

Cement TioCem[®] w produkcji fotokatalitycznej kostki brukowej

1. Wprowadzenie

Cement TioCem[®] umożliwia wykonywanie powierzchni betonowych, wykazujących zdolność redukcji zanieczyszczeń zawartych w powietrzu i posiadających właściwości samoczyszczące. To nowoczesne rozwiązanie materiałowe określane jest mianem technologii TX Active[®], która w efektywny sposób może przyczynić się do ochrony środowiska naturalnego oraz wpływać korzystnie na wygląd obiektów budowlanych.

Technologia TX Active[®] i wykorzystanie cementu TioCem[®] znajduje szczególne zastosowanie w produkcji wibroprasowanej kostki brukowej, powszechnie wykorzystywanej do budowy nawierzchni dróg, placów parkingowych czy chodników przy ciągach komunikacyjnych. Ze względu na bezpośredni kontakt ze spalinami pochodzącymi z silników pojazdów, nawierzchnie z kostki brukowej TX Active[®] pozwalają na redukcję zanieczyszczeń w miejscu ich powstawania. Dodatkowym efektem jest samoczyszczanie ułożonej nawierzchni z różnego rodzaju substancji organicznych. Ograniczony zostaje rozwój grzybów, porostów i gromadzenie się brudu, co podnosi to walory estetyczne nawierzchni.

W celu przybliżenia opisanych zagadnień i wskazania nowoczesnych rozwiązań materiałowych w technologii betonu, w referacie zaprezentowano właściwości cementu TioCem[®] oraz zasady i efekty stosowania technologii TX Active[®] do wytwarzania kostki brukowej.

2. Cement TioCem[®] – właściwości

Redukcja zanieczyszczeń obecnych w powietrzu i zdolność do samoczyszczania betonu są efektem właściwości fotokatalitycznych cementu TioCem[®].

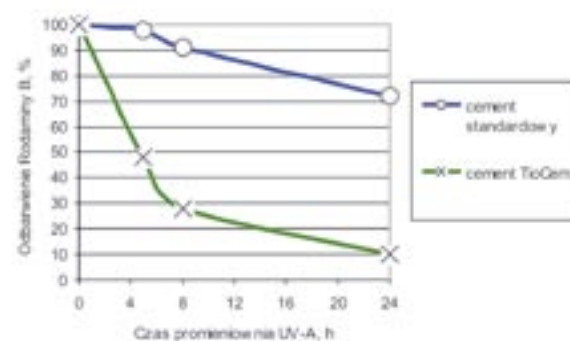
Takie cechy nadaje cementowi zawarty w jego składzie nanocząsteczkowy dwutlenek tytanu TiO₂. Związek ten aktywowany promieniowaniem słonecznym UV-A przyspiesza naturalne utlenianie i rozpad szkodliwych związków zawartych w powietrzu (np. tlenki azotu NO_x obecne w spalinach pojazdów mechanicznych) lub zanieczyszczających powierzchnię betonu. Opisany proces jest również związany z superhydrofilowym działaniem aktywowanego promieniowaniem UV-A dwutlenku tytanu TiO₂. Efektem tego jest 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 (np. podczas opadu deszczu) [1, 2, 3].

Istotnym jest również fakt, że dwutlenek tytanu, jako fotokatalizator, nie ulega zużyciu podczas zachodzących reakcji. Proces oczyszczania powietrza i powierzchni betonu jest długotrwały i stale odnawialny. Właściwości fotokatalityczne cementu TioCem[®] i wynikające z tego procesy zachodzące na powierzchni betonu przedstawiono na schemacie (rys. 1).

