

STRESZCZENIE

Postęp technologii betonu w ostatnich latach nabrał nadzwyczajnego tempa. Związane jest to z wprowadzeniem szeroko pojętych elementów automatyzacji zarówno do procesów produkcji materiałów jak i wykonawstwa. Jedną z najszybciej rozwijających się technologii w ostatnich latach jest technologia druku przyrostowego, zwana potocznie technologią druku 3D. Technologia druku przyrostowego mieszankami cementowymi nie wymaga użycia szalunków. Specjalnie przygotowany kompozyt cementowy, wytłaczany jest przy użyciu urządzenia pompującego we wskazane miejsce poprzez wąż zakończony głowicą/dyszą. Cała konstrukcja – robot – sterowana jest z poziomu komputera, który odczytuje wcześniej zaprogramowane sekwencje ruchów.

Jedną z podstawowych wad tej technologii jest brak odpowiednich metod zbrojenia elementów. W tradycyjnym budownictwie pręty stalowe i kompozytowe są naturalną częścią procesu betonowania. Ze względu na wykorzystywanie w technologii druku 3D urządzeń pompujących do bezpośredniego wytłaczania mieszanki w miejscu wydruku, ograniczone jest wykorzystanie tradycyjnych metod zbrojenia elementów. Jedną z metod poprawiania właściwości mieszanki betonowej jak gotowego elementu jest zastosowanie zbrojenia rozproszonego. Na rynku dostępnych jest wiele rodzajów zbrojenia rozproszonego, wliczając w to polimerowe, szklane, stalowe czy węglowe.

Rozwój technologii druku 3D wymusił opracowanie nowych sposobów zbrojenia oraz rozszerzenie badań nad dostępnymi obecnie tradycyjnymi metodami wzmocnienia elementów. Analiza piśmiennictwa dotyczącego zbrojenia w druku 3D, skłoniła autora do podjęcia problematyki zastosowania włókien do produkcji mieszanek spełniających wymagania tej technologii oraz przeprowadzenie szeregu badań i analiz dotyczących ich wpływu na właściwości reologiczne i wytrzymałościowe.

W części studialnej rozprawy opisano podstawowe założenia związane z wykorzystaniem włókien w technologii betonu. Określono metody wykonywania elementów w technologii druku 3D oraz opisano właściwości jakimi powinny cechować się mieszanki odpowiednie dla niej. Przedstawiono również przegląd literatury na temat wykorzystania włókien w technologii druku 3D.

Przeprowadzone badania podzielono na dwa główne etapy. Pierwszy etap obejmował badania wstępne polegające na określeniu wpływu czterech rodzajów włókien: bazaltowych, szklanych, węglowych i polimerowych o różnej długości, dodawanych

w różnej ilości do mieszanki o wysokiej zawartości spoiwa. Określono wpływ zastosowanych włókien na rozptyw, wytrzymałość na ścinanie, a także przebieg krzywej naprężenia-odkształcenia. Wykonano badania wytrzymałości na ściskanie i zginanie dla trzech okresów 1, 3 i 7 dni. Przedstawione wyniki pokazały, że zastosowanie włókien w kompozytach cementowych o tak dużej ilości spoiwa nie tylko nie przynosi poprawy, ale także powoduje pogorszenie właściwości reologicznych, a w niektórych wytrzymałości.

Drugi etap badań, będących badaniami zasadniczymi, rozpoczęto od zaprojektowania i określenia właściwości nowej mieszanki spełniającej wymagania technologii druku 3D o zmniejszonej ilości spoiwa. Miejsce spoiwa częściowo zajęła mączka wapienna. Podobnie jak w badaniach wstępnych, określono ponownie wpływ czterech rodzajów, pięciu różnych długości oraz sześciu ilości włókien na właściwości reologiczne i mechaniczne kompozytu cementowego.

Zbadano również wpływ sposobu przygotowania próbki na wytrzymałość kompozytów cementowych. W tym celu opracowano metodę wykonywania próbek do badań wytrzymałościowych w technologii druku 3D polegającą na układaniu mieszanki przy pomocy robota kartezyjskiego w specjalnie do tego przygotowanych formach.

Badania zasadnicze pozwoliły na wyodrębnienie mieszanek, które charakteryzowały się najlepszym przyrostem wytrzymałości, przy jednoczesnym jak najmniejszym pogorszeniu właściwości reologicznych. Dla wybranych mieszanek przeprowadzono badania weryfikacyjne. Określono właściwości reologiczne oraz wytrzymałościowe, a także oceniono mikrostrukturę. Na podstawie otrzymanych wyników przeprowadzono analizy porównawcze oraz wyciągnięto wnioski na temat zbrojenia włóknami mieszanek w technologii druku 3D.

Mateusz Lejman