

mgr inż. Marek Doering¹⁾
dr inż. Łukasz Mrozik^{1*)}

Aktywne środowiskowo nawierzchnie z betonowej kostki brukowej

Environmentally active concrete brick paving

DOI: 10.15199/33.2015.05.27

(Artykuł przeglądowy)

Streszczenie. W artykule omówiono wybrane rozwiązania materiałowe, takie jak nawierzchnie z elementów ażurowych. Szczególną uwagę skupiono na kostce brukowej z nanokrystalicznym dwutlenkiem tytanu (TiO₂). Przedstawiono wybrane właściwości tych wyrobów oraz techniczne i ekonomiczne aspekty popularyzacji tej technologii.

Słowa kluczowe: ekologia, beton, kostka, fotokataliza.

Abstract. In this article, some selected material solutions such as openwork surfaces has been discussed. Particular attention is focused on brick with nanocrystalline titanium dioxide (TiO₂). Selected properties of these products and technical and economic aspects related to popularization of this technology has been shown.

Keywords: ecology, concrete, brick, photocatalysis.

Zmiany, jakich człowiek dokonał w otaczającym środowisku przez budowę infrastruktury, zmuszają do pochylenia się nad problemami zbyt dużej ekspansji i wynikających z niej zaburzeń równowagi ekologicznej. Za koniecznymi zmianami poprawy przemawiają nie tylko wyniki badań środowiskowych powietrza, gleby i wody, ale także społeczeństwo odczuwające skutki zbyt dużej ingerencji człowieka w środowisko naturalne. Rozwój obszarów wielkopowierzchniowych (placów, parkingów) wykonanych m.in. z materiałów betonowych skupia uwagę na sposobach wykorzystania tego materiału, w społecznej odpowiedzialności biznesu (ang. CSR – *Corporate Social Responsibility*) uwzględniającej interesy inwestorów, ochronę środowiska oraz względy prawne.

Technologie prośrodowiskowe

Obecnie istnieją dwa główne kierunki rozwoju technologii prośrodowiskowych. **Pierwsza**, to przede wszystkim odpowiedź na wymagania zawarte w rozporządzeniu [1] i miejscowe plany zagospodarowania, które m.in. podkreślają konieczność pozostawienia powierzchni biologicznie czynnej (PBC) w określonej proporcji do powierzchni całkowitej. Te wymagania spełniają bardzo popularne wyroby betonowe w postaci elementów ażurowych,

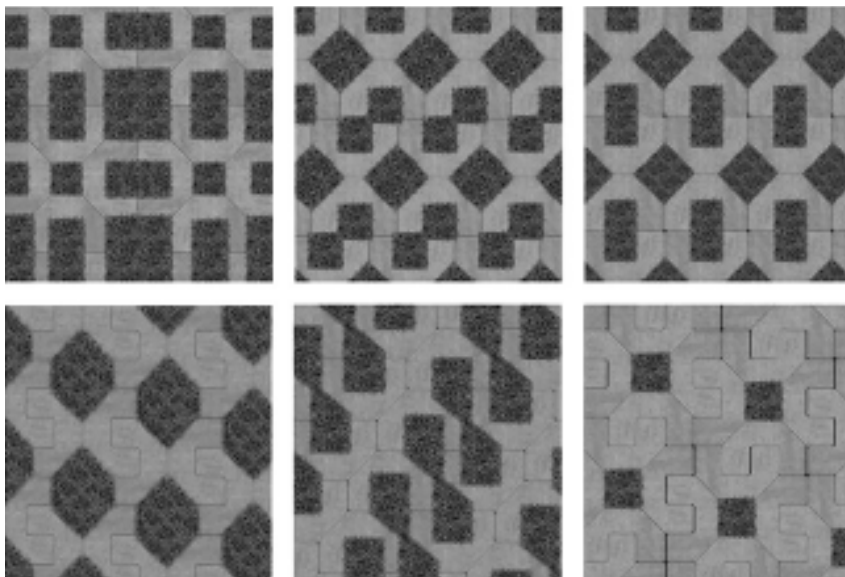
w których wewnętrzną, pustą przestrzeń można wypełnić szatą roślinną (fotografia). Wyroby te są wykorzystywane również do umacniania skarp i osuwisk w miejscach narażonych na intensywne działanie wód powierzchniowych. Innymi rozwiązaniami umożliwiającymi rozwój roślinności oraz transport wody opadowej do gleby bezpośrednio pod nawierzchnią są wyroby z rozbudowanymi odstępnikami [4, 10].

