

XVIII Konferencja Reologia w Technologii Betonu

Hubert Witkowski¹, Anna Tryfon – Bojarska², Wioletta Jackiewicz – Rek³, Karol Chilmon³
Krzysztof Szerszeń⁴, Janusz Jarosławski⁵, Arkadiusz Gąsiewski⁶

WYKORZYSTANIE BETONU FOTOKATALITYCZNEGO Z CEMENTEM TiOCem® DO REDUKCJI STĘŻENIA NO_x NA PROJEKCIE GENERATION PARK W WARSZAWIE

1. Wprowadzenie

Zgodnie z różnymi szacunkami [1,2] miasta obecnie zamieszkiwane są przez połowę światowej populacji, zaś do 2030 r. będzie to już około 60% ludzkości. Tak dynamiczny rozwój miast ma swoje konsekwencje związane między innymi z kwestią transportu. W skali Unii Europejskiej transport jest źródłem niemal 54% całej emisji tlenków azotu i 45% tlenków węgla [3]. Tlenki azotu z uwagi na swoją dużą reaktywność mają negatywny wpływ na zdrowie, nawet przy niewielkiej koncentracji w powietrzu. W szczególności powodują stany zapalne w obrębie dróg oddechowych, a w perspektywie wielu lat nawet skrócenie długości życia [4].

Innowacyjnym rozwiązaniem materiałowym, mogącym przyczynić się do redukcji stężenia między innymi tlenków azotu, jest stosowanie materiałów, które w swoich warstwach zewnętrznych mają nanometryczny dwutlenek tytanu. Dzięki swoim unikalnym właściwościom nanometryczny TiO₂ w określonych warunkach inicjuje reakcję fotokatalizy w wyniku której zanieczyszczenia powietrza, w tym tlenki azotu, są redukowane do prostych związków [5].

Beton jest najpowszechniej stosowanym materiałem na świecie. Szacuje się, że rocznie światowa produkcja wynosi 2,5 tony cementu na jednego mieszkańca globu [6], dlatego koncepcja wdrożenia rozwiązań wykorzystujących dodatek dwutlenku tytanu w betonie na szeroką skalę jest bardzo obiecująca.

¹ Politechnika Łódzka, Wydział Budownictwa Architektury i Inżynierii Środowiska,
eng.hubert.witkowski@gmail.com

² Skanska CDE

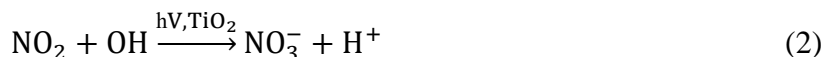
³ Politechnika Warszawska, Wydział Inżynierii Lądowej

⁴ Góraźdże Cement

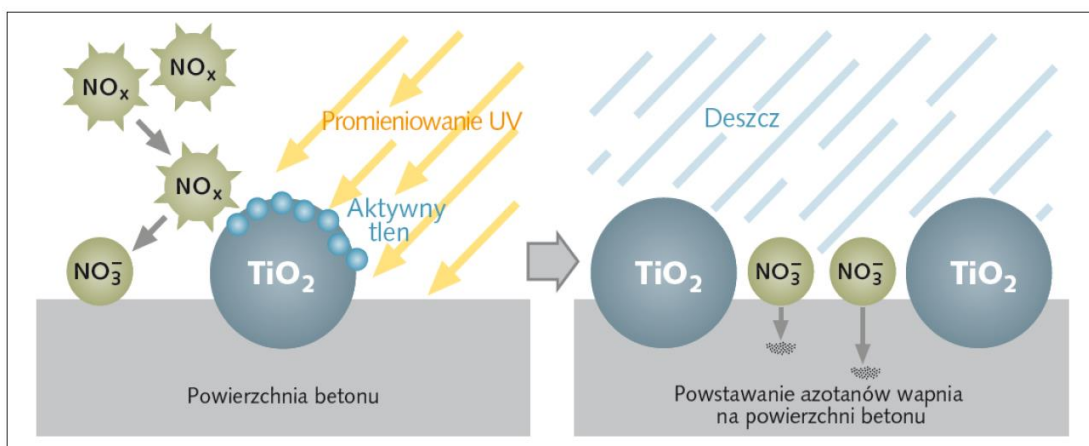
⁵ Polska Akademia Nauk, Instytut Geofizyki

