

dr inż. Czesław Bywalski\*  
 prof. dr hab. inż. Mieczysław Kamiński\*  
 mgr inż. Przemysław Michalski\*\*

# O perspektywach nowych zastosowań szybkosprawnych zapraw mineralnych

## *Prospects for new applications of fastbinding mineral mortars*

**Streszczenie.** W pracy przedstawiono wyniki badań wytrzymałości na ściskanie szybkosprawnej zaprawy mineralnej z włóknami stalowymi. Przedstawiono również wyniki badań belek o wymiarach 150×250×3300 mm wykonanych z takiego kompozytu. Wykazano korzystny wpływ dodatku włókien na wytrzymałość na ściskanie kompozytu oraz możliwość wykonywania elementów belkowych z takich zmodyfikowanych zapraw.

**Słowa kluczowe:** szybkosprawna zaprawa mineralna, zbrojenie rozproszone, włókna stalowe, belki, badania.

**Abstract.** The paper presents the results of testing of compressive strength of fastbinding mineral mortar modified with steel fibers. The results of testing of beams with dimensions 150×250×3300 mm made of such composites are presented as well. A positive effect of the addition of fibers on the compressive strength of such a modified mortar and the ability to cast beam elements made of a modified mortar are demonstrated.

**Keywords:** fastbinding mineral mortar, steel fibers, beams, research.

Oferowane na rynku szybkosprawne zaprawy mineralne są wykonywane na bazie cementów i zawierają m.in. przyspieszacze wiązania. Ich cechą charakterystyczną jest osiąganie w bardzo krótkim czasie dużej wytrzymałości na ściskanie w stosunku do wytrzymałości docelowej [1, 2], często przekraczającej 50 MPa (a nawet 100 MPa) po jednym dniu od wykonania [3]. Stwarza to perspektywę wykorzystania takich zapraw do wykonywania elementów konstrukcyjnych, które mogłyby być obciążane w bardzo krótkim czasie od zaformowania, nawet po 24 h (np. w sytuacjach awaryjnych w zakładach przemysłowych).

Obecnie zaprawy szybkosprawne są najczęściej stosowane do wykonywania podłewek pod elementy konstrukcyjne i maszyny przemysłowe. Ze względu na to, że w ich składzie znajduje się dużo cementu, podczas wiązania wydzielą się duża ilość ciepła hydratacji, co często prowadzi do zarysowania podłewek. W związku z tym zmodyfikowano skład jednej z takich zapraw – AP VM 100 [3] przez dodanie włókien stalowych OL 13/0,20. Zadaniem włókien jest m.in. przejmowanie naprężeń rozciągających powstających podczas wiązania, a w przypadku zastosowania zaprawy do wykonania elementów konstrukcyjnych również ograniczenie szerokości rys. Wybrane wyniki badań zaprawy zmodyfikowanej włóknami stalowymi przedstawiono w artykule.

### Wykonanie próbek i belek do badań

Sucha zaprawa zawiera 40% cementu wysokiej wytrzymałości z dodatkami i 60% kruszywa o granulacji do 4 mm o specjalnie dobranym składzie granulometrycznym. Wśród dodatków można wyróżnić: oleinian sodu – 0,001%; eliminator porów – 0,001%; potas – 0,005%; glukonian sodu – 0,005%; celuloza – 0,001%; kwas abietynowy – 0,005%; lignina – 0,02% i hydrolizaty białkowe – 0,001%.

\* Politechnika Wroclawska, Wydział Budownictwa Lądowego i Wodnego

\*\* AP Serwis Inżynieria Budowlana

Badaniom doświadczalnym poddano cztery serie kompozytu różniące się zawartością włókien stalowych w jednostce objętości mieszanki (tabela 1). We wstępnej fazie badań analizowano wpływ dodatku włókien na urabialność zaprawy, zmniejszenie jej rozplywu i gęstość kompozytu. Przyjęto założenie, iż zmiennym składnikiem kompozytu w poszczególnych seriach będą włókna stalowe. Podczas badań ustalono, że maksymalna zawartość włókien wynosi 150 kg/m<sup>3</sup>.

