

Rysunek 1. Beton z eksponowanym kruszywem fotoluminescencyjnym



Źródło: Archiwum autorów

Beton inny niż wszystkie

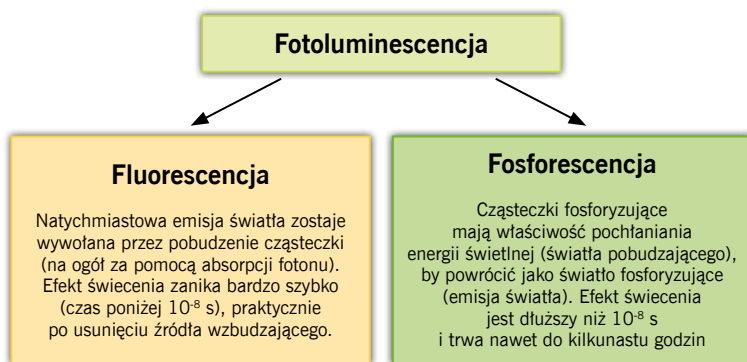
Beton nie zawsze spełnia wyłącznie funkcje nośne i założenia konstrukcyjne. Może także zachwycać wyglądem, i to nie tylko za dnia, ale również gdy robi się ciemno.

Mimo że na świecie pojawiło się już kilka realizacji przy użyciu betonu z aplikacjami wykonanymi z fotoluminescencyjnego kruszywa, to w naszych warunkach klimatycznych zastosowanie tego typu betonu nawierzchniowego przeznaczonego na chod-

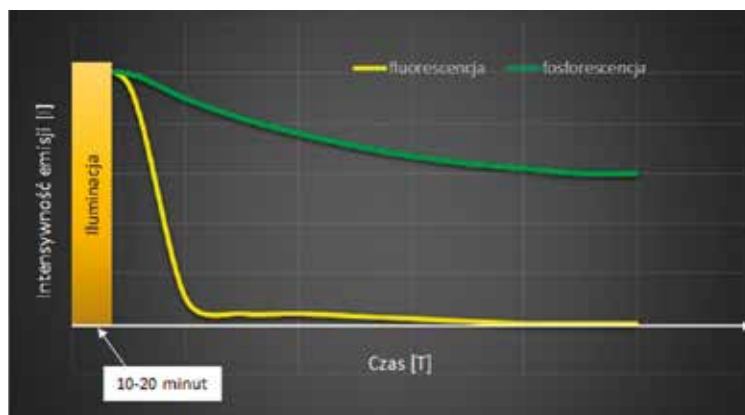
niki, ścieżki rowerowe, ciągi komunikacyjne czy nawet drogi o małym natężeniu ruchu powinno zostać poprzedzone badaniami trwałościowymi. Niniejszy artykuł poświęcono podsumowaniu prac badawczych trwających w Cemex Polska od ponad półtora roku.

1. Wstęp

Luminescencja – „zimne świecenie” – to emisja światła wskutek wzbudzenia czynnikiem zewnętrznym. Jest to proces, w wyniku którego cząsteczka oddaje energię wzbudzenia w postaci fotonu. Fotoluminescencja to odmiana luminescencji, w której czynnikiem wzbudzającym świecenie jest energia świetlna. Zjawisko to opiera się na wykorzystaniu zdolności substancji do pochłaniania energii świetlnej i następnie emitowania jej w postaci światła widzialnego w wyniku stopniowego „uwalniania” zmagazynowanej energii. Fotoluminescencję ze względu na czas trwania świecenia można podzielić na fluorescencję i fosforescencję. Fluorescencja zanika natychmiast, gdy zaniknie źródło wzbudzenia (iluminacji), podczas gdy fosforescencja trwa przez dłuższy czas, a jej intensywność zanika powoli (rys. 1).