⁶ Instytut Ceramiki i Materiałów Budowlanych

Aplikacje rozwiązań materiałowych opartych o cement fotokatalityczny były przedmiotem wielu projektów badawczych i wdrożeń w wielu krajach Europy, a także na świecie [7 – 9]. Mechanizm reakcji fotokatalizy, który został opisany przez Fujishimę i Hondę [10], można zapisać poniższymi równaniami:



Na powierzchni betonu powstaje NO_3^- , który jest neutralizowany w reakcji ze związkami wapnia zawartymi w betonie. Dzięki temu, w odróżnieniu od innych rozwiązań materiałowych wykorzystujących nanometryczny dwutlenek tytanu, produkty reakcji fotokatalizy w betonie są neutralizowane do obojętnych związków, które są usuwane wraz z deszczem.



Rys. nr 1 – Schemat procesu fotokatalizy

2. Założenia do wdrożenia betonu fotokatalitycznego

Pierwsze aplikacje betonów z wykorzystaniem cementu z dodatkiem nanometrycznego dwutlenku tytanu w Polsce sięgają 2009 roku, kiedy w Nowej Soli i Zielonej Górze wykonano chodniki i ścieżki rowerowe w technologii TiOCem® [11]. Jednakże w ślad za opisanymi wdrożeniami nie

¹ Politechnika Łódzka, Wydział Budownictwa Architektury i Inżynierii Środowiska, eng.hubert.witkowski@gmail.com

² Skanska CDE

³ Politechnika Warszawska, Wydział Inżynierii Lądowej

⁴ Góraźdże Cement

⁵ Polska Akademia Nauk, Instytut Geofizyki

⁶ Instytut Ceramiki i Materiałów Budowlanych

zostały poczynione żadne badania mające na celu określenie skuteczności redukcji szkodliwych związków w powietrzu. W poniższym artykule opisano projekt badawczo – wdrożeniowy mający na celu określenie skuteczności redukcji NO_x w powietrzu przez chodnik wykonany w technologii betonu fotokatalitycznego.

Lokalizacja flagowych projektów deweloperskich w głównej mierze skupia się na kluczowych miejscach na mapie miejskich aglomeracji. Taka właśnie sytuacja dotyczy projektu Generation Park w Warszawie. Projekt realizowany przez wiodącego dewelopera – Skanska Property Poland, zlokalizowany jest przy rondzie Daszyńskiego u zbiegu dwóch miejskich arterii – ul. Prostej i ul. Towarowej. Jest to jeden z głównych szlaków komunikacyjnych w Warszawie, co wiąże się z sąsiedztwem miejsca o intensywnym ruchu samochodowym. Analiza rocznych raportów WIOŚ w Warszawie [12, 13] potwierdziła przypuszczenia dotyczące kwestii możliwości przekroczenia stężeń NO_x w powietrzu w Warszawie. Jednym z głównych problemów związanych z jakością powietrza w Warszawie w 2016 i 2017 roku było przekroczenie stężenia tlenków azotu. W tej sytuacji deweloper podjął decyzję o testowej aplikacji rozwiązania betonu fotokatalitycznego w postaci nawierzchni z kostki betonowej z cementem TiOCem®. Warunkiem docelowego wdrożenia na realizowanym obecnie projekcie, było wykonanie badań pilotażowych, które miały potwierdzić skuteczność technologii betonu fotokatalitycznego w warunkach in-situ i uzyskanie redukcji stężenia NO_x o minimum 15% w optymalnych warunkach dla procesu fotokatalizy. Optymalne warunki zostały zdefiniowane jako bezwietrzne dni (podczas silnych wiatrów nie dochodzi do odpowiedniego kontaktu zanieczyszczenia z powierzchnią kostki) o odpowiednio wysokim promieniowaniu UV (słoneczne dni).

