

ZBIGNIEW GIERGICZNY<sup>1</sup>, MARCIN SOKOŁOWSKI<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Górażdże Cement S.A. Chorula, ul. Cementowa 1, 45-076 Opole; Politechnika Śląska, Wydział Budownictwa, ul. Akademicka 5, 44-100 Gliwice, e-mail:

[zbigniew.giergiczny@gorazdze.pl](mailto:zbigniew.giergiczny@gorazdze.pl)

<sup>2</sup>Górażdże Cement S.A. Chorula, ul. Cementowa 1, 45-076 Opole,

e-mail: [marcin.sokolowski@gorazdze.pl](mailto:marcin.sokolowski@gorazdze.pl)

## FOTOKATALITYCZNE WŁAŚCIWOŚCI BETONU ZAWIERAJĄCEGO CEMENT TioCem<sup>®</sup>

**STRESZCZENIE:** Opracowany w grupie HeidelbergCement wysoko zaawansowany technologicznie cement TioCem<sup>®</sup> jest nowoczesnym materiałem budowlanym, wpływającym na ochronę środowiska naturalnego oraz zapewniającym trwałość i estetykę obiektów budowlanych. Zastosowanie tego produktu umożliwia redukcję szkodliwych związków obecnych w powietrzu, a także usuwanie zanieczyszczeń pokrywających z upływem lat betonowe powierzchnie budynków i konstrukcji inżynierskich.

W referacie opisano właściwości fotokatalityczne powierzchni betonowych wykonanych z użyciem cementu TioCem<sup>®</sup> oraz efekty ich oddziaływania w zakresie redukcji zanieczyszczeń powietrza i samooczyszczania, a także wskazano kierunki zastosowania.

**ABSTRACT:** 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<sup>®</sup> offered by HeidelbergCement Group is one of the technological solution of defined problem. This high-tech cement has photocatalytic properties which guarantee reduction of pollutants in the air and self cleaning concrete surfaces. Cement TioCem<sup>®</sup> fulfills requirements of the TX Active<sup>®</sup> technology which are respected in whole Europe for confirmation of photocatalytic properties of building materials.

Photocatalytic properties of concrete based on TioCem<sup>®</sup> and effects of its activity and as well as directions of use are presented in the paper.

### **I. WPROWADZENIE**

Wymagania stawiane materiałom budowlanym dotyczą zwykle ich właściwości, zapewniających bezpieczeństwo użytkowania, estetykę i trwałość obiektów budowlanych. W tym ujęciu beton jest postrzegany, jako uniwersalny i powszechnie stosowany materiał konstrukcyjny, umożliwiający projektowanie praktycznie dowolnych form architektonicznych.

Jednakże nie tylko cechy wytrzymałościowe i trwałościowe oraz względy estetyczne przemawiają za użyciem betonu. Dzięki nowoczesnym rozwiązaniom technologicznym beton może posiadać także właściwości aktywnie wspomagające ochronę środowiska naturalnego.

Przykładem tego są właściwości fotokatalityczne, uzyskane poprzez wprowadzenie do składu betonu, cementu TioCem<sup>®</sup>, nowoczesnego produktu opracowanego przez grupę Heidelberg Cement.

Zastosowanie cementu TioCem<sup>®</sup> zapewnia redukcję szkodliwych związków obecnych w powietrzu. Jest to bardzo istotna cecha, ponieważ rosnąca zawartość szkodliwych związków w powietrzu, pochodzących ze spalin silników pojazdów oraz emitowanych przez przemysł energetyczny i zakłady produkcyjne, przekracza normy przyjęte dla czystego powietrza. W konsekwencji mieszkańcy dużych aglomeracji narażeni są na problemy z oddychaniem i postępujące choroby płuc.

Betony o właściwościach fotokatalitycznych gwarantują również usuwanie zanieczyszczeń pokrywających z upływem lat betonowe powierzchnie budynków i konstrukcji inżynierskich. Wykonane z użyciem cementu TioCem<sup>®</sup> betony samoczyszczące mają szczególne znaczenie w przypadku reprezentacyjnych obiektów o wysokich walorach estetycznych.

