelemeijer, J. Matthijsen, R. Thomas i K. Wieringa.

⁴⁵ ICRP 1995. Międzynarodowa Komisja Ochrony Radiologicznej

Politis i in. 2008⁴⁶), takich jak podrażnienia, zapalenia, obumieranie komórek, nadzwyczajny przerost komórek, uszkodzenie DNA i zaburzenia hormonalne (Donaldson i in., 1996; Zang i in., 1998).

4.3 Kwestie BHP związane z kilkoma rodzajami nanocząstek

Mimo iż nadal niewiele wiemy o toksyczności nanocząstek, kwestia ta jest badana i publikowane są pierwsze wyniki. Do najlepiej zbadanych do tej pory należą: nanorurki węglowe, TiO₂, SiO₂.

Indywidualne profile toksyczności

Nanorurki węglowe znalazły się niedawno w centrum uwagi mediów w związku badaniami nad ich toksycznością, które wykazały oznaki zachowań podobnych do zachowań azbestu w tkance płuc⁴⁷. Stwierdzono jednak, że toksyczność nanorurek zależy od stosunku ich długości do średnicy, poziomu aglomeracji, właściwości powierzchniowych oraz obecności niewielkich zanieczyszczeń katalizatorem metalowym⁴⁸.

TiO₂ może być stosowany w postaci anatazy lub rutylu, przy czym ten pierwszy (wykorzystywany najczęściej jako fotokatalizator) uważany jest zazwyczaj za najbardziej toksyczny⁴⁹. International Risk Governance Council (Międzynarodowa Rada ds. Zarządzania Ryzykiem) stwierdza, że narażenie nieuszkodzonej skóry na działanie dwutlenku tytanu w postaci nanometrowej prawdopodobnie nie wpływa na zdrowie człowieka⁵⁰, ale mogłoby wpływać przy penetracji przez uszkodzoną skórę⁵¹. Obszerne zestawienie efektów zdrowotnych zostało przedstawione przez NIOSH⁵². Nanodwutlenek tytanu wykazuje (w pewnych warunkach) potencjał genotoksyczny oraz działanie zapalne w przypadku inhalacji. Długotrwałe narażenie na działanie TiO₂ w postaci anatazy wykazuje oznaki działania rakotwórczego, uszkodzenia DNA oraz wpływu na rozwój centralnego układu nerwowego płodu wskazując na możliwe szkodliwe działanie na rozrodczość ludzi⁵³.

SiO₂ występuje w postaci amorficznej lub krystalicznej. Według IRGC^{54,55} syntetycznie wytwarzana nanokrzemionka amorficzna jest rozpuszczalna w wodzie, nietoksyczna i zwykle uważa się, że związana jest z podobnymi czynnikami ryzyka toksyczności dla ludzi jak nienanopostaciowy amorficzny pył krzemionkowy. Jednakże w zależności od stosowanej metody produkcji, amorficzna krzemionka może być zanieczyszczona krzemionką krystaliczną, co w zależności od stopnia krystaliczności ma wpływ na toksyczność całej próbki. Krzemionka krystaliczna jest bardzo toksyczna i w przypadku narażenia na jej oddziaływanie w środowisku pracy wywołuje pylicę krzemową.

⁴⁶ Politis M., Pilinis C., Lekkas T.D. 2008. Ultra Fine Particles and Health Effects. Dangerous. Like no Other PM? Review and Analysis, *Global NEST Journal*. Cz. 10(3), str. 439-452

⁴⁷ Na przykład: Poland C.A., i in. 2008, *Nature Nanotechnology*, Cz. 3, czerwiec 2008, s. 223; Pacurari M. i in. 2008 *Environmental Health Perspectives*, Cz. 116, Nr 9, 1211; Kostaleros K. 2008., *Nature Biotechnology*, Cz. 26, Nr 7, 774-776

⁴⁸ Pulskamp K. i in. 2006 *Toxicology Letters*, 168, 58-74; Wick P. i in. 2007 *Toxicology Letters*, 168, 121-131

⁴⁹ Sayes C.M. i in. 2006 *Toxicol. Sciences* 92(1), 174-185

⁵⁰ IRGC 2008. Risk Governance of Nanotechnology Applications in Food and Cosmetics, ISBN 978-2-9700631-4-8

⁵¹ SCCP 2007. Przyjęty w dniu 18.12.2007 dokument: Opinion on the Safety of Nanomaterials in Cosmetic Products.

