

## ZASTOSOWANIE NANOCZĄSTEK W BUDOWNICTWIE

Alina KALETA, Andrzej KOŁODZIEJ  
Politechnika Opolska, Opole

### 1. Wprowadzenie

Nanotechnologia jest stosunkowo nowym obszarem badań w inżynierii materiałów budowlanych. Można się spodziewać, że wkrótce wprowadzi ona istotne zmiany i nowe rozwiązania istotnych problemów tej dyscypliny.

Nanotechnologia powstała w latach dziewięćdziesiątych XX wieku. Zajmuje się ona wytwarzaniem nanomateriałów, czyli cząstek materialnych o wielkościach w granicach od kilku do kilkuset nanometrów, oraz metodami służącymi do ich badania i modelowania [1].

Produkty nanotechnologii mogą być wykorzystywane do projektowania i wytwarzania materiałów w wielu dziedzinach, w tym budowlanych. Produkty wykorzystujące nanotechnologię posiadają wiele unikatowych cech fizykochemicznych. Materiały takie mogą w znacznym stopniu rozwiązać aktualne problemy budownictwa, zmienić wymagania i organizację procesu budowlanego.

### 2. Początek nanonauki i nanotechnologii

Początek nanonauki i nanotechnologii jako odrębnej dziedziny nauki datuje się na rok 1959. Wówczas, podczas zjazdu Amerykańskiego Towarzystwa Fizycznego, fizyk Richard Feynman stwierdził w swoim wykładzie, że żadne prawa nie przeczą możliwości operowania pojedynczymi atomami. W opinii Feynman'a jedynym ograniczeniem był brak wystarczająco precyzyjnych urządzeń i technik. Termin „nanotechnologia” został po raz pierwszy użyty przez Norio Taniguchi w 1974 r. jako określenie możliwości inżynierii materiałów operującej na poziomie nanometrów. Książka napisana przez Erica Drexler'a w 1980 r., przyczyniła się do znacznej popularyzacji zagadnienia nanotechnologii [2].

Znaczącym wydarzeniem w badaniach w skali „nano” było zbudowanie skaningowego mikroskopu tunelowego (*scanning tunnelling microscope, STM*) [3]. Kierujący zespołem naukowców IBM ze Szwajcarii Heinrich Rohrer i Gerd Binnig otrzymali za ten wynalazek Nagrodę Nobla w 1986r. STM pozwala na wykonywanie zdjęć powierzchni i zaadsorbowanych atomów i cząsteczek z niespotykaną dotychczas rozdzielczością i dokładnością [4].

### 3. Nanomateriały w budownictwie

W raporcie RILEM [5] zostały wymienione zasadnicze cechy nanomateriałów. Raport ten wpłynął inspirująco na rozwój nanotechnologii w budownictwie. W. Zhu, P. J. M. Bartos i A. Porro [5] w swoim dokumencie podali przesłanki przemawiające

za zastosowaniem nanocząstek w inżynierii materiałów budowlanych: wzmacniają materiał - wykorzystanie nanorurek węglowych (*carbon nanotubes*, CNT) i nanowłókien umożliwia zwiększenie wytrzymałości kompozytów cementowych, szczególnie zwiększenie wytrzymałości na zginanie; poprawiają trwałość – stosowanie nanomateriałów umożliwia zmniejszenie porowatości betonu, co w konsekwencji zmniejsza przepuszczalność wody i zwiększa mrozoodporność; umożliwiają dostarczenie przez materiały informacji o ich stanie naprężeń; posiadają właściwości samo-naprawialności; posiadają właściwości samo-czyszczące [6]; są materiałami odpornymi na bakterie [7]; mogą się samoorganizować [8].

