

Marcin Sokołowski <sup>1</sup>  
Krzysztof Kaczmarek <sup>2</sup>

## Nanocement TioCem<sup>®</sup> w produkcji kostki brukowej

### 1. Wprowadzenie

Cement TiCem<sup>®</sup> 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<sup>®</sup>, która w efektywny sposób może przyczynić się do ochrony środowiska naturalnego oraz wpływać korzystnie na wygląd obiektów budowlanych.

Technologia TX Active<sup>®</sup> i wykorzystanie cementu TiCem<sup>®</sup> 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 samooczyszczanie 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 TiCem<sup>®</sup> oraz zasady i efekty stosowania technologii TX Active<sup>®</sup> do wytwarzania kostki brukowej. Informacje i wyniki badań przedstawiono w oparciu o produkcję realizowaną przez ZPB KACZMAREK Rawicz oraz doświadczenia firm włoskich i niemieckich.

### 2. Cement TioCem<sup>®</sup> – właściwości

Redukcja zanieczyszczeń obecnych w powietrzu i zdolność do samooczyszczania betonu wynikają z właściwości fotokatalitycznych cementu

---

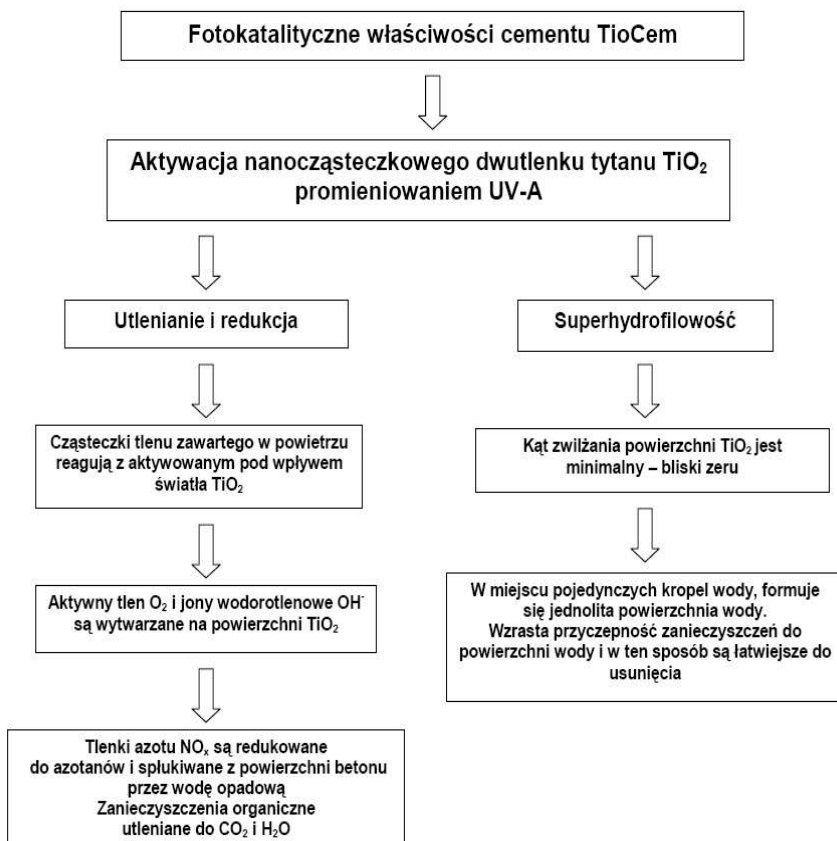
<sup>1</sup> Mgr inż. Góraźdże Cement S.A., Chorula, ul. Cementowa 1, 45 -076 Opole skr. poczt. 220 e-mail: [marcin.sokolowski@gorazdze.pl](mailto:marcin.sokolowski@gorazdze.pl)

<sup>2</sup> ZPB KACZMAREK, Folwark , 63-900 Rawicz, e-mail: [rawicz@zpbkaczmarek.pl](mailto:rawicz@zpbkaczmarek.pl)

TiCem<sup>®</sup>. Takie cechy nadaje cementowi zawarty w jego składzie nanocząsteczkowy dwutlenek tytanu TiO<sub>2</sub>. Związek ten aktywowany promieniowaniem słonecznym UV-A przyspiesza naturalne utlenianie i rozpad szkodliwych związków zawartych w powietrzu (np. tlenki azotu NO<sub>x</sub> obecne w spalinach pojazdów mechanicznych) lub zanieczyszczających powierzchnię betonu. Opisany proces jest również związany z superhydrofilowym działaniem aktywowanego promieniowaniem UV-A dwutlenku tytanu TiO<sub>2</sub>. 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].

