

**Bartosz Andrzejczuk, Łukasz Czczot, Jowita Gromysz,
Magdalena Michaluk, Edyta Wołosowicz**

Studenckie Koło Naukowe Instytutu Budownictwa
Państwowa Szkoła Wyższa w Białej Podlaskiej
- opiekun naukowy prof. dr hab. inż. Wiktor Tur

NANOTECHNOLOGIA W BUDOWNICTWIE

Streszczenie

W 2006 roku w czasopiśmie “Inżynieria i Budownictwo” został opublikowany problemowy artykuł prof. dr hab. inż. Lecha Czarneckiego “Nanotechnologia – wyzwaniem inżynierii materiałów budowlanych”, w którym było postawione pytanie: czy nanotechnologia w odniesieniu do budownictwa może stać się szansą rozwoju dziedziny? Obecnie po upływie kolejnych lat to pytanie nadal pozostaje otwarte.

W ciągu ostatnich kilku lat nastąpiło wyraźne przesunięcie akcentów od nanosciencedo nanotechnology. Wydaje się jednak, że nie dotyczy to budownictwa. Istnieje kilka przyczyn takiego stanu rzeczy:

– odmienność budownictwa, które raczej adaptuje rozwiązania z innych dziedzin; w większym stopniu wykorzystuje koncepcje z innych obszarów niż samo ich dostarcza. Częściowo wynika to ze specyfiki obiektu budowlanego, który jest bardzo złożony, o długim okresie użytkowania i jest wytwarzany w pojedynczych egzemplarzach. Różni to zasadniczo obiekty budowlane od wyrobów mikroelektroniki czy przemysłu samochodowego;

– wielkie rozproszenie firm budowlanych. Budownictwo w Europie dostarcza co prawda około 10% produktu krajowego brutto (około 1000 bilionów euro), ale ponad 95% pracowników jest zatrudnionych w firmach liczących mniej niż 10 osób. W tej sytuacji, bez pomocy państwa bardzo trudno jest zgromadzić stosowną wiedzę i środki dla wprowadzania *nano*;

– wysoki koszt nanotechnologii (długi okres zwrotu) w zestawieniu ze stosunkowo niewielką stopą zysku i w konsekwencji niewielkimi środkami na badania i rozwój, ale także:

– brak odpowiednio przygotowanych specjalistów,

– brak wiedzy i konserwatyzm; obawy o wpływie *nano* na trwałość obiektów, zdrowie wykonawców i użytkowników oraz na środowisko.

– brak przekonującej i całościowej wizji wykorzystania skutków wprowadzenia *nano* w budownictwie.

W tej sytuacji postęp w tym obszarze w wielkim stopniu zależy od dostępu do informacji i efektywnego przekazywania wiedzy.

Wstęp

Nanotechnologia zajmuje się badaniem oraz tworzeniem świata w skali pojedynczych nanometrów, czyli miliardowych części metra. Jak dotąd, jest to najbardziej interdyscyplinarna dziedzina nauki, jaka kiedykolwiek powstała. Łączy w sobie tak różne dyscypliny naukowe jak medycyna, chemia, biologia, biotechnologia, fizyka, badania nad materiałami, inżynieria, nowoczesna elektronika oraz wiele innych.

Pionierami ekstremalnej miniaturyzacji byli amerykańscy naukowcy, laureat Nagrody Nobla prof. Richard P. Feynman, a później dr K. Eric Drexler.

Jako pierwsi, w drugiej połowie XX wieku, określili oni założenia teoretyczne nowej dziedziny nauki oraz zaproponowali możliwości praktycznego jej wykorzystania.

Nanotechnologia stała się modna, jest synonimem rozwoju, nowoczesności i postępu, a co najważniejsze - potrzebna. Nie ma dnia, by naukowcy nie odkryli nowych zaskakujących właściwości materiałów o rozdrobieniu nanometrycznym. Coraz więcej technologii i materiałów stosowanych w budownictwie zostaje radykalnie zmienionych, wzbogaconych o dodatki nanomateriałów, a przez to udoskonalonych (Langer, Langer 2007).

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 zleceniodawców robót budowlanych (Papliński 2013).

W 2006 roku w czasopiśmie "Inżynieria i Budownictwo" został opublikowany problemowy artykuł prof. dr hab. inż. Lecha Czarneckiego "Nanotechnologia – wyznaniem inżynierii materiałów budowlanych", w którym było postawione pytanie: czy nanotechnologia w odniesieniu do budownictwa może stać się szansą rozwoju dziedziny? Obecnie po upływie kolejnych lat to pytanie nadal pozostaje otwartym (Czarnecki 2011).

Materiał i metody

Materiałami wykorzystanymi do omówienia zagadnienia są publikacje naukowe na temat nanosience i nanotechnology. Główną metodą w celu odpowiedzi na zagadnienie - Czy nanotechnologia w odniesieniu do budownictwa może stać się szansą rozwoju tej dziedziny? jest analiza materiałów zawartych w publikacjach naukowych ostatnich lat pokazujących przesunięcie akcentów od nanosience do nanotechnology w budownictwie.

1. Odmienność budownictwa

W budownictwie rozwój materiałów odbywa się przede wszystkim poprzez ich modyfikację jak i nanomodyfikację (Czarnecki 2011, s. 45-46).

Budownictwo jest dziedziną, która raczej adaptuje rozwiązania techniczne z innych dziedzin niż samo je dostarcza, po części powodem tego jest sama specyfikacja obiektu budowlanego, który to należy do bardzo złożonych, jak i jest wytwarzany z myślą o długim okresie użytkowania, a także tworzony jest w pojedynczych egzemplarzach, co różni budownictwo zasadniczo od wyrobów mikroelektroniki, czy też samochodów. Bardzo niewiele z opracowanych przez nanotechnologię produktów trafiło w niniejszym czasie na place budowy (Czarnecki 2011, s. 40).