Potwierdzeniem aktywności fotokatalitycznej cementu TioCem[®] są wyniki testu odbarwienia substancji organicznej Rodaminy-B pokrywającej próbki wykonane z zaprawy cementowej zgodnej z normą PN-EN 196-1 [4]. W badaniach wykorzystano 2 próbki zaprawy, jedna przygotowana z użyciem cementu TioCem, druga z użyciem standardowego cementu. Powierzchnię próbek stwardniałej zaprawy pokryto Rodaminą B i poddano naświetlaniu promieniowaniem UV-A przez 24 godziny, mierząc jednocześnie stopień odbarwienia Rodaminy B. Wyniki badania jednoznacznie wskazują na intensywny proces odbarwienia Rodaminy B w przypadku zaprawy wykonanej z użyciem cementu TioCem[®] (rys. 2). Świadczy to o aktywacji cementu TioCem[®] promieniowaniem UV-A i szybkim utlenianiu substancji organicznej na powierzchni próbki zaprawy [5].

Oprócz opisanych właściwości cementu TioCem[®], zapewniających odpowiednią aktywność fotoka-

Rys.1. Właściwości fotokatalityczne cementu TioCem[®] – schemat przebiegu procesów redukcji zanieczyszczeń zawartych w powietrzu i samoczyszczania betonu [2, 3]



Rys.2. Test aktywności fotokatalitycznej cementu TioCem[®] – odbarwienie Rodaminy B z powierzchni próbek zaprawy poddanej promieniowaniu UV-A o intensywności 600μW/cm² [5]

talityczną kostki brukowej, istotne są inne cechy użytkowe cementu. Ze względu na proces formowania elementów oraz ich krótki czas dojrzewania, składowania i transportu do klienta, niezbędne jest stosowanie cementów o szybkim przyroście wytrzymałości. Dodatkowo, wysokie wymagania dotyczące wytrzymałości kostki po 28 dniach na rozłupywanie wg PN-EN 1338 [6], determinują stosowanie cementów klas wytrzymałościowych 42,5 lub 52,5.

Cement TioCem® jest produkowany w dwóch klasach wytrzymałościowych, 42,5R (cement szary i biały) i 52,5R (cement biały). W tabeli 1 przedstawiono właściwości fizyczne i mechaniczne cementu TioCem®.

3. Fotokatalityczna kostka brukowa Tx Active® – zasady produkcji i właściwości

Ogólne zasady produkcji fotocatalitycznej kostki brukowej

Technologia produkcji fotocatalitycznej wibroprasowanej kostki brukowej jest identyczna jak w przypadku standardowej kostki, ponieważ zasady stosowania cementu TioCem® są takie same jak innych cementów powszechnego użytku, spełniających normę PN-EN 197-1 [7].

Zarówno przygotowanie mieszanki, jak i formowanie elementów jest prowadzone na tych samych urządzeniach dozujących, mieszających i zagęszczających. Również czynności technologiczne związane z dojrzewaniem i składowaniem gotowych elementów są identyczne.

Ponieważ aktywność fotocatalityczna cementu TioCem® wymaga dostępu promieniowania słonecznego, nie ma potrzeby wprowadzania tego cementu do całej masy betonu. Wystarczająca jest tylko wierzchnia, kilkumilimetrowa warstwa wykonana z użyciem cementu TioCem®. Z tego względu w produkcji fotocatalitycznej kostki brukowej najkorzystniej jest stosować technologię dwuwarstwową. Cement TioCem® wprowadzany jest do mieszanki przeznaczony na warstwę fakturową kostki, ponieważ tylko ta warstwa jest widoczna po ułożeniu kostki. Takie działanie zmniejsza również zużycie cementu TioCem® w całkowitej produkcji

Tabela 1. Właściwości cementu TioCem®

Właściwość	Wyniki badań cementu TioCem® klasy 42,5R	Wyniki badań cementu TioCem® klasy 52,5R (biały)
Początek czasu wiązania	160 minut	150 minut
Koniec czasu wiązania	200 minut	190 minut
Wytrzymałość po 2 dniach	29,0 MPa	42 MPa
Wytrzymałość po 28 dniach	60,0 MPa	67 MPa
Stopień białości	-	85 %

Tabela 2. Poziom aktywności fotocatalitycznej [8]

Poziom aktywności fotocatalitycznej	Spadek koncentracji tlenków NO _x w teście wg normy UNI-11247:2007
Niedostateczny	< 12 %
Średni	12-20 %
Wysoki	20-25 %
Bardzo wysoki	> 25 %

kostki i tym samym pozwala uzyskać lepszy efekt ekonomiczny. Zawartość cementu TioCem® w mieszance jest identyczna jak w przypadku innych cementów zwykle stosowanych do produkcji kostki brukowej.