⁵² NIOSH Draft 2005. Evaluation of Health Hazards and Recommendations for Occupational Exposure to Titanium Dioxide, *Projekt z 22.11.2005*

⁵³ Simizu M. i in. 2009 *Part. Fibre. Toxicol.* T. 6, 20; Bhattacharya K. i in. 2008 *Part. Fibre. Toxicol.* T. 6, 17

⁵⁴ International Risk Governance Council, 09-2008; ISBN 978-2-9700631-4-8

⁵⁵ Merget R. i in. 2002 *Arch. Toxicol.* 75:625

Niewiele wiadomo o toksycznym wpływie nanosrebra na ludzi. Wijnhoven i in. (2009)⁵⁶ przeprowadził przegląd brakujących informacji i stwierdza, że choć srebro w zwykłej postaci jest stosunkowo nietoksyczne, to wdychane lub połykane nanosrebro może wnikać do krwiobiegu i ujawnić się w centralnym układzie nerwowym powodując działania niepożądane, będące prawdopodobnie znacznie poważniejsze w skutkach od działania zwykłego srebra. Przewidywane poważniejsze działanie poparte jest m.in. dużym obszarem powierzchniowym nanocząstek, co prowadzi do uwalniania stosunkowo bardziej stężonych rozpuszczonych (i aktywnych) jonów srebra.

Ryzyko narażenia w miejscu pracy

Posiadamy niewiele informacji potrzebnych do oceny ryzyka narażenia na nanocząstki robotników budowlanych w miejscu pracy. Narażenie na nanoprodukty poprzez wdychanie pyłu lub aerozoli jest w pewnym stopniu oczywiste. Z drugiej strony ocena ryzyka narażenia podczas obróbki maszynowej lub posługiwania się nanoproduktem jest zdecydowanie mniej ewidentna. Wstępne wskazówki można zaczerpnąć z pracy Vorbau i in. (2009, Koponen i in. (2009) oraz Kaegi i in. (2008)⁵⁷. Pierwsze badanie wykazało, że dodatek nanocząstek do powłoki nie musi prowadzić do zwiększonego zużycia powstałego filmu powłoki. W drugim badaniu wykazano, że w przypadku piaskowania nie stwierdzono generowania pojedynczych nanocząstek z badanych powłok (choć zaobserwowano wpływ na wielkość generowanego pyłu w skali mikronowej), natomiast emisja cząstek o wielkości poniżej 50 nm jest zdominowana przez ultradrobne cząstki z urządzenia do piaskowania. Z kolei wyniki trzeciego badania wskazują, że nanodwutlenek tytanu nie ulega wypłukiwaniu z suszonej powłoki, ale w miarę zużycia dostaje się do środowiska poprzez „odłamywanie się” wraz z materiałem wiążącym. Pierwsze wyniki badań pod tym kątem są zatem obiecujące, ponieważ nie zaobserwowano *samoistnego* uwalniania nanocząstek. Z drugiej strony dotychczasowe prace w tej dziedzinie są zbyt ograniczone, by umożliwić wyciągnięcie dalszych wniosków co do ryzyka narażenia na nanocząstki przy pracy z nanoproduktami jako takimi. Podobnie nie posiadamy wystarczającej wiedzy, by na podstawie konkluzji Koponena, Vorbau i Kaegi ocenić ryzyko narażenia na inne rodzaje nanocząstek niż te, które zostały zbadane.

