

**Marcin Sokołowski¹
Damian Dziuk²**

TioCem – cement z przyszłością

Wprowadzenie

Beton jest powszechnie stosowanym materiałem konstrukcyjnym, który jednocześnie w efektywny sposób kształtuje wizerunek współczesnej architektury. Możliwości projektowania praktycznie dowolnych form oraz walory estetyczne i trwałość, decydują o wyborze betonu do wykonywania budynków, budowli inżynierskich i obiektów infrastruktury drogowej, a także innych elementów istotnie kształtujących otaczający nas krajobraz.

Jednakże nie tylko estetyka i trwałość obiektów budowlanych uzasadniają stosowanie betonu. Ważnym argumentem za stosowaniem tego materiału kompozytowego są także jego właściwości aktywnie wspomagające ochronę środowiska naturalnego.

Przykładem takiego nowoczesnego produktu umożliwiającego ekologiczne wykorzystanie betonu jest opracowany przez grupę Heidelberg Cement cement o nazwie TioCem. Wprowadzony do składu tego cementu nanometryczny dwutlenek tytanu TiO_2 posiada właściwości fotokatalityczne, które umożliwiają redukcję szkodliwych zanieczyszczeń obecnych w powietrzu otaczającym elementy i konstrukcje betonowe. Są to bardzo istotne właściwości, ponieważ ciągle wzrasta stężenie zanieczyszczeń gazowych w otaczającym nas środowisku powodowanych rozwojem motoryzacji i przemysłu. Przekraczane są dopuszczalne normy dopuszczalnych zawartości NO_x , SO_2 i innych. W konsekwencji mieszkańcy dużych aglomeracji narażeni są na problemy z oddychaniem i postępujące choroby płuc. Zastosowanie cementu TioCem gwarantuje również usuwanie zanieczyszczeń organicznych pokrywających betonowe powierzchnie budynków i konstrukcji inżynierskich. Wykonane z użyciem cementu TioCem betony mają właściwości samoczyszczące się; szczególnie istotna cecha w przypadku wykonywania reprezentacyjnych obiektów o wysokich walorach estetycznych z betonu białego lub barwionego.

¹ Mgr inż., Górażdże Cement S.A.; e-mail: damian.dziuk@gorazdze.pl

² Mgr inż., Górażdże Cement S.A.; e-mail: marcin.sokolowski@gorazdze.pl

W prezentowanej pracy przedstawiono i omówiono właściwości fotokatalityczne cementu TioCem oraz wskazano możliwe kierunki jego efektywnego wykorzystania w budownictwie.

1. Właściwości fotokatalityczne cementu TioCem

Jak wspomniano we wprowadzeniu usuwanie szkodliwych związków z powietrza oraz samooczyszczanie betonowych powierzchni obiektów budowlanych jest efektem fotokatalitycznych właściwości cementu TioCem, a ściślej, zawartego w jego składzie nanometrycznego dwutlenku tytanu TiO_2 .

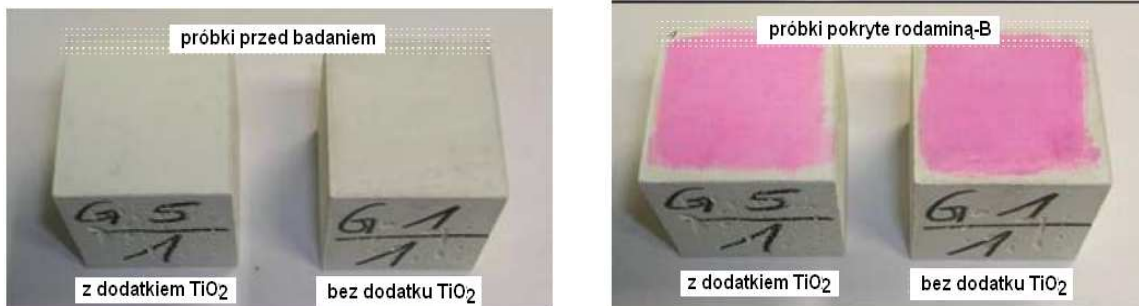
Dwutlenek tytanu TiO_2 jest związkiem powszechnie stosowanym w wielu gałęziach przemysłu. Szczególne znaczenie dla większości zastosowań ma jego barwa, stanowiąca wzorec koloru białego (biel tytanowa). Z tego powodu TiO_2 jest istotnym surowcem do produkcji pigmentów, farb, tworzyw sztucznych, papieru, barwnych atramentów, a także ze względu na nietoksyczne oddziaływanie, do wytwarzania kosmetyków i produktów farmaceutycznych.