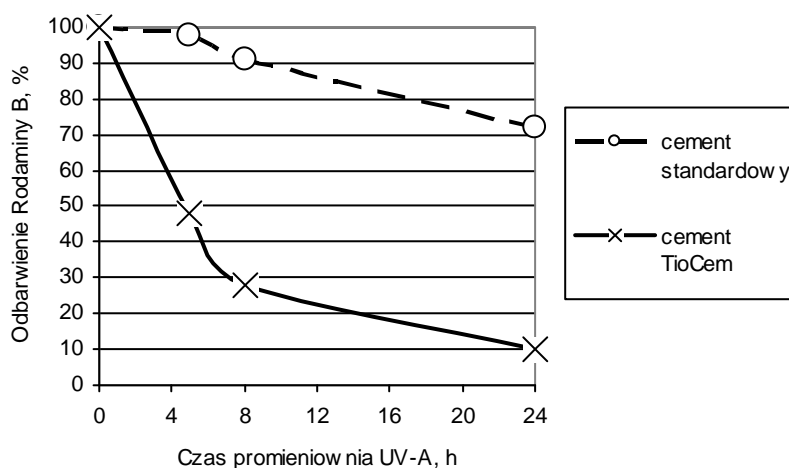
Istotnym jest również fakt, że dwutlenek tytanu jako fotokatalizator, nie ulega zużyciu podczas zachodzących reakcji. Proces oczyszczania powietrza i powierzchni betonu jest długotrwały i stale odnawialny.

Właściwości fotokatalityczne cementu TiCem<sup>®</sup> i wynikające z tego procesy zachodzące na powierzchni betonu przedstawiono na schemacie (rys. 1.).



Rys.1. Właściwości fotokatalityczne cementu TiCem<sup>®</sup> – schemat przebiegu procesów redukcji zanieczyszczeń zawartych w powietrzu i samooczyszczania betonu [2,3]

Potwierdzeniem aktywności fotokatalitycznej cementu TiCem<sup>®</sup> są wyniki testu odbarwienia substancji organicznej Rodaminy-B pokrywającej próbkę wykonanej z zaprawy cementowej zgodnej z normą PN-EN 196-1 [4]. W badaniach do 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 TiCem<sup>®</sup> (rys. 2). Świadczy to o aktywacji cementu TiCem<sup>®</sup> promieniowaniem UV-A i szybkim utlenianiu substancji organicznej na powierzchni próbki zaprawy [5].



Rys.2. Test aktywności fotokatalitycznej cementu TiCem<sup>®</sup> - odbarwienie Rodaminy B z powierzchni próbek zaprawy poddanej promieniowaniu UV-A o intensywności  $600\mu\text{W}/\text{cm}^2$ [5]

Oprócz opisanych właściwości cementu TiCem<sup>®</sup>, zapewniających odpowiednią aktywność fotokatalityczną 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<sup>®</sup> 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<sup>®</sup>.

Tabela 1. Właściwości cementu TioCem<sup>®</sup>

Właściwość	Wyniki badań cementu TioCem <sup>®</sup> klasy 42,5R	Wyniki badań cementu TioCem <sup>®</sup> 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 %