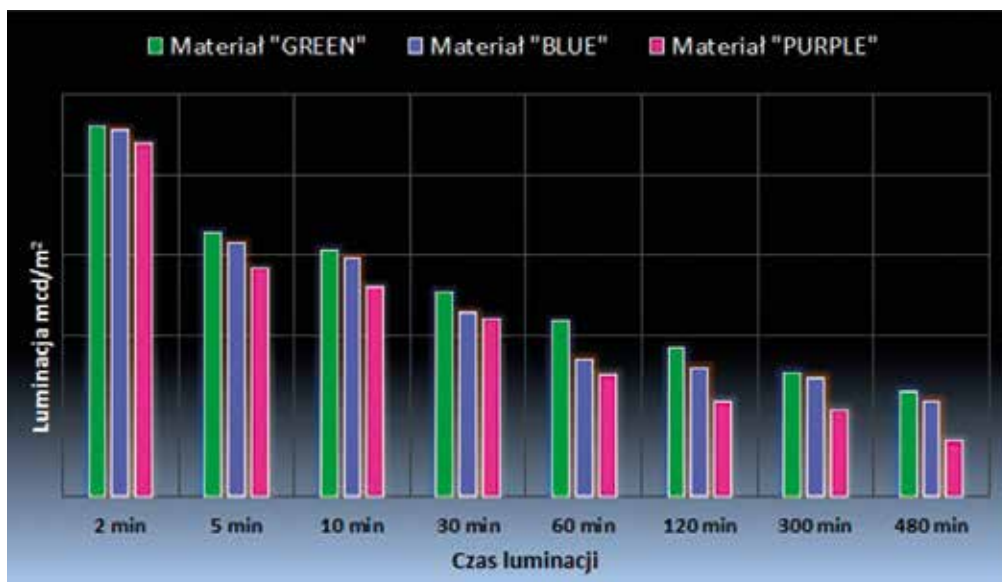


Rysunek 2. Intensywność świecenia w funkcji czasu dla zjawiska fluorescencji i fosforescencji [1]



2. Projekt

Producenci betonu w swoich laboratoriach badawczych prowadzą badania rozwojowe, aby sprostać coraz to większym wymaganiom konstruktorów i projektantów. Poświęcając setki godzin na próbach, sprawdzaniach i jeszcze raz na próbach, modelują kompozyt betonowy. Dzięki temu wprowadzane są nowe rozwiązania materiałowe oraz technologiczne. Nie inaczej było w laboratoriach Cemex Polska, kiedy to zdecydowano się na opracowanie najbardziej efektywnej i dodatkowo efektywnej technologii wykonania betonów nawierzchniowych z wyeksponowanym kruszywem fotoluminescencyjnym. W pierwszej fazie projektu kluczowy był wybór odpowiedniej jakości



Rysunek 3. Porównanie intensywności luminacji luminoforów o różnym składzie na podstawie danych producentów

kruszywa luminescencyjnego charakteryzującego się odpowiednimi cechami, m.in:

- długość i intensywność luminacji
- odpowiedni kształt i uziarnienie
- odporność na czynniki atmosferyczne.

2.1. Kruszywa fotoluminescencyjne

Luminofory, czyli substancje wykazujące się właściwościami fosforescencyjnymi są bezpieczne w użyciu, nietoksyczne i nieradioaktywne. Czas, w którym mogą efektywnie pracować bez straty swoich właściwości, to według różnych źródeł przeciętnie od 20 do 30 lat. Istnieją trzy podstawowe kolory materiałów luminoforów fotoluminescencyjnych: żółtozielony, niebieski i purpurowy. Różnią się one intensywnością świecenia w czasie [2].

Do dalszych prób zakwalifikowano kruszywa barwy zielonej i niebieskiej o wybranych właściwościach:

Tablica 1. Wybrane właściwości kruszyw luminescencyjnych według danych producentów

Materiał	Warstwowy złożony z żywic poliestrowych wraz z proszkiem fotoluminescencyjnym
Gęstość	2,0-2,1 t/m ³
Nasiąkliwość	0,0
Temperatura topnienia	185°C

2.2. Badania laboratoryjne

W początkowej fazie testów laboratoryjnych opracowano szereg receptur różniących się między sobą rodzajem i klasą wytrzymałości cementu, rodzajem, pochodzeniem i uziarnieniem kruszywa czy też rodzajem domieszek chemicznych. Wszystkie wykonane betony miały spełniać założenia projektowe według tablicy 2.

W przypadku odporności na zamrażanie i odmrażanie w obecności soli odładzających opracowano metodę własną w taki sposób, aby badaniu poddać powierzchnię próbki z wyeksponowanym kruszywem fotoluminescencyjnym. Wyniki badań wytypowanych rozwiązań przedstawiono w tablicy 3.

