

Fot 1. Kościół Dives in Misericordia – przykład zastosowania betonu samooczyszczającego się

foto: Piotr Kijowski



Inteligentny SCC

W środowisku producentów betonu, a także projektantów i wykonawców prac budowlanych, skrót SCC (Self-Compacting Concrete) jest powszechnie stosowanym akronimem, oznaczającym beton samozagęszczalny i kojarzy się z wysokiej jakości produktem, umiejętność wytwarzania którego w znaczącej mierze określa zaawansowanie techniczne wytwórcy. Od niedawna jednoznaczność skrótu SCC przestała być już jednak tak oczywista, gdyż można wyprowadzić go również od wyrażenia Self-Cleaning Concrete – beton samooczyszczający się.

Czym jest beton samooczyszczający się?

Powstanie betonu samooczyszczającego się jest przykładem działania „efektu kuli bilardowej”, jak nazywany jest niekiedy mechanizm zmian zachodzących w określonym obszarze produkcji lub nauki, w wyniku odkryć, które miały miejsce w innych dziedzinach, pozornie odległych i nie mających ze sobą początkowo żadnych związków. Genezy betonu samooczyszczającego się doszukiwać się należy w połączeniu dążeń do zachowania walorów estetycznych konstrukcji betonowej z rozwojem nanotechnologii oraz postępem prac badawczych nad dwutlenkiem tytanu, który jest nie tylko powszechnie znanym białym pigmentem (biel tytanowa), stosowanym w produkcji farb i lakierów, lecz po dokonaniu określonych zabiegów przekształca się w substancję o unikalnych właściwościach fotoelektrochemicznych.

Wzbogacenie licowych warstw betonu w nanodispersyjny tlenek tytanu umożliwiło uzyskanie kompozytu, który zachowując wszystkie cechy tradycyjnego betonu stał się materiałem samooczyszczającym się. Aktywowany światłem

słonecznym nanometryczny TiO_2 (anataz) przeciwdziała gromadzeniu się brudu i zapobiega pojawianiu się na powierzchni betonu grzybów, glonów oraz porostów. Dwutlenek tytanu powoduje również neutralizację szkodliwych tlenków azotu, których stężenie w powietrzu gwałtownie wzrasta w pobliżu dróg o dużym natężeniu ruchu samochodowego.

Zalety betonu samooczyszczającego się w tak doskonały sposób spełniają oczekiwania (marzenia?) użytkowników betonów, że należy zadać sobie pytanie, dlaczego dopiero teraz zaistniały warunki, w których możliwe stało się uzyskanie tak doskonałego, „inteligentnego” materiału, chociaż beton i dwutlenek tytanu są wytwarzane w skali przemysłowej od tak wielu lat. Otóż okazuje się, że nanometryczny tlenek tytanu jest substancją znacznie różniącą się od powszechnie znanego TiO_2 , a nanotechnologia jest dziedziną na tyle młodą, że jej produkty, uzyskiwane w ograniczonych ilościach, były wykorzystywane dotychczas do wytwarzania materiałów znacznie droższych niż betony.

Określenia nanometryczny, nanodispersyjny lub nanokrystaliczny weszły w użycie stosunkowo niedawno i odnoszą się do materiałów, których ziarna nie przekraczają 100 nm ($1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$), a więc stanowią cząstki zawierające najwyżej kilkadziesiąt tysięcy atomów, podczas gdy średniej wielkości ziarna cementu portlandzkiego mają zazwyczaj wymiary wynoszące około $20 \mu\text{m}$ i są zbudowane z wielu miliardów atomów. Aby uświadomić sobie jak niewielkie (30 nm) są ziarna dwutlenku tytanu, stosowanego do wytwarzania betonu samooczyszczającego się, można posłużyć się następującymi przykładami: otóż ziarno o średnicy 30 nm jest kilka tysięcy razy mniejsze od krop-

ki kończącej zdanie w czytany właśnie tekście, i jest równie małe jak kuter rybacki w porównaniu z ziemskim globem.