Omawiając właściwości fotokatalityczne dwutlenku tytanu, należy podkreślić, są one obserwowane tylko w przypadku nanokrystalicznego dwutlenku tytanu ($1 \text{ nm} = 1/1000000 \text{ mm}$) w odmianie polimorficznej anatazu, gdy jest on poddany działaniu fali świetlnej o długości $< 410 \text{ nm}$, typowej dla promieniowania słonecznego UV.

Poddany oddziaływaniu promieniowania UV nanokrystaliczny dwutlenek tytanu, ulega aktywacji. W dalszej fazie tego procesu, w obecności wody opadowej na powierzchni betonu zawierającego TiO_2 tworzą się rodniki wodorotlenowe OH^\cdot oraz jony tlenowe O_2^\cdot , które posiadają silne właściwości utleniające. W efekcie zostaje przyspieszony naturalny proces utleniania, wzmagając w ten sposób szybki rozpad szkodliwych związków, które znajdują się w powietrzu w otoczeniu obiektu budowlanego oraz zanieczyszczających powierzchnię betonu [1].

Istotnym jest również fakt, że dwutlenek tytanu jako fotokatalizator, nie ulega zużyciu podczas zachodzących reakcji, więc opisane procesy są długotrwałe i stale odnawialne.

Właściwości fotokatalityczne cementu TioCem zostały potwierdzone za pomocą testu z użyciem organicznej substancji, rodaminę – B [2], którą pokryto powierzchnię próbek betonowych poddanych następnie naświetlaniu promieniowaniem UV. Po upływie 24 godzin naświetlania, w przypadku betonu wykonanego z udziałem cementu TioCem, odnotowano całkowite utlenienie rodaminę i w efekcie oczyszczoną powierzchnię próbki (fot. 1).





Fot. 1. Właściwości fotokatalityczne cementu TioCem – test efektywności fotokatalitycznej z zastosowaniem rodaminy-B i promieniowania UV

2. Redukcja zanieczyszczeń powietrza przez aktywne powierzchnie betonu wykonane z użyciem cementu TioCem

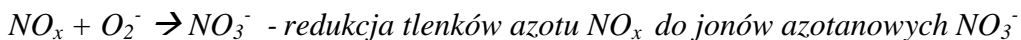
Fotokatalitycznie aktywne powierzchnie betonu wykonanego z użyciem cementu TioCem wykazują działanie redukujące w przypadku szkodliwych tlenków azotu NO_x , obecnych w spalinach emitowanych przez silniki pojazdów.

Redukcja tlenków NO_x zawartych w powietrzu jest istotnym zagadnieniem ponieważ intensywny ruch samochodowy zwiększając koncentrację tlenków azotu, wzmacnia powstawanie ozonu, który jako główny składnik miejskiego smogu negatywnie wpływa na zdrowie człowieka.