Tabela 1. Skład badanych mieszanek

Składniki	Seria			
	A	B	C	D
Włókna stalowe OL 13/0,20 [kg/m <sup>3</sup> ]	50	100	150	0
Włókna stalowe OL 13/0,20 [% obj.]	0,64	1,27	1,91	0
Woda [kg/m <sup>3</sup> ]	228			
Zaprawa AP VM 100 [kg/m <sup>3</sup> ]	2165			

Próbki sześciennie o bokach 150 mm do badań wytrzymałości kompozytu na ściskanie i belkowe elementy badawcze o prostokątnym przekroju poprzecznym 150×250 mm i długości 3300 mm przygotowano w Laboratorium Badawczym Instytutu Budownictwa Politechniki Wroclawskiej. W ramach każdej serii wykonano jedną belkę.

Samozagęszczalna zaprawa po dodaniu włókien nie była dodatkowo zagęszczana. Po ułożeniu mieszanki w formach próbki przykryto folią i pozostawiono w temperaturze 20 °C do momentu rozformowania, które nastąpiło po 22 h. Pięć próbek pobrano do oznaczenia jednodniowej wytrzymałości na ściskanie, a pozostałe przechowywano w stałych warunkach cieplno-wilgotnościowych do momentu badań (temperatura powietrza wynosiła 20 ± 2 °C, wilgotność 95 ± 3%).

Zbrojenie podłużne w strefie rozciąganej belek wykonano z czterech prętów średnicy 14 mm, a w strefie ściskanej z dwóch prętów średnicy 8 mm. Zbrojenie poprzeczne na odcinkach drugiego rodzaju przewidziano w postaci strzemion

średnicy 6 mm w rozstawie 100 mm. Wszystkie pręty wykonano ze stali gatunku RB500. Belki zostały rozformowane po 22 – 24 h. W środkowym przekroju przęśła naklejono tensometry do pomiaru odkształceń betonu i stali rozciąganej. Po uzbrojeniu belek umieszczono je na stanowisku badawczym i ustawiono czujniki indukcyjne przemieszczeń liniowych do pomiaru ugięć. Schematem statycznym była belka swobodnie podparta o rozpiętości 3 m obciążona dwiema siłami skupionymi w rozstawie 1 m.

## Wyniki badań

Po 1, 2, 7, 28 i 90 dniach oznaczono wytrzymałość kompozytów na ściskanie na pięciu próbkach. Zauważono, że próbki z dodatkiem włókien nie niszczą się w sposób eksplozywny, jak ma to miejsce w przypadku próbek bez włókien. Wyniki badań wytrzymałości na ściskanie kompozytów przedstawiono w tabeli 2. W ostatniej kolumnie podano procentową zmianę wytrzymałości kompozytów z włóknami w odniesieniu do kompozytu bez włókien.

**Tabela 2. Wytrzymałości na ściskanie badanych kompozytów**

Seria	Zawartość włókien [kg/m <sup>3</sup> ]	Wiek kompozytu [doby]	f <sub>cm,cube</sub> [MPa]	s [MPa]	Δf <sub>cm,cube</sub> [%]
A	50	1	123,10	1,64	+15,2
B	100		117,62	2,64	+10,1
C	150		109,03	3,01	+2,1
D	0		106,82	5,55	0
A	50	2	124,09	1,38	+15,7
B	100		117,84	2,57	+9,9
C	150		109,93	3,47	+2,5
D	0		107,26	3,05	0
A	50	7	126,43	2,34	+16,6
B	100		118,60	1,81	+9,4
C	150		111,00	2,21	+2,4
D	0		108,41	2,49	9
A	50	28	130,13	3,75	+17,9
B	100		124,42	1,64	+12,8
C	150		118,22	4,16	+7,2
D	0		110,33	3,53	0
A	50	90	132,93	4,01	+19,4
B	100		129,29	3,09	+16,1
C	150		123,94	3,92	+11,3
D	0		111,36	4,29	0

Badania belek wykonano po 2 dniach od zaformowania. Obciążenie było wymuszane siłownikiem hydraulicznym w sposób skokowy co 5 kN. Za moment zniszczenia belek uznano osiągnięcie przez kompozyt odkształcenia w strefie ściskanej 2,6‰ [5] lub osiągnięcie przez stal rozciąganą odkształcenia 10‰ (przyjęto wstępnie, iż wykres naprężenie-odkształcenie stali zbrojeniowej ma nachyloną górną gałąź). Całkowita siła niszcząca P wynosiła: 138,97 kN (seria A), 154,94 kN (seria B), 156,79 kN (seria C) i 114,99 kN (seria D). Uzyskane siły niszczące były o 20-30% większe od obliczonych wg [4].

