

Elementy wyposażenia nawierzchni drogowych z oznakowaniem fotoluminescencyjnym

Dr hab. inż. Maria Kaszyńska, prof. ZUT, mgr inż. Szymon Skibicki,
dr inż. Adam Zieliński, mgr inż. Mateusz Techman, mgr inż. Norbert Olczyk,
Zachodniopomorski Uniwersytet Technologiczny w Szczecinie,
Dawid Szymkowiak, mgr inż. arch. Marcin Hamerski, firma MAHSTONE

1. Wprowadzenie

Obecnie w przestrzeni publicznej stosuje się dużo oznaczeń i elementów mających na celu zapewnienie użytkownikom bezpieczeństwa, usprawnienie komunikacji, przekazanie informacji i uczynienie otoczenia przyjaznym i funkcjonalnym [1]–[3]. Wspomniane oznaczenia i elementy stosowane są w trosce o wszystkich użytkowników przestrzeni publicznej: kierowców, rowerzystów, motocyklistów, pieszych, osoby niepełnosprawne, dzieci i osoby starsze. Większość oznaczeń bazuje na komunikacji wizualnej. Po zmroku jej skuteczność spada, jeśli nie zostanie wsparta instalacjami elektrycznymi. Takie rozwiązania zwiększają koszty realizacji i późniejszego utrzymania inwestycji.

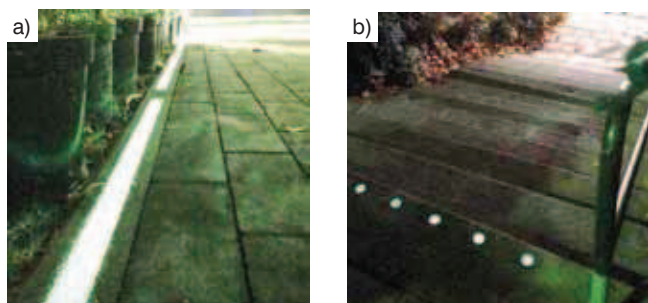
Interesującym rozwiązaniem eliminującym zastosowanie kosztownej energii elektrycznej jest zastosowanie pigmentów fotoluminescencyjnych zespolonych z elementami nawierzchni drogowej. Takie pigmenty po kilku godzinach naświetlania światłem słonecznym mogą emitować światło nawet przez kilkanaście godzin. Powoduje to, że oznakowanie nawierzchni drogowej jest widoczne po zmroku. Dodatkowo elementy nawierzchni drogowej, takie jak krawężniki, kostka drogowa mogą być produkowane z pigmentem fluorescencyjnym jako prefabrykat, co nie zmienia warunków montażu w stosunku do tradycyjnych rozwiązań. Dzięki zastosowaniu odpowiednich żywic do zespalania pigmentu fluorescencyjnego z prefabrykatem betonowym cały element jest odporny na warunki

atmosferyczne. Stosowanie takich systemów zwiększa bezpieczeństwo w przestrzeni publicznej bez konieczności wykorzystania energii elektrycznej. Przykładowe realizacje firmy MAHSTONE przedstawiono na rysunku 1.