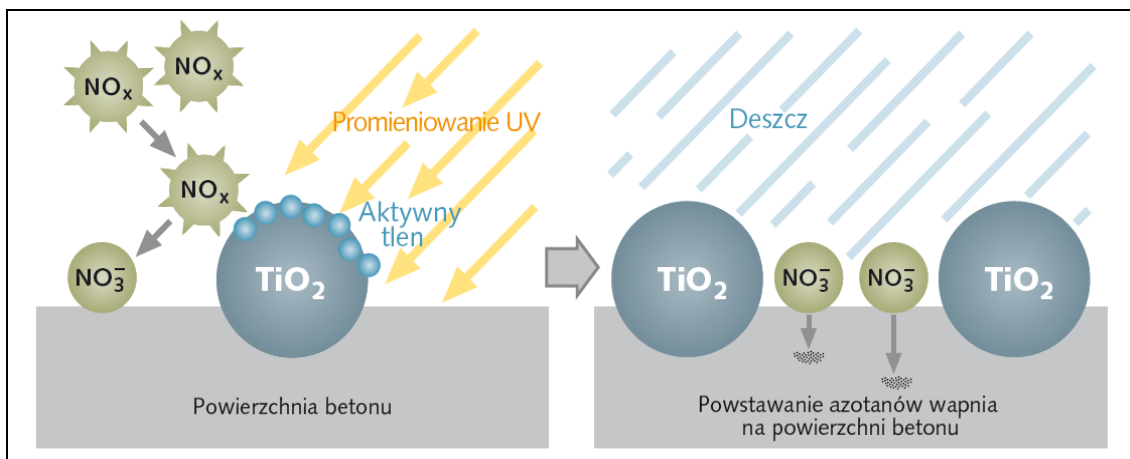
Zastosowanie cementu TioCem pozwala zredukować szkodliwe tlenki azotu NO_x na drodze procesów fotochemicznych i utlenienia, do nieszkodliwych jonów azotanowych NO_3^- [3]. Procesy te można opisać za pomocą reakcji:



oraz

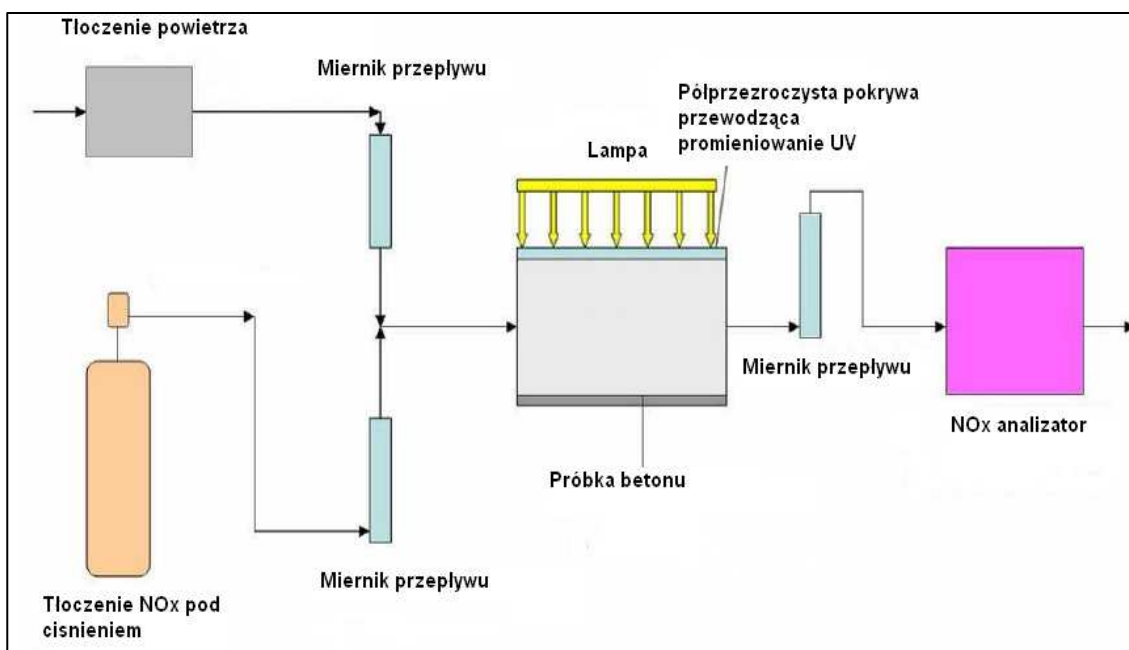


W końcowej fazie tego procesu jony azotanowe tworzą na powierzchni betonu kwas azotowy, który następnie w wyniku reakcji ze składnikami zaczynu cementowego tworzy sole (azotany) neutralizowane i spłukiwane przez opady atmosferyczne. Schematycznie redukcję tlenków azotu NO_x przez fotokatalitycznie aktywne powierzchnie betonu przedstawia rysunek 1.