Projekt realizowany był w ramach współpracy badawczo – rozwojowej firm Skanska S.A. i Górażdże Cement S.A. z partnerami naukowymi: Wydziałem Inżynierii Lądowej Politechniki Warszawskiej, Instytutem Geofizyki Polskiej Akademii Nauk oraz Wydziałem Geologii Uniwersytetu Warszawskiego. Obiecujące wyniki badań laboratoryjnych poparte pomiarami

¹ Politechnika Łódzka, Wydział Budownictwa Architektury i Inżynierii Środowiska, eng.hubert.witkowski@gmail.com

² Skanska CDE

³ Politechnika Warszawska, Wydział Inżynierii Lądowej

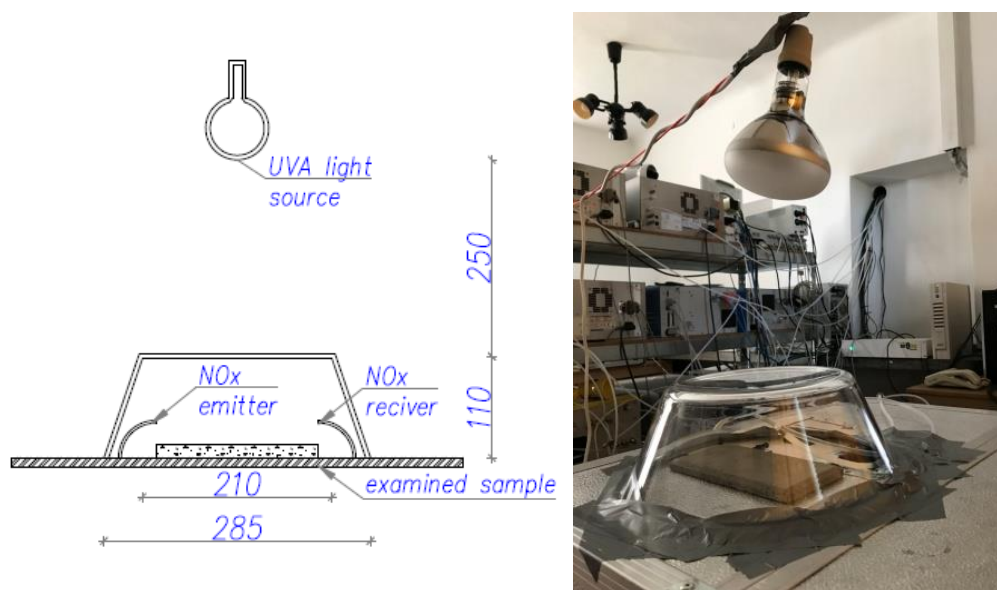
⁴ Górażdże Cement

⁵ Polska Akademia Nauk, Instytut Geofizyki

⁶ Instytut Ceramiki i Materiałów Budowlanych

in – situ stanowiły podstawę o zastosowaniu technologii na większą skalę podczas realizacji 3 budynków Generation Park na powierzchni równej 6 000 m².

Badania zakładały wykonanie odcinka testowego w bezpośrednim sąsiedztwie projektu w przestrzeni miejskiej i pomiar redukcji NO_x. Pierwszym etapem badań była weryfikacja, czy dostępna aparatura jest w stanie zarejestrować oczekiwaną zmianę stężenia NO_x w wyniku fotokatalizy nad badaną powierzchnią kostki betonowej. W tym celu we współpracy z Góraźdze przygotowano zostały próbki referencyjne, które następnie zostały zbadane w warunkach laboratoryjnych w Centralnym Obserwatorium Geofizycznym IGF PAN w Belsku Dużym w specjalnie przygotowanym układzie pomiarowym przedstawionym na Rys. nr 2.



Rys. nr 2 – Układ pomiarowy w badaniach laboratoryjnych.