Nanotechnologia niekiedy jest nazywana rewolucją XXI wieku. Przyciąga ona uwagę mediów i społeczeństwa. Jej zastosowanie może wpłynąć na inne (lepiej) zrozumienie praw fizyki i chemii [9]. Zastosowanie mechaniki kwantowej (*quantum mechanics*) umożliwia w najbliższej perspektywie projektowanie materiałów o niewyobrażalnych dotąd właściwościach [10].

Za pomocą narzędzi rozwijanych i oferowanych przez nanotechnologię można wpłynąć na kształt i położenie cząstki na powierzchni materiału w taki sposób, by zmienić takie istotne właściwości danego materiału, jak przewodność elektryczna, właściwości optyczne oraz wytrzymałość mechaniczną. Poprzez kontrolę w skali nano naukowcy uczą się projektować nowe materiały o zupełnie nowych właściwościach. Niektóre tak zbudowane nanostruktury mogą okazać się użyteczne np. jako leki lub szczepionki. Inne nanostruktury należy połączyć w większe grupy, z których będzie można wytworzyć np. folie, tkaniny, cegły, powłoki, belki.

Istnieje duża liczba potencjalnych obszarów zastosowań nanotechnologii w inżynierii budowlanej. Niektóre z tych aplikacji są opisane szczegółowo poniżej.

#### 4. Nanotechnologia w chemii cementu i betonu

Cement portlandzki jest najpowszechniej stosowanym materiałem budowlanym. Główne zalety tego materiału to dostępność surowców do jego produkcji na całym świecie, łatwość jego wyprodukowania i możliwość wytwarzania z niego produktów o różnych kształtach [11]. Cement portlandzki zazwyczaj jest wykorzystywany wraz z wodą i drobnym kruszywem do produkcji elementów betonowych o zróżnicowanych wymiarach od kilkunastu milimetrów do kilku metrów grubości.

Rozmiar zwyczajnego ziarna cementu wynosi ponad 90 mikrometrów. Należy podkreślić, że czas wiązania cementu zależy w dużej mierze od wielkości dostępnej powierzchni, która może ulec reakcji hydratacji. Dlatego też czas wiązania dla cząstek wielkości kilkudziesięciu mikrometrów jest stosunkowo długi. Dla uzyskania elementu o małej grubości, w którym cement wiązałby w bardzo krótkim czasie, należałoby stosować cement o wielkości ziaren rzędu kilku mikrometrów [12]. W tym celu należy zmniejszyć wielkość ziaren cementu przynajmniej dziesięciokrotnie, czyli uzyskać nano-cement portlandzki. Reakcja hydratacji w takim cemencie zachodziłaby o wiele szybciej, natomiast beton z takiego cementu posiadałby zupełnie nowe właściwości. Naukowcy ze Szwajcarii opracowali jednoetapowy proces, w którym wytwarza się typowy cement portlandzki w postaci nanocząsteczek. Spoiwo to twardnieje o wiele szybciej, co potwierdza, że wielkość cząsteczek może istotnie wpływać na właściwości znanych materiałów [13]. Zastosowanie nanomateriałów w produkcji cementu i betonu może doprowadzić do istotnej poprawy ekonomiki, ponieważ wytrzymałość i trwałość konstrukcji betonowych powinna być znacznie lepsza, niż przy stosowaniu materiałów tradycyjnych [14]. Nano-cement posiada większą powierzchnię właściwą. Nanocząstki są bardzo aktywne w zaczynie cementowym, równomiernie rozkładają się i powodują, że reakcja hydratacji nano-cementu

zachodzi szybciej, ale nie wpływa na pogorszenie końcowej wytrzymałości wyrobu [13]. Dodatkowo nanocząstki wypełniają pory, co wpływa na zwiększenie sił międzycząsteczkowych, a w konsekwencji poprawia mikrostrukturę cementu oraz współpracę zaczynu cementowego z kruszywem w betonie [13].