Rys. 1. Schemat redukcji tlenków azotu NO_x przez aktywne fotokatalitycznie powierzchnie betonu zawierające cement TioCem

Redukcję tlenków azotu NO_x zawartych w powietrzu potwierdzono wynikami badań wykonanych w laboratorium Heidelberg Technology Center w Leimen, w których badaniom poddano beton wykonany z użyciem cementu TioCem i typowego cementu powszechnego użytku. Spowodowano przepływ powietrza zawierającego tlenki azotu po

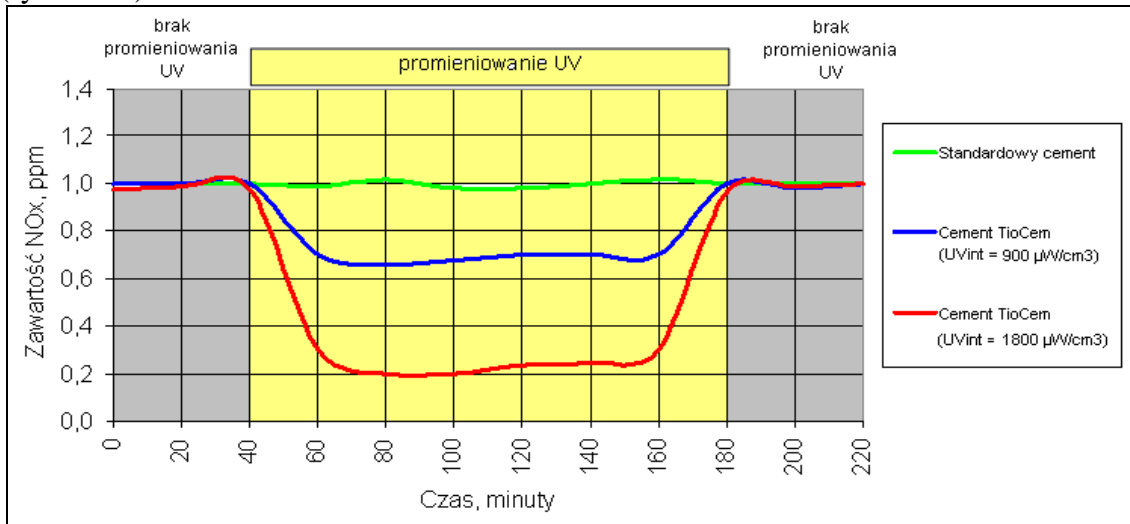


Rys. 2. Schemat stanowiska badawczego do pomiaru redukcji tlenków azotu NO_x

powierzchni próbek betonu, przy jednoczesnym ich naświetlaniu promieniowaniem UV o różnej intensywności ($\text{UV int.} = 900 \text{ i } 1800 \mu\text{W}/\text{cm}^3$) – schemat aparatury przedstawiono na rysunku 2.