Drugi kierunek rozwoju technologii prośrodowiskowych związany jest z próbą wykorzystania kostki brukowej do zmniejszenia zanieczyszczeń powietrza i wody związkami szkodliwymi dla organizmów żywych, w tym ludzi. W ostatnich latach intensywnie poszukiwano skutecznej nanotechnologii, li-

cząc na wykorzystanie niektórych cech materiałów znanych z innych obszarów przemysłu, np. dwutlenku tytanu (TiO₂). Producenci cementów, wykorzystując nanokrystaliczny TiO₂, stworzyli produkt o właściwościach fotokatalitycznych. Wyroby betonowe, w tym kostki brukowe, do produkcji których zastosowano cement z dodatkiem TiO₂, spełniają wymagania normy [3] oraz charakteryzują się [4, 5]:

- możliwością reakcji fotokatalitycznej na powierzchni, w obecności promieni UV i tlenu następuje utlenianie szkodliwych tlenków azotu zawartych w powietrzu oraz związków organicznych (olejów, smarów) na powierzchni betonu;

- właściwościami samoczyszczącymi, wynikającymi z tzw. superhydrofilo-



Różne wzory ażurowych elementów nawierzchniowych [2]
Different patterns of openwork paving elements [2]

¹⁾ Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy w Bydgoszczy, Wydział Budownictwa, Architektury i Inżynierii Środowiska

^{*)} Autor do korespondencji;
e-mail:marek.doering@wp.pl

wości TiO_2 , która powoduje łatwe usuwanie zanieczyszczeń z wodą. Zdaniem A. Folli [6] opóźnia to również proces starzenia fasad i innych elementów przez procesy erozji oraz zabrudzeń.

Dwutlenek tytanu jako fotokatalizator nie ulega zużyciu, nie reaguje z fazami cementowymi i jest wyjątkowo białym materiałem. Dlatego proces oczyszczania powietrza i powierzchni betonu jest długotrwały i stale odnawialny.

Produkcja i badania kostki brukowej na bazie cementu z TiO_2

Kostkę brukową do badań wyprodukowano, stosując standardową recepturę, z wykorzystaniem cementu z TiO_2 . Po przeanalizowaniu aspektów jakościowo-ekonomicznych podkreślono, że pewną przeszkodą w popularyzacji w Polsce tego produktu jest cena cementu, która powoduje, że finalny wyrób musi być droższy o 20 – 30% od kostki ze standardowym spoiwem. Biorąc pod uwagę sytuację rynkową i warunki stawiane w przetargach, gdzie najistotniejszym czynnikiem poza spełnieniem wymagań normy [3] jest cena, kostka brukowa charakteryzująca się dodatkowymi, ważnymi aspektami prośrodowiskowymi nie będzie powszechnie stosowana w tego typu inwestycjach.

Wyprodukowaną kostkę badano w niemieckim laboratorium badawczym. Aktywność fotokatalityczna badanej partii próbek wynosiła 31,7%. Norma [7] definiuje bardzo dobrą wydajność elementu, jeżeli jego aktywność przekracza 25% [8]. Konieczne są dalsze badania naukowe na poziomie interdyscyplinarnym, których m.in. zadaniem będzie zwiększenie aktywnej powierzchni adsorpcji na ziarnach TiO_2 , głównie anatazu, jego jednej z trzech form polimorficznych.

Badania przeprowadzone zgodnie z normą [3] potwierdziły użyteczność receptury stosowanej do produkcji standardowej kostki brukowej. Istnieje możliwość modyfikacji porowatości betonu licowego za pomocą superplastyfikatorów w sytuacji występowania wykwitów wrotnych w postaci soli węglanu wapnia, które istotnie hamują proces fotokatalizy i pogarszają efekt estetyczny. Na podstawie badań ośmiu próbek średnia wytrzymałość wyno-

si 4,21 MPa (współczynnik zmienności $V = 11,2\%$), co znacznie przekracza wymagania normowe (3,6 MPa).