W referacie opisano właściwości fotokatalityczne betonu wykonanego z użyciem cementu TioCem<sup>®</sup>, przedstawiono zagadnienia redukcji zanieczyszczeń obecnych w powietrzu i samooczyszczania betonu oraz wskazano kierunki wykorzystania tych właściwości w wykonywaniu różnego rodzaju elementów i konstrukcji.

## **II. WŁAŚCIWOŚCI FOTOKATALITYCZNE BETONU – EFEKT STOSOWANIA CEMENTU TioCem<sup>®</sup>**

Usuwanie szkodliwych związków z powietrza oraz samooczyszczanie betonowych powierzchni obiektów budowlanych, to efekt fotokatalitycznych właściwości cementu TioCem<sup>®</sup>, a ściślej, zawartego w jego składzie nanokrystalicznego ditlenku tytanu TiO<sub>2</sub>.

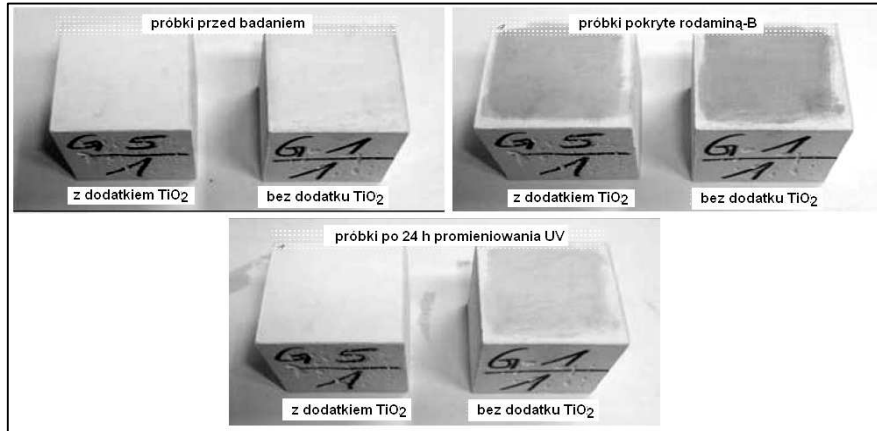
Ditlenek tytanu jest powszechnie wykorzystywany w wielu gałęziach przemysłu. Szczególne znaczenie dla większości zastosowań ma jego barwa, stanowiąca wzorzec koloru białego (biel tytanowa). Z tego powodu TiO<sub>2</sub> jest istotnym surowcem do produkcji pigmentów, farb, tworzyw sztucznych, papieru, barwnych atramentów, a także ze względu na nietoksyczne oddziaływanie, do wytwarzania kosmetyków i produktów farmaceutycznych.

Omawiając właściwości fotokatalityczne ditlenku tytanu, należy podkreślić, są one obserwowane tylko w przypadku nanokrystalicznego ditlenku tytanu (1 nm = 1/1000000 mm) w odmianie polimorficznej anatazu, gdy jest on poddany

działaniu fali świetlnej o długości  $< 410$  nm, typowej dla promieniowania słonecznego UV.

Pod wpływem promieniowania UV nanokrystaliczny ditlenek tytanu, ulega aktywacji. W dalszej fazie tego procesu, w obecności wody opadowej na powierzchni betonu zawierającego  $\text{TiO}_2$  tworzą się rodniki wodorotlenowe  $\text{OH}^\cdot$  oraz jony tlenowe  $\text{O}_2^\cdot$ , 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. Ditlenek tytanu jako fotokatalizator, nie ulega zużyciu podczas zachodzących reakcji, więc opisane procesy są długotrwałe i stale odnawialne [1].

Właściwości fotokatalityczne cementu TioCem<sup>®</sup> 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<sup>®</sup>, odnotowano całkowite utlenienie rodaminę i w efekcie oczyszczoną powierzchnię próbki (fot. 1).



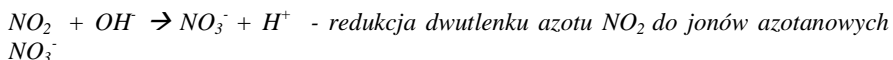
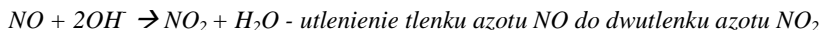
Fot. 1. Właściwości fotokatalityczne cementu TioCem<sup>®</sup> – test efektywności fotokatalitycznej z zastosowaniem rodaminę-B i promieniowania UV

### **III. REDUKCJA ZANIECZYSZCZEŃ POWIETRZA PRZEZ AKTYWNE FOTOKATALITYCZNE POWIERZCHNIE BETONU WYKONANE Z UŻYCIEM CEMENTU TioCem®**

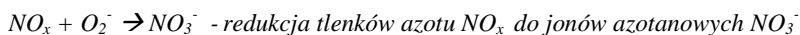
Fotokatalitycznie aktywne powierzchnie betonu zawierające cement TioCem®, wykazują działanie redukujące w przypadku szeregu związków organicznych i nieorganicznych zanieczyszczających powietrze[3].