Nanocząstki  $\text{SiO}_2$  poprawiają urabialność oraz trwałość betonu. Właściwości w stanie świeżym zależą w dłuższej mierze od rozkładu wielkości cząstek (*particle-size distribution*, PSD). Również właściwości stwardniałego betonu, takie jak wytrzymałość i trwałość, wynikają z upakowania cząstek [15]. Jednym ze sposobów poprawy szczelności betonu jest zwiększenie zakresu wielkości ziaren, np. włączając cząstki o rozmiarach poniżej  $0,5 \mu\text{m}$ . Materiały, które obecnie są dostępne w tym zakresie wielkości ziarna to wapień, pyły krzemionkowe i nanokrzemionka [16].

Dodanie do cementu nanokrzemionki zamiast pyłu krzemionkowego powoduje, że zaczyn cementowy jest gęstszy, a proces hydratacji cementu przyspieszony. Wytrzymałość na ściskanie stwardniałego zaczynu cementowego z nano- $\text{SiO}_2$  jest znacznie większa, niż stwardniałego zaczynu cementowego z pyłem krzemionkowym, zwłaszcza w młodym wieku zaczynu [17].

Nanomateriałem o bardzo szerokim spektrum zastosowania jest nano-ditlenek tytanu (nano- $\text{TiO}_2$ ). Tlenki tytanu wykazują bardzo niską absorpcję optyczną w zakresie widzialnym (VIS), co warunkuje ich śnieżnobiały kolor. Znaczna – szczególnie dla anatazu – absorpcja promieniowania ultrafioletowego (UV) jest wynikiem dużej aktywności fotokatalitycznej. Z tego względu nanocząstkowy anataz, zwykle określony jako nano- $\text{TiO}_2$ , jest coraz powszechniej stosowany jako fotokatalizator do degradacji szeregu zanieczyszczeń organicznych (jak odory, węglowodory) [18] oraz nieorganicznych (tlenki azotu) [19].

Aktywność fotokatalityczna oraz śnieżnobiały kolor spowodowały zastosowanie anatazu do wytwarzania materiałów samoczyszczących w formie farb, jak też samoczyszczącego się betonu architektonicznego z dodatkiem nano- $\text{TiO}_2$ . Beton ten pozostaje czysty, śnieżnobiały przez wiele lat bez potrzeby czyszczenia czy malowania.  $\text{TiO}_2$  stosuje się również przy niszczeniu bakterii w obecności promieniowania UV o słabym natężeniu [7], usuwaniu odorów z zamkniętych przestrzeni [20] oraz w powierzchniach samoczyszczących [6].

Wynaleziono także szyby zmodyfikowane powierzchniowo, które posiadają właściwości samoczyszczące oraz nie zaparowujące. Małe cząstki  $\text{TiO}_2$  naniesione na gładką powierzchnię szklaną wywołują w stosunku do kropel wody tzw. efekt liścia lotosu, działają jak malutkie „włoski” liścia odpychając od jego powierzchni krople wody - uniemożliwiają zwilżenie powierzchni. Powierzchnie niezaparowujące powstały na odwrotnej zasadzie niż samoczyszczące. Mają właściwości hydrofilowe, które pozwalają na uzyskanie cienkiej, jednorodnej i niewidocznej dla oka warstwy wody, dzięki czemu szyba pozostaje przezroczysta.

## 5. Podsumowanie

Z roku na rok zwiększa się liczba publikacji z zakresu nanotechnologii i nanonauki. Podobna sytuacja ma też miejsce w przypadku nanobetonów. Większość zjawisk rozpatrywano do tej pory na poziomie makroskopowym, lecz rozwój nauki umożliwił badania na poziomie nano [8]. Rozwój nanonauki pozwala na uzyskiwanie pożądanych cech wielu materiałów. W dziedzinie nanokompozytów cementowych XXI wieku przynosi coraz większą ilość badań, produktów i artykułów naukowych.