4.4 Możliwe podejścia do bezpiecznego stosowania nanoproduktów

Do zorganizowania bezpiecznego miejsca pracy niezbędna jest znajomość potencjalnie niebezpiecznego charakteru nanocząstek i ich zachowania podczas stosowania produktów, w których zostały zawarte. Tymczasem, jak wspomniano wcześniej, rzeczywista wiedza o właściwościach toksykologicznych nanocząstek jest (stan na rok 2009) raczej ograniczona. Identyczna sytuacja występuje w odniesieniu do ewentualnego uwalniania nanocząstek przez nanoprodukty w czasie ich użytkowania, czyszczenia lub konserwacji. Utrudnia to wiarygodną ocenę ryzyka.

Stosowanie nanoproduktów w przemyśle budowlanym jest faktem i można oczekiwać, że w niedalekiej przyszłości będzie przybierać na sile. Wymaga to odpowiedzialnego podejścia, o którym wiedzę możemy czerpać z przebiegu europejskiej debaty na temat nanotechnologii⁵⁸. Omówiona przy okazji debaty zasada ostrożnego zarządzania to strategia postępowania

⁵⁶ Wijnhoven SWP et al. 2009 *Nanotoxicology*, 1-30

⁵⁷ Vorbau M. i in. 2009 *Aerosol Science* 40:209-217; Koponen I.K. i in. 2009 *Journal of Physics Conference Series*, 151, 012048; Kaegi R. i in. 2008. *Environ. Pollut.* doi:10.1016/j.envpol.2008.08.004

⁵⁸ Patrz w szczególności raport doradczy holenderskiej Rady Społeczno-Gospodarczej: *“Nanoparticles in the Workplace, health and safety precautions”*, 2009 Sociaal Economische Raad, Haga, Holandia. Część proponowanej zasady ostrożnego zarządzania powstała w oparciu o wskazany raport doradczy.

z niewiadomymi w uważny, ostrożny, rozsądny i transparentny sposób, odpowiedni dla danej sytuacji, którą to zasadę należy wdrożyć w ramach polityki dotyczącej warunków pracy (w inwentaryzacji i ocenie zagrożeń oraz związanym z nimi planem działania). W skrócie strategia ta przedstawia się następująco (patrz też Tabela 0-2).

Skupienie się na najbardziej priorytetowych działaniach

W ramach praktycznej pomocy dla firm zaleca się rozwijanie dobrych praktyk w odniesieniu do stanowisk pracy, na których może wystąpić narażenie na nanocząstki. W identyfikacji działań, na których należy się skupić i w określeniu tego, jak poważne mają być podejmowane środki pomocna może być kategoryzacja nanocząstek według związanego z nimi ryzykami. Jako podstawę można przyjąć prosty system obejmujący trzy kategorie (o malejącym stopniu oczekiwanego zagrożenia - od I do III)⁵⁹:

- I Włókniste nanocząstki nierozpuszczalne (o długości > 5 µm).
- II Nanocząstki o stwierdzonym działaniu rakotwórczym lub mutagennym, nanocząstki powodujące astmę lub działające szkodliwie na rozrodczość, w postaci cząstek molekularnych lub większych.
- III Nanocząstki nierozpuszczalne lub słabo rozpuszczalne (nie należące do żadnej z powyższych kategorii).

Ogólnie zaleca się unikanie narażenia poprzez wdychanie lub kontakt ze skórą. W przypadku przemysłu budowlanego działania priorytetowe to: piaskowanie, wiercenie, obróbka maszynowa, cięcie i natryskiwanie nanomateriałów i produktów, a także sprzątanie stanowiska pracy oraz czyszczenie stosowanego wyposażenia.