Przykładem tego jest redukcja szkodliwych tlenków azotu  $NO_x$ , obecnych w spalinach emitowanych głównie przez silniki pojazdów. Jest to istotne zagadnienie, 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  $NO_3^-$  [4]. Procesy te można opisać za pomocą reakcji:



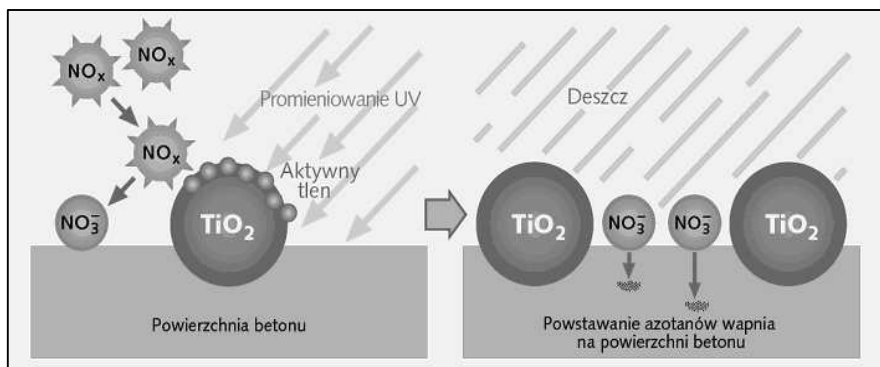
oraz



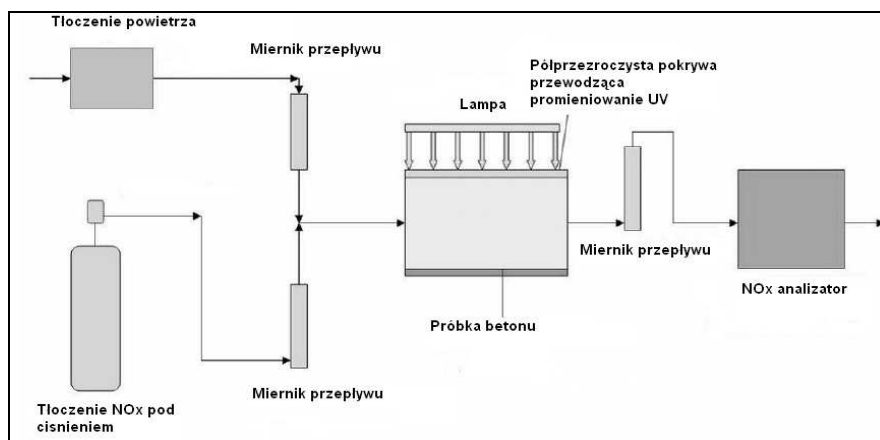
W końcowej fazie tego procesu jony azotanowe tworzą na powierzchni betonu kwas azotowy, który następnie w wyniku reakcji ze składnikami zaczynu cementowego tworzy sole (azotany) neutralizowane i spłukiwane przez opady atmosferyczne. Schematycznie redukcję tlenków azotu  $NO_x$  przez fotokatalitycznie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

Zdolność redukcji tlenków azotu  $NO_x$  zawartych w powietrzu potwierdzają wyniki badań laboratoryjnych wykonanych w laboratorium Heidelberg Technology Center w Leimen, w których badaniom poddano beton wykonany z użyciem cementu TioCem® i standardowego cementu [3].

Za pomocą aparatury badawczej wywołano przepływ powietrza zawierającego tlenki azotu po powierzchni próbek betonu, przy jednoczesnym ich naświetlaniu promieniowaniem UV o różnej intensywności (UV int. = 900 i 1800  $\mu W/cm^3$ ) – schemat aparatury przedstawiono na rysunku 2.