Powszechnie wiadomo, że właściwości przypisywane określonym substancjom w oparciu o wyniki badań wykonanych w skali makro często różnią się od właściwości tych samych substancji badanych w skali mikro. Jeszcze większe różnice obserwuje się przy przejściu do skali nano. Materiały nanometryczne, których wymiary ziaren są mniejsze od wielkości krytycznej, związanej z określoną właściwością fizyczną, wykazują wiele nowych cech w porównaniu z materiałami zbudowanymi z ziaren o wymiarach mikrometrycznych, lub milimetrycznych i inaczej reagują na bodźce świetlne, elektryczne i mechaniczne.

Z punktu widzenia możliwości wykorzystania nanometrycznego dwutlenku tytanu do wytwarzania betonów samooczyszczających się, najważniejszymi cechami TiO_2 są jego właściwości fotokatalityczne, a więc przyspieszenie określonych procesów chemicznych w wyniku działania promieniowania ultrafioletowego na TiO_2 oraz superhydrofilowość.

Jaki jest mechanizm samooczyszczania betonu

zawierającego nanometryczny dwutlenek tytanu?

Dwutlenek tytanu jest półprzewodnikiem elektrycznym. W wyniku działania na niego promieniowania ultrafioletowego UV, stanowiącego niskofalową część widma promieniowania słonecznego, następuje fotochemiczna aktywacja TiO_2 i uruchomienie łańcucha reakcji chemicznych, prowadzących w konsekwencji do utlenienia zanieczyszczeń pozostających w kontakcie z nanometrycznym dwutlenkiem tytanu.

Najważniejszą rolę w procesach niszczenia zanieczyszczeń, zachodzących na powierzchni betonu zawierającego nanometryczny TiO_2 , odgrywiają rodniki hydroksylowe OH^- , które mają charakter bardzo silnego utleniacza. Dążąc do przekształcenia się w „normalne” grupy hydroksylowe, rodniki te przechwytyują elektrony z wiązań chemicznych substancji pozostających z nimi

w kontakcie, zapoczątkowując tym samym rozpad tych substancji.

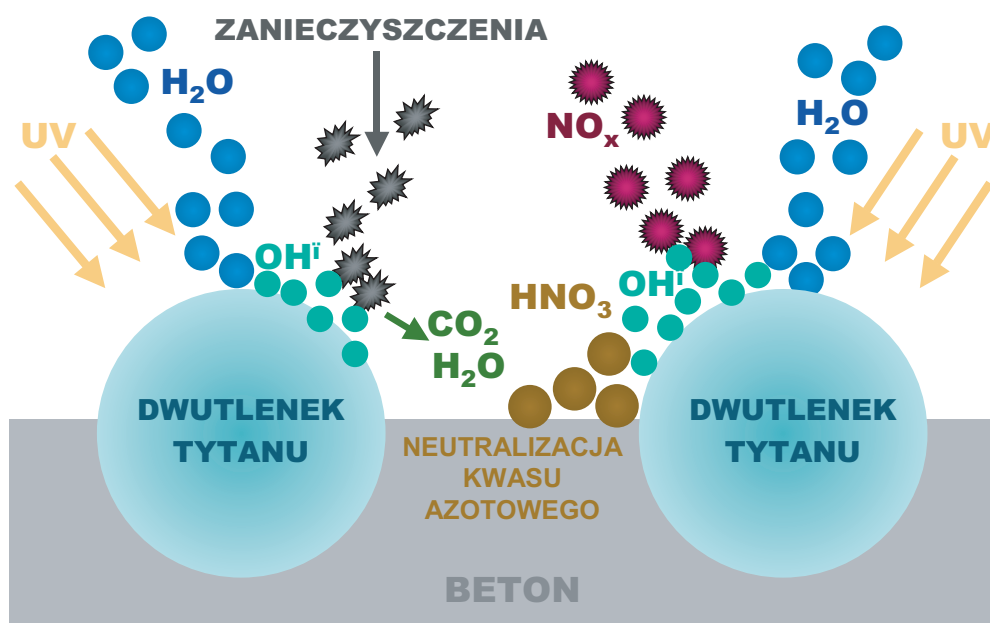
Rodniki hydroksylowe powodują degradację niemal wszystkich rozproszonych substancji organicznych, które mogą się znaleźć na powierzchni betonu. Utlenieniu i rozpadowi ulegają między innymi osadzające się na powierzchni betonu różnego rodzaju aerozole, a także tłuszcze, oleje oraz pyły i ptasie odchody.