## Literatura

- [1] Szponder D. K.: Nanomateriały w środowisku – korzyści i zagrożenia. Sympozja i Konferencje KKMU: "V Krakowska Konferencja Młodych Uczonych", 5, 375–386, Kraków 2010.
- [2] Eric K. Drexler: Engines of Creation. The Coming Era of Nanotechnology, Anchor Books, 1986.
- [3] Binnig G., Rohrer H., Gerber Ch., Weibel E.: Surface studies by scanning tunneling microscopy. *Physical Review Letters*, 49, Issue 1, 57–61, 1982.
- [4] Eigler D. M., Schweizer E. K.: Positionin single atoms with a Canning tunnelling microscope. *Nature*, 344, 524-526, 1990.
- [5] Zhu W., Bartos P. J. M., Porro A.: Application of nanotechnology in construction Summary of a state-of-the-art report. *Materials and Structures*, 37, 649-658, 2004.
- [6] Wang R., Hashimoto K., Fujishima A., Chikuni M., Kojima E., Kitamura M., Shimohigoshi M., Watanabe T., Light-induced amphiphilic surfaces, *Nature*, 288, 431-432, 1997.
- [7] Maness P.C. i in.; Bactericidal activity of photocatalytic TiO<sub>2</sub> reaction: toward an understanding of its killing mechanism, *Appl Environ Microbiol*, 65, 4094–4098, 1999.
- [8] Czamecki L.: Nanotechnologia w budownictwie. *Przegląd budowlany* 1/2011, 40-53.
- [9] Bhushan B. : *Handbook of Nanotechnology*. Springer, 2004.
- [10] Chong K.P.: Nanoscience and Engineering in Mechanics and Materials. *J. of Physics & Chemistry of Solids*, 65, 1501-1506, 2004.
- [11] Li Z., Ding Z., Zhang Y.: Development of sustainable cementitious materials. *International Workshop on Sustainable Development and Concrete Technology*, Held in Beijing, China, May 20–21, 2004
- [12] Parra-Montesinos G. J.: High-Performance Fiber-Reinforced Cement Composites: An Alternative for Seismic Design of Structures. *Aci Structural J. Technical Paper*, 102-S68, 668-675, 2005.
- [13] Li H., Xiao H., Yuan J., Ou J.: Microstructure of cement mortar with nano-particles. *Composites: Part B* 2004, 35, 185-189.
- [14] Hanehara S., Ichikawa M.: Nanotechnology of cement and concrete. *J. of the Taiheiyo Cement Corporation* 2001, 141, 47-58.
- [15] Hüskén G., Brouwers H.J.H.: A new mix design concept for earth-moist concrete: A theoretical and experimental study. *Cement and Concrete Research* 38, 1246–1259, 2008.
- [16] Dunster A.: Silica fume in concrete. Information paper, IHS BRE Press, Garston, U.K., 2009.
- [17] Li G.: Properties of high-volume fly ash concrete incorporating nano-SiO<sub>2</sub>. *Cement and Concrete Research* 34, 1043–1049, 2004.
- [18] Lee C. K., Kim J. K., Lee J. H.: Preparation and characterization of peroxo titanate acid solution using TiCl<sub>3</sub>. *J. Sol-Gel Science and Technology*, 31, 1-3, 67–72, 2004.
- [19] Bakar M.A., Chen Y.T., Huang C.P.: Removal of toxic cyanide and Cu(III) ions from water by illuminated TiO<sub>2</sub> catalyst, *Applied Catalysis: Environmental* 53, 13-20, 2004.
- [20] Kim S.B., Hwang H.T., Hong S.C.: Photocatalytic degradation of volatile organic compounds at the gas-solid interface of a TiO<sub>2</sub> photocatalyst, *Chemosphere*, 48, 347-444, 2002.

## APPLICATION OF NANOPARTICLES IN CONSTRUCTION

### Summary

This paper presents potential areas of application of nanotechnology in construction. Comprehensive analysis of current scientific and professional literature is presented. The main of the paper is to identify a range of nanotechnology apply in the field of engineering, and building materials.