2.3. Badania polowe – wykonanie odcinka próbnego

Po wyborze najbardziej optymalnych rozwiązań laboratoryjnych zdecydowano się na wykonanie

odcinka próbnego, którym był chodnik o długości około 40 mb. Lokalizację chodnika wyznaczono w taki sposób, aby był on narażony na działanie warunków atmosferycznych, podlegał okresowo użytkowaniu przez pojazdy mechaniczne, był narażony na ścierania oraz oczywiście w trakcie zimy były na nim stosowane środki odładzające.

Chodnik został podzielony na kilka sekcji mających na celu sprawdzenie:

- różnych rodzajów kruszywa fotoluminescencyjnego
- różnych kolorów wybarwienia matrycy cementowej
- różnych parametrów mieszanki betonowej (konsystencja, zawartość powietrza)
- różnych technologii zagęszczania i obróbki powierzchni.

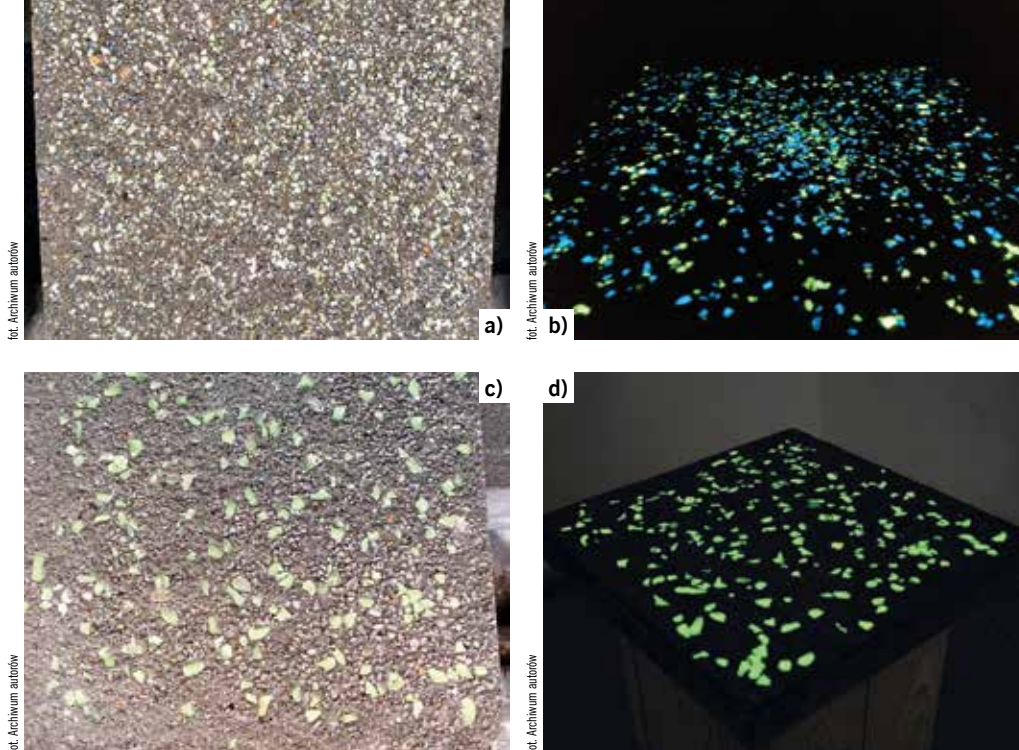
Tablica 2. Założone wymagania dla mieszanki betonowej i betonu

Właściwości	Wymagania	Metoda badania
Klasa konsystencji	S3	PN-EN 12350-2
Wymagana zawartość powietrza w mieszance betonowej	6,5% +/- 1,0%	PN-EN 12350-7
Klasa wytrzymałości na ściskanie wg PN-EN 206, nie niższa niż:	C30/37	PN-EN 12390-3
Wytrzymałość betonu na rozciąganie przy rozłupywaniu nie niższa niż:	3,0 MPa	PN-EN 12390-6
Mrozoodporność F150, przy badaniu odporności betonu na działanie mrozu <ul style="list-style-type: none"> • ubytek masy próbki, nie więcej niż: • spadek wytrzymałości na ściskanie, nie więcej niż: 	5% 2%	PN-B-06265
Kategoria mrozoodporności wg PN-EN 13877-2 – odporność na zamrażanie i odmrażanie w obecności soli odładzających	FT2	metoda własna oparta na PKN-CEN/TS EN 12390-9