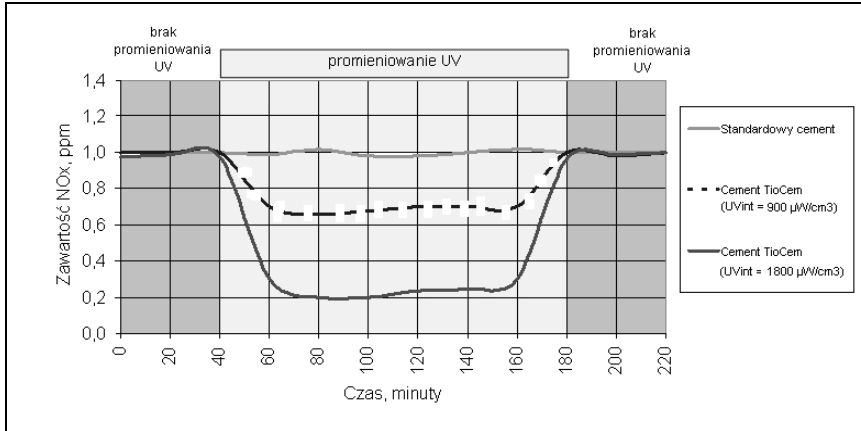


Rys. 1. Schemat redukcji tlenków azotu  $\text{NO}_x$  przez aktywne fotokatalityczne powierzchnie betonu zawierające cement TioCem<sup>®</sup>



Rys. 2. Aparatura badawcza do pomiaru redukcji tlenków azotu  $\text{NO}_x$ .

Pomiary wykazały spadek zawartości tlenków  $\text{NO}_x$  w przypadku betonu bazującego na cemencie TioCem<sup>®</sup> i poddanego promieniowaniu UV. Z kolei standardowy beton nie wykazał właściwości redukujących. Należy podkreślić, że redukcja koncentracji tlenków azotu w przypadku betonu bazującego na cemencie TioCem była tym większa im bardziej intensywne promieniowanie UV zostało zaaplikowane (rysunek 3).