Opracowany układ pomiarowy różnił się od tego opisanego w normie UNI – 11247:2010 [14]. Główne różnice dotyczyły przede wszystkim komory pomiarowej. Zgodnie z założeniami normy badanie aktywności fotokatalitycznej przeprowadzane jest przy założeniu laminarnego przepływu NO_x. Choć takie założenie pozwala łatwiej określić redukcję zanieczyszczenia, to w rzeczywistości przepływ zanieczyszczonego powietrza będącego w kontakcie z powierzchnią

¹ Politechnika Łódzka, Wydział Budownictwa Architektury i Inżynierii Środowiska, eng.hubert.witkowski@gmail.com

² Skanska CDE

³ Politechnika Warszawska, Wydział Inżynierii Lądowej

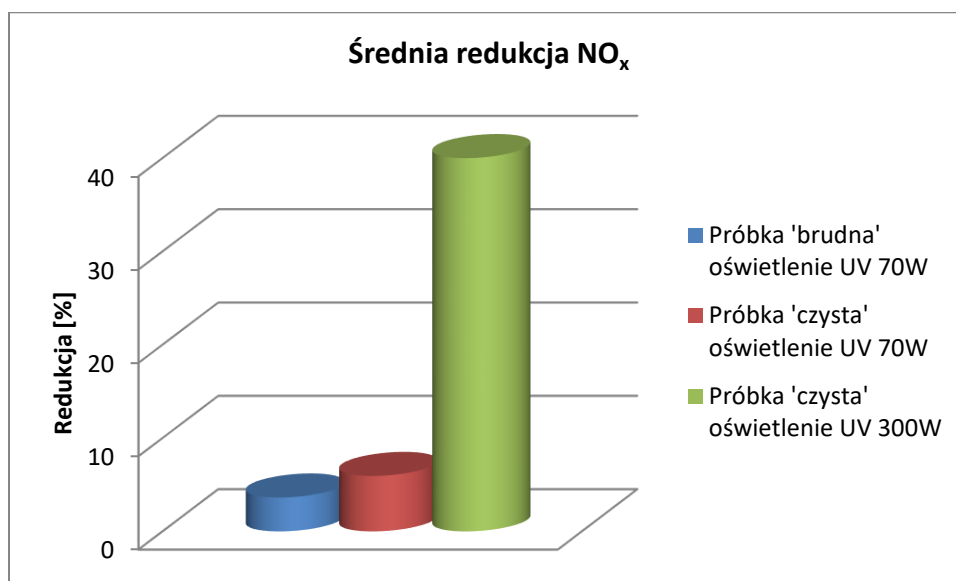
⁴ Góraźdze Cement

⁵ Polska Akademia Nauk, Instytut Geofizyki

⁶ Instytut Ceramiki i Materiałów Budowlanych

betonu fotokatalitycznego ma turbulentny charakter, co było podstawą opracowanego układu pomiarowego. Wyniki badań laboratoryjnych potwierdziły odpowiednią czułość aparatury, a także skuteczność fotokatalityczną próbek referencyjnych.

Drugim krokiem było określenie skuteczności technologii w czasie. W tym celu zostały pobrane próbki kostek z betonu fotokatalitycznego ze ścieżki rowerowej po 7 latach eksploatacji. Kostki zostały przebadane w warunkach laboratoryjnych przed umyciem i po umyciu ich powierzchni. Dodatkowo umyte kostki zostały zbadane przy oświetleniu źródłem światła UV 70 W i 300 W. Uzyskane wyniki potwierdziły, iż redukcja właściwości fotokatalitycznych betonu po okresie 7 lat była niewielka, a dominującym czynnikiem wpływającym na stopień redukcji NO_x była czystość powierzchni betonowej oraz natężenie promieniowania UV (rys. nr 3).



