

Wybrane badania zapraw żywicznych

Dr inż. Małgorzata Lenart, Politechnika Krakowska

1. Wprowadzenie

Współcześnie najpowszechniej stosowanym materiałem konstrukcyjnym jest beton cementowy. Ma on jednak swoje wady, wśród których można wyliczyć:

- niską wytrzymałość na rozciąganie w odniesieniu do wytrzymałości na ściskanie,
- słabą przyczepność nowego betonu do istniejącego podłoża,
- stosunkowo duży skurcz,
- sezonowość prowadzenia prac betonowych,

Cechy te są szczególnie istotne w przypadku prowadzenia napraw czy też remontów istniejących obiektów. Częściowym rozwiązaniem niektórych z powyższych problemów jest zastosowanie betonów modyfikowanych polimerami [1, 2, 3] lub betonu żywicznego [4, 5].

Betony i zaprawy żywiczne są materiałami bezcementowymi, w których rolę spoiwa spełnia żywica (matryca kompozytu). W stosunku do betonów cementowych, betony i zaprawy żywiczne charakteryzują się wyższą wytrzymałością na zginanie, jak również dobrą odpornością na drgania i wibracje [4, 6]. Podstawową cechą tych kompozytów jest jednak doskonałe połączenie wysokiej wytrzymałości mechanicznej z odpornością chemiczną na środowiska agresywne. Niestety pierwsze betony i zaprawy żywiczne charakteryzowały się stosunkowo wysokim skurczem [4]. Jednakże współczesny, dynamiczny rozwój chemii budowlanej umożliwił otrzymanie żywic charakteryzujących się stosunkowo niewielkim skurczem i wyjątkowo dobrą przyczepnością do podłoża. Wśród innych zalet tego materiału [7] należy również wymienić: krótki czas do osiągnięcia wytrzymałości eksploatacyjnej, możliwość uzyskania gładkich powierzchni, czy też łatwość barwienia materiału. Z tych powodów materiał ten jest wykorzystywany m.in. do napraw istniejących konstrukcji.

2. Program badawczy

Przeprowadzone badania miały na celu określenie wpływu wielkości uziarnienia kruszywa zastosowanego w zaprawach żywicznych na wielkość skurczu tych kompozytów oraz przyczepność wybranej zaprawy do wytypowanego podłoża betonowego.

Zrealizowany program badawczy obejmował przygotowanie oraz ocenę właściwości dwóch rodzajów zapraw żywicznych. W zaprawach zastosowano dwuskładnikową żywicę epoksydową, produkowaną przemysłowo, o proporcjach mieszania żywicy z utwardzaczem wynoszących 3:1. Jako wypełniacz zastosowano dwa rodzaje kruszywa drobnoziarnistego o uziarnieniu do 2 mm,

różniącego się przede wszystkim uziarnieniem. Kruszywo A to piasek normowy o uziarnieniu zgodnym z punktem 5.1.2 normy PN-EN 196-1 [10] o zawartości kwarcu powyżej 98%. Z kolei w zaprawie B zastosowano kopalny piasek drobnoziarnisty o zawartości kwarcu 80% oraz uziarnieniu przedstawionym w tabeli 1. Kruszywo B charakteryzowało się większą ilością drobnych frakcji w porównaniu do kruszywa A.

Przyjęto stałą proporcję mieszania żywicy z kruszywem wynoszącą 1:10. Sposób przygotowania zaprawy obejmował dwa kroki:

- **krok 1:** mechaniczne wymieszanie żywicy z utwardzaczem i przelanie spoiwa do drugiego pojemnika, w celu uniknięcia niejednorodnego zmieszania obu komponentów, a co za tym idzie powstania w zaprawie stref o niejednorodnym składzie,
- **krok 2:** stopniowe dosypywanie kruszywa do spoiwa i mechaniczne wymieszanie przy użyciu mieszadła.

Dla tak przygotowanych zapraw oznaczono ich skurcz i przyczepność do podłoża betonowego.