### 3. Fotokatalityczna kostka brukowa Tx Active<sup>®</sup> – zasady produkcji i właściwości

#### 3.1. Ogólne zasady produkcji fotokatalitycznej kostki brukowej

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

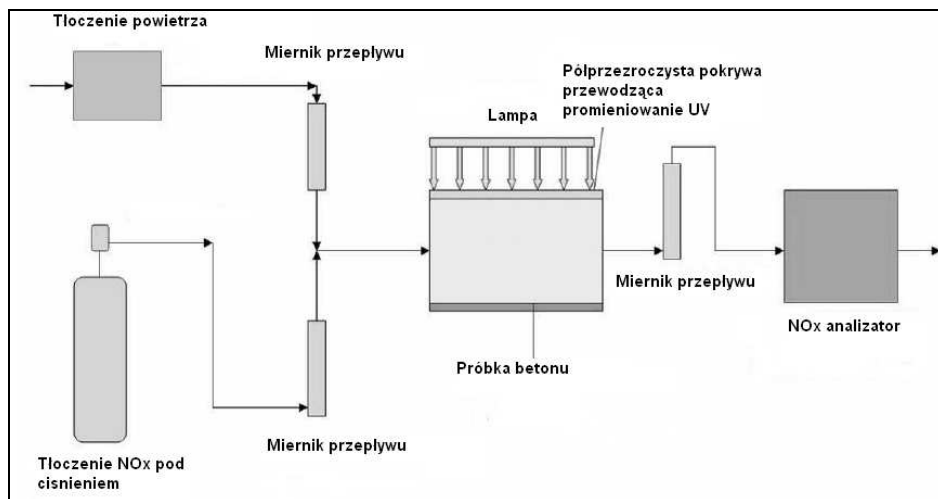
Zarówno przygotowanie mieszanki, jak i formowanie elementów jest prowadzone na tych samych urządzeniach dozujących, mieszających i zagęszczających. Również czynności technologiczne związane z dojrzeniem i składowaniem gotowych elementów są identyczne.

Ponieważ aktywność fotokatalityczna cementu TioCem<sup>®</sup> 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<sup>®</sup>. Z tego względu w produkcji fotokatalitycznej kostki brukowej najkorzystniejszą jest stosować technologię dwuwarstwową. Cement TioCem<sup>®</sup> wprowadzany jest do mieszanki przeznaczonej na warstwę fakturową kostki, ponieważ tylko ta warstwa jest widoczna po ułożeniu kostki. Takie działanie zmniejsza również zużycie cementu TioCem<sup>®</sup> w całkowitej produkcji kostki i tym samym pozwala uzyskać lepszy efekt ekonomiczny. Zawartość cementu TioCem<sup>®</sup> w mieszance jest identyczna jak w przypadku innych cementów zwykle stosowanych do produkcji kostki brukowej.

#### 3.2. Właściwości fotokatalitycznej kostki brukowej TX Active<sup>®</sup>

Potwierdzenie fotokatalitycznych 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 fotokatalityczną powierzchni betonu poprzez redukcję zanieczyszczeń powietrza (redukcję tlenków azotu NO<sub>x</sub>). W zależności od uzyskanego w teście, spadku koncentracji tlenków NO<sub>x</sub> w powietrzu, powierzchni betonu - w tym przypadku kostce brukowej - przypisuje się odpowiedni poziom aktywności fotokatalitycznej – tablica 2.



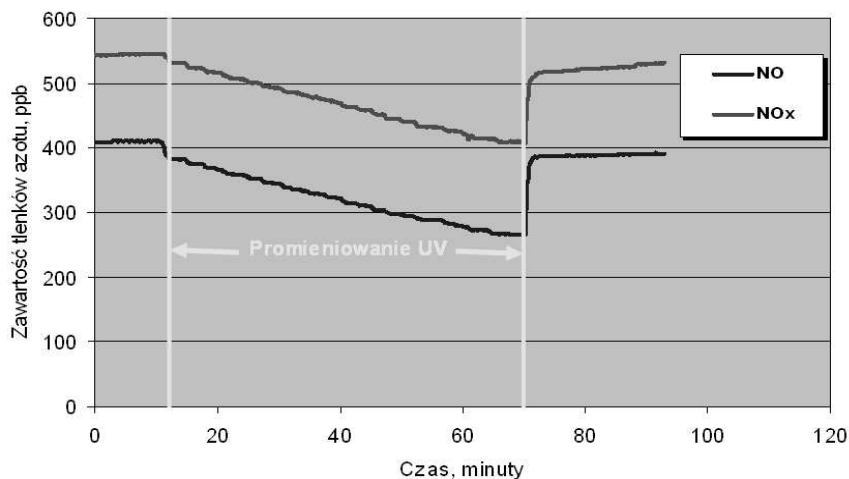
Rys. 3. Aparatura laboratoryjna do pomiaru spadku koncentracji tlenków azotu  $\text{NO}_x$  w wyniku oddziaływania fotokatalitycznej powierzchni betonu