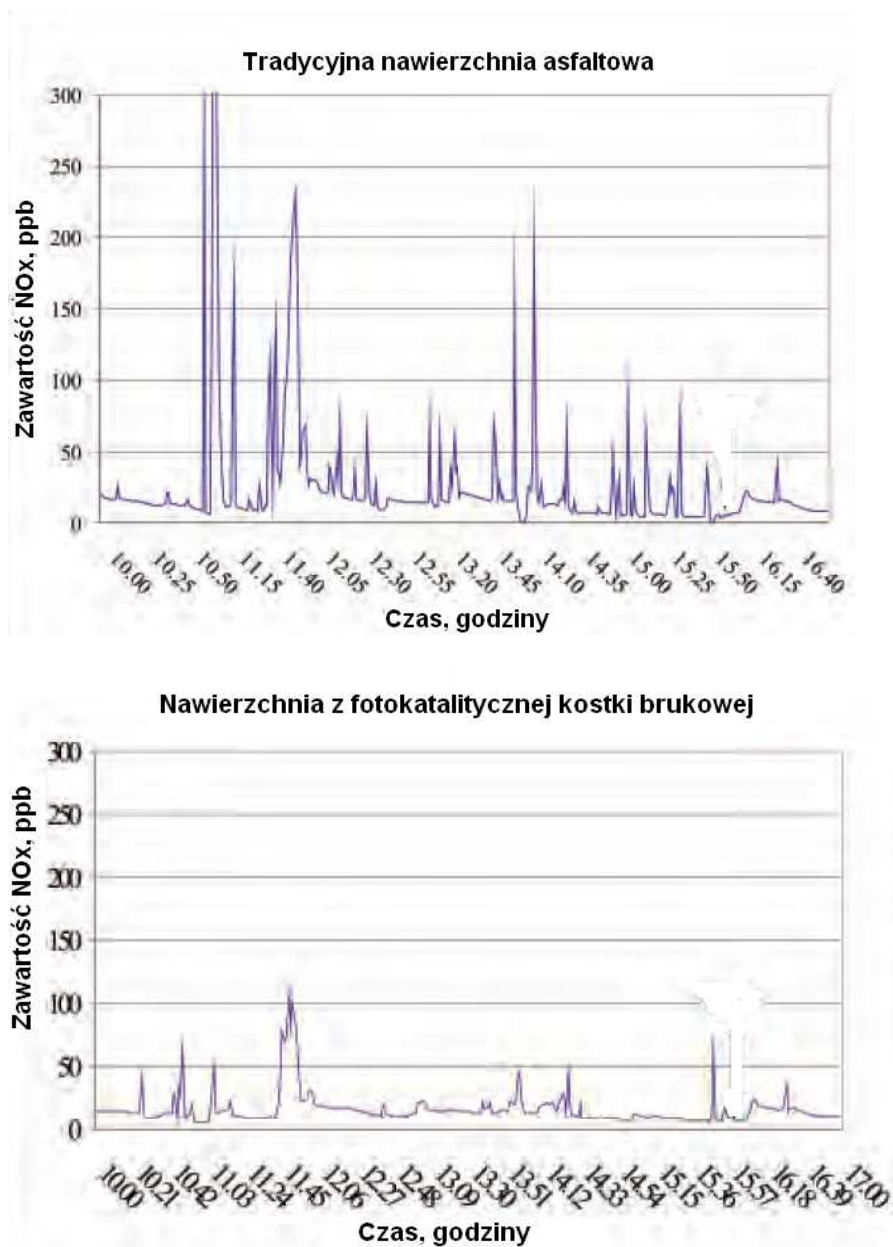


Rys. 3. Redukcja zawartości tlenków azotu  $\text{NO}_x$  w powietrzu - betony wykonane z użyciem standardowego cementu i cementu TioCem®

Wykonano również szereg praktycznych doświadczeń w warunkach faktycznego ruchu pojazdów, czego przykładem są testy porównawcze nawierzchni wykonanej z fotokatalitycznie aktywnej kostki brukowej oraz tradycyjnej nawierzchni asfaltowej. W obydwu technologiach wykonano nawierzchnie dróg w cementowni Calusco d'Adda w Bergamo i przeprowadzono 7-godzinny pomiar zawartości tlenków  $\text{NO}_x$  w powietrzu przy ciągłym ruchu samochodowym. Wyniki pomiarów przedstawiono na rysunku 4. Uzyskane wyniki pomiarów wykazały średni spadek koncentracji tlenków  $\text{NO}_x$  w powietrzu o 45%, w przypadku stosowania aktywnej fotokatalitycznie kostki brukowej [5]

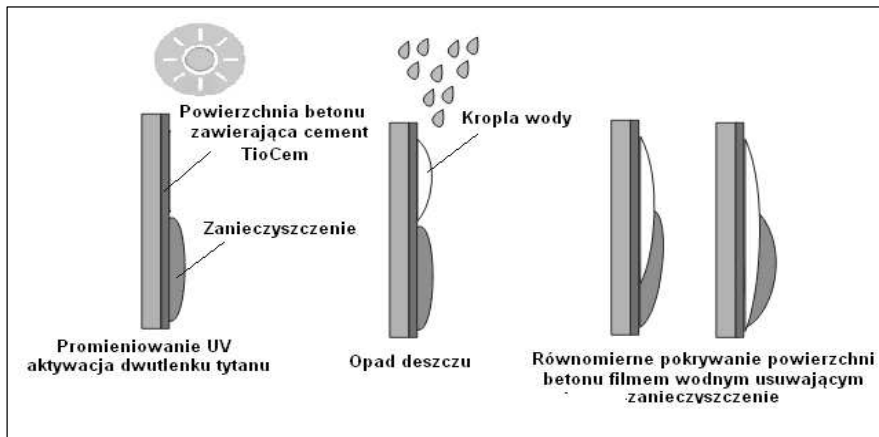
#### **IV. BETONY SAMOCZYSZCZĄCE**

Właściwości fotokatalityczne betonu zawierającego cement TioCem® są również wykorzystywane w technologii betonów samoczyszczących, ponieważ w zachodzących procesach utleniane są nie tylko szkodliwe związki zawarte w powietrzu, ale także zabrudzenia pokrywające z upływem czasu obiekty budowlane. Degradacji ulegają, więc, niemal wszystkie substancje organiczne mogące znaleźć się na powierzchni betonu, np. aerozole, tłuszcze, oleje, pyły, ptasie odchody itp. [6].