Główną przyczyną, dla której do przemysłu budowlanego nie trafiła znaczna część opracowanych nanoproductów jest konkurencja cenowa. W obecnej chwili nanoproducty ze względu na ich produkcję są nadal znacznie droższe od alternatywnych materiałów produkowanych bez wykorzystywania nanotechnologii. Z uwagi na wykorzystywanie produktów w branży budowlanej, które jest ogromne w porównaniu do innych, co oznacza, że produkty budowlane niemal zawsze dostarczane są na plac budowy w dużych ilościach, co przekłada się na znaczny wzrost kosztów budowy. W rezultacie producenci materiałów nie wykorzystują nanotechnologii (Fleur van Broekhuizen, Pieter van Broekhuizen 2009, s. 8).

Kolejnym czynnikiem dla którego nanotechnologia ma tak małe zastosowanie w budownictwie są parametry techniczne. Problemem jest tu gruntowne sprawdzanie produktów pod kątem spełniania norm technologicznych obowiązujących oddzielnie dla danego materiału (Fleur van Broekhuizen, Pieter van Broekhuizen 2009, s. 8).

Kluczowym elementem hamującym rozpowszechnianie i wdrażanie nanoproductów do prac budowlanych jest świadomość w branży (lub jej brak). Nowy produkt nie może być wykorzystywany i stosowany, jeżeli nie ma świadomości o jego istnieniu. Wiedza na temat wykorzystywania nanotechnologii w budownictwie jest w Europie bardzo ograniczona i posiada ją obecnie niewielka ilość kluczowych firm rozwijających rynek budowlany (Fleur van Broekhuizen, Pieter van Broekhuizen 2009, s. 8).

Nanotechnologia w budownictwie zawiera duży zastrzyk optymizmu, ale także budzi równie duży sceptycyzm. Należy zwrócić uwagę także na to, iż nanotechnologia nie zawsze spotyka się z akceptacją środowiska. Spowodowane jest to w głównej mierze tym, że istnieją wątpliwości co do oddziaływania nanotechnologii na zdrowie człowieka (Czarnecki 2011, s. 51-52).

W tej sytuacji postęp w wielkim stopniu zależy od dostępu do informacji i efektywnego przekazywania wiedzy. Obecnie za największego beneficjenta rozwoju nanotechnologii uznawane są dziedziny gospodarki związane z wytwarzaniem, przetwarzaniem i magazynowaniem energii (Czarnecki 2011, s. 51).

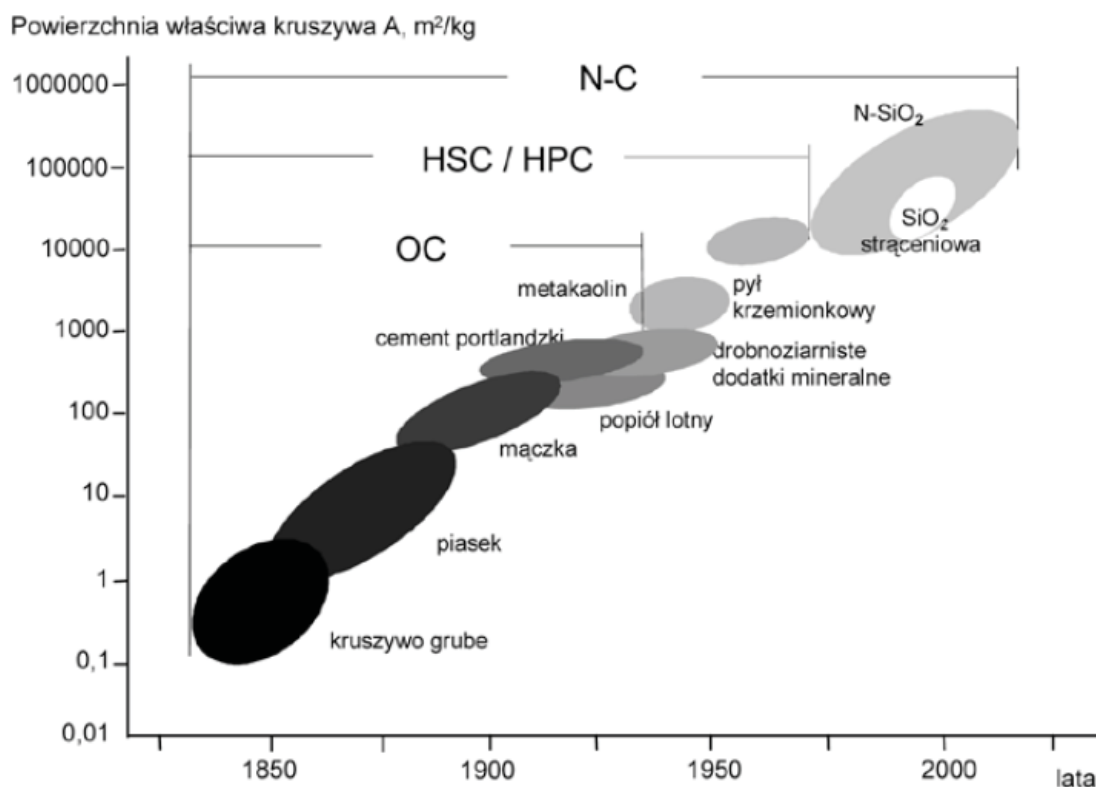
Przemysł budowlany, zwłaszcza w zakresie chemii budowlanej znajduje coraz więcej zastosowań dla nanotechnologii. Przykładowo z chemii zapożyczono takie dziedziny jak: chemia nieorganiczna, technologia polimerów, metody badań nanomateriałów, podstawy elektrochemii i korozji. Wykorzystanie polimerów w technologii budownictwa znacznie zwiększa ich odporność na ściskanie, zgniatanie i skręcanie oraz zmniejszenie wodorzędności itp. Wiąże się to jednak ze znacznym wzrostem kosztów. Natomiast z fizyki zaczerpnięto wszelką wiedzę odnośnie struktur atomowych. Dzieje się tak dlatego, gdyż zastosowanie już niewielkich domieszek nanoskładników, powoduje znaczne polepszenie właściwości materiałów budowlanych i wykończeniowych. Zastosowanie mikro i nano-krzemionki (SiO_2 , TiO_2) dla szkła samoczyszczącego (Jackowska: <http://ecosquad.pl/ma-e-mo-e-wi-cej----nanotechnologia-w-budownictwie.html>).