Tablica 2. Poziom aktywności fotokatalitycznej [8]

Poziom aktywności fotokatalitycznej	Spadek koncentracji tlenków $\text{NO}_x$ w teście wg normy UNI-11247:2007
Niedostateczny	< 12 %
Średni	12-20 %
Wysoki	20-25 %
Bardzo wysoki	> 25 %

Przykładem pomiar aktywności fotokatalitycznej powierzchni betonu jest test przeprowadzony w laboratorium Heidelberg Technology Center w Leimen, na kostce brukowej z ZPB KACZMAREK Rawicz wykonanej z cementu TioCem<sup>®</sup>.

Wyniki pomiaru przedstawione na rysunku, potwierdzają spadek koncentracji tlenków  $\text{NO}_x$  w powietrzu, na skutek oddziaływania fotokatalitycznej powierzchni kostki, poddanej promieniowaniu UV-A (rys.4). Zanotowany 24 %-owy spadek koncentracji tlenków  $\text{NO}_x$  pozwala zakwalifikować kostkę do elementów o wysokiej aktywności fotokatalitycznej (tabela 2). Tym samym produkowana kostka może być oznaczana znakiem jakości technologii TX Active<sup>®</sup> (rys. 5)



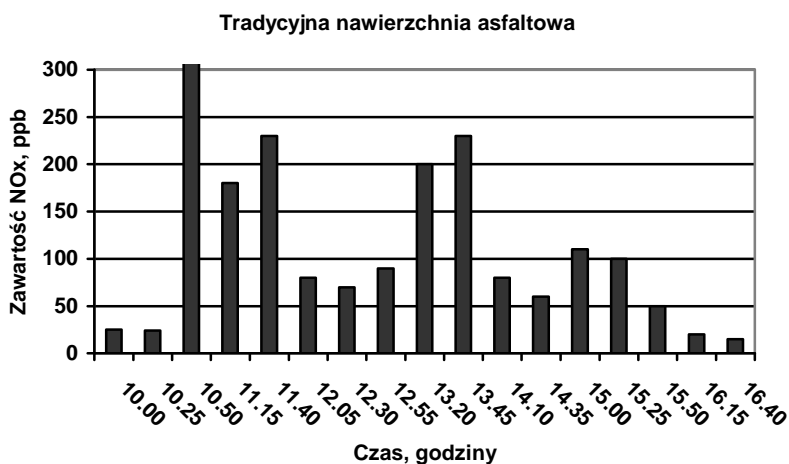
Rys. 4. Spadek koncentracji tlenków  $\text{NO}_x$  w powietrzu w wyniku oddziaływania aktywnej fotokatalitycznej kostki brukowej, poddanej promieniowaniu UV-A

Oprócz pomiarów laboratoryjnych, wykonywane są także badania aktywności fotokatalitycznej nawierzchni z kostki brukowej sygnowanej znakiem TX Active<sup>®</sup>, 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  $\text{NO}_x$  w powietrzu, przy ciągłym ruchu pojazdów i produkcji klinkieru. Wyniki pomiarów przedstawiono na rysunku 6. Uzyskane wyniki wykazały średni spadek koncentracji tlenków  $\text{NO}_x$  w powietrzu o 45%, w przypadku stosowania aktywnej fotokatalitycznej kostki brukowej w porównaniu do nawierzchni asfaltowej [9].