Rys. nr 3 – Wyniki redukcji tlenków azotu przez próbkę betonu fotokatalitycznego po 7 latach jego eksploatacji

Kolejnym etapem badań była analiza obrazowa próbek zaczynu i zaprawy przygotowanej z cementem z dodatkiem dwutlenku tytanu. W tym celu na Wydziale Inżynierii Lądowej Politechniki Warszawskiej zostały przygotowane próbki z cementu CEM II/A – S 42,5 R z nano-

¹ Politechnika Łódzka, Wydział Budownictwa Architektury i Inżynierii Środowiska, eng.hubert.witkowski@gmail.com

² Skanska CDE

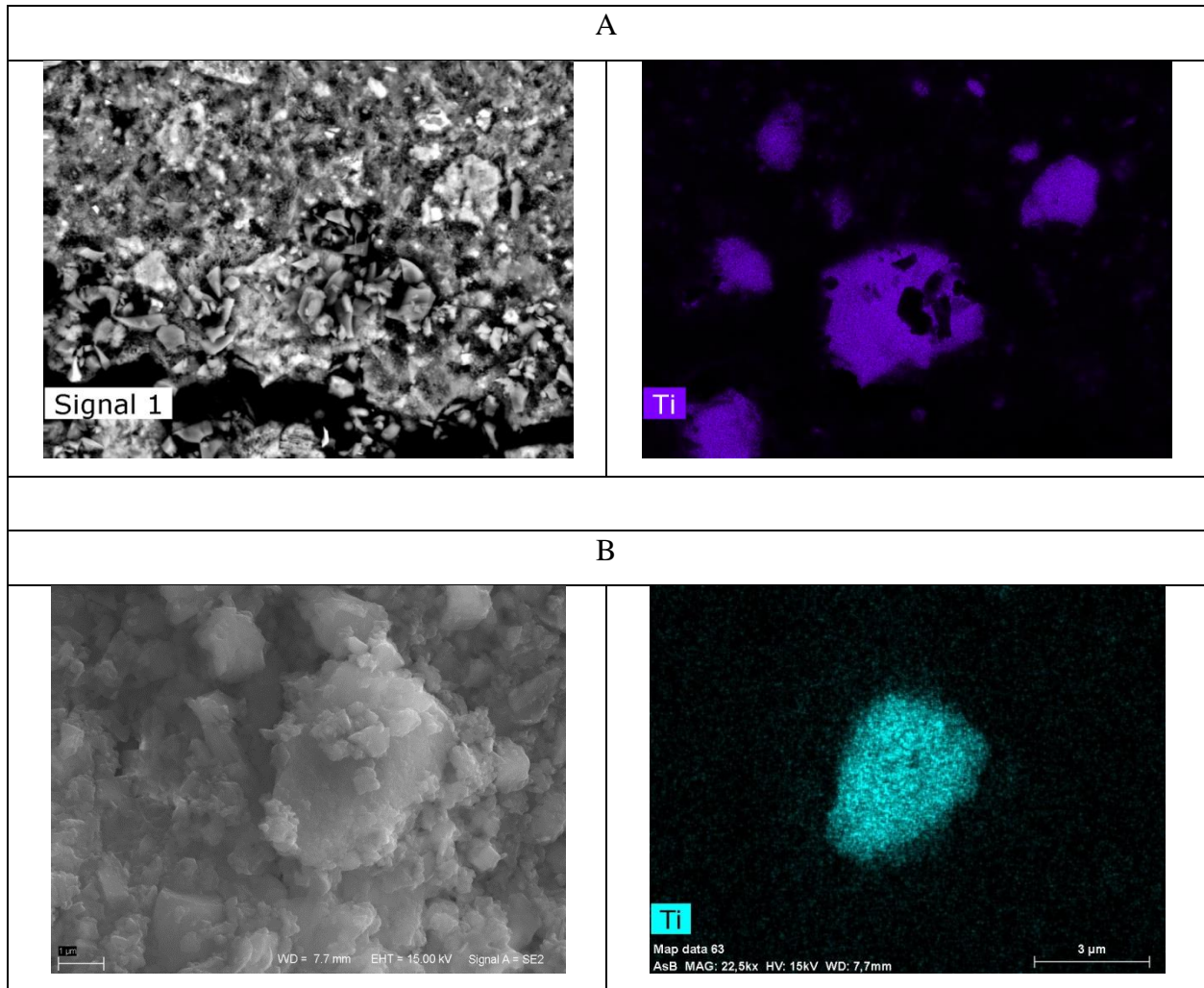
³ Politechnika Warszawska, Wydział Inżynierii Lądowej