W chwili obecnej nanotechnologię najczęściej stosuje się w farbach i tynkach, wykorzystując biobójcze właściwości atomów srebra. Jony srebra wnikać w głąb komórki drobnoustroju i zaburzają jej podział komórkowy, tym samym niszcząc bakterie (Jackowska: <http://ecosquad.pl/ma-e-mo-e-wi-cej----nanotechnologia-w-budownictwie.html>).

Od dawna problemem budownictwa jest wprowadzenie i udoskonalenie betonu w taki sposób, aby jego wskaźnik wodno – cementowy był jak najniższy, powoduje to wzrost wytrzymałości betonu, jednak z powodu ilości wody potrzebnej do hydratacji cementu napotkano na naturalny kres. Obecnie minimalna wielkość ziaren kruszywa D=

- 1500000 nm – piasek,
- 30000 nm – mączka kwarcowa,
- 150 nm – pył krzemionkowy,
- 50 nm – krzemionka strąceniowa,
- 5 nm – nanokrzemionka (Czarnecki 2011, s. 47-48).

Wyznacza obecnie zakres pozyskiwania różnych odmian betonu: beton zwykły, beton wysokiej wytrzymałości, nanobeton (ryc. 1).



Ryc. 1. Powierzchnia właściwa kruszywa w zależności od czasu, wg K. Sobolewa [18]; OC – beton zwykły, HSC – beton wysokiej wytrzymałości, HPC – beton wysokiej użyteczności, N-C – nanobeton (Czarnecki 2011, s. 49)

Dalszy postęp z wykorzystaniem nanotechnologii można przewidywać na drodze nanomodyfikacji prostej z zastosowaniem nanomodifikatorów nowej generacji. Obecnie wprowadzana jest metoda zbrojenia betonu nanorurkami. Zważywszy, że wytrzymałość nanorurek na rozciąganie jest około 500 razy, a moduł sprężystości 20 razy większy od stali, byłoby to wysoce efektywne. Już niewielka ilość nanomodifikatora powinna się okazać bardzo atrakcyjna. Trudności są co najmniej dwie: nanorurki mają tendencję do zbrylania i wykazują małą przyczepność do stwardniałego zaczynu cementowego. Barię stanowi również wysoka cena, nawet do 200 euro za 1 g (Czarnecki 2011, s. 48).

W nanotechnologii nawiązuje się często do rozwiązań stosowanych przez naturę – podpatrywanie i wzorowanie się na naturze. Budownictwo to łączenie różnych materiałów i elementów celem ukształtowania konstrukcji (Czarnecki 2011, s. 47).

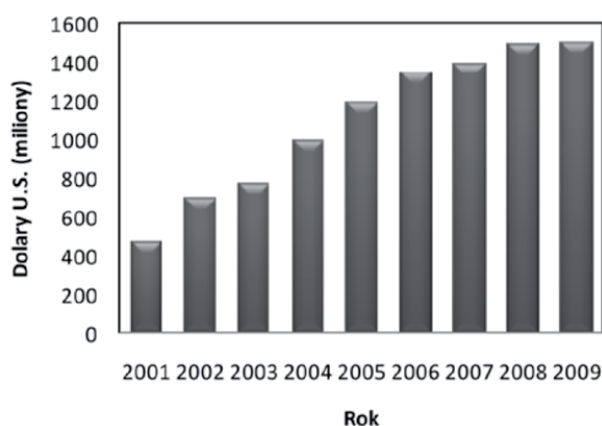
2. Finansowanie problematyki „nano” i ekonomia firm budowlanych

Nanotechnologia wykorzystywana w budownictwie znajduje się dopiero na 8 miejscu listy rankingowej beneficjentów rozwoju nanotechnologii (Czarnecki 2011, s. 47).

Tab. 1. Lista rankingowa beneficjentów rozwoju nanotechnologii (Czarnecki 2011)

Pozycja	Obszar
1	Energia: wytwarzanie, przetwarzanie, magazynowanie
2	Rolnictwo
3	Uzdatnianie wody
4	Diagnostyka medyczna
5	Farmacja
6	Przemysł spożywczy
7	Ochrona czystości powietrza
8	Budownictwo
9	Monitorowanie zdrowia pacjenta
10	Wykrywanie ognisk chorobotwórczych

W 2009 roku opublikowana została Biała Europejska Księga Grand European Initiative on Nanoscience and Nanotechnology. Z pośród wszystkich wymienionych założeń budownictwo nie zostało wymienione ani razu. Pojawił się więc problem, który trzeba było rozwiązać jak najszybciej. Wszystkie wymienione założenia z różnych dziedzin życia naukowego otrzymały fundusze w wysokości 100 – 120 mln USD na rozwój i program badawczy nanotechnologii w ramach swoich zapotrzebowań. Pojawiła się więc idea stworzenia nanotechnologii w budownictwie. Ten fakt okazał się również ważny ze względu na ciągle rosnący strumień funduszy na badania w obszarze nano (Czarnecki 2011, s. 47) w Europie ponad 2 biliony euro rocznie, a w USA – ostatnio 1,5 biliona \$ (ryc. 2).



Ryc. 2. Fundusz National Nanotechnology Initiative w USA, w latach 2001 – 2009 (Czarnecki 2011, s. 47)

Zaangażowanie krajów rozwijających się również znacznie wzrosło. Można powiązać to z ilością i wielkością firm znajdujących się na danym rynku.