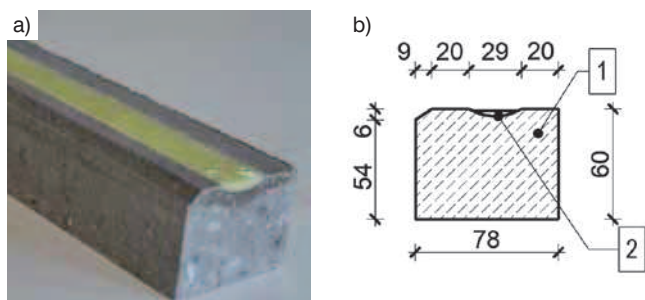
2. Świecące krawężniki i znaki

Wkomponowanie różnych kształtów oznaczeń wykonanych z pigmentu fotoluminescencyjnego w elementach betonowych z wyglądu imituje zastosowanie oświetlenia LED. Pigment fotoluminescencyjny emituje światło z całej swojej powierzchni, co w przypadku prostego odcinka przypomina seledynową świetlówkę wtopioną w betonowy element. Dzięki zastosowaniu różnych dostępnych barw pigmentu: zielony, żółtozielony, niebieski można projektować i wykonywać kilkukolorowe oznaczenia drogowe. Takie rozwiązanie nie potrzebuje elektrycznego zasilania czy specjalnego serwisu, tylko wykorzystuje naturalne promieniowanie słoneczne. Może ono być skuteczne i służące poprawie bezpieczeństwa pieszych, rowerzystów oraz kierowców. Pigment wraz z zabezpieczającą warstwą żywiczną można zespolić z dowolnym elementem nawierzchni drogowej, takim jak krawężnik, kostka brukowa itp. Rozwiązanie tego typu może wyznaczać drogę, miejsce postojowe lub krawędź peronu. Może też ostrzegać przed progami zwalniającym czy schodami. Elementy fotoluminescencyjne mogą informować np. o zmianie szerokości chodnika albo lokalizacji podjazdu dla wózków. Najlepiej sprawdzają się tam, gdzie po zmroku nie ma infrastruktury świetlnej, np. w parkowych alejkach, na trasach rowerowych wiodących przez las, na chodnikach i skrzyżowaniach bez ulicznych latarni. Przykładem tego typu rozwiązań są np. świecące krawężniki MAHSTONE (rys. 2).

Krawężnik MAHSTONE składa się z betonowego prefabrykatu, w którego wgłębieniu jest pigment luminescencyjny, połączony z prefabrykatem za pomocą żywicy. Żywica została tak dobrana, żeby spełnić wymogi trwałości oraz aby cena produktu była optymalna. Produkt został już zastosowany w praktyce nie tylko przy inwestycjach typowo drogowych (m.in. na przebudowanym rondzie w Stargardzie), ale także

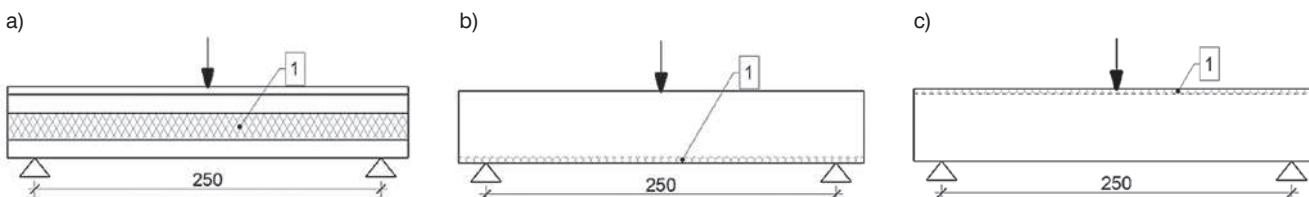


Rys. 1. Realizacje przy użyciu krawężników MAHSTONE

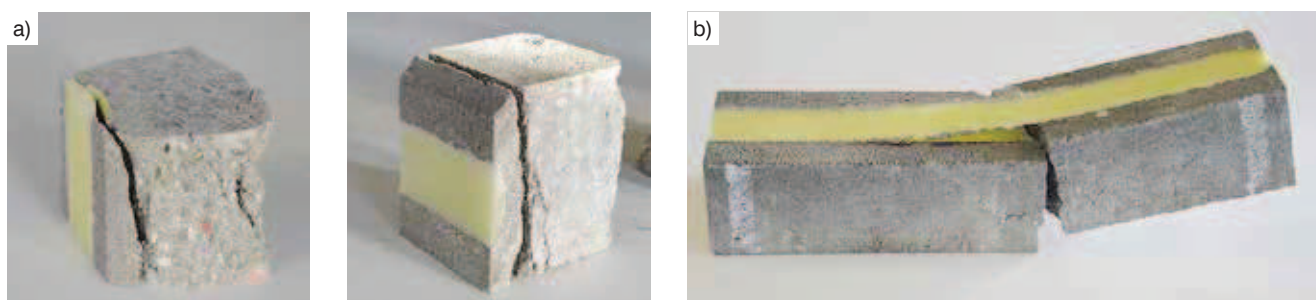


Rys. 2. Krawężnik MAHSTONE: a) widok, b) przekrój (1 – krawężnik betonowy, 2 – pigment fotoluminescencyjny)

W przypadku pierwszym i drugim żywica nie uległa zniszczeniu, a jedynie odspojeniu od konstrukcji. Rozwarstwienie nastąpiło w momencie zniszczenia przekroju betonowego. W przypadku trzecim żywica zniszczyła się w sposób kruchy w momencie przekroczenia nośności zginanego elementu betonowego. Średnia wytrzymałość na rozciąganie przy zginaniu badanego krawężnika to $f_t = 8,52$ MPa (CoV=3,24%). Zdjęcie zniszczonego elementu przedstawiono na rysunku 4b. Badania wykazały, że wytrzymałość żywicy zarówno przy zginaniu, jak i ściskaniu krawężnika jest wystarczająca i nie ulegnie ona zniszczeniu szybciej niż sama konstrukcja betono-



Rys. 3. Badanie wytrzymałości na zginanie – schematy obciążeń (1 – pigment fotoluminescencyjny)



Rys. 4. Elementy po badaniach niszczących: a) badanie na ściskaniu, b) badanie na zginaniu

przy oznakowaniu miejsc przeznaczonych dla pieszych (np. oznakowanie krawędzi schodów dla osób słabowidzących w Karlskoga (Szwecja).