⁴ Górażdże Cement

⁵ Polska Akademia Nauk, Instytut Geofizyki

⁶ Instytut Ceramiki i Materiałów Budowlanych

TiO₂, które następnie poddano analizie obrazowej pod mikroskopem skaningowym na Wydziale Geologii Uniwersytetu Warszawskiego w laboratorium nano fun. Uzyskane wyniki potwierdziły między innymi, iż nanometryczny dwutlenek tytanu rozkłada się równomiernie w przekroju próbki – na jej powierzchni, jak i w środku przekroju.



Rys. nr 4 – Wyniki badań SEM. Rozkład nanometrycznego TiO₂ w próbkach zaprawy: A – powierzchnia, B – środek przekroju próbki.

¹ Politechnika Łódzka, Wydział Budownictwa Architektury i Inżynierii Środowiska, eng.hubert.witkowski@gmail.com

² Skanska CDE

³ Politechnika Warszawska, Wydział Inżynierii Lądowej

⁴ Góraźdże Cement

⁵ Polska Akademia Nauk, Instytut Geofizyki

⁶ Instytut Ceramiki i Materiałów Budowlanych

Po wykonaniu powyższych badań przystąpiono do właściwego badania pilotażowego – pomiaru redukcji NO_x w warunkach in – situ. W tym celu w ramach przebudowy miejskiego ciągu pieszo – rowerowego, w uzgodnieniu z warszawskim ZDM, ułożono około 350 m² płyt chodnikowych o wymiarach 500 x 500 x 80 mm, w których wierzchnia warstwa ściernalna wykonana została w technologii TiOCem ®. Następnie zamontowano stację pomiarową Instytutu Geofizyki Polskiej Akademii Nauk, w której umieszczono aparaturę służącą do pomiaru stężenia NO_x. W badaniu wykorzystano analizatory API model 200. Pomiar wykonywany był około 50 cm nad chodnikiem. Takie ustawienie podyktowane było tym, iż niewielka odległość od powierzchni badanej próbki pozwala ze znacznie większym prawdopodobieństwem określić faktyczne przemiany zachodzące w wyniku procesu fotokatalizy przy powierzchni próbki.



Rys. nr 5 – Stacja pomiarowa podczas badań polowych

¹ Politechnika Łódzka, Wydział Budownictwa Architektury i Inżynierii Środowiska, eng.hubert.witkowski@gmail.com

