

**WPLYW PIELĘGNACJI NA ODKSZTAŁCENIA SKURCZOWE
KOMPOZYTÓW CEMENTOWYCH WYKORZYSTYWANYCH W TECHNOLOGII
DRUKU 3D - STRESZCZENIE**

Druk 3D z wykorzystaniem kompozytów cementowych to jedna z aktualnie najszybciej rozwijających się gałęzi przemysłu budowlanego na świecie. Jej głównymi zaletami jest możliwość skrócenia czasu wznoszenia budowli, ograniczenie zużycia materiału oraz wykorzystania zasobów ludzkich. Idea druku 3D, nazywanego technologią przyrostową, polega na układaniu na sobie kolejnych warstw materiału z wykorzystaniem robotów sterowanych komputerowo. Dzięki temu możliwe jest wytwarzanie skomplikowanych struktur przestrzennych. Zastosowanie mieszanek cementowych jako materiału wykorzystywanego do druku stwarza możliwości wykorzystania tej technologii również w sektorze budowlanym. W ciągu ostatnich 10 lat liczba zespołów badawczych oraz komercyjnych firm zainteresowanych drukiem 3D z wykorzystaniem mieszanek cementowych zaczęła wzrastać w tempie wykładniczymi. Wzrost zainteresowania stanowił katalizator do intensyfikacji prac naukowych, które skupiły się na aspektach trwałościowych elementów wykonanych w sposób przyrostowy.

Jednym z wciąż nierozwiązanych problemów jest kwestia odpowiedniej pielęgnacji elementów drukowanych z materiałów cementowych. Większość dostępnej literatury porusza ten problem w sposób bardzo ogólnikowy lub jedynie zaleca dalsze badania w tym zakresie. Kwestia pielęgnacji jest kluczowa ze względu na brak tradycyjnego szalunku wykorzystywanego w tradycyjnych konstrukcjach betonowych, który zabezpiecza świeży materiał przed gwałtowną utratą wilgoci. Brak tej bariery prowadzić może do zarysowania i obniżenia wytrzymałości wykonywanych elementów, co przełoży się może na niższą trwałość i konieczność wykonywania kosztownych napraw.

W niniejszej dysertacji podjęto próbę krytycznej oceny metod pielęgnacji zewnętrznej i wewnętrznej możliwych do zastosowania w kontekście technologii druku 3D. Część studialną rozprawy można podzielić na 3 główne działy. W pierwszej części (rozdział 3 i 4) omówione zostały kluczowe aspekty technologii druku 3D z wykorzystaniem mieszanek cementowych. Przytoczono najistotniejsze publikacje naukowe, przeanalizowano stosowane metody badawcze oraz opisano różne techniki druku 3D z wyróżnieniem ich możliwości i ograniczeń. Część druga (rozdział 5) dotyczy skurczu betonu. Przeanalizowano najnowszą literaturę przedmiotu, usystematyzowano nazewnictwo oraz oceniono metody pomiarowe stosowane obecnie przez zespoły badawcze. Część trzecią (rozdział 6) poświęcono omówieniu mechanizmów pielęgnacji i sposobów przeciwdziałania odkształceniom skurczowym. Odniesiono się do wytycznych normowych krajowych oraz zagranicznych dotyczących pielęgnowania typowych konstrukcji betonowych i oceniono ich przydatność w kontekście technologii druku 3D.

Przeprowadzone badania własne wraz z analizą uzyskanych rezultatów przedstawiono w rozdziałach 7-13. Pierwszy etap badań polegał na doborze odpowiedniej mieszanki do druku 3D oraz określeniu wpływu modyfikacji jej składu na kluczowe parametry reologiczne świeżego materiału. Dla każdej z mieszanek przeprowadzono specjalnie zaprojektowane testy

pozwalające określić jej przydatność do druku. Oceniano wstępną wytrzymałość na ściskanie świeżej mieszanki odpowiadającą za możliwość przenoszenia obciążenia ciężarem kolejnych drukowanych warstw w stanie plastycznym. Analizowano również pompowalność i spoiłość mieszanki oraz oceniano jakość wydruku, stałość wymiaru drukowanych próbek i podatność na zaburzenie ciągłości materiału. Wszystkie mieszanki poddano normowym badaniom wytrzymałościowym oraz określono skurcz całkowity. Dodatkowo zaproponowano bezkontaktową metodę pomiaru skurczu całkowitego elementów drukowanych z wykorzystaniem technologii laserowej. Metoda ta pozwalała na ciągły pomiar odkształceń materiału zarówno w stanie plastycznym jak i po zakończeniu wiązania. Po przeprowadzonych analizach wytypowano mieszankę do kolejnego etapu badań, czyli ocenę wpływu metod pielęgnacji na właściwości kompozytu cementowego.

W ramach badań zasadniczych oceniono wpływ geometrii przyjętych próbek na wartości mierzonego odkształcenia w metodzie laserowej, porównano wpływ ograniczenia zewnętrznego na rozwój skurczu oraz przeanalizowano jego przebieg w czasie. Następnie poddano krytycznej analizie metody pielęgnacji wewnętrznej, zewnętrznej oraz możliwość modyfikacji składu. Oceniono ich wpływ zarówno na skurcz materiału jak również parametry reologiczne i mechaniczne kompozytu. Uzyskane rezultaty porównano z modelami analitycznymi prognozowania skurczu.

Przeprowadzone badania oraz analizy wykazały, że istnieje możliwość redukcji skurczu elementów drukowanych z wykorzystaniem tradycyjnych metod pielęgnacji choć większość z nich nie wykazuje wystarczającej skuteczności. Potwierdzono przydatność zaproponowanej metody pomiaru skurczu elementów drukowanych oraz wykazano niedoszacowanie wartości skurczu w obowiązujących metodach analitycznych jego prognozowania. Szczegółowe wnioski wraz z proponowanymi dalszymi kierunkami badań przedstawiono w rozdziałach 14-17.

21.04.2023

Karol Federowicz