Procesy utleniania substancji organicznych zachodzą wieloetapowo, a ich końcowymi produktami, w zależności od rodzaju związków organicznych, są dwutlenek węgla i woda, zaś w przypadku obecności w związkach organicznych innych rodzajów atomów niż węgiel, tlen i wodór, również odpowiednie kwasy nieorganiczne, np. kwas siarkowy lub azotowy, które ulegają neutralizacji w kontakcie z zasadowymi składnikami betonu.

Pojedyncze cząstki zwykłego brudu mają zazwyczaj wymiary około 2 nm i w wyniku fotokatalitycznego działania TiO_2 ulegają dezintegracji w czasie krótszym niż 10 minut. Dezintegracja większych „objektów”, np. bakterii *escherichia coli*, której wymiary osiągają wielkość około 0,5 μm , następuje po około siedmiu dniach.

Usuwanie z powierzchni betonu cząstek oleistych oraz substancji, które uległy częściowemu rozkładowi, sprzyja odkryta w 1995 roku superhydrofilowość dwutlenku tytanu. Kąt zwilżania powierzchni nanometrycznego TiO_2 maleje pod wpływem promieniowania UV niemal do zera, a woda na powierzchni dwutlenku tytanu nie tworzy kropeł. Superhydrofilowość TiO_2 zapewnia równomierne pokrycie całej powierzchni betonu bardzo cienkim filmem wodnym, tworzącym płaszczyznę poślizgu, co zapobiega nawarstwianiu się zanieczyszczeń i umożliwia ich łatwe usuwanie podczas zraszania betonu wodą.

Kolejną zaletą betonu zawierającego nanometryczny dwutlenek tytanu jest neutralizacja obecnych w powietrzu tlenków azotu NO_x . Aktywowany promieniowaniem ultrafioletowym TiO_2 powoduje przejście tlenków azotu w jony azotanowe NO_3^- , dające kwas azotowy HNO_3 , który reagując



Rys 1. Schemat dezintegracji cząstek zanieczyszczeń organicznych i neutralizacji NO_x na powierzchni betonu samooczyszczającego się



foto: Piotr Kijowski



foto: Piotr Kijowski

ze składnikami zaczynu cementowego tworzy azotan wapnia. Schemat przebiegu opisanych procesów przedstawiono na rysunku 1.

W jaki sposób można wykorzystać beton samooczyszczający się?

Beton samooczyszczający się jest produktem zaawansowanej technologii, „którego czas nadchodzi”. O zastosowaniu betonu samooczyszczającego, podobnie jak w przypadku niemal wszystkich materiałów budowlanych, decydują jego cechy użytkowe oraz ponoszone koszty. Wydaje się jednak, że znaczącą rolę w rozwoju produkcji betonów samooczyszczających odegrać mogą również ambicje wytwórców betonu oraz względy prestiżowe, a więc chęć swego rodzaju nobilitacji poprzez wykazanie się umiejętnościami produkcji tak doskonałego materiału. Należy żywić nadzieję, że konkurencja w tej dziedzinie zaowocuje pięknymi budowlami, w których jasny, czysty i trwały beton będzie mógł zademonstrować wszystkie swoje zalety.

Informacji o zastosowaniach betonów samooczyszczających się jest dotychczas niewiele. Wiadomo natomiast, że w ośrodkach badawczych krajów zaawansowanych technicznie prowadzone są intensywne prace, które mają wyjaśnić cały szereg wątpliwości dotyczących zjawisk towarzyszących procesowi samooczyszczania się betonu oraz określić możliwości aktywacji dwutlenku tytanu.

Równoległe z pracami nad betonem samooczyszczającym się, prowadzone są szeroko zakrojone badania farb zawierających nanometryczny dwutlenek tytanu oraz węglan wapnia. W farbach tych wykorzystuje się te same zjawiska co w betonie samooczyszczającym się. Tworzące się w wyniku rozpadu zanieczyszczeń kwasy są neutralizowane przez obecny w farbach CaCO_3 . Charakterystyczną cechą powierzchni pokrytych farbami zawierającymi nanometryczny dwutlenek tytanu jest ich superhydrofilowość, umożliwiającą bardzo szybkie odparowanie wody, a tym samym obniżenie temperatury takiej powierzchni. Właściwości te wykorzystywane są w konstrukcjach mających za zadanie chłodzenie budynków o dużej kubaturze. System wykorzystujący superhydrofilowość i samooczyszczanie się powierzchni pokrytych farbami tytanowymi zastosowano w jednym z pawilonów na Światowej Wystawie EXPO 2005 w Japonii.