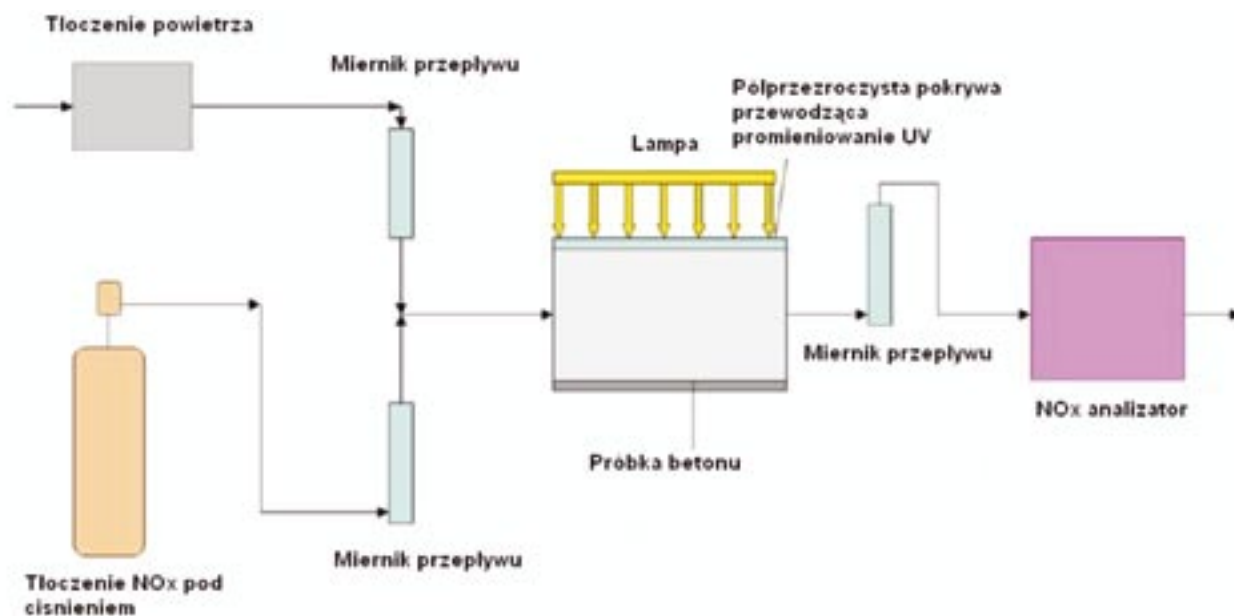
Właściwości fotocatalitycznej kostki brukowej TX Active®

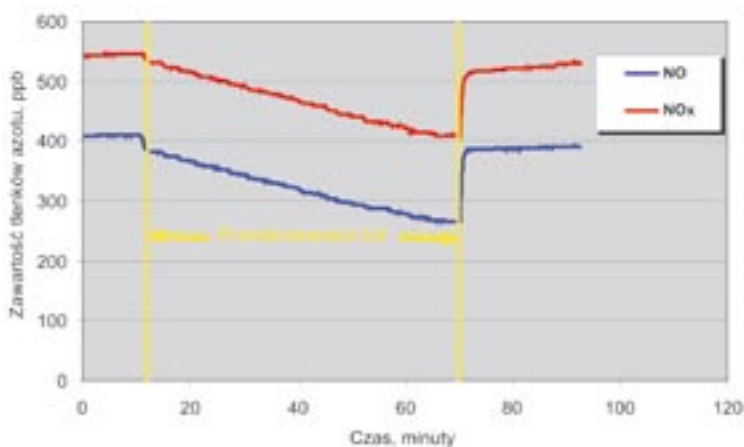
Potwierdzenie fotocatalitycznych właściwości kostki brukowej wyprodukowanej z użyciem cementu TioCem® i oznaczenie jej znakiem jakości technologii TX Active® wymaga spełnienia wytycznych włoskiej normy UNI 11247:2007 [8].