Tabela 0-2 Podstawowe elementy zasady ostrożnego zarządzania

Podstawowe elementy zasady ostrożnego zarządzania nanomateriałami
<ul style="list-style-type: none"> • Brak danych --- brak narażenia <ul style="list-style-type: none"> - Zapobieganie narażeniom zgodnie ze strategią dotyczącą higieny w miejscu pracy (w tym ewentualne zastępowanie potencjalnie bardzo niebezpiecznych nanocząstek) • Informowanie o składzie nanoprodktu przez producentów i dostawców <ul style="list-style-type: none"> - Deklarowanie nanoskładu produktu w obrębie łańcucha produkcji - Deklarowanie nanoskładu produktu w organie administracji centralnej w formie swego rodzaju bazy danych • Rejestracja narażeń w miejscu pracy <ul style="list-style-type: none"> - Analogiczna jak w przypadku kancerogenów rejestracja nanowłókien i nanomateriałów rakotwórczych, mutagennych i działających szkodliwie na rozrodczość - Analogiczna jak w przypadku substancji działających szkodliwie na rozrodczość rejestracja innych nierozpuszczalnych nanomateriałów • Transparentna komunikacja ryzyka <ul style="list-style-type: none"> - Informacja na kartach charakterystyki o znanych zagrożeniach związanych z nanocząstkami, zarządzaniu nimi i brakach w dostępnej wiedzy - Żądanie raportu bezpieczeństwa chemicznego (REACH) dla substancji powyżej 1 tony/rok/firmę • Wyprowadzenie dopuszczalnych wartości narażenia zawodowego dla nanomateriałów lub wartości nanoreferencyjnych <ul style="list-style-type: none"> - Dla nanocząstek, które mogą być uwalniane na stanowisku pracy na budowie

⁵⁹ BSI 2007 (31 grudnia), "Public Document" PD 6694-2:2007, "Nanotechnologies -- Part 2: Guide to safe handling and disposal of manufactured nanomaterials." W dokumencie tym ujęto czwartą kategorię: nanocząstki rozpuszczalne. Ponieważ skupiamy się przede wszystkim na nanocząstkach nierozpuszczalnych, kategoria ta została pominięta.

W celu wyznaczenia środków zapobiegawczych, można zastosować klasyczną strategię higieny w miejscu pracy dostosowaną do postępowania z nanocząstkami.

Notyfikacja nanoproductów

Na podstawie wyników sondażu 2009 oraz przeprowadzonych wywiadów stwierdzono, że większość robotników budowlanych oraz pracodawców nie jest świadoma obecności nanoproductów w miejscu pracy lub nie została odpowiednio poinformowana o nanoproductach, z którymi mogą pracować. W jaki sposób mogą zatem dokonać właściwej oceny ryzyka?

Podstawowym wymogiem jest informacja, a rosnące zapotrzebowanie rynku prowadzi do wprowadzenia obowiązku notyfikacji (tj. w Holandii (SER), Francji i Szwajcarii). Notyfikacja jest w szczególności wymagana w odniesieniu do najbardziej niebezpiecznych nanoproductów i nanoproductów wysokiego ryzyka. W celu przekazywania tego typu informacji od producenta do użytkownika można by stosować karty charakterystyki. Pracodawcy i pracownicy przemysłu budowlanego mogą powoływać się na te inicjatywy i aktywnie żądać sprecyzowanych informacji o zawartości nanocząstek w stosowanych produktach oraz o środkach ostrożności, które należy podjąć w celu uniknięcia możliwych zdrowotnych działań niepożądanych spowodowanych narażeniem na działanie nanocząstek.

Wartości nanoreferencyjne

W zwykłych warunkach, opracowane z myślą o zdrowiu dopuszczalne wartości narażenia zawodowego (OEL) wskazują poziom narażenia, poniżej którego pracę można uznać za bezpieczną. Tego typu wartości w odniesieniu do nanocząstek nie istnieją. Wartości nanoreferencyjne (NRV), definiowane jako zapobiegawcze dopuszczalne wartości narażenia wyznaczone dzięki zastosowaniu zasady ostrożnego zarządzania mogą stanowić pewne rozwiązanie do czasu ustalenia OEL. Przykładowe wartości to „*poziomy odniesienia dla narażenia*” przedstawione w Tabeli 0-3 (na podstawie BSI 2007)⁵⁹.