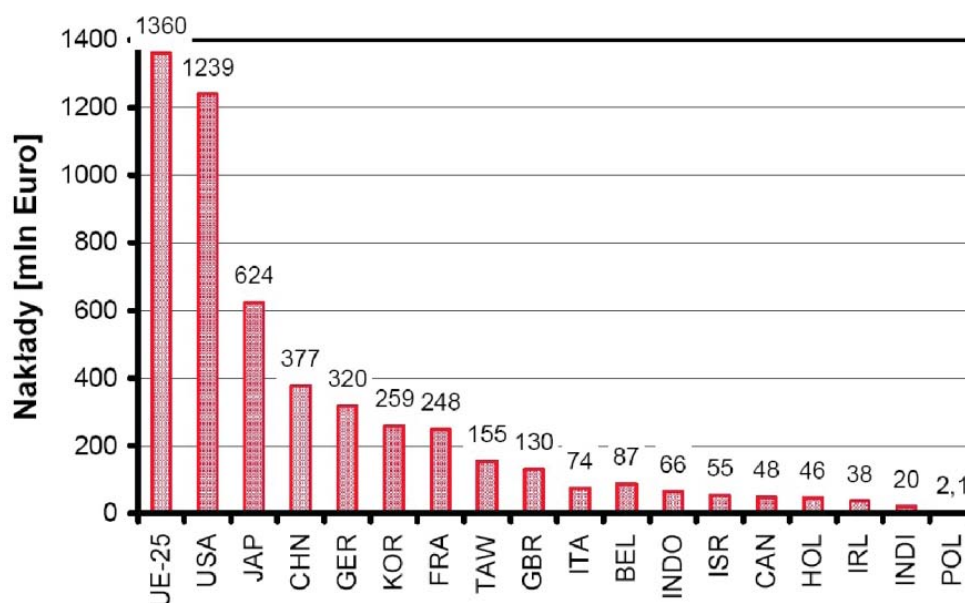
Z nanotechnologiami i udziałem państwa w promowanie i dofinansowywanie działań z tym związanych ma wpływ obszar działań w jakim porusza się rozpatrywana dziedzina. Możemy tutaj wymieniać wiele podstawowych pojęć ale jednym z głównych są nanokompozyty. Nanokompozyty są to takie materiały kompozytowe, w których budowie występują elementy o wymiarach poniżej 100 nm (w niektórych przypadkach 200 nm) (Czarnecki 2011, s. 48). Aby przeprowadzać badania i udoskonalać formuły na materiałach o takiej wielkości niezbędny jest specjalistyczny sprzęt, często wart nawet powyżej 50 mln zł. Na takie badania mogą pozwolić sobie tylko wielkie korporacje działające na skalę światową. Z tego powodu możemy obserwować monopol w tej dziedzinie na rynku budowlanym. Jednak nie do końca jest to zarezerwowane „budowlanym gigantom”. Przy pomocy państwa oraz przedsiębiorców możliwy jest również rozwój mniejszych instytucji. Mniejsze firmy nie mogą produkować, lecz mogą stosować materiały, otrzymane z wykorzystaniem nanotechnologii.

Istnieją firmy, które oferują „nanomateriały” budowlane, zastrzegając się równocześnie, że ich wyroby nie zawierają żadnych nanocząstek, a podwyższenie właściwości uzyskano jedynie dzięki wykorzystaniu „nanonauki”. Dużym firmom o zasięgu światowym łatwiej będzie dotrzeć do odbiorcy przez odpowiednią reklamę i specjalistów z tej branży niż małej firmie.

W kraju działa również kilkadziesiąt firm zajmujących się nanotechnologiami, w tym są firmy produkujące preparaty lub sprzęt, firmy zajmujące się dystrybucją preparatów zagranicznych producentów oraz firmy usługowe (Raport, The Royal Academy of Engineering 2004, Maliszewska-Mazur 2010).

3. Koszty materiałów budowlanych wytworzonych w technologii nano

Wysokie koszty nanotechnologii (długi okres zwrotu) w zestawieniu ze stosunkowo niewielką stopą zysku i w konsekwencji niewielkimi środkami na badania i rozwój (Czarnecki 2011, s. 40). Jest co najmniej kilka przyczyn, dla których do tej pory nanotechnologia w dziedzinie budownictwa nie jest powszechnie stosowana. Zdecydowanie najważniejszym czynnikiem sprawczym tego stanu rzeczy jest wysoki koszt wprowadzenia nanomateriałów na rynek. Aktualnie technologia ta znajduje się w fazie badawczo-rozwojowej.



Ryc. 3. Nakłady finansowe przeznaczone na badania nanotechnologii w 2004 r. (Mazurkiewicz i wsp. 2005, s. 2)

Nakłady finansowe przeznaczone na badania w zakresie nanotechnologii w 2004 roku były liczone w milionach euro (ryc. 3). Natomiast już w roku 2011 sytuacja uległa znaczącej poprawie „w Europie ponad 2 biliony euro rocznie, a w USA – 1,5 biliona \$. Zaangażowanie krajów rozwijających się: Indie (5 mln \$ rocznie), Brazylia (5 mln \$ rocznie), a także Płd. Afryka, Tajlandia, Filipiny, Chile i Argentyna.” (Zhi Ge, ZhiliGao 2008, s. 235). Niestety jedynie bardzo niewielki odsetek tych funduszy jest przeznaczany na badania nanotechnologii w zakresie budownictwa, co w następstwie spowalnia rozwój technologii we wskazanej dziedzinie.

Kolejnym czynnikiem mającym wpływ na cenę nanomateriałów jest fakt, iż wytwarzanie materiałów w technologii nano na skalę globalną jest poza aktualnymi możliwościami inżynierii materiałów budowlanych. Do chwili obecnej powstała niewielka ilość wyspecjalizowanych maszyn do produkcji nanoproduktów, lecz cały czas są tworzone i testowane nowe urządzenia. Niestety nadal jest ich zbyt mało, aby w znaczącym stopniu spopularyzować i obniżyć cenę tak, aby była ona konkurencyjna dla innych materiałów. W rezultacie braku pełnego wyposażenia przedsiębiorstwa produkcyjne są nieprzychylnie nastawione do nowej koncepcji, ponieważ materiały budowlane są dostarczane na budowę w dużych ilościach, a częściowy brak odpowiednich urządzeń skutecznie to uniemożliwia. Ponadto nowe wyspecjalizowane maszyny są kosztowne (cena jednej maszyny wynosi kilkadziesiąt mln euro), dlatego jedynie najwięksi potentaci są w stanie wprowadzić nanoprodukty do produkcji.