Normowy test przeprowadzany jest na aparaturze laboratoryjnej (rys. 3) i potwierdza aktywność fotocatalityczną powierzchni betonu poprzez redukcję zanieczyszczeń powietrza (redukcję tlenków azotu NO_x). W zależności od uzyskanego w teście spadku koncentracji tlenków NO_x w powietrzu, powierzchni betonu – w tym przypadku kostce brukowej – przypisuje się odpowiedni poziom aktywności fotocatalitycznej – tabela 2.

Na rysunku 4 przedstawiono wyniki przykładowego testu aktywności fotocatalitycznej powierzchni kostki brukowej. Wyniki pomiaru przedstawione na rysunku potwierdzają spadek koncentracji tlenków NO_x w powietrzu, na skutek oddziaływania fotocatalitycznej powierzchni kostki, poddanej promieniowaniu UV-A.

Rys. 3. Aparatura laboratoryjna do pomiaru spadku koncentracji tlenków azotu NO_x w wyniku oddziaływania fotocatalitycznej powierzchni betonu





Rys. 4. Spadek koncentracji tlenków NO_x w powietrzu w wyniku oddziaływania aktywnej fotokatalitycznie kostki brukowej, poddanej promieniowaniu UV-A

W tym przypadku zanotowano spadek koncentracji tlenków NO_x na poziomie 25%, co pozwala zakwalifikować kostkę do elementów o wysokiej aktywności fotokatalitycznej (tabela 2). Tym samym produkowana kostka może być oznaczana znakiem jakości technologii TX Active® (rys. 5).

Oprócz pomiarów laboratoryjnych, wykonywane są także badania aktywności fotokatalitycznej nawierzchni z kostki brukowej sygnowanej znakiem TX Active®, w warunkach naturalnych, tj. zanieczyszczonego powietrza w wyniku ruchu pojazdów mechanicznych i pracujących instalacji przemysłowych.

Przykładem takich badań są testy porównawcze nawierzchni z fotokatalitycznej kostki brukowej oraz tradycyjnej nawierzchni asfaltowej w Bergamo we Włoszech. W obydwu technologiach wybudowano nawierzchnie dróg w cementowni Calusco d'Adda i przeprowadzono 7-godzinny pomiar zawartości tlenków NO_x w powietrzu, przy ciągłym ruchu pojazdów i produkcji klinkieru. Wyniki pomiarów przedstawiono na rysunku 6. Uzyskane wyniki wykazały średni spadek koncentracji tlenków NO_x w powietrzu o 45%, w przypadku stosowania aktywnej fotokatalitycznie kostki brukowej w porównaniu do nawierzchni asfaltowej [9].

Kostka brukowa TX Active® oprócz właściwości fotokatalitycznych charakteryzuje się również wysokimi parametrami technicznymi: wysoką wytrzymałością, niską nasiąkliwością oraz wysoką mrozoodpornością w obecności środków odładzających odpowiednimi cechami trwałościowymi. W tabelicy 2 zestawiono przykładowe wyniki badań właściwości kostki TX Active® w zakresie wymagań normy PN-EN 1338.