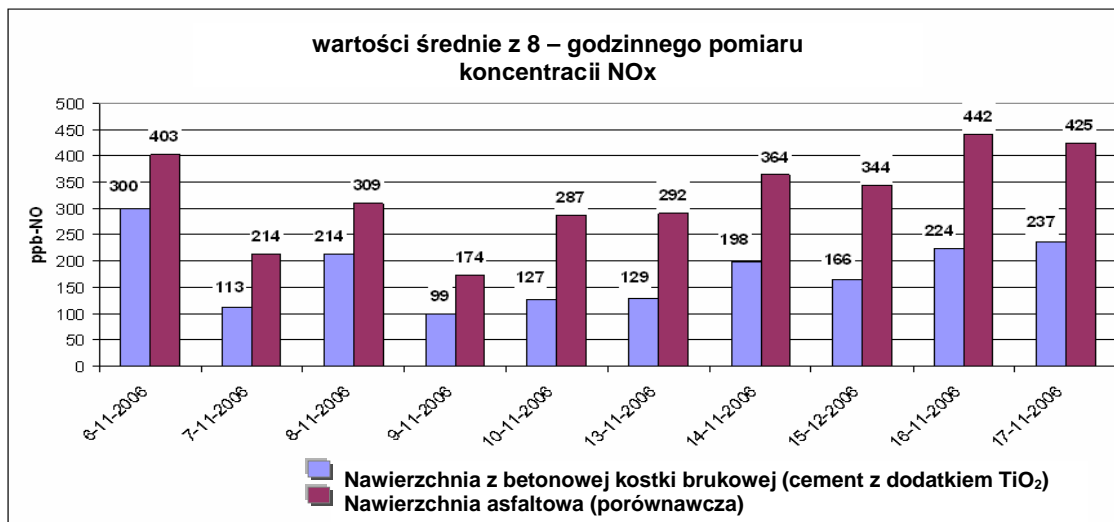
Przeprowadzone pomiary pokazały spadek zawartości tlenków NO_x w przypadku betonu z użyciem cementu TioCem i poddanego promieniowaniu UV. Z kolei typowy beton na cemencie powszechnego użytku nie wykazał właściwości redukujących.

Stwierdzono także, że redukcja tlenków azotu w przypadku betonu na cemencie TioCem była tym większa im bardziej intensywne promieniowanie UV zostało zastosowane (rysunek 3).



Rys. 3. Redukcja zawartości tlenków azotu NO_x w powietrzu - beton wykonane z użyciem standardowego cementu i cementu TioCem

Przeprowadzone zostały także badania porównawcze redukcji NO_x na nawierzchni wykonanej z kostki brukowej bazującej na cemencie z dodatkiem nanometrycznego dwutlenku tytanu TiO₂ oraz typowej nawierzchni asfaltowej. W obydwu technologiach wykonano nawierzchnię ulicy „Via Borgo Palazzo” w Bergamo (Włochy) i przeprowadzono 10-dniowy pomiar zawartości tlenków NO_x w powietrzu przy ciągłym intensywnym ruchu samochodowym. Wyniki pomiarów przedstawiono na rysunku 4. Jednoznacznie wskazują one na średnio 45 %-owy spadek koncentracji tlenków NO_x powietrzu, w przypadku stosowania aktywnej fotokatalitycznie kostki brukowej [4]