² Skanska CDE

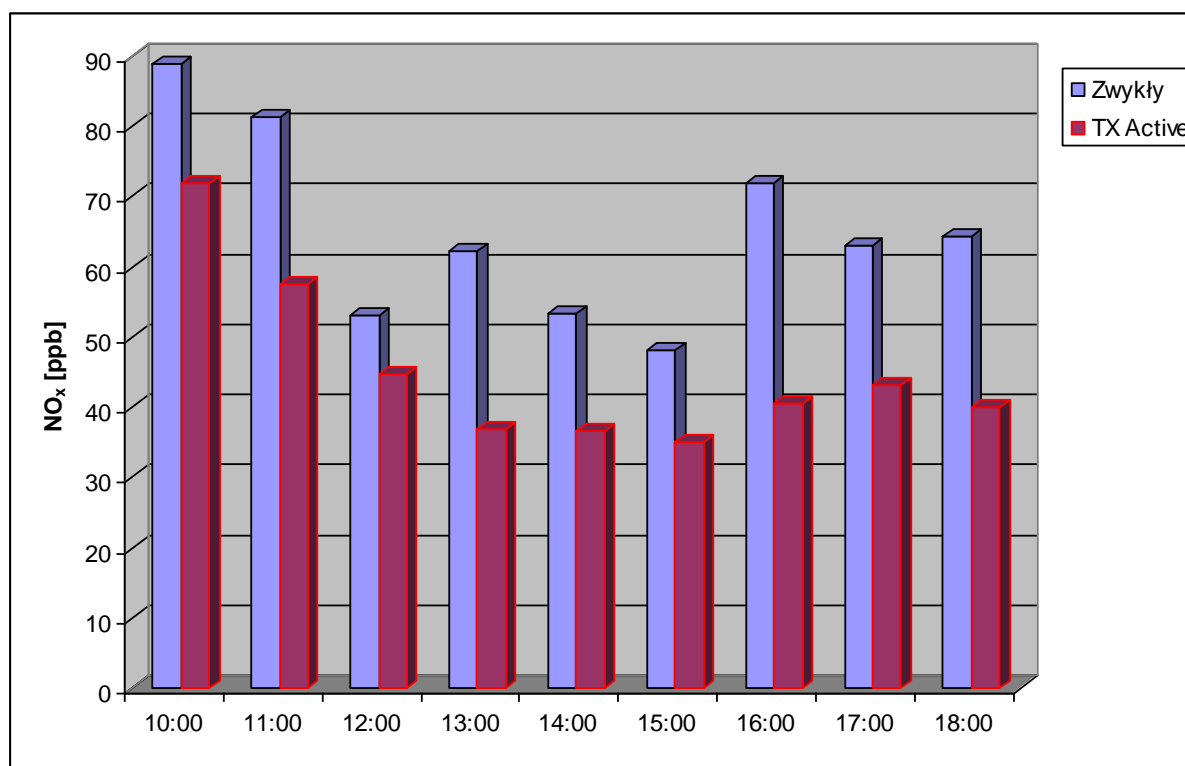
³ Politechnika Warszawska, Wydział Inżynierii Lądowej

⁴ Góraźdże Cement

⁵ Polska Akademia Nauk, Instytut Geofizyki

⁶ Instytut Ceramiki i Materiałów Budowlanych

Pomiary zaplanowano na okres kilku miesięcy (czerwiec – wrzesień), który cechował się zróżnicowanym natężeniem ruchu samochodowego w okolicach zlokalizowanej stacji pomiarowej celem kalibracji stacji i realizacji pomiarów w zróżnicowanych warunkach. We wrześniu, gdy natężenie ruchu samochodowego odpowiadało poziomowi utrzymującemu się przez większą część roku kalendarzowego, podczas ośmiogodzinnego stałego pomiaru stężenia NO_x nad chodnikiem wykonanym z betonu zwykłego i betonu wykonanego z cementu TiOCEM®, zaobserwowano różnicę stężeń tlenków azotu, która dla całego pomiaru wynosiła średni około 31%. Uzyskane wyniki badań przedstawiono na Rys. nr 6.



Rys. nr 6 – Pomierzona różnica stężeń NO_x przy rondzie Daszyńskiego nad powierzchnią chodnika wykonanego z betonu zwykłego i betonu w technologii TiOCEM®

¹ Politechnika Łódzka, Wydział Budownictwa Architektury i Inżynierii Środowiska, eng.hubert.witkowski@gmail.com

² Skanska CDE

³ Politechnika Warszawska, Wydział Inżynierii Lądowej

⁴ Góraźdże Cement

⁵ Polska Akademia Nauk, Instytut Geofizyki

⁶ Instytut Ceramiki i Materiałów Budowlanych

3. Podsumowanie badań i wnioski

Uzyskane wyniki badań laboratoryjnych i polowych dowiodły skuteczności betonów zawierających nanometryczny dwutlenek tytanu w redukcji stężenia NO_x. W toku badań został opracowany autorski układ pomiarowy pozwalający w warunkach laboratoryjnych zaobserwować różnice w stężeniu tlenków azotu dla betonów fotokatalitycznych pod wpływem promieniowania UV. Uzyskano wyniki zgodne z wynikami opisanymi w literaturze. Badania obrazowe z wykorzystaniem technologii SEM potwierdziły, iż nanometryczny dwutlenek tytanu rozkłada się równomiernie w objętości betonu, dzięki czemu nawet w przypadku uszkodzenia powierzchni elementu, beton nie traci swoich właściwości fotokatalitycznych. Osiągnięte wartości redukcji tlenków azotu w kampanii pomiarowej projektu pilotażowego przewyższyły wstępne założenia i były przyczynkiem do docelowej aplikacji tego rozwiązania na projekcie.