Dla lepszego zobrazowania zagadnienia poniżej został przytoczony jeden z przykładów różnic cenowych nanomateriałów a materiałów stosowanych aktualnie.

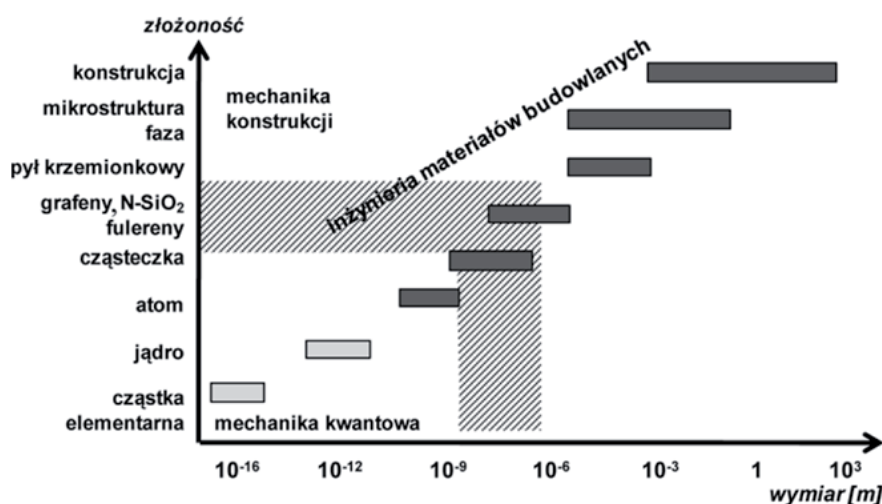
Jak podano w publikacji Czarneckiego, aby zwielokrotnić wartość wytrzymałości mieszanki betonowej do nawet 25 N/mm² wystarczy dodać zaledwie 1% nanomateriału w postaci na przykład carbonowych nanorurek. Wydają się, iż nie może to w znaczący sposób zwiększyć kosztu betonu. Jednakże cena tego produktu waha się do nawet 200 euro za 1 gram (Czarnecki 2011, s. 48).

Do wylania 1 m³ mieszanki betonowej potrzeba ok. 350 kg cementu, a więc 1% cementu należy zamienić na nanomateriał. Po wykonania rachunku okazuje się, że na 1 m³ betonu potrzeba aż 3500 g carbonowych nanorurek. Licząc, że jeden gram tego produktu kosztuje około 200 euro okazuje się, że koszt 1 m³ betonu w technologii nano wynosi 700 000 euro.

Podsumowując, ze względu na kolosalną cenę nanomateriałów nie można uzyskać ich racjonalnego zastosowania, być może jest to możliwe dla budownictwa na księżycu. Aktualnie są wykorzystywane jedynie w pojedynczych przypadkach, kiedy to istnieje zagrożenie konstrukcji spowodowane zbyt dużymi obciążeniami.

4. Specjaliści

Nanotechnologia jako dziedzina budownictwa potrzebuje wysoce wyspecjalizowanych jednostek do badania, udoskonalania i rozpowszechniania tej technologii. Zaczynając od osób odpowiedzialnych za konserwację sprzętu po naukowców badających nanostruktury po marketingowców odpowiedzialnych za promocję, można wyliczać w nieskończoność. Najbardziej istotną jednostkę w tej branży stanowią jednak naukowcy. Nanotechnologia jest stosunkowo młoda nauką dlatego też wykształcenie i pozyskanie osób z wiedzą w tym temacie jest bardzo trudne. Nie każdy jest także w stanie opanować wszystkie niezbędne pojęcia w tym temacie, nanocząstki, nanokompozyty itp. jak sama nazwa wskazuje, są związane z strukturami rzędu 10⁻⁹ m i mniejszych. Sama obsługa nowoczesnego mikroskopu elektronowego wymaga odpowiednich kwalifikacji nie mówiąc już o wykształceniu związanym ze znajomością technologii nano i struktur z nimi związanych. Na rycinie 4 przedstawiono zakres „złożoności wymiarów” w obszarze nano:



Ryc. 4. Miejsce inżynierii materiałów budowlanych w zakresie „złożoność – wymiar” (Grabski 2003; Czarnecki 2011, s. 48)

Uwaga - Pole zakreskowane oznacza możliwy obszar interwencji technologicznych na poziomie nano

Wprowadzenie nanocząstek do kompozytów budowlanych oznacza przesunięcie zakresu badań inżynierii materiałów budowlanych na klasycznym wykresie „złożoność – wymiar” o dwa rzędy wielkości w dół (ryc. 4). Obszar zainteresowań inżynierii materiałów budowlanych będzie obejmował ponad 10 rzędów wielkości (Czarnecki 2011, s. 48).

5. Stosunek społeczeństwa

Analizując w przypadku ogólnym stosunek społeczeństwa do nanotechnologii można określić następująco: brak wiedzy i konserwatyzm; obawy o wpływie nanotechnologii na trwałość obiektów, zdrowie wykonawców i użytkowników oraz na środowisko.

Spółeczeństwo cechuje się ogólnym lękiem przed najnowszymi technologiami, a do jednych z nich należy właśnie nanotechnologia. Konserwatyzm i brak wiedzy tworzy barierę dla otwarcia się na najnowsze odkrycia w dziedzinie nauki. Mały odsetek ludności zna pojęcie „nanotechnologia”, a co za tym idzie nie zdają sobie sprawy, iż może być ona z powodzeniem wykorzystywana w budownictwie i przynosić znaczące korzyści. Pocieszeniem jest fakt, że „w ciągu ostatnich kilku lat liczba odpowiedzi „nanotechnologia + construction” zwiększyła się tysiąckrotnie, a „nanotechnologia + concrete” – wielokrotnie” (Czarnecki 2011, s. 41).