3. Badania wytrzymałościowe elementów z pigmentem fotoluminescencyjnym na żywicy

Aby ocenić wpływ pigmentu fotoluminescencyjnego na właściwości elementów betonowych, przeprowadzono badanie fragmentu prefabrykowanego krawężnika drogowego na ściskanie i rozciąganie przy zginaniu. W badaniu na ściskanie wycięto z krawężnika elementy o długości 6 cm, co dało powierzchnię obciążenia równą 6×5,4 cm, a wysokość próbki w tym położeniu wynosiła 8 cm. Uzyskano średnią wytrzymałość na ściskanie $f_c = 65$ MPa (CoV = 0,8%). Po wykonaniu badania żywica nie uległa odspojeniu od betonu.

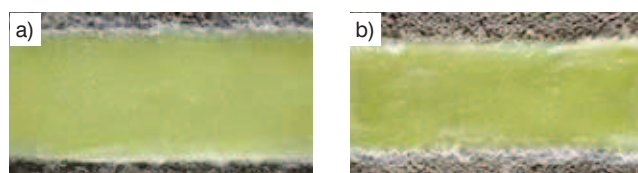
Badanie wytrzymałości na rozciąganie przy zginaniu wykonano w 3 wariantach (rys. 3):

- gdy żywica była zlokalizowana na bocznej ścianie prefabrykatu (rys. 3a),
- gdy żywica była po stronie rozciąganej (rys. 3b),
- po stronie ściskanej (rys. 3c).

wego krawężnika. W żadnym badaniu/wariacie nie doszło do uszkodzenia żywicy przed zniszczeniem elementu betonowego.

4. Badania trwałości pigmentu na żywicy luminescencyjnej

Jednym z ważniejszych zagadnień dotyczących elementów betonowych wystawionych na warunki atmosferyczne jest ich trwałość i żywotność. Elementy takie jak krawężniki, chodniki czy ścieżki rowerowe narażone są na różne czynniki atmosferyczne, przede wszystkim zmiany temperatury i opady atmosferyczne. Szczególnie niebezpieczne dla trwałości takich elementów wydają się być ujemne temperatury. W celu sprawdzenia trwałości elementów z żywicą fluorescencyjną fragmenty krawężnika poddano badaniu mrozoodporności zgodnie z normą



Rys. 5. Elementy betonowe: a) przed badaniem mrozoodporności, b) po jej badaniu

PN-B/88-06250, przyjmując 200 cykli zamrażania i odmrażania. Po zakończeniu badania próbki zostały poddane wizualnej ocenie zniszczenia. Żadna z badanych próbek nie wykazywała spękań czy rozerwania strefy kontaktowej żywicy z betonem (rys. 5). Wskazuje to na wysoką trwałość elementów.

5. Zalety i wady technologii

Do głównych zalet stosowania krawężników z żywicą luminescencyjną można zaliczyć to, że wraz ze spadkiem widoczności, zwłaszcza po zmroku, znak fotoluminescencyjny emituje własne światło – w momencie spadku czujności ludzi wzmacnia się skierowany do nich przekaz wizualny. Przekłada się to znacząco na funkcjonowanie i bezpieczeństwo ludzi, przebywających w otoczeniu znaków, np. pieszych, rowerzystów, osób niepełnosprawnych, kierowców. Tym samym zwiększa się poczucie bezpieczeństwa konsumentów. Po ponad 6 godzinach od momentu zapadnięcia zmroku znaki wciąż świecą (spadek ich luminescencji względnej wynosi po tym czasie około 60%), np. oznakowane nimi przejście dla pieszych może być widoczne z odległości nawet kilkuset metrów. Dodatkowo na drodze, późną nocą, komponent fotoluminescencyjny jest doświetlany chwilowo przez światła przejeżdżających pojazdów, w wyniku czego znak ten oddaje światło po naświetleniu. Prefabrykaty tego typu spełniają funkcję informacyjną, ostrzegawczą, nakazu, zakazu lub dekoracyjną bez użycia energii elektrycznej – generowane są duże oszczędności zarówno na etapie inwestycyjnym (tzn. właściciel nie ponosi kosztów uzgadniania, projektowania i budowania dodatkowych instalacji elektrycznych oraz zabezpieczenia ich przed dostępem osób niepowołanych, np. złodziei), jak i w trakcie eksploatacji (właściciel prefabrykatu nie ponosi kosztów za energię elektryczną, za którą musiałby zapłacić w przypadku tradycyjnie podświetlanych znaków). Znaki fotoluminescencyjne są niezawodne – nie zaprzestają działać w przypadku braku prądu, zwarcia lub przecięcia kabla. Kluczem do ich niezawodności jest głównie trwałość ich wykonania. Element może pełnić swoją funkcję ciągle przez wiele lat. Obecnie zainstalowane prefabrykaty fotoluminescencyjne działają bez usterek od 2014 roku.