Tabela 0-3 Ranking ryzyka związanego z nierozpuszczalnymi nanocząstkami i wartości nanoreferencyjne

Kat.	Opis	NRV	Uwaga
I	Nanomateriał nierozpuszczalny o wysokim współczynniku kształtu; włóknisty ^a	0,01 włókna/ml	Odpowiedniki włókien azbestowych
II	Wszelkie nanomateriały, które w postaci molekularnej lub większej zostały sklasyfikowane jako materiały o działaniu rakotwórczym, mutagennym, szkodliwym na rozrodczość lub uczulającym (CMR)	0,1 x wartość OEL istniejąca dla postaci molekularnej lub większej	Potencjalnie zwiększone tempo rozpuszczania tych materiałów w postaci nanocząstek może prowadzić do ich zwiększonej biodostępności. Z tego powodu wprowadzono współczynnik bezpieczeństwa: 0,1.
III	Nanomateriały nierozpuszczalne lub słabo rozpuszczalne i nienależące do kategorii cząstek włóknistych lub rakotwórczych, mutagennych i działających szkodliwie na rozrodczość.	0,066 x wartość OEL istniejąca dla postaci molekularnej lub większej	Analogicznie za NIOSH ⁶⁰ zalecamy stosowanie współczynnika bezpieczeństwa 0,066 (pomniejszenie 15-krotne). Sugerowany alternatywny poziom odniesienia to: 20.000 cząstek/ml, wyróżniony ze stężenia cząstek w otaczającym środowisku.

^a Definicja włókna: cząstka o współczynniku kształtu większym od 3:1 i długości powyżej 5000 nm.

⁶⁰ Na podstawie podejścia opisanego przez NIOSH w odniesieniu do nierozpuszczalnego nanodwutlenku tytanu: NIOSH 2005, Draft NIOSH current intelligence bulletin: Evaluation of Health Hazard and Recommendations for Occupational Exposure to Titanium Dioxide, 22.11.2005

Rejestr firm i rejestracja narażenia

Kolejną możliwością wdrożenia zasady ostrożnego zarządzania zaproponowana przez holenderską Radę Społeczno-Gospodarczą (SER) to ustanowienie systemu rejestracji narażeń w firmach, w których pracuje się przy użyciu nanoproductów zawierających najbardziej niebezpieczne nanocząstki (tj. kategorii I i II). Robotnikowi budowlanemu na placu budowy ciężko będzie ocenić czy i w jakich okolicznościach monitoring zagrożeń BHP jest właściwy i użyteczny. Z powodu braku wiedzy zasugerowano zatem, że należy wpisywać do rejestru narażeń: kto (czyli którzy pracownicy) mógłby być/jest narażony i na co (czyli jakie nanocząstki), a także kiedy (czyli w jakim okresie czasu) i gdzie (czyli w jakich okolicznościach), w systemie, który można utworzyć na wzór obecnej praktyki w odniesieniu do substancji azbestowych i rakotwórczych, mutagennych i działających szkodliwie na rozrodczość. Tego typu rejestracja może dobrze wpasować się w praktyki biznesowe małych firm, i dzięki niej możliwe będzie odnalezienie osób podlegających narażeniu oraz ocena stopnia ich narażenia w przypadku, gdyby konkretny nanomateriał okazał się w przyszłości niebezpieczny lub gdyby ujawniły się pewne efekty zdrowotne.