Tab. 2. Wyniki poszukiwań – przeglądarka Google (Czarnecki 2011, s. 41)

Słowa kluczowe	Liczba odpowiedzi		2010/2006
	2006	2010	
Nanotechnology + construction	332	1220000	
Nanotechnology + concrete	553000	3580000	3675(!!)
Nanotechnology	1270000000	7690000	6,5(!)
Concrete	2100000000	88200000	0,06(??)
Construction	2400000000	434000000	0,4(?)

Z powyższej tabeli wynika, że zainteresowanie nanotechnologią systematycznie wzrasta. Jednakże, aby dziedzina ta miała możliwość rozwoju ogólny dostępny do zbioru informacji na ten temat musi być bardziej obszerny.

Konstrukcje wykonane w technologii nano są kilkanaście razy bardziej wytrzymałe od konstrukcji wykonanej z tradycyjnych materiałów, lecz odbija się to w znaczący sposób na wykonawców pracujących przy budowie. Dzieje się tak dlatego, ponieważ nanocząsteczki są to pyły miliard razy mniejsze od piasku, który jest aktualnie stosowany. Ekspozycja materiałów podczas produkcji i użytkowania może nastąpić poprzez trzy mechanizmy: wdychanie, kontakt ze skórą i po spożyciu. Istnieją wskazówki, że również nanocząsteczki mogą przenikać przez skórę lub przemieszczać z dróg oddechowych w innych narządach (Bakker 2008).

Większość pracowników nie zdaje sobie sprawy z zagrożeń, jakie niosą nanocząsteczki i możliwego uszczerbku na zdrowiu. Aktualnie w większości przypadków nie są podejmowane środki zapobiegawcze. Robotnicy pracują bez odpowiedniego wyposażenia (maski, rękawice, odzież ochronna). Nie zdając sobie z tego sprawy dochodzi do chorób układu oddechowego.

6. Wizja na przyszłość

Wątpliwości związane z wprowadzeniem nanotechnologii do budownictwa wynikają, także z braku przekonującej i całościowej wizji wykorzystania skutków nano w tej dziedzinie (Czarnecki 2011, s. 40). Jednak istnieją pomysły związane z zastosowaniem nanotechnologii w materiałach budowlanych.

Budownictwo – oprócz trwałości powstających obiektów – wyróżnia przetwarzanie wielkich ilości materii (masy i energii); rocznie tylko w Polsce wytwarza się około 100 mln ton betonu. Okoliczności te stanowią zarówno o oczywistej

konieczności rozwoju technologii materiałów budowlanych, jak i o jej immanentnych ograniczeniach. Rozwój w odniesieniu do podstawowych budowlanych materiałów konstrukcyjnych odbywa się przede wszystkim przez ich modyfikację, w tym również przez nanomodyfikację. Nanotechnologia może umożliwić istotną poprawę właściwości tych materiałów, oraz ograniczyć ilość zużywanej energii do ich wytwarzania. Materiały budowlane dzięki swoim cechom wytrzymałościowym w stosunku do gęstości posiadają wysoki potencjał modyfikacyjny. Właściwości materiałów można kształtować na wielu płaszczyznach np.: makroskopowe odkształcenia i pękanie, lokalizacja odkształcenia plastycznego, mikropęknięcia, stabilność cieplna, elastyczność, plastyczność, twardość, tworzenie i przemieszczanie się dyslokacji, rozszerzalność cieplna, barwa, właściwości energetyczne i magnetyczne, trwałość radiacyjna, reakcje jądrowe. Nanomodyfikacja może okazać się skutecznym sposobem kształtowania właściwości takich materiałów jak: beton, stal, żelbet, drewno i tworzywa sztuczne, zgodnie z zasadami zrównoważonego rozwoju, tzn. – jako wyroby o dobrze zdefiniowanych właściwościach do danego zastosowania, przy zachowaniu minimum energii podczas ich pozyskiwania i minimum negatywnego oddziaływania na środowisko (Czarnecki 2011, s. 45-46).

Najbardziej obiecujące zastosowania nanotechnologii w budownictwie, które zostały opracowane, lub są dostępne:

- Beton zbrojony carbonowymi nanorurkami

Nanorurki o cylindrycznym kształcie i średnicy jednego nanometra, teoretycznie są 100 razy mocniejsze od stali. Ich gęstość w stosunku do stali wynosi 1/6. Według informacji podanych w (Schimel 2008) niewielka ilość CNT (1%), dodana do mieszanki betonowej pozwala na zwiększenie wytrzymałości betonu nawet o 25 N/mm².

- Samonaprawczy beton

Koncepcja polega na wprowadzeniu materiału naprawczego podczas wytwarzania mieszanki betonowej. Kiedy naprężenia wewnętrzne w betonie przekraczają założony poziom, następuje aktywacja materiału naprawczego. Materiał naprawczy – zwykle żywica utwardzalna – może być umieszczony w mieszance betonowej w specjalnych minikapsułkach (Czarnecki 2011).

- Stal o podwyższonych cechach mechanicznych

Połączenie stali z nanocząsteczkami miedzi pozwala nie tylko na poprawę jej wytrzymałości i elastyczności, ale także na zwiększenie temperatury topnienia i ochrony przed korozją. Dodatek nanocząsteczek zwiększa też połysk stali (Schimel 2008).

- Samoczyszczące szyby

Powłoka z TiO_2 pokrywająca szybę przyciąga wodę do powierzchni okna umożliwiając zmywanie się brudu. Powłoka ta zwiększa wytrzymałość, jest to ważna cecha przy silnych wiatrach oraz huraganach. Szyby o samoczyszczące i wysokowytrzymałościowe są obecnie dostępne (Schimel 2008).

- Ogniochronne szyby

Cząsteczki nano mają być stosowane do tworzenia szyb ogniochronnych. Umieszczenie małej warstwy nanocząsteczek SiO_2 między dwie szyby pozwala na zmniejszenie ilości przekazywanego ciepła przez szybę (Schimel 2008).