Pięknym przykładem wykorzystania samooczyszczającego się, białego betonu jest wybudowany na rzymskim przedmieściu Tor Tre Teste kościół (na fotografiach), którego nazwa „Dives in Misericordia” (Bogaty w Miłosierdzie) nawiązuje do tytułu jednej z encyklik Jana Pawła II.

Kościół ten zaprojektowany został przez amerykańskiego architekta Richarda Meiera. Budowę ukończono w październiku 2003 roku. Nowatorstwo projektu spowodowało, że jeszcze przed ukończeniem prac budowla nazwana została „kamieniem milowym nowej architektury na przełomie mileniów”. Najbardziej charakterystycznym i rzucającym się w oczy elementem kościoła są trzy, bardzo trudne do wykonania, betonowe żagle o wysokości 26 m. O niecodziennym zainteresowaniu zastosowanymi rozwiązaniami ar-

chitektonicznymi i przebiegiem prac budowlanych świadczy fakt, że plac budowy w okresie pięciu lat jej trwania odwiedziło kilka tysięcy architektów i inżynierów budowlanych.

W kościele Dives in Misericordia dominuje śnieżna biel. Zastosowano biały cement, a jako kruszywo marmur kararyjski. Samooczyszczanie się powierzchni betonu zapewnia zawierający nanometryczny dwutlenek tytanu cement Bianco TX Millennium®, wyprodukowany przez Italcementi Group. Zużyto 600 ton tego cementu.

Beton samooczyszczający się znalazł we Włoszech również zastosowanie w budynkach prywatnych w okolicach Bergamo, a we Francji między innymi w Centrum Muzycznym w Chambéry oraz w budynkach w Maisons-Laffitte i Bordeaux.

Kolejne przykłady budowli, w których zastosowano powłoki wykorzystujące fotokatalityczne działanie dwutlenku tytanu, znaleźć można w Japonii. Profesor Kazuhito Hashimoto z Uniwersytetu Tokijskiego wymienia między innymi Marunochi Building w Tokio oraz terminal w budowanym obecnie centralnym japońskim porcie lotniczym. Nie podaje on jednak, czy samooczyszczającymi się powłokami są powłoki cementowe, czy też materiały pokryte farbami zawierającymi nanometryczny dwutlenek tytanu.

Śród innych zastosowań betonu samooczyszczającego się sygnalizowane są możliwości wykorzystania go do wykonywania barier ochronnych, ekranów dźwiękochłonnych oraz jezdni i chodników. Przykładami takich zastosowań są między innymi fragmenty nawierzchni drogowej w Segrate (Włochy) oraz betonowa kostka brukowa zastosowana we włoskiej cementowni w Calusco. Beton samooczyszczający się może być wykorzystany również jako zewnętrzna warstwa obudowy tuneli komunikacyjnych, intensywnie oświetlanych promieniowaniem lamp sodowych. We wszystkich tych zastosowaniach, poza odpornością beto-

nu na zabrudzenia, podkreślana jest również jego zdolność do neutralizacji tlenków azotu i siarki.

Historia betonu samooczyszczającego się „dopiero się zaczyna”. Jak się rozwinie jego produkcja, pokaże czas. Istotną rolę odgrywać będzie zapewne konkurencja ze strony wspomnianych już farb, a być może również kształtek ceramicznych, wzbogaconych w nanodispersyjny dwutlenek tytanu oraz cena materiału, którą w znaczącej mierze kształtować będzie ilości nanometrycznego TiO_2 , jaką należy wprowadzić do cementu, aby zapewnić pożądaną skuteczność jego działania.