Prefabrykat ze znakiem luminescencyjnym jest rozwiązaniem proekologicznym, jest energooszczędny (ogranicza lub eliminuje zużycie energii elektrycznej wymaganej w przypadku zmroku); zastępuje farby nakładane tradycyjnie na budowie, tym samym eliminując emisję składników farb do środowiska. Pigment luminescencyjny ma dużą trwałość, nie ma konieczności odnawiania znaków, co w przypadku stosowania tradycyjnych farb należy czynić średnio co pół roku.

Zastosowanie technologii to także oszczędność czasu przy

budowie powierzchni utwardzonych, takich jak: drogi, chodniki, parkingi czy schody. W przypadku tradycyjnego malowania czy naklejania znaków na powierzchniach zewnętrznych konieczne jest najpierw przygotowanie tej powierzchni (oczyszczenie, odtłuszczenie) oraz późniejsze jej zabezpieczenie na czas wyschnięcia oznakowania. Czynności te są bardzo czasochłonne. Ponadto czynności te mogą ulec przedłużeniu wskutek niesprzyjających warunków pogodowych. Prefabrykaty natomiast są gotowe do użytkowania zaraz po montażu, a sam ich montaż trwa tyle samo czasu, co montaż tradycyjnych elementów bez oznakowania. Zgodnie z powyższym można przyjąć, iż czas na wykonanie oznakowania jest zerowy. Ma to ogromne znaczenie, zwłaszcza w sytuacjach, gdy montaż prefabrykatów będzie dotyczył ciągów komunikacyjnych, gdzie ważne jest, aby czas realizacji był możliwie jak najkrótszy, choćby ze względu na np. funkcjonowanie miasta. Ciągłe minusem rozwiązania pozostaje jednak cena jednostkowa krawężnika, która jest wyższa niż rozwiązanie standardowe. Rzadko przy rozpisywaniu projektów na zagospodarowanie terenu przy użyciu elementów nawierzchniowych bierze się pod uwagę zastosowanie tego typu technologii. W kontekście zrezygnowania z dodatkowego oświetlenia, system ze znakiem luminescencyjnym jest korzystniejszy ekonomicznie, jednak takie podejście wymaga rozważenia tej technologii na etapie projektowania.

6. Podsumowanie

Zastosowanie krawężników i innych elementów nawierzchni drogowej z pigmentem luminescencyjnym na żywicy zwiększa bezpieczeństwo w przestrzeni publicznej bez konieczności wykorzystania energii elektrycznej. Dzięki swojej luminescencyjności może działać jako znak ostrzegawczy lub informacyjny. Jest tym samym rozwiązaniem proekologicznym i bezobsługowym. W przedstawianych w artykule badaniach nie doszło do zniszczenia lub uszkodzenia żywicy przed zniszczeniem elementu betonowego. Jest to potwierdzeniem tego, że stosowany system zespolenia żywicy z prefabrykatem betonowym jest rozwiązaniem zapewniającym odpowiednie parametry mechaniczne i trwałość.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Dobrzański M., Europejskie normy dotyczące drobnomiarowych elementów nawierzchni drogowych z betonu i ceramiki, *Materiały Budowlane* 12/2004
- [2] Łój G., Banalna rzecz – krawężnik? *Budownictwo, Technologie, Architektura* 3/2008
- [3] Wrzesińska J., Elementy betonowe w budownictwie drogowym a specyfikacje techniczne i wymagania GDDKiA, *Magazyn Autostrady* 4/2011

**Za publikację w miesięczniku „Przegląd Budowlany”
uzyskuje się 5 punktów**

zgodnie z komunikatem MNiSW z dnia 23.12.2015 roku, wykaz B, pozycja 1381.