Tablica 3. Wyniki badań odporności na zamrażanie i odmrażanie w obecności soli odładzających dwóch betonów z różnymi rodzajami kruszyw (A i B)

Opis próbek	Odporność na zamrażanie i odmrażanie w obecności 3% roztworu NaCl		
	Wielkość ztuzzczenia po 56 cyklach [kg/m ²]	Stopień ubytku	Klasyfikacja
Beton z eksponowanym kruszywem luminescencyjnym (A)	0,52	1,45	FT2
Beton z eksponowanym kruszywem luminescencyjnym (B)	0,45	2,8	FT1

Rysunek 4. Płyty betonu z kruszywem fotoluminescencyjnym przygotowane do wycięcia próbek do badań mrozoodporności powierzchniowej
a i b – próbka z kruszywem A
c i d – próbka z kruszywem B



Wyniki badań mieszanki betonowej i betonu stwardniałego z wykonywanego odcinka zestawiono w tablicy 5.

Po niespełna pół roku eksploatacji z chodnika zostały pobrane odwierty do oceny powierzchni betonu z fo-

toluminescencyjną aplikacją. Wyniki badań odporności na zamrażanie i odmrażanie w obecności soli odladzających okazały się nawet lepsze od wyników badań laboratoryjnych. Badanie mrozoodporności w 3% roztworze NaCl potwierdziło założenia projektowe oraz nie wykazało negatywnego wpływu na samo kruszywo pod względem mechanicznym, jak i przyczepności do matrycy cementowej (tablica 6). Stan odcinka próbnego jest przez cały czas monitorowany. Z ustaloną częstotliwością są wykonywane przeglądy nawierzchni i sprawdzana jest powierzchnia pod kątem ewentualnych destrukcji fotoluminescencyjnego agregatu oraz jego intensywności. „Świecący” chodnik przetrwał z powodzeniem już jedną zimę i wydaje się „Iśnić” intensywniej i cięszycy oczy wykonawców i użytkowników, zapewniając jednocześnie bezpieczeństwo.

Podczas planowania projektu wykonania nawierzchni betonowej z zastosowaniem kruszywa fotoluminescencyjnego zespół prowadzący badania za główny cel postawił sobie sprawdzenie trwałości wykonanej nawierzchni. Obecny stan nawierzchni pozwala na postawienie tezy, że założony cel został wykonany.

3. Podsumowanie

Dekoracyjny świecący beton to kolejne zastosowanie betonu i kreacji myśli twórczej projektantów i architektów. Może być także materiałem pozwalającym na oszczędność energii, przyczyniającym się jednocześnie do podniesienia bezpieczeństwa.

Rysunek 5. Pilotażowy odcinek za dnia (a) i w nocy (b)



Tablica 5. Wyniki badań próbek pobranych podczas betonowania

Badana cecha	Wyniki badań	
	Receptura 1	Receptura 2
Opad stożka	130 mm (S3)	140 mm (S3)
Zawartość powietrza	7,0%	5,9%
Wytrzymałość na ściskanie	45,5 MPa	52,0 MPa
Wytrzymałość na rozłupywanie	6,2 MPa	5,0 MPa
Mrozoodporność	F150	F150
• ubytek masy %	0,44	0,51
• spadek wytrzymałości %	-4,74	2,35

Tablica 6. Wyniki badań przeprowadzonych na próbkach rdzeniowych wyciętych z konstrukcji

Opis próbek	Odporność na zamrażanie i odmrażanie w obecności 3% roztworu NaCl		
	Wielkość zruszczenia po 56 cyklach [kg/m ²]	Stopień ubytku	Klasyfikacja
Beton receptura 1 / kruszywo A	0,05	1,87	FT2
Beton receptura 2 / kruszywo A	0,04	1,48	FT2
Beton receptura 1 / kruszywo B	0,05	1,42	FT2
Beton receptura 2 / kruszywo B	0,06	1,89	FT2



4. Epilog

Bardzo ciekawe i nowatorskie rozwiązanie dwóch nowych technologii znaleźli i zastosowali inżynierowie CEMEX z Francji i zespołu R&D CEMEX Global [9,10]. Otóż na jednej z ciemnych uliczek w L'Hay-les-Roses zastosowano specjalny produkt „woda i światło”, będący połączeniem jamistego betonu nawierzchniowego z inkluzjami z fotoluminescencyjnego kruszywa.