Rys.5. Znak jakości TX Active<sup>®</sup> – gwarancja właściwości fotokatalitycznych materiałów budowlanych



Rys. 6. Pomiary koncentracji tlenków azotu NO<sub>x</sub> w powietrzu – porównanie nawierzchni asfaltowej i nawierzchni z fotokatalitycznej kostki brukowej [8]

Kostka brukowa TX Active<sup>®</sup> oprócz właściwości fotokatalitycznych charakteryzuje się również wysokimi parametrami technicznymi: wysoką wytrzymałością, niską nasiąkliwością oraz wysoką mrozoodpornością w obecności środków odladzających odpowiednimi cechami trwałościowymi. W tabelicy 2 zestawiono wyniki badań właściwości kostki TX Active<sup>®</sup> w zakresie wymagań normy PN-EN 1338 na przykładzie wyrobów z ZPB KACZMAREK Rawicz.

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

42,5N-HSR/NA. Po zaformowaniu, proces dojrzewania elementów odbywał się w komorze VAPOUR, w warunkach podwyższonej wilgotności powietrza i temperatury oraz 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 TiO<sub>2</sub> (biel tytanowa) oraz bardzo niskie wnikanie cieczy rozlanej na powierzchni kostki w głąb warstwy fakturowej – efekt doszczelnionej struktury przez nanocząsteczkowy TiO<sub>2</sub>.

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 <sup>1)</sup>
Ścieralność na tarczy Boehme'go	11000 mm <sup>3</sup> /5000 mm <sup>2</sup>	≤ 18000mm <sup>3</sup> /5000 mm <sup>2</sup>
Nasiakliwość	4,8 %	≤ 6,0 %
Mrozoodporność w obecności środków odladzających; średnia masa złuszczeń	0,5 kg/m <sup>2</sup>	≤ 1,0 kg/m <sup>2</sup>

<sup>1)</sup> Badanie wg procedury IBDiM

#### 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]:

- nawierzchnia w otoczeniu przedszkola i na jeogoterenie w mieście Bietigheim-Bissingen w Niemczech (Badenia-Wirtembergia) (fot 1.) Przedszkole jest położone w sąsiedztwie arterii komunikacyjnej, którą dziennie przejeżdża ok. 15 000 tys. samochodów, stąd decyzja o wykonaniu nawierzchni fotokatalitycznej chroniącej zdrowie przebywających w przedszkolu dzieci.





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

- 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.



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

- Nawierzchnia odcinka ulicy via Borgo Palazzo w Bergamo we Włoszech (fot. 3) – alternatywa dla dotychczasowej asfaltowej nawierzchni ruchliwej ulicy (1000 pojazdów/godzinę) w zabytkowym centrum miasta, poprawa jakości powietrza



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

## 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 szeregu prac badawczych, a przede wszystkim zrealizowane w ostatnich latach obiekty.

### Literatura

- [1] Gawlicki M., Inteligentny SCC, Budownictwo, technologie, architektura, nr 4/2005 Polski Cement, Kraków 2005
- [2] Fujishima A., Hashimoto K., Watanabe T.: TiO<sub>2</sub> Photocatalytis: Fundamentals and Applications, BKC Inc. Tokyo, Japan, 1999
- [3] Bolte G., Dienemann W., Smolik I., Can concrete purify the air?, Konferencja DNI BETONU, Wisła, 2008
- [4] PN-EN 196-1, Metody badań cementu – Część 1: Oznaczanie wytrzymałości
- [5] Bolte G.: 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'attivita di degradazione di ossidi di azoto in aria de parte di materiali inirganic fotocatalytici
- [9] Materiały informacyjne koncernu Italcementi
- [10] Materiały informacyjne koncernu HeidelbergCement Group
- [11] Guerrini G.L., Peccati E., Photocatalytic cementitious roads for depollution, International RILEM Symposium, Florence, October 2007

## Nanocement TioCem® in pavement blocks production

### Summary

Use of nanocement offered by HeidelbergCement Group allows for production of pavement blocks with photocatalytic properties. Pavements made with such elements are able to reduce air pollutants and they have self cleaning abilities as well. These photocatalytic properties of concrete elements are known and patented in Europe as TX Active® technology.

In the paper there is described properties of cement TiCem® and effects of its use for pavement blocks production. Presented information rely on European experiences and the first production of photocatalytic pavement blocks in Poland which took place in the company ZPB KACZMAREK Rawicz.