Problemy do rozwiązania

W związku z tym, że aktywny cement jest produktem innowacyjnym, z dużym potencjałem rozwoju oraz zastosowania, podjęto liczne badania i analizy. Poza stroną ekonomiczną i marketingową, która ma na celu wprowadzenie produktu na rynek, do wyjaśnienia pozostają jeszcze zjawiska i czynniki, które w znacznej mierze decydują o sprawności procesu fotokatalitycznego. Na podstawie studiów literaturowych można wnioskować, że czynnikami wpływającymi na prędkość reakcji fotokatalitycznej są jakość światła UV, woda, reakcje uboczne produktów hydratacji cementu, pH, a także fizyczne parametry betonu, m.in. porowatość. Ze względu na duże zainteresowanie Unii Europejskiej wymienioną problematyką, powstał program badawczy o nazwie: Visible **Light** Active Photocatalytic **Concretes** for **Air** Pollution Treatment (skrót Light² CAT), w ramach którego przy budżecie ok. 5 mln euro wykonano wiele badań i podjęto próby wyjaśnienia zjawiska działania cementu fotokatalitycznego. Z badań przeprowadzonych m.in. przez Andrea Folli i zespół [9] w ramach programu Nanocem, gdzie do porównania użyto dwóch form dostępnej na rynku bieli tytanowej o średniej wielkości ziarna $153,7 \text{ nm} \pm 48,1 \text{ nm}$ (m- TiO_2) oraz $18,4 \text{ nm} \pm 5,0 \text{ nm}$ (n- TiO_2) wynika, że:

- ze względu na różne nasłonecznienie i warunki atmosferyczne obszarów Europy konieczne jest prowadzenie prac nad otrzymaniem dwutlenku tytanu wrażliwego również na pasma światła widzialnego przez zmianę struktury wewnętrznej kryształu, sprzężenie jonu metalu czy selektywne uwodornianie powierzchni;

- problem wtórnej aglomeracji cząstek kryształów dwutlenku tytanu w cemencie daje w efekcie różny pod względem efektywności proces fotokatalizy i trudności w równomiernym rozmieszczeniu w cemencie i betonie. Forma m- TiO_2 daje mniejsze i bardziej rozproszone skupiska;

- wpływ pH i obecności wody w celu tworzenia rodników HO^\cdot inicjujących dalsze reakcje rodnikowe. Prawdopo-

dobnie bardzo wysokie pH stabilizuje pośrednie związki utleniania NO_x .

Podsumowanie

Rozwój technologii prośrodowiskowych świadczy o zrozumieniu konieczności poniesienia wysiłków na rzecz przyrody, co z kolei jest zasługą edukacji i wzrastającej świadomości konsumentki. Wyniki badań oraz obserwacje wskazują na możliwość przeniesienia technologii na rynek polski bez większych problemów technicznych. Pozostaje kwestia ceny surowców oraz warunków przetargów, które będą premiowały zastosowanie innowacyjnych technologii. Konieczne jest też przeprowadzenie badań umożliwiających wybór optymalnej receptury i warunków dojrzewania produktów. Dalsze badania technologii, w której wykorzystuje się TiO_2 jako dodatek w cemencie, pozwolą na efektywniejsze wykorzystanie jego roli fotokatalitycznej.

Literatura

- [1] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z 12. marca 2009 zmieniające rozporządzenie w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budynki i ich usytuowanie [Dz.U. 2009 nr 56 poz. 461].
- [2] Witryna World Wide Web: <http://tuznajdziesz.pl/produkty/artykuly/sposoby-na-ecoonawierzchnie-kostka-brukowa-i-plyty-azurowe-libet-925/> (stan z 17.01.2015).
- [3] PN-EN 1338: 2005 Betonowe kostki brukowe – Wymagania i metody badań.
- [4] Gajewski J., Doering M., Mrozik Ł., Sakiewicz W.: Proekologiczna kostka brukowa. Materiały Budowlane 12/2013 (nr 496) s. 14 – 15.
- [5] Bolte G.: Innovative building material – reduction of air pollution through TioCem®. Nanotechnology in Construction 3. 2009, s. 55 – 61.
- [6] Folli A.: TiO_2 photocatalysis in Portland cement systems: fundamentals of self cleaning effect and air pollution mitigation. University of Milan, Italy 2010.
- [7] UNI EN 1127-1: 2011 Atmosfere esplosive – Prevenzione dell'esplosione e protezione contro l'esplosione – Parte 1: Concetti fondamentali e metodologia.
- [8] Sokolowski M.: Cement TioCem® w produkcji fotokatalitycznej kostki brukowej. Budownictwo Technologie Architektura, Kraków 1/2010, s. 60 – 63.
- [9] Folli A., Pochard I., Nonat A., Jakobsen U. H., Shepherd A. M. and Macphee D. E.: Journal of the American Ceramic Society, 2010, 93, s. 3360 – 3369.
- [10] Doering M.: Technologiczne zmiany w produkcji kostki brukowej i galanterii betonowej. Autostrady 3/2015, s. 24 – 27.

Otrzymano 02.03.2015 r.