## Analiza wyników badań

Charakterystyczną cechą badanych kompozytów jest bardzo duża wytrzymałość wczesna (1-dniowa) i nieznaczny przyrost wytrzymałości w czasie (tabela 2). Wytrzyma-

łość 28-dniowa w porównaniu z 1-dniową była wyższa o 3 – 8%, a 90-dniowa o 4 – 14%. Wpływ włókien stalowych na wytrzymałość kompozytu na ściskanie jest niewielki (tabela 2). W porównaniu z betonem bez włókien wynosił on (w zależności od wieku kompozytu w chwili badania) od 15,2 do 19,4%. Widać również, że zwiększenie zawartości włókien (seria B – 100 kg/m<sup>3</sup> i seria C – 150 kg/m<sup>3</sup>) nie powodowało wzrostu wytrzymałości na ściskanie. Wytrzymałość na ściskanie kompozytów serii B i C była wyższa niż kompozytu bez włókien (seria D), ale jednocześnie niższa niż serii A z zawartością włókien 50 kg/m<sup>3</sup>. O wartości wytrzymałości na ściskanie decyduje głównie jakość samozagęszczania mieszanki i równomierność rozkładu włókien.

Analizując wartość siły niszczącej belki stwierdzono, że zwiększa się ona wraz ze wzrostem zawartości włókien stalowych. W przypadku badanej zaprawy i zastosowanych włókien prostych OL 13/0,20 optymalna zawartość w aspekcie nośności belek wynosi 100 kg/m<sup>3</sup>. Podczas badań belek obserwowano również korzystny wpływ dodatku włókien stalowych na zmniejszenie ugięć doraźnych, zmniejszenie szerokości rozwarcia rys i odkształceń zbrojenia rozciąganego w przypadku tego samego poziomu obciążenia oraz na zwiększenie wartości momentu rysującego. Wpływ ten jest tym większy, im większy jest dodatek włókien.

## Podsumowanie

Przedstawione wyniki badań laboratoryjnych szybkozwympnej, samozagęszczalnej zaprawy mineralnej zmodyfikowanej włóknami stalowymi pokazują, iż dodatek włókien stalowych w ilościach 50 ÷ 150 kg/m<sup>3</sup> nieznacznie poprawił jej wytrzymałość na ściskanie w porównaniu z zaprawą bez włókien. W badaniach zaprawy AP VM 100 potwierdzono znany z literatury światowej i krajowej bardzo korzystny wpływ dodatku włókien na poprawę wytrzymałości kompozytu na rozciąganie i na ograniczenie jego odkształceń skurczowych.

Z wstępnych badań belek wykonanych ze zmodyfikowanej zaprawy wynika, że możliwe jest wykonywanie elementów konstrukcyjnych z takiej zaprawy. Obecnie kontynuowane są prace doświadczalne i teoretyczne zmierzające do określenia granicznej masywności elementów oraz modyfikacji metod wymiarowania przekrojów z takich kompozytów. Za punkt wyjścia analiz teoretycznych przyjęto metodę proponowaną w RILEM TC162-TDF [4].

## Literatura

- [1] Kamiński M., Bywalski C., Musiał M., P, Trapko T., Michalski P.: Rheological strains of high-performance expansive mortar. Proceedings of the eighth international conference: Creep, shrinkage and durability mechanics of concrete and concrete structures, Ise-Shima, Japan, 30 September-2 October 2008. Vol. 1 / eds by Tada-aki Tanabe [i in.]. Leiden: CRC Press/Balkema, 2008, s. 337-342.
- [2] Karta informacji technicznej AP VM 50 Zaprawa do podlewek. AP Serwis Inżynieria Budowlana.
- [3] Karta informacji technicznej AP VM 100 Zaprawa do podlewek. AP Serwis Inżynieria Budowlana.
- [4] RILEM TC162-TDF: Test and design methods for steel fibre reinforced concrete. Materials and Structures. 36, 2003, 560-567.
- [5] PN-EN 1992-1-1:2008: Eurokod 2. Projektowanie konstrukcji z betonu. Część 1-1: Reguły ogólne i reguły dla budynków.