Kostka Holland 80 została wyprodukowana w technologii dwuwarstwowej z użyciem cementu TioCem® do warstwy fakturowej i cementu hutniczego CEM III/

Tablica 3. Wyniki badań właściwości kostki brukowej wyprodukowanej z użyciem cementu TioCem® w zakresie wymagań normy PN-EN 1338 [6]

Właściwość	Wyniki badań	Wymaganie
wg PN-EN 1338		
Srednie obciążenie niszczące przy badaniu wytrzymałości na rozciąganie przy rozłupywaniu	656,2 N/mm	≥ 250 N/mm
Średnia wytrzymałość na rozciąganie przy rozłupywaniu	5,2 MPa	≥ 3,6 MPa
Średnia wytrzymałość na ściskanie	60,7 MPa	50,0 MPa ¹⁾
Ścieralność na tarczy Boehme'go	11000 mm ³	
/5000 mm ²	≤ 18000 mm ³	
/5000 mm ²		
Nasiąkliwość	4,8%	≤ 6,0%
Mrozoodporność w obecności środków odładzających; średnia masa złuszczeń	0,5 kg/m ²	≤ 1,0 kg/m ²
1) Badanie wg procedury IBDiM		

A 42,5N-HSR/NA. Po zaformowaniu, proces dojrzewania elementów odbywał się w komorze VAPOUR, w warunkach podwyższonej wilgotności powietrza i temperatury oraz przy wysokim nasyceniu powietrza dwutlenkiem węgla. Taki sposób dojrzewania korzystnie wpływa na szybki rozwój szczelnej struktury betonu, co zwiększa dynamikę przyrostu wytrzymałości betonu, a także zapobiega powstawaniu wykwitów węglanowych na powierzchni kostki.

Do innych zaobserwowanych właściwości kostki brukowej wykonanej z użyciem cementu TioCem® należy zaliczyć efektywne barwienie betonu i łatwość uzyskania intensywnych kolorów kostki – efekt białej barwy dwutlenku tytanu TiO₂ (biel tytanowa) oraz bardzo niskie wnikanie cieczy rozlanej na powierzchni kostki w głąb warstwy fakturowej – efekt doszczelnionej struktury przez nanocząsteczkowy TiO₂.

4. Przykłady fotokatalitycznych nawierzchni z kostki brukowej TX Active®

Technologia TX Active® zdobywa coraz większą popularność w Europie Zachodniej do produkcji fotokatalitycznej kostki brukowej. Nawierzchnie z tego materiału są stosowane jako element podnoszący estetykę otoczenia reprezentacyjnych obiektów, a także coraz częściej pełnią funkcję ochrony ludzi przed szkodliwymi związkami zawartymi w powietrzu. Chodniki i place ułożone w pobliżu dróg o dużym natężeniu ruchu samochodowego stanowią „bariery” oczyszczające powietrze. Poniżej przedstawiono kilka przykładów zastosowania fotokatalitycznej kostki brukowej [9, 10, 11]:



Rys. 5. Znak jakości TX Active® – gwarancja właściwości fotokatalitycznych materiałów budowlanych

Rys. 6. Pomiar koncentracji tlenków azotu NO_x w powietrzu – porównanie nawierzchni asfaltowej i nawierzchni z fotokatalitycznej kostki brukowej [8]





Fot. 1. Nawierzchnia z kostki brukowej TX Active® w otoczeniu przedszkola w Bietigheim-Bissingen (Niemcy)



Fot. 2. Chodniki w Tatton Park w Knutsford (Wielka Brytania)



- nawierzchnia w otoczeniu przedszkola i na jego terenie w Bietigheim-Bissingen w Niemczech (Badenia-Wirtembergia) (fot 1.) Przedszkole jest położone w sąsiedztwie arterii komunikacyjnej, którą dziennie przejeżdża ok. 15 tys. samochodów, stąd decyzja o wykonaniu nawierzchni fotokatalitycznej chroniącej zdrowie przebywających w przedszkolu dzieci
- chodniki i place w historycznym zespole parkowym Tatton Park w Knutsford w Wielkiej Brytanii (fot. 2) – efekt oczyszczania powietrza oraz łatwiejsze utrzymanie estetyki nawierzchni narażonej na rozwój mchów i porostów
- nawierzchnia odcinka ulicy via Borgo Pallazzo w Bergamo we Włoszech (fot. 3) – alternatywa dla dotychczasowej asfaltowej nawierzchni ruchliwej ulicy (1000 pojazdów/godzinę) w zabytkowym centrum miasta, poprawa jakości powietrza.