Zarządzanie pasmami ryzyka

Kolejnym sposobem postępowania w przypadku niepewnych zagrożeń w danym środowisku pracy i przy określonej czynności, a także pragmatycznej i ostrożnej oceny potencjalnych bliskich zagrożeń jest tzw. narzędzie zarządzania pasmami ryzyka (control banding - CB). Na całym świecie istnieją różne implementacje metody CB i są one używane przez MŚP (patrz Tischer i in. 2009 oraz podane tam odnośniki⁶¹). CB zaleca przedsięwzięcie ogólnych środków ochronnych w oparciu o zagrożenia związane z danym materiałem, zapylenie i nanowłaściwości, takie jak wielkość, kształt i reaktywność powierzchniowa nanomateriałów, ilość stosowanego materiału oraz prawdopodobieństwo narażenia. Przykładową metodą CB jest metoda opracowana przez Paik i in. (2008)⁶².

⁶¹ Tischer M., Bredendiek-Kamper S., Poppek U., Packroff R. 2009. How Safe is Control Banding? Integrated Evaluation by Comparing OELs with Measurement Data and Using Monte Carlo Simulation, *Ann Occup. Hyg. Cz.* 53(5):449-462

⁶² Paik S.Y., Zalk D.M., Swuste P. 2008. Application of a Pilot Control Banding Tool for Risk Level Assessment and Control of Nanoparticle Exposures. *Ann Occup. Hyg. Cz.* 52(6):419-428

5. Możliwe dalsze działania zwiększające bezpieczeństwo w miejscu pracy

W obecnej chwili nie mamy pewności co do zagrożeń zdrowotnych związanych ze stosowaniem lub obróbką maszynową nanoproductów i dopiero zaczynamy je lepiej rozumieć. Dotyczy to profili wpływu nanocząstek na zdrowie i bezpieczeństwo, a także rzeczywistego ryzyka narażenia na te nanocząstki w związku z pracą przy wykorzystaniu nanoproductu. To, że w przypadku wielu nanocząstek, w porównaniu z ich makroskopowym materiałem macierzystym, obserwuje się powiększony stosunek powierzchni do objętości, nowe właściwości elektronowe, różną kinetykę przenoszenia, różne działanie biologiczne i zmienioną reaktywność chemiczną wzbudza podejrzenia, że nanocząstki mogą wiązać się z niemożliwymi obecnie do przewidzenia i potencjalnie poważnymi zagrożeniami dla zdrowia. Utrudnia to przeprowadzenie właściwej oceny ryzyka i zarządzanie nim. Do tej pory nie opracowano kodeksów postępowania ani dobrych praktyk dla branży budowlanej, które mogłyby pomóc w radzeniu sobie z nieznanym. Na podstawie posiadanej wiedzy o pracy z (niebezpiecznymi) substancjami chemicznymi, można zaprojektować środki ostrożności umożliwiające radzenie sobie w odpowiedzialny sposób z nieznanym w odniesieniu do zagrożeń dla zdrowia ze strony nanoproductów. Strategia ta jest na ogół określana mianem zasady ostrożnego zarządzania. Punktem wyjścia jest tutaj zapobieganie narażeniom na nanocząstki poprzez stosowanie zasad higieny w miejscu pracy. Skuteczne zapobieganie narażeniom (w przypadku niewystarczających danych o zagrożeniu) jest zgodne z zasadą REACH: *bez udostępnienia danych produkt nie może zostać wprowadzony na rynek*. W ramach zasady ostrożnego zarządzania proponowane są następujące możliwe podstawowe elementy mające na celu zwiększenie bezpieczeństwa w miejscu pracy:

