

Laserowy system do badania skurczu wczesnego elementów betonowych w powiązaniu z oznaczaniem czasu wiązania

Dr hab. inż., prof. PŚ Jacek Gołaszewski, mgr inż. Grzegorz Cygan, mgr inż. Michał Drewniok, Katedra Inżynierii Materiałów i Procesów Budowlanych, Politechnika Śląska, Gliwice

1. Wprowadzenie

Skurcz betonów, a ogólniej kompozytów cementowych, jest cechą niepożądaną. Jest związany z naturą kompozytu i choć znane są metody jego zmniejszania i mechanizmy nim rządzące, to zagadnienie skurczu nadal jest tematem rozważań prac badawczych [1, 2, 3, 4, 5]. Temat skurczu nabrał szczególnego znaczenia wraz z rozwojem nowej gałęzi technologii betonu – technologii betonów wysokowartościowych samozagęszczal-

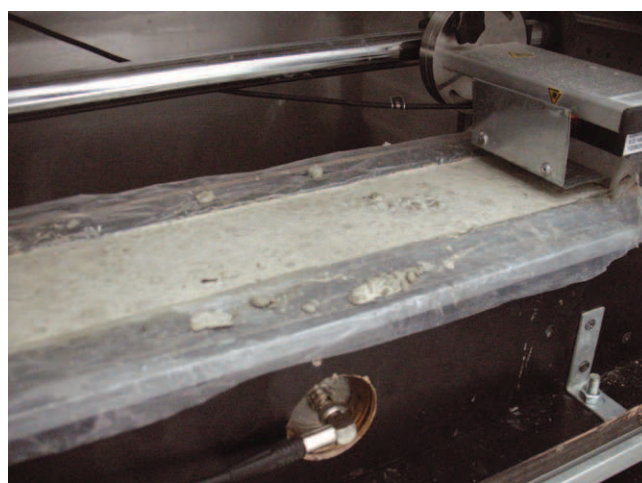


Rys. 1. Urządzenie do pomiaru zmian długości belek betonowych

nych czy zagęszczanych tradycyjnie. Niski stosunek w/c i znaczne ilości spoiw używanych w powyższych technologiach odpowiedzialne są za znaczne zmiany objętościowe w pierwszych 24 godzinach dojrzewania. Pomiar tych zmian jest bardziej skomplikowany niż pomiar skurczu wysychania. Wymaga on bowiem specjalistycznego oprzyrządowania. Celem uzyskania wiedzy na temat tego rodzaju skurczu, w pierwszych 24 godzinach po zaformowaniu, autorzy zmodyfikowali system TLS [6], pierwotnie służący do pomiaru zmian liniowych próbek zapraw o wymiarach 210×180×5 mm.

2. Charakterystyka systemu i wyniki badań

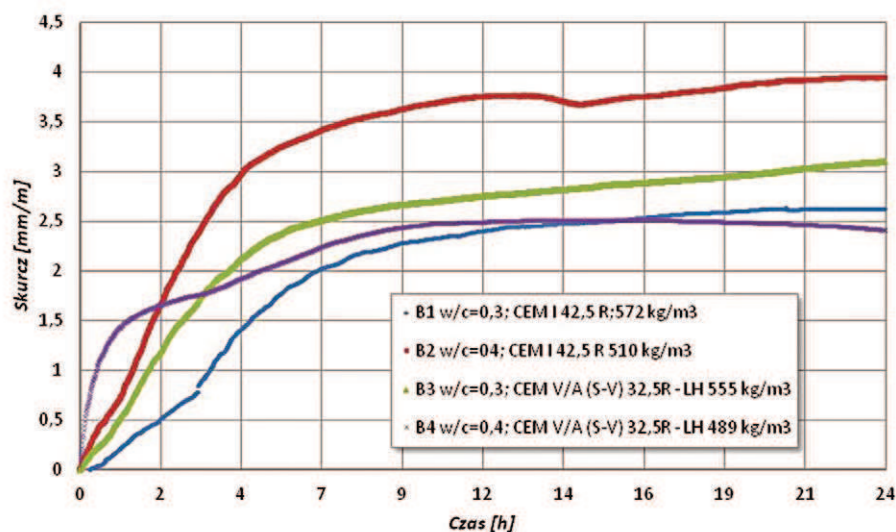
Pomiar zmian długości próbki realizowany był za pomocą dwóch laserowych mierników przemieszczeń. Próbka betonowa miała zapewnioną swobodę odkształceń, dzięki metodzie wykonania zaprezentowanej obszernie w [7]. Dzięki niewielkim nakładom uzyskano możliwość badania skurczu belek 10×10×500 mm już od chwili zaformowania. Rysunki 1 i 2 przedstawiają zmodyfikowany system, a rysunek 3 przebieg zmian skurczowych



Rys. 2. Umieszczenie nadajnika sygnału ultradźwiękowego

mierzonych w pierwszych 24 godzinach od chwili zaformowania. Badane belki wykonane były z mieszanek betonu samozagęszczalnego, których skład i podstawowe właściwości zestawiono w tabeli 1.