Literatura

- [1]. “Shaping the Future of Construction. A Breakthrough In Mindset and Technology”, World Economic Forum, May 2018.
- [2]. “Zrównoważone miasta. Życie w zdrowej atmosferze”, UN Global Compact, Network Poland, 2016.
- [3]. Artur Badyda, „Zagrożenia środowiskowe ze strony transportu”, Nauka 4/2010, s. 115 – 125.
- [4]. Jakub Krześkowiak, Aleksandra Michalak, Krystyna Pawlas, „Zanieczyszczenia powietrza we Wrocławiu i potencjalne zagrożenie dla zdrowia z tym związane” Medycyna Środowiskowa – EnvironmentalMedicine 2015, Vol. 18, No. 2, s. 66 – 73.
- [5]. Hubert Witkowski, Wioletta Jackiewicz – Rek, Karol Chilmon, „Ocena możliwości redukcji tlenków azotu przez beton fotokatalityczny”, Materiały Budowlane 07/2018, s. 58 – 60, DOI:10.15199/33.2018.07.18
- [6]. Hubert Witkowski, „Zrównoważone budownictwo w technologii betonu”, Budownictwo Technologie Architektura 3/2014, s.60 – 62.
- [7]. G.L. Guerrini, A. Beldens, M. Crispino, G. D’Ambarosio, S. Vismaro, “Environmental benefits of innovative photocatalytic cementitious road material”, 10th International Conference

¹ Politechnika Łódzka, Wydział Budownictwa Architektury i Inżynierii Środowiska, eng.hubert.witkowski@gmail.com

² Skanska CDE

³ Politechnika Warszawska, Wydział Inżynierii Lądowej

⁴ Górażdże Cement

⁵ Polska Akademia Nauk, Instytut Geofizyki

⁶ Instytut Ceramiki i Materiałów Budowlanych

on Concrete Pavement Quebec City, Quebec (2012), 8 – 12 July 2012

DOI:10.13140/2.1.4098.5920

[8]. E. Boonen, A. Beeldens, “Recent Photocatalytic Applications for Air Purification in Belgium”, *Coatings* 4 (2014) 553 – 573 DOI:10.3390/coatings4030553

[9]. G. L. Guerrini, “Photocatalytic performance in a city tunnel in Rome: NO_x monitoring results”, *Construction and Building Materials* 27 (2012) 165 – 175

DOI:0.1016/j.conbuildmat.2011.07.065

[10]. A. Fujishima, K. Honda, “Electrochemical Photolysis of Water at a Semiconductor Electrode”, *Nature* 238 (1972) 37 – 38

[11]. „Cement do walki ze smogiem”, *Budownictwo Monolityczne* 4/2012, 37

[12]. Roczna ocena jakości powietrza w województwie mazowieckim. Raport za rok 2016, Wojewódzki Inspektorat Ochrony Środowiska.

[13]. Roczna ocena jakości powietrza w województwie mazowieckim. Raport za rok 2017, Wojewódzki Inspektorat Ochrony Środowiska

[14]. UNI-11247:2010 Determinazione dell’ Indie di abbattimentofotocataliticodegliossidi di azoto In aria de parte di materialiinorganicifotocatalitici: metodo di prova In flusso continuo.

¹ Politechnika Łódzka, Wydział Budownictwa Architektury i Inżynierii Środowiska,
eng.hubert.witkowski@gmail.com

² Skanska CDE

³ Politechnika Warszawska, Wydział Inżynierii Lądowej

⁴ Górażdże Cement

⁵ Polska Akademia Nauk, Instytut Geofizyki

⁶ Instytut Ceramiki i Materiałów Budowlanych