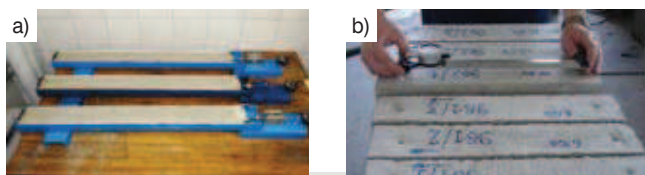
Tabela 1. Uziarnienie kruszywa B zastosowanego w trakcie badań

Frakcja [mm]	Procentowa zawartość ziaren [%]
0-0,125	4,0
0,125-0,25	19,0
0,25-0,5	48,0
0,5-1,0	28,0
1,0-2,0	1,0

3. Oznaczenie skurczu zapraw żywicznych

Przygotowane, świeże zaprawy umieszczono w automatycznym urządzeniu do pomiaru skurczu (rys. 1a). Urządzenie składa się z rynny pomiarowej, wyposażonej w elektroniczne czujniki odległości. Czujniki te umożliwiają automatyczny zapis wyników pomiarów na komputerze w założonych odstępach czasu. W trakcie badania możliwy jest zapis wszelkich zmian objętościowych, zarówno skurczu jak i pęcznienia badanego materiału, już od momentu ułożenia świeżej zaprawy w rynnie.

Całkowita automatyzacja pomiaru umożliwia wyeliminowanie błędów pomiarowych powodowanych tzw. czynnikiem ludzkim, występujących np. przy zastosowaniu tensometrów nasadowych (rys. 1b). Dodatkowym atutem zastosowanego przyrządu jest jego wymiar, wynoszący 1 metr, co pozwala na uzyskanie bezpośredniego odczytu w milimetrach na metr długości badanego materiału.



Rys. 1. Widok stanowiska badawczego skurczu, wyposażonego w automatyczne rynny pomiarowe (a) oraz tradycyjne oznaczenie skurczu przy zastosowaniu tensometru nasadowego (b)

Oznaczenie skurczu prowadzono przez okres 8 dni. Temperatura otoczenia w trakcie badania wynosiła $19^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$, natomiast wilgotność względna była ustabilizowana na poziomie 55%. Przebieg zmian skurczowych dla badanych zapraw żywiczych przedstawia rysunek 2. Największy skurcz zapraw odnotowano w pierwszych dwóch dniach twardnienia spoiwa żywicznego. Pod koniec drugiego dnia badania, skurcz dla zaprawy A wykonanej na kruszywie normowym wyniósł 0,51 mm/m, co stanowi 83% skurczu oznaczonego po 8 dniach dla tej zaprawy. W przypadku zaprawy B, skurcz po 2 dniach wyniósł 0,60 mm/m, czyli niemal 86% skurczu 8-dniowego. Stabilizacja zmian skurczowych nastąpiła po 6 dniach twardnienia żywicy. Ostatecznie po 8 dniach wielkość skurczu dla zaprawy A wyniosła 0,61 mm/m, natomiast dla zaprawy B, do wykonania której zastosowano kruszywo o drobniejszym uziarnieniu, wyniosła 0,70 mm/m.

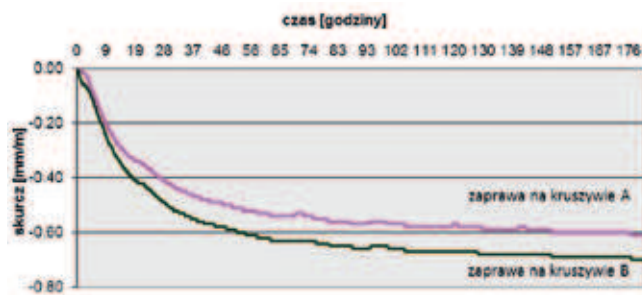
Oznaczone wielkości skurczu badanych zapraw żywiczych są większe niż te uzyskane dla betonów cementowych [8], ale mniejsze w porównaniu do np. zapraw cementowych modyfikowanych polimerami. Dla tych ostatnich wielkości skurczu, badane tą samą metodą, kształtują się na poziomie do 0,9 mm/m [9].

4. Oznaczenie przyczepności zaprawy żywiczej do podłoża betonowego

Kontrolnie dla badanych zapraw żywiczych oznaczono na normowych beleczkach $40 \times 40 \times 160$ mm wytrzymałość na ściskanie i zginanie. Wytrzymałość na zginanie dla obu zapraw kształtowała się na zbliżonym poziomie. Po 1 dniu twardnienia wynosiła około 19 MPa, co stanowiło 73% wytrzymałości 7-dniowej, wynoszącej nieco ponad 26 MPa. Wytrzymałość na ściskanie dla zaprawy A, po 7 dniach twardnienia spoiwa wyniosła 81 MPa, a dla zaprawy B – 71 MPa.

W związku z tym do badań przyczepności wytypowano zaprawę wykonaną na kruszywie A. Badania przeprowadzono metodą pull-off przy użyciu standardowego przyrządu typu Dyna, po 1, 3 i 7 dniach twardnienia spoiwa żywicznego, każdorazowo na 6 próbkach. Podłożem betonowym były prefabrykowane płyty brukowe o wytrzymałości na ściskanie wynoszącej 40 MPa. Ich zastosowanie pozwoliło na ujednoczenie uzyskiwanych wyników badań (rys. 3).