Piotr Górak, Bartosz Rewera

CEMEX Polska Sp. z o.o.

Rozwój i wdrażanie technologii materiałów budowlanych CEMEX należą do globalnej sieci współpracy między krajami w zakresie badań i rozwoju, którą kieruje Centrum Badań CEMEX z siedzibą w Szwajcarii.

© 2018 CEMEX Research Group AG. Wszystkie prawa zastrzeżone.

foto: Archiwum autorów



Literatura:

- 1 <https://chemia.biol-chem.uwb.edu.pl>
- 2 <http://www.matint.pl/>
- 3 Jabłoński A., *Efficiency of Anti-Stokes Fluorescence in Dyes*, Nature, vol. 131, 1933, Pluciński T., *Doświadczenia chemiczne*, Wydawnictwo Adamantan, Warszawa 1997.
- 4 Linerta W., Fukudab Y., Camarda A., *Chromotropism of coordination compounds and its applications in solution*, Coordination Chemistry Reviews, 218, 2001
- 5 Przibram K., *Fluorescence of Fluorite and the Bivalent Europium Ion*, Nature, 135, 1935, Valeur B., Berberan-Santos M. R. N., *A Brief History of Fluorescence and Phosphorescence before the Emergence of Quantum Theory*, Journal of Chemical Education, 88 (6), 2011, str. 731-738
- 6 <https://chemia.biol-chem.uwb.edu.pl>
- 7 <http://www.mphotoluminescent.com/>
- 8 <https://ambientglowtechnology.com/>
- 9 <https://www.cemex.fr>
- 10 www.leparisien.fr/
- 11 PN-EN 206+A1:2016-16 Beton. Wymagania, właściwości, produkcja i zgodność.
- 12 PN-B 06265:2018-10. Beton – Wymagania, właściwości, produkcja i zgodność – Krajowe uzupełnienie PN-EN 206+A1:2016-12
- 13 PN-EN 12350-1.2011 Badanie mieszanki betonowej – Część 1: Pobieranie próbek.
- 14 PN-EN 12350-2.2011 Badanie mieszanki betonowej – Część 2: Badanie konsystencji metodą opadu stożka.
- 15 PN-EN 12350-7.2011 Badanie mieszanki betonowej – Część 7: Badanie zawartości powietrza – Metody ciśnieniowe.
- 16 PN-EN 12350-6.2011 Badanie mieszanki betonowej – Część 6: Gęstość.
- 17 PN-EN 12390-2.2011 Badania betonu – Część 2: Wykonywanie i pielęgnacja próbek do badań wytrzymałościowych.
- 18 PN-EN 12390-3.2011 Badania betonu – Część 3: Wytrzymałość na ścislenie próbek do badania.
- 19 PKN_CEN_TS_12390_9_2007_U Testing hardened concrete – Part 9 Freeze-thaw resistance – Scaling

Rysunek 6. Chodnik „woda i światło” [9]



CENTRUM TECHNOLOGICZNE BUDOWNICTWA INSTYTUT BADAŃ I CERTYFIKACJI

Akredytowane laboratorium badawcze - AB 535
Jednostka notyfikowana - NB 2039
Jednostka certyfikująca wyroby - AC 205



ul. Przemysłowa 23
35-105 Rzeszów



+48 17 864 04 50



ctb@ctb-ibc.pl

www.ctb-ibc.pl

Oferta:

certyfikacja zakładowej kontroli produkcji betonu towarowego
badania wstępne betonu towarowego
kompleksowa obsługa laboratoryjna producenta betonu towarowego
kompleksowa obsługa laboratoryjna producenta kruszyw
badania typu wyrobów budowlanych, w tym liniowych elementów odwodnień
obsługa laboratoryjna wykonawcy robót i nadzoru
ekspertyzy i opinie budowlane
szkolenia otwarte w zakresie budownictwa