W pierwszych 4–6 godzinach dynamika wzrostu skurczu jest znaczna, szczególnie w przypadku próbki z mieszanki B4, której skurcz w 2 godzinie osiągnął 65% wartości skurczu maksymalnego zaobserwowanego w godzinie 15. Tak dużą dynamikę przyrostu wielkości zmian skurczowych wytłumaczyć można zjawiskiem wyciekania wody z zaczynu cementowego na powierzchnię próbki,



Rys. 3.
Przebieg zmian
długości belek,
mierzone w pierwszych
24 godzinach
dojrzwania

co było szczególnie widoczne w przypadku mieszanki B4. Migrująca woda wytwarza podciśnienie w porach żelowych i kapilarnych, co powoduje powstawanie naprężeń powodujących skurcz.

W przypadku próbki mieszanki B4 interesujący jest przebieg zmian długości próbki po 15 godzinie – widoczna jest tutaj zamiast skurczu ekspansja. Trwała ona do 30 godziny, powodując zmniejszenie wartości maksymalnej zaobserwowanej w 15 godzinie o 11%. Po 30 godzinie badana próbka na powrót wykazywała skurcz. W przypadku mieszanek wykonanych z użyciem cementu portlandzkiego CEM I 42,5 R, daje się zauważyć korzystny wpływ mniejszej wartości stosunku w/c na wielkość skurczu.

wania, ale część skurczu obserwowana po tym czasie może być dla twardniejącego betonu niebezpieczna, zwłaszcza, że jego wytrzymałość na rozciąganie jest relatywnie mała. Znaczącą wielkość i dynamikę narastania zmian skurczowych następujących po początku wiązania spoiwa można oceniać wrażliwość betonu na zarysowanie spowodowane odkształceniami skurczowymi. Czas początku wiązania można określić według standardowego testu Vicata, ale znacznie lepiej określić go dla zaczynu wchodzącego w skład mieszanki betonowej. Na czas wiązania istotny wpływ ma stosunek w/c i domieszki chemiczne, bez których trudno wyobrazić sobie technologię BWW i SCC. Dlatego też system pomiarowy wyposażono w ultradźwiękowe urządzenie do ozna-

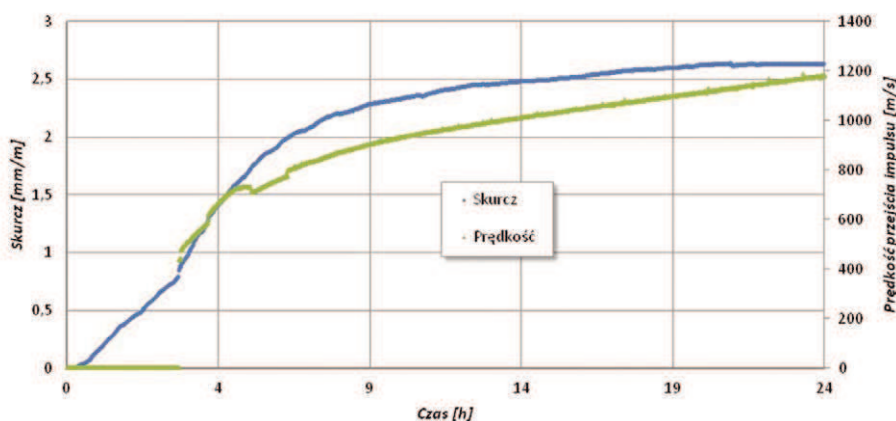
Tabela 1. Skład i właściwości mieszanek BSZ

Mieszanka	CEM I 42,5 R	CEM V/A (S-V) 32,5R – LH	Woda	W/C	SP Glenium Sky 115	Piasek 0–2	Kruszywo 2–8	Średnica rozptywu [cm]	Czas rozptywu T50 [s]
B1	572		172	0,30	3,0% m.c.	884	780	62	5,7
B2	510		204	0,40	1,0% m.c.			72	2,2
B3		555	167	0,30	2,5% m.c.			74	6,9
B4		489	195	0,40	1,5% m.c.			68	2,5

Celem autorów w chwili obecnej nie jest dyskusja na temat mechanizmów skurczu czy czynników na niego wpływających. Powyższe wyniki badań zostały przytoczone, aby uwiarygodnić zastosowaną metodykę badań. Pozwala ona bowiem uzyskiwać wyniki, które są zgodne – z uznanymi za słuszne – mechanizmami odpowiadającymi za skurcz.