Po 1 dniu dojrzewania zaprawy, wyniki wytrzymałości na odrywanie wyniosły średnio 0,50 MPa. Wszystkie pomiary



Rys. 2. Przebieg zmian skurczowych badanych zapraw żywiczych oznaczonych w automatycznych rynnach skurczowych

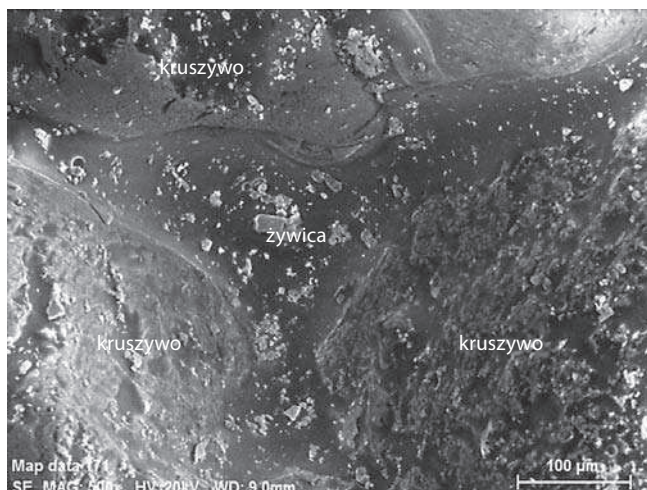


Rys. 3. Oznaczenie przyczepności zaprawy żywiczej do podłoża betonowego metodą pull-off (a), przykład zniszczeń kohezyjnych w podłożu betonowym oraz adhezyjnych w łączu (b)

miały charakter adhezyjny, tzn. zniszczenie nastąpiło w łączu. Przyczepność zaprawy żywiczej po 3 dniach kształtowała się na poziomie 1,40 MPa, przy czym dwa zniszczenia miały charakter kohezyjny tzn. przebiegły w podłożu betonowym, a cztery w łączu pomiędzy podłożem a zaprawą żywiczną. Po 7 dniach badane wytrzymałości przyczepności wzrosły i wynosiły średnio 2,20 MPa. Przy czym zniszczenia miały taki sam charakter, jak po 3 dniach dojrzewania zaprawy (dwa kohezyjne i cztery adhezyjne).

5. Badania mikrostruktury

Po 1 i 7 dniach dojrzewania żywicy wykonano także zdjęcia mikrostruktury zaprawy żywiczej. Zdjęcia te wykonano na powierzchni oderwanych próbek (krążków) żywicy, pozostałych po badaniu metodą pull-off. Analizując zdjęcia uzyskane przy użyciu mikroskopu skaningowego,



Rys. 4. Równomierne pokrycie ziaren kruszywa spoiwem żywicznym (powiększenie 500×)

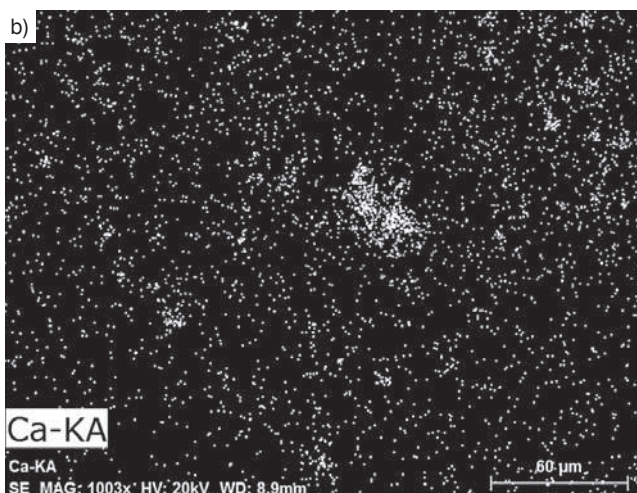
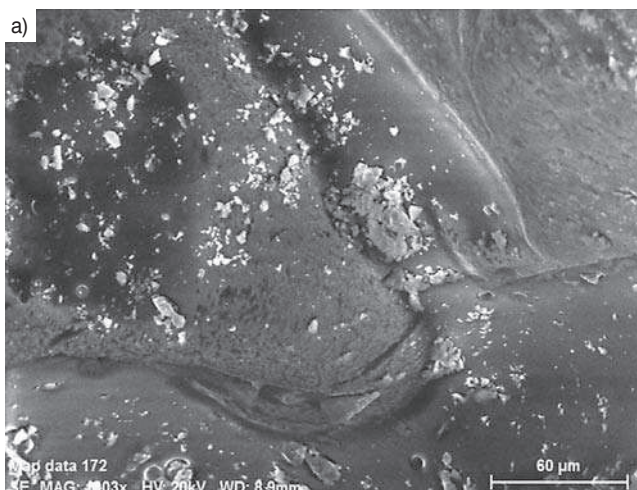
można zauważyć równomierne pokrycie ziaren kruszywa spoiwem żywicznym (rys. 4).