- Brak danych --- brak narażenia
 - Zapobieganie narażeniom zgodnie ze strategią dotyczącą higieny w miejscu pracy (w tym ewentualne zastępowanie potencjalnie bardzo niebezpiecznych nanocząstek)
- Informowanie o składzie nanoproductu przez producentów i dostawców
 - Deklarowanie nanoskładu produktu w obrębie łańcucha produkcji
 - Deklarowanie nanoskładu produktu w organie administracji centralnej w formie swego rodzaju bazy danych
- Rejestracja narażeń w miejscu pracy
 - Analogiczna jak w przypadku kancerogenów rejestracja nanowłókien i nanomateriałów rakotwórczych, mutagennych i działających szkodliwie na rozrodczość
 - Analogiczna jak w przypadku substancji działających szkodliwie na rozrodczość rejestracja innych nierozpuszczalnych nanomateriałów
- Transparentna komunikacja ryzyka
 - Informacja na kartach charakterystyki o znanych zagrożeniach związanych z nanocząstkami, zarządzaniu nimi i brakach w dostępnej wiedzy
 - Żądanie raportu bezpieczeństwa chemicznego (REACH) dla substancji powyżej 1 tony/rok/firmę
- Wyprowadzenie dopuszczalnych wartości narażenia zawodowego dla nanomateriałów lub wartości nanoreferencyjnych
 - Dla nanocząstek, które mogą być uwalniane na stanowisku pracy na budowie

Dalszym czynnikiem utrudniającym właściwą ocenę ryzyka jest fakt, że w wielu przypadkach nanospecyficzne informacje, którymi dysponuje producent surowca gubią się w drodze w dół łańcucha użytkowników i zaledwie ich niewielki ułamek faktycznie dociera do robotnika na

placu budowy. Sytuacja ta może być nawet jeszcze gorsza w przypadku robotników pracujących (na przykład) przy renowacji budowli zawierającej nanoproducty (ze względu na ignorancję właściciela budowli). Poprawą tej sytuacji powinny zająć się władze i dostawcy nanomateriałów.

Ponieważ indywidualne wprowadzanie w życie tych środków ostrożności będzie skomplikowanym zadaniem, w szczególności dla działających w przemyśle budowlanym MŚP, wskazane jest udzielanie wsparcia przy opracowywaniu dobrych praktyk dla wybranej liczby priorytetowych czynności, przy których można spodziewać się wystąpienia narażenia, np. pracy z nanopowłokami i nanocementem/nanobetonem. Czynności tego typu to: natryskiwanie nanopowłok, praca przy mokrej zaprawie zawierającej nanocząstki, obróbka maszynowa nanoproductów (np. piaskowanie lub wiercenie) lub czyszczenie bądź serwisowanie wyposażenia stosowanego przy tych czynnościach. Narzędziem, które może pomóc w rozwijaniu dobrych praktyk jest zarządzanie pasmami ryzyka. Prowadzi ono do opracowania rankingu ryzyka, który oparty jest na wiedzy o nanocząstkach, ich materiale macierzystym (w postaci makroskopowej), sposobie i faktycznych warunkach pracy. Powaga potencjalnego zagrożenia oraz prawdopodobieństwo wystąpienia narażenia w środowisku pracy są poddawane ocenie i przypisywane do poziomu ryzyka w przedziale od 1 do 4. W zależności od poziomu ryzyka sugerowana jest ogólna strategia zarządzania ryzykiem, która może brzmieć „stosuj wentylację”, „zastosuj środki ochrony indywidualnej” lub „pracuj w zamkniętym otoczeniu”.

Istnieją urządzenia do pomiaru narażenia na nanocząstki w czasie rzeczywistym w miejscu pracy, ale są zwykle drogie i trudne w obsłudze. Opracowano przenośny i łatwiejszy w użyciu aparat, a tańsze modele zostaną wprowadzone do obrotu w następnych latach, dzięki czemu urządzenia te będą dostępne dla szerszej grupy użytkowników. Pomiar indywidualnego narażenia na nanocząstki w przemyśle budowlanym są nadal bardzo ograniczone. Pierwsze pomiary z abrazyj powierzchni pomalowanych nanofarbą nie były w stanie wykryć narażenia na nanocząstki konstruowane, ale były zbyt ograniczone, by umożliwić wyciągnięcie ogólnych wniosków na temat narażenia na nanocząstki generowane na placu budowy.