- Nanotechnologia farb

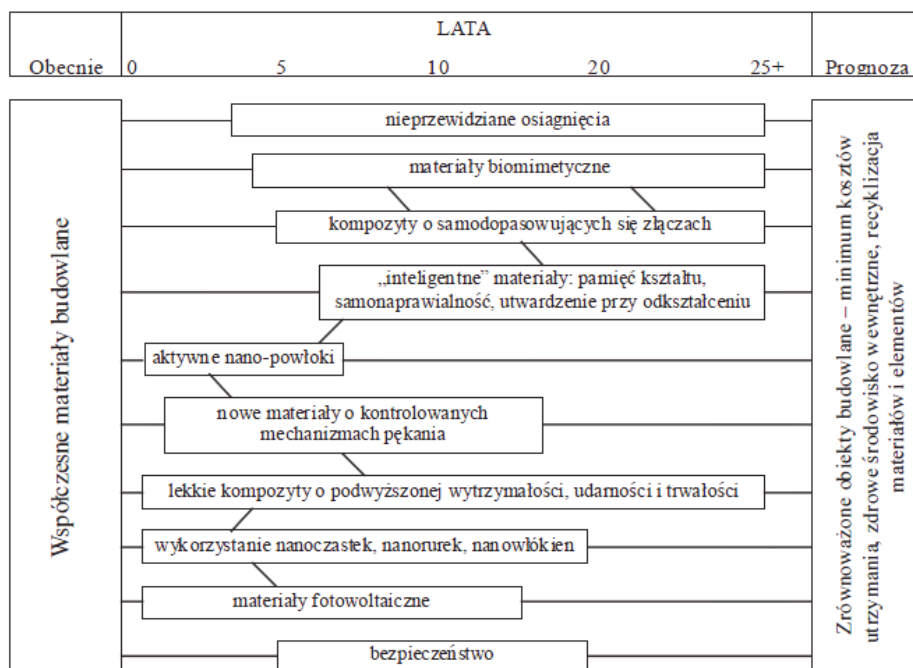
Nanotechnologia w wytwarzaniu farb może pozwolić na pozyskanie farb, które nie tylko mogą być samoczyszczące, ale mogą zawierać nano-czujniki, pozwalające na monitorowanie temperatury na ścianach budynku (Schimel 2008).

- Aerozele

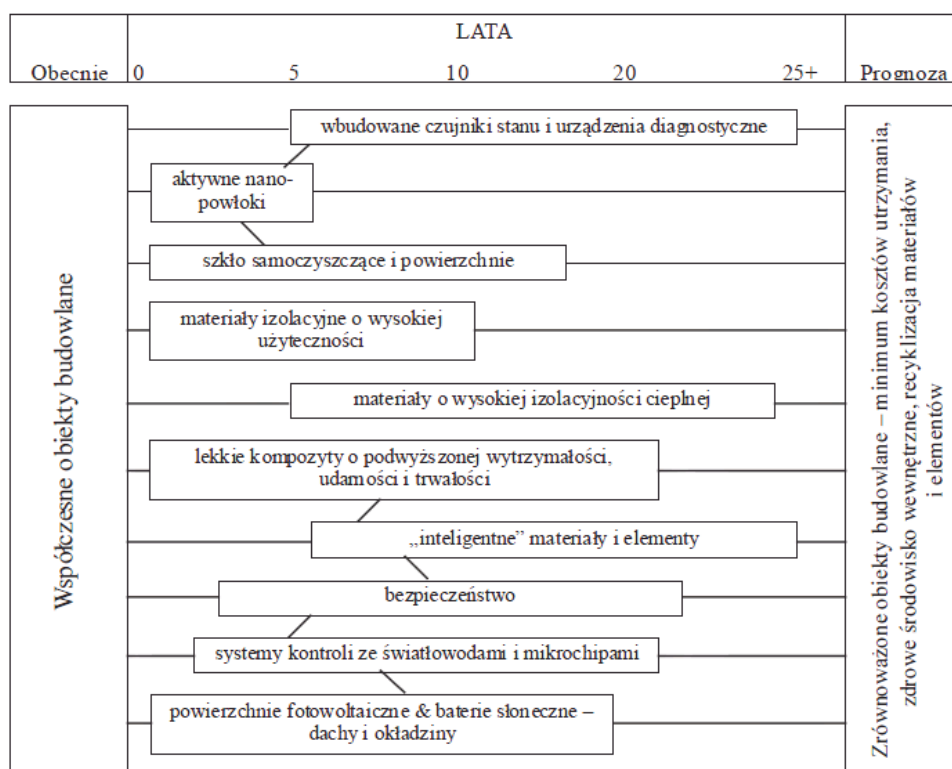
Aerozele to nowe materiały, struktura tworzona z krzemionki, która potrafi zmniejszyć do minimum grubość izolacji robionej dziś z wełny mineralnej i styropianu. Aerożel wynaleziono na potrzeby podboju Kosmosu – miał chronić promy kosmiczne przed różnicą temperatury sięgającą 1000°C . Być może w przyszłości będzie stosowany do ocieplania budynków (Papliński 2013, s. 13).

W 2007 roku międzynarodowy zespół pod kierunkiem P. J. M. Bartosa opublikował „zrównoważone” przewidywania w tym obszarze. Prognoza obejmuje okres 25 lat, począwszy od roku 2004, tzn. sięga do roku 2030. „Mapy drogowe” zostały sporządzone dla trzech wydzielonych zbiorów:

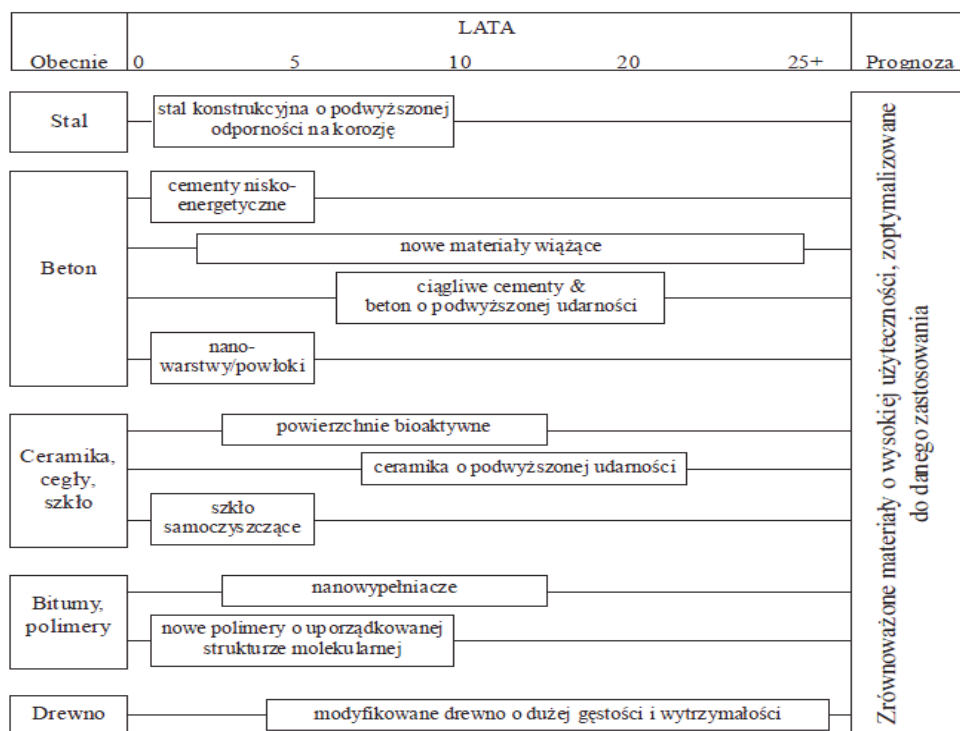
- Modyfikacja (istniejących) materiałów konstrukcyjnych według metody „top-down” polega na rozdrabnianiu istniejących materiałów do nanocząsteczek.
- Nanomateriały konstrukcyjne – w pierwszym rzędzie według metody „bottom-up” – budowanie od podstaw (atom po atomie).
- Budowlane obiekty przyszłości. Obszar ten dyskontuje osiągnięcie uzyskane w obszarze I i II (Czarnecki 2011).



Ryc. 5. Modyfikacja (istniejących) materiałów konstrukcyjnych według metody „top-down” (Czarnecki 2011)



Ryc. 6. Nanomateriały konstrukcyjne – w pierwszym rzędzie według metody „bottom-up” (Czarnecki 2011)



Ryc. 7. Budowlane obiekty przyszłości. Obszar ten dyskонтuje osiągnięcie uzyskane w obszarze I i II (Czarnecki 2011)

Stosowanie nanotechnologii w budownictwie może być przedstawione z dwóch stron. Z jednej strony materiałoznawstwo budowlane już od dawna bazuje się na modyfikacji struktury materiałów wiążących na poziomie żelu C-S-H, a to znaczy na poziomie nano. W tym przypadku w ciągu ostatnich 20 lat stosowane ultradodatki mineralne (pochodzenia mineralnego) np. mikro- i nanokrzemionki (SiO_2) z powierzchnią właściwą około $250\,000\text{ cm}^2/\text{g}$ (w porównaniu do cementu $S=3500\text{-}4000\text{ cm}^2/\text{g}$). Rozwój nanotechnologii w kierunku „top-down” z zastosowaniem rozdrobnienia dodatków mineralnych do wielkości cząsteczek-nano wydaje się najbardziej prawdopodobnym. Razem z tym w ostatnich latach dość intensywnie rozwija się technologia betonów na podstawie hiperplastyfikatorów (np. polikarbosilenów), które otrzymują w reakcjach polikarboksylacji, a to znaczy wg metody „bottom-up”.

Zastosowanie nanorurek i nanosiatek Carbonetube przy produkcji betonów w najbliższej przyszłości jest mało efektywnym działaniem ze względu na wysokie koszty produkcji.

Wnioski

Nanotechnologia w budownictwie posiada pewien zarys koncepcji związanych z modyfikacją materiałów budowlanych, może mieć to duży wpływ na poprawę właściwości mechanicznych budowli, oraz na zwiększenie komfortu życia, dużą barierę stanowią wysokie koszty, na które głównie wpływa odmienność budownictwa w porównaniu z nanotechnologią w innych dziedzinach, a także brak odpowiednio wykształconych specjalistów. Obawy o rozwój nanotechnologii w budownictwie budzi stosunek społeczeństwa, które nie posiada odpowiedniej wiedzy na temat skutków nano w budownictwie. W przyszłości nanotechnologia w budownictwie ma duże szanse rozwoju.

W tej sytuacji postęp w tym obszarze w wielkim stopniu zależy od dostępu do informacji i efektywnego przekazywania wiedzy.

Piśmiennictwo

1. Bakker E. (2008), Nanotechnology and human health in the construction industry, April.
2. Czarnecki L. (2011), Nanotechnologia w budownictwie. Politechnika Warszawska. Instytut Techniki Budowlanej, Warszawa.
3. Fleur van Broekhuizen, Pieter van Broekhuizen (2009), Nanotechnologia w budownictwie europejskim, Amsterdam.
4. Jackowska B., Małe może więcej? – Nanotechnologia w budownictwie [dostęp: 14 kwiecień 2013], <http://ecosquad.pl/ma-e-mo-e-wi-cej---nanotechnologia-w-budownictwie-.html>.
5. Mazurkiewicz A. i wsp. (2005), „Nanonauka i Nanotechnologia Narodowa strategia dla Polski - Raport grupy przy Ministerstwie Nauki i Szkolnictwa Wyższego”, Warszawa.
6. Maliszewska-Mazur M. (2010), Raport, The Royal Academy of Engineering 2004.
7. Papiński A. (2013), Materiały i technologie – co w przyszłości piszczy. Murator, III.
8. Schimel M. (2008), Nanotechnology in Building Materials.
9. ZhiGe, ZhiliGao (2008), Applications of Nanotechnology and Nanomaterials in Construction, Proc. of First International Conference on Construction In Developing Countries – ICCIDCI “Advancing and Integrating Construction Education, Research & Practice”, Karachi.