Równocześnie na podstawie mappingu sfotografowanych fragmentów powierzchni zaprawy żywicznej można zauważyć większą ilość skupisk zawartości wapnia na badanych fragmentach próbek, występujących po 7 dniach twardnienia zaprawy (rys. 5). Oznacza to większą ilość pozostałych fragmentów podłoża betonowego na oderwanej próbce zaprawy żywicznej. Fakt ten ma również swoje odzwierciedlenie w charakterze zniszczeń zachodzących przy badaniu wytrzymałości na odrywanie. Po 1 dniu twardnienia zaprawy żywicznej zniszczenia miały charakter czysto adhezyjny w każdym przypadku pomiaru. Natomiast po 7 dniach zniszczenia miały formę mieszaną, tzn. część pęknięć nastąpiła w podłożu betonowym, a reszta w łączu pomiędzy zaprawą a podłożem.

6. Podsumowanie

Podsumowując przeprowadzony program badawczy, można stwierdzić, że badane zaprawy żywiczne wykazały się skurczem na poziomie 0,6–0,7 mm/m. Przy czym korzystniejszy, tj. mniejszy, skurcz osiągnęła zaprawa wykonana na kruszywie o większej zawartości grubszych frakcji. Przyczepność zaprawy A do betonowego podłoża oznaczona po 7 dniach twardnienia spoiwa żywicznego wyniosła 2,2 MPa. Natomiast po 3 dniach – 1,4 MPa, co stanowi około 64% wartości wytrzymałości na odrywanie oznaczonej po 7 dniach. W czterech na sześć badanych próbek model zniszczenia miał charakter adhezyjny, natomiast w dwóch przypadkach zniszczenie nastąpiło w podłożu betonowym.

Podsumowując, bezcementowe kompozyty polimerowe pomimo swej wyższej ceny w stosunku do np. betonów, czy też zapraw modyfikowanych polimerami, stanowią cenny materiał. Współczesny rozwój chemii budowlanej pozwolił na zmniejszenie skurczu tych materiałów, ponadto zaprawy żywiczne, ze względu na ich bardzo dobrą przyczepność



Rys. 5. Skupiska resztek podłoża betonowego (po prawej) na oderwanych fragmentach zaprawy żywicznej (powiększenie 1000×)

do podłoża, wykorzystuje się często w naprawach, zwłaszcza w miejscach o wysokiej agresji środowiska.

BIBLIOGRAFIA:

- [1] Czarnecki L., Garbacz A., Krystosiak M., On the ultrasonic assessment of adhesion between polymer coating and concrete substrate. *Cement and Concrete Composites*, tom 28 (2006), str. 360–369
- [2] Łukowski P., Przyczepność betonopodobnych kompozytów polimerowo-cementowych do podłoża. *Cement Wapno Beton* Nr 3 (2005), str. 142–147
- [3] Łukowski P., Rola polimerów w kształtowaniu właściwości spoiw i kompozytów polimerowo-cementowych. *Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej*, Warszawa 2008
- [4] Czarnecki L., *Betony żywiczne*, Arkady, Warszawa 1982
- [5] Issa C.A., Debs P., Experimental study of epoxy repairing of crack in concrete. *Construction and Building Materials*, tom 21 (2007), str. 157–163
- [6] Li S., Hu J., Song F., Wang X., Influence of interface modification and phase separation on damping properties of epoxy. *Cement and Concrete Composites*, tom 18 (1996), str. 445–453
- [7] Jin F.L., Li X., Park S.J., Synthesis and application of epoxy resin: A review. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, tom 29 (2015), str. 1–11
- [8] Gruszczyński M., Ocena wielkości odkształceń skurczowych zapraw i betonów cementowych z dodatkiem polimerów. *Cement Wapno Beton*, tom 3 (2007), str. 139–144
- [9] Lenart M., Assessment of mortar shrinkage in aspect of organic and inorganic modifiers use. *Procedia Engineering*, tom 108 (2015), str. 309–315
- [10] PN-EN 196-1: 2006 Metody badania cementu. Część 1: Oznaczenie wytrzymałości