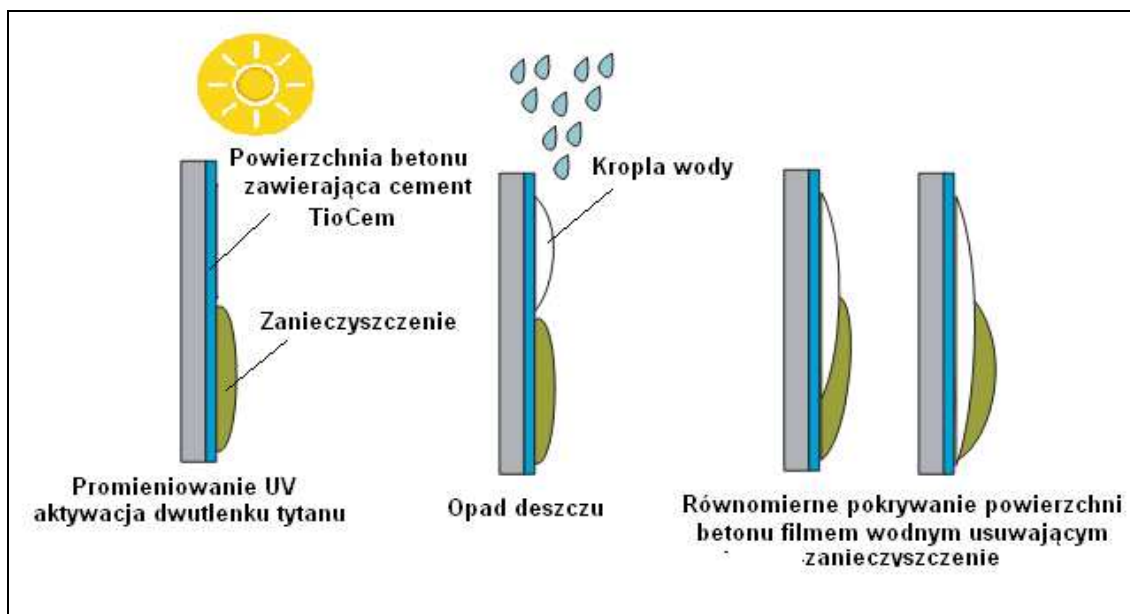
Rys. 4. Pomiary koncentracji tlenków azotu NO_x w powietrzu – porównanie nawierzchni z kostki brukowej wykonanej z użyciem cementu TioCem i nawierzchni asfaltowej [4]

3. Betony samoczyszczące się

Zastosowanie cementu TioCem nadaje powierzchniom betonowym również właściwości samoczyszczące, ponieważ w zachodzących procesach utleniają się nie tylko szkodliwe związki zawarte w powietrzu, ale także zabrudzenia powstające z upływem czasu obiekty budowlane. W efekcie degradacji ulegają niemal wszystkie substancje organiczne mogące znaleźć się na powierzchni betonu, np. aerozole, tłuszcze, oleje, pyły, ptasie odchody itp. [5].

Samoczyszczanie powierzchni betonu zawierającego cement TioCem wynika również z superhydrofilowych właściwości nanokrystalicznego dwutlenku tytanu. Pod wpływem promieniowania UV kąt zwilżania powierzchni TiO_2 maleje niemal do zera. W efekcie woda na powierzchni dwutlenku tytanu nie tworzy kropeł, a powierzchnia betonu zostaje równomiernie pokryta cienkim filmem wodnym, tworzącym płaszczyznę poślizgu dla usuwania zanieczyszczeń [5]. Schematycznie proces ten przedstawiono na rysunku 5.

Technologia betonów samoczyszczących w oparciu o stosowanie cementu z dodatkiem dwutlenku tytanu jest stosowana w obiektach o szczególnej formie architektonicznej. Do sztandarowych budowli wykonanych z wykorzystaniem fotokatalitycznych powierzchni samoczyszczących należą niewątpliwie, kościół Dives in Misericordia w Rzymie, a także budynek dyrekcji lotniska Roissy-Charles de Gaulle w Paryżu, komenda policji w Bordeaux, apartamentowiec Commodore w Ostendzie, dyrekcja Morocco Cement w Casablance.



Rys. 5. Samoczyszczanie się powierzchni betonu zawierającego cement TioCem

4. Kierunki stosowania cementu TioCem

Właściwości fizyczne i mechaniczne cementu TioCem spełniają wymagania normy EN 197-1 „Cement – Część 1. Skład, wymagania i kryteria zgodności dotyczące cementów powszechnego użytku”, stąd zasady jego stosowania do produkcji betonu i elementów prefabrykowanych są identyczne jak w przypadku standardowych cementów

powszechnego użytku - podstawowe właściwości cementu TioCem przedstawiono w tabeli 1.

Ponieważ fotokatalityczne działanie cementu TioCem wymaga światła słonecznego, stąd spoiwo to wystarczy stosować w powierzchniowych warstwach betonu, np. do warstwy fakturowej kostki brukowej lub prefabrykatów elewacyjnych.

