

Inteligentne bionanomateriały w betonach samonaprawiających

Streszczenie

Powstawanie spękań w kompozytach cementowych stanowi istotną wadą tych materiałów. Sieć pęknięć wewnątrz matrycy cementowej oraz na powierzchni materiału może prowadzić do obniżenia trwałości konstrukcji. Istnieje wiele metod naprawy uszkodzonych struktur materiałów cementowych, jednak ich stosowanie wiąże się z wysokimi kosztami ekonomicznymi i ekologicznymi. Metody te są często czasochłonne i kosztowne, a ich wdrażanie może negatywnie oddziaływać na środowisko. Z tego względu stale poszukuje się rozwiązań, które jednocześnie ograniczają powstawanie spękań i upraszczają mechanizm ich naprawy. Koncepcją umożliwiającą projektowanie takich kompozytów cementowych są samonaprawiające zaprawy i betony, których idea opiera się na samoczynnej regeneracji uszkodzeń bez konieczności interwencji zewnętrznej. Jednym z rozwiązań proponowanych w ramach mechanizmów samonaprawiających jest mikrobiologiczne wytrącanie węglanów uszczelniających powstające uszkodzenia.

Problemem naukowym pracy jest ocena zdolności zaleczania spękań w kompozytach cementowych za pomocą biologicznych środków naprawczych, opracowanych na bazie ureolitycznego szczepu bakterii *Bacillus subtilis*, składników odżywczych oraz prekursorów reakcji wytrącania. W skład środków naprawczych, oprócz wybranego szczepu bakterii, wchodziły różne związki wapnia i magnezu, pełniące rolę prekursorów wytrącania, a także cztery materiały służące jako nośniki mikroorganizmów w matrycy cementowej: diatomit, haloizyt, zeolit NaP1 oraz zeolit NaX.

W części teoretycznej omówiono zjawisko mikrobiologicznego wytrącania węglanów, czynniki wpływające na przebieg procesu oraz wpływ środowiska matrycy cementowej na aktywność metaboliczną bakterii. Przeanalizowano również samonaprawiające się zaprawy i betony oraz aktualny stan wiedzy na temat implementacji metody indukowanego biologicznie wytrącania węglanów w tych materiałach.

W części badawczej zbadano wpływ poszczególnych składników środków naprawczych na skuteczność tworzenia osadów naprawczych, zarówno w warunkach ściśle kontrolowanych, jak i w środowisku kompozytu cementowego. Oceniono również zdolność samonaprawy zapraw i betonów zawierających biologiczne środki naprawcze, przygotowane przez impregnację nośników.

Przeprowadzone badania umożliwiły scharakteryzowanie produktów procesu naprawy, które były ilościowo oraz jakościowo zależne od obecności składników środków naprawczych

oraz warunków środowiska, w którym zachodził proces. Mimo potwierdzonej aktywności bakterii i wytrącania węglanów poprzez mikrobiologiczne indukowanie, szczegółowe analizy wykazały, że znaczny udział w powstawaniu osadów naprawczych mają procesy abiotyczne, czyli przebiegające bez udziału mikroorganizmów. Analiza zdolności samonaprawy zapraw i betonów wykazała skuteczność uszczelniania mikrospeków wewnątrz matrycy oraz powierzchniowych speków o szerokości około 0,3 mm. Skuteczność naprawy zależała od składników środków naprawczych, a także od warunków pielęgnacji próbek w trakcie leczenia. Uszczelnianie speków wewnętrznych było efektywniejsze przy pielęgnacji próbek w wodzie, natomiast w przypadku większych speków powierzchniowych – w roztworze prekursorów wytrącania.

Przeprowadzone analizy, poparte statystyczną weryfikacją wpływu badanych zmiennych na proces, potwierdziły potencjał stosowania opracowanych środków naprawczych w samonaprawiających zaprawach i betonach, jednocześnie podkreślając znaczenie odpowiedniego doboru prekursorów wytrącania oraz nośników dla mikroorganizmów.