Aktualnie w Polsce technologia TX Active® do wykonywania fotokatalitycznej kostki brukowej jest wdrażana w pilotażowej produkcji w kilku zakładach. Niemniej pierwsze zastosowanie kostki TX Active® w naszym kraju stało się faktem. W Zielonej Górze została wykonana ścieżka rowerowa i chodnik pomiędzy ruchliwą ulicą a terenem rekreacyjnym na jednym z osiedli (fot. 4) Fotokatalityczna nawierzchnia stanowi swego rodzaju „barierę” przed spalinami samochodowymi, przez co podniesiona jakość powietrza w strefie przebywania ludzi ulega poprawie. Należy również oczekiwać, że utrzymanie czystości nawierzchni chodnika i ścieżki powinno być utatwione. Należy również zaznaczyć, że chodnik i ścieżka są traktowane jako odcinek doświadczalny, na którym w kolejnych miesiącach będą prowadzone obserwacje skuteczności zastosowanej technologii.

5. Podsumowanie

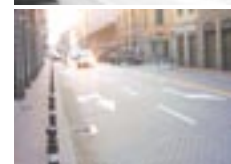
Kostka brukowa TX Active® o właściwościach fotokatalitycznych zawierająca cement TioCem® jest nowoczesnym materiałem budowlanym, o wysokich walorach ekologicznych, trwałościowych i estetycznych.

Zastosowanie kostki brukowej TX Active® ma szczególne znaczenie w nawierzchniach drogowych i chodnikowych eksploatowanych w obszarach intensywnego ruchu samochodowego. Fotokatalitycznie aktywne nawierzchnie korzystnie wpływają na czystość powietrza i tym samym na poprawę jakości życia ludzi narażonych na negatywne oddziaływanie spalin i smogu. Świadczą o tym wyniki prac badawczych, a przede wszystkim zrealizowane w ostatnich latach obiekty.

Marcin Sokółowski
Góraźdże Cement SA

Literatura

- 1 M. Gawlicki, *Inteligentny SCC, „Budownictwo, Technologie, Architektura”, nr 4/2005 Polski Cement, Kraków 2005*
- 2 A. Fujishima, K. Hashimoto, T. Watanabe, *TiO₂ Photocatalysis: Fundamentals and Applications, BKC Inc. Tokyo, Japan, 1999*
- 3 G. Bolte, W. Dienemann, I. Smolik, *Can concrete purify the air?, Konferencja DNI BETONU, Wisła, 2008*
- 4 PN-EN 196-1, *Metody badań cementu – Część 1: Oznaczanie wytrzymałości*
- 5 G. Bolte, *Innovative building materials – reduction of pollutants with TioCem, Cement, Lime, Gypsum, ZKG International 1/2009*
- 6 PN-EN 1338:2005 *Betonowe kostki brukowe. Wymagania i metody badań.*
- 7 PN-EN 197-1 *Cement – Część 1: Skład, wymagania i kryteria zgodności dotyczące cementów powszechnego użytku*
- 8 UNI 1127:2007 *Determinazione dell'attività di degradazione di ossidi di azoto in aria de parte di materiali inirganici fotokatalitici*
- 9 *Materiały informacyjne koncernu Italcementi*
- 10 *Materiały informacyjne koncernu HeidelbergCement Group*
- 11 G.L. Guerrini, E. Peccati, *Photocatalytic cementitious roads for depollution, International RILEM Symposium, Florence, October 2007*
- 12 *Materiały informacyjne firmy ZPB KACZMAREK Rawicz*



Fot. 3. Via Borgo Palazzo w Bergamo (Włochy)



Fot. 4. Chodnik i ścieżka rowerowa w Zielonej Górze [12]