Tabela 1. Podstawowe właściwości cementu TioCem

Właściwość	Wyniki badań cementu TioCem	Wymagania wg PN-EN 197-1 dla cementu klasy 42,5R
Początek czasu wiązania	140 minut	≥ 60 minut
Koniec czasu wiązania	190 minut	Brak wymagania
Wytrzymałość po 2 dniach	29,0 MPa	≥ 20,0 MPa
Wytrzymałość po 28 dniach	60,0 MPa	≥ 42,5 MPa ≤ 62,5 MPa

Zastosowanie cementu TioCem jest szczególnie zalecane w obiektach i konstrukcjach budowlanych eksploatowanych w obszarach intensywnego ruchu samochodowego. Z tego też względu jest to efektywne spoiwo przy wykonywaniu nawierzchni drogowych w tunelach i elementów obudowy ciągów komunikacyjnych oraz wykonawstwie elewacji i dachów budynków, a w szczególności do:

- wykonywania betonowych nawierzchni drogowych (lotniska, autostrady);
- napraw nawierzchni drogowych (technologia Whitetopping);
- produkcji kostki brukowej w technologii dwuwarstwowej (do wykonania warstwy fakturowej);
- produkcji ekranów akustycznych i ochronnych w budownictwie drogowym;
- produkcji drogowych barier bezpieczeństwa
- wykonywania okładzin ścian tuneli;
- produkcji elementów fasadowych
- produkcji dachówki cementowej

5. Podsumowanie

Problemy związane z ochroną środowiska, a także trwałość i estetyka obiektów budowlanych często są inspiracją do poszukiwania nowoczesnych materiałów i wdrażania nowych technologii.

Jednym z rozwiązań technologicznych tak zdefiniowanego problemu jest cement TioCem. Zawarty w składzie cementu nanometryczny dwutlenek tytanu TiO_2 , umożliwia wykonywanie aktywnych fotokatalitycznie powierzchni betonowych, redukujących szkodliwe związki zawarte w powietrzu oraz posiadających właściwości samoczyszczące.

Cement TioCem jest produkowany zgodnie z technologią TX Active, definiującej wymagania, jakie muszą spełniać materiały budowlane posiadające właściwości fotokatalityczne. Gwarantuje to, że producenci stosujący cement TioCem wytwarzają również materiały i elementy o potwierdzonych właściwościach fotokatalitycznych.

Literatura

- [1] Bolte G., Photocatalysis in cement-bonded materials, Cement International, 3/2005 Vol. 3
- [2] Stephan D., Wilhelm P., Schmidt M., Photocatalytic degradation of rhodamine B on building materials influence of substrate and environment, International RILEM Symposium, Florence, October 2007
- [3] Dalton J.S., Janes P.A., Jones N.G., Nicholson J.A., Hallam K.R., Allen G.C., Photocatalytic oxidation of NO_x gases using TiO₂: a surface spectroscopic approach, Environmental Pollution, Issue 2/2002, Vol. 120
- [4] Guerrini G.L., Peccati E., Photocatalytic cementitious roads for depollution, International RILEM Symposium, Florence, October 2007
- [5] Gawlicki M., Inteligentny SCC, Budownictwo, technologie, architektura, nr 4/2005 Polski Cement, Kraków 2005

Summary

Ecological aspects as well as durability and aesthetics of building construction have been presenting as important issues to look for new building materials and technologies.

The innovative product – cement TioCem offered by HeidelbergCement Group is one of the technological solution of defined problem. Because of content of titanium dioxide TiO₂ this high-tech cement has photocatalytic properties which guarantee reduction of pollutants in the air and self cleaning concrete surfaces. Cement TioCem fulfills requirements of the TX Active technology which are respected in whole Europe for confirmation of photocatalytic properties of building materials.

Photocatalytic properties of TioCem and effects of its activity and as well as directions of use are presented in the paper.