Rys. 4. Pomiary koncentracji tlenków azotu  $\text{NO}_x$  w powietrzu – porównanie nawierzchni asfaltowej i nawierzchni z fotokatalitycznie aktywnej kostki brukowej [5]

Samooczyszczanie powierzchni betonu zawierającego cement TioCem<sup>®</sup> wynika również z superhydrofilowych właściwości nanokrystalicznego ditlenku tytanu. Pod wpływem promieniowania UV kąt zwilżania powierzchni  $\text{TiO}_2$  maleje niemal do zera. W efekcie woda na powierzchni ditlenku tytanu nie tworzy kropeł, a powierzchnia betonu zostaje równomiernie pokryta cienkim filmem wodnym, tworzącym płaszczyznę poślizgu dla usuwania zanieczyszczeń [6]. Schematycznie proces ten przedstawiono na rysunku 5.



Rys. 5. Superhydrofilowe właściwości nanokrystalicznego ditlenku tytanu  $\text{TiO}_2$  samooczyszczanie powierzchni betonu zawierającej cement TioCem<sup>®</sup>

Technologia betonów samoczyszczających w oparciu o stosowanie cementu z dodatkiem ditlenku tytanu jest stosowana w obiektach o szczególnej formie architektonicznej. Do sztandarowych budowli wykonanych z wykorzystaniem fotokatalitycznych powierzchni samoczyszczających 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 [5].

## V. KIERUNKI STOSOWANIA CEMENTU TioCem<sup>®</sup>

Właściwości fizyczne i mechaniczne cementu TioCem<sup>®</sup> 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<sup>®</sup> przedstawiono w tabeli 1.

Ponieważ fotokatalityczne działanie cementu TioCem<sup>®</sup> 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<sup>®</sup>

Właściwość	Wyniki badań cementu TioCem <sup>®</sup>	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<sup>®</sup> ma szczególne znaczenie w obiektach budowlanych eksploatowanych w obszarach intensywnego ruchu samochodowego. Ze względu na działanie redukujące zanieczyszczenia w powietrzu i zabrudzenia powierzchni betonowych, cement TioCem<sup>®</sup> efektywnie można wykorzystać w wykonywaniu nawierzchni i elementów obudowy ciągów komunikacyjnych oraz elewacji i dachów budynków, a w szczególności do:

- wykonywania nawierzchni drogowych;
- napraw nawierzchni drogowych (technologia Whitetopping);
- produkcji kostki brukowej (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

## **VI. PODSUMOWANIE**

Beton o właściwościach fotokatalitycznych zawierający cement TioCem<sup>®</sup> jest nowoczesnym materiałem budowlanym pełniącym funkcje konstrukcyjne, estetyczne, a przede wszystkim ekologiczne. Zastosowanie cementu TioCem<sup>®</sup> pozwala, bowiem, uzyskać powierzchnie betonu aktywnie redukujące

zanieczyszczenia obecne w powietrzu i posiadające właściwości samoczyszczące.

Cement TioCem<sup>®</sup> jest produkowany zgodnie z technologią TX Active<sup>®</sup>, definiującej wymagania, jakie muszą spełniać materiały budowlane posiadające właściwości fotokatalityczne. Jednocześnie producenci stosujący cement TioCem<sup>®</sup> otrzymują gwarancję, że wytwarzają betony o potwierdzonych właściwościach fotokatalitycznych oraz nabywają prawo do stosowania znaku jakości TX Active<sup>®</sup> (rys. 5).



Rys. 5. Znak TX Active<sup>®</sup> - potwierdzenie kontroli i gwarancja fotokatalitycznych właściwości betonu

## 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] BOLTE G., DIENEMANN W., SMOLIK I., Can concrete purify the air?, Konferencja DNI BETONU, Wisła, 2008
- [4] Dalton J.S., Janes P.A., Jones N.G., Nicholson J.A., Hallam K.R., Allen G.C., Photocatalytic oxidation of NO<sub>x</sub> gases using TiO<sub>2</sub>: a surface spectroscopic approach, Environmental Pollution, Issue 2/2002, Vol. 120
- [5] Materiały informacyjne koncernu Italcementi

- [6] Gawlicki M., Inteligentny SCC, Budownictwo, technologie, architektura, nr 4/2005 Polski Cement, Kraków 2005