Rynek, który można określić jako rynek samooczyszczających się nanometrycznych materiałów fotokatalitycznych (betony, farby i różnego typu materiały pokryte warstwą nanometrycznego dwutlenku tytanu) nie jest jeszcze zbyt wielki i szacowany jest na około 210-280 mln EUR w Japonii, 100 mln EUR w Europie i około kilkadziesiąt mln EUR w USA. Ponieważ jednak samooczyszczający się beton wpisuje się doskonale w strategię zrównoważonego rozwoju, to ta właśnie cecha może być czynnikiem decydującym o systematycznym zwiększaniu jego produkcji. Wiek XX był okresem, w którym używano w olbrzymich ilościach różnego rodzaju paliwa i w sposób nieprzemyślany zanieczyszczono środowisko naturalne. W wieku XXI konieczne jest wielkie, globalne sprzątnięcie. Byłoby wspaniale, gdyby w znaczącej mierze można było tego dokonać przy wykorzystaniu promieniowania słonecznego i deszczy. Czy jest to możliwe? W pewnym zakresie zapewne tak, a szansę stwarzają betony samooczyszczające się i powłoki zawierające nanometryczny dwutlenek tytanu, który może być traktowany jak niemal niszczalny „proszek do czyszczenia atmosfery”.

dr inż. Marek Gawlicki
Katedra Technologii Materiałów Budowlanych
Akademia Górniczo-Hutnicza

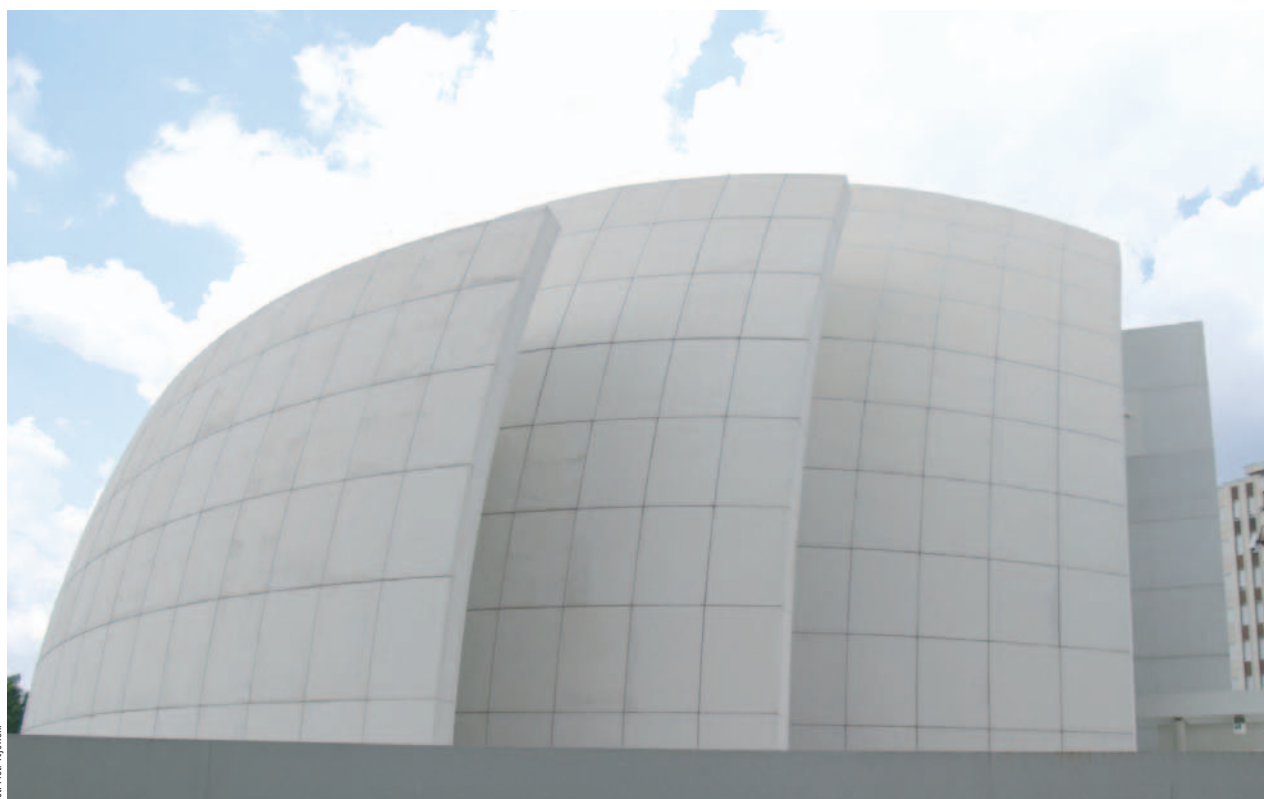


foto: Piotr Kijowski