Samo badanie zmian długości próbek w pierwszych 24 godzinach, choć ciekawe, dopiero po zestawieniu z czasem początku wiązania spoiwa, nabiera szczególnego znaczenia. Można wtedy wnioskować o stopniu szkodliwości wyznaczonego przebiegu skurczu dla trwałości betonu. Słusznym wydaje się twierdzenie, że skurcz obserwowany przed wyznaczonym początkiem czasu wiązania spoiwa nie spowoduje zaryso-

czania czasu początku wiązania – Vikasonic [8]. Urządzenie zostało zaprojektowane do oznaczania czasu początku wiązania spoiwa zawartego w zaczynie bądź w zaprawie cementowej, umieszczonych w standardowym pierścieniu Vicata. Aby uzyskać możliwość oznaczenia „rzeczywistego” czasu wiązania spoiwa w mieszance betonowej, nadajnik i odbiornik umieszczono na powierzchniach bocznych belki 10×10×50 cm tak, że impuls ma do przebycia drogę 10 cm. W czasie rzeczywistym rejestrowany jest czas potrzebny na przebycie impulsu przez twardniejącą mieszankę betonową. Oczywiście znane są autorom niedoskonałości takiego pomiaru, wynikające głównie z obecności kruszywa grubego i zjawisk zachodzących na granicy faz. Niemniej jednak czas wiązania wyznaczony w ten sposób



Rys. 4.
Wykres zmian długości belki 10×10×50 cm i prędkości przejścia impulsu ultradźwiękowego przez belkę

ma większą wartość praktyczną aniżeli czas wiązania wyznaczony w tradycyjny sposób. Rysunek 4 przedstawia przebieg skurczu i prędkość przejścia impulsu przez belkę 10×10×50 cm wykonaną z mieszanki B1. Do czasu 3 h 34 min. mieszanka tłumi nadawany sygnał dźwiękowy na tyle skutecznie, że nie przechodzi on do odbiornika. Po tym czasie widoczny jest skokowy wzrost prędkości przejścia impulsu przez próbkę. Czas ten możemy uznać za czas początku wiązania spoiwa i za umowny moment, w którym próbka przestaje być ciałem plastycznym, a staje się ciałem sztywnym. Tym samym możemy uznać, że próbka staje się wrażliwa na zarysowanie, wywołane skurczem. Niebezpieczeństwo będzie tym większe, im większa będzie dynamika wzrostu skurczu po stwierdzonym początku wiązania. Z pobieżnej analizy wykresów widać, że 30 minut po stwierdzeniu czasu początku wiązania, skurcz wzrasta o wartość 0,61 mm/m. Wydaje się, że przy ograniczeniu swobody odkształceń próbki ta wartość może doprowadzić do zarysowania.

3. Podsumowanie

Opracowana procedura przygotowania próbki pozwala na pomiar zmian długości betonowych belek od chwili wykonania. W powiązaniu z wyznaczonym metodą ultradźwiękową czasem wiązania czy też momentem, w którym sztywność kompozytu zaczyna wzrastać, możemy oszacować wrażliwość betonu na zarysowanie w pierwszych 24 godzinach. W tym okresie wytrzymałość betonu dopiero się kształtuje, a naprężenia wywołane skurczem mogą przekraczać jego wytrzymałość na rozciąganie. Zmiany długości elementów w pierwszych 24 godzinach cechuje znaczna dynamika, co jest charakterystyczne dla betonów nowej generacji. Dzięki oznaczonej prędkości przejścia impulsu dźwiękowego możliwe jest wyznaczenie dynamicznego modułu sprężystości. To, wraz z odkształceniem próbki (skurcz), pozwala określić naprężenia, jakie mogłyby zaistnieć w betonie, gdyby nie mógł się swobodnie odkształcać. Sprawą otwartą jest określenie wytrzymałości na roz-

ciąganie, która również ulega zmianom w czasie. Pewnym rozwiązaniem jest badanie wytrzymałości na rozciąganie belki po 24 h. Jeżeli uzyskana wartość będzie niższa niż wartość wyznaczona z iloczynu modułu dynamicznego modułu sprężystości i odkształcenia jednostkowego, prawdopodobnym jest, że dojdzie do zarysowania betonu podczas pierwszych 24 h, w wyniku odkształceń skurczowych.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Boshoff W. P., Combrinck R., Cement and Concrete Research 48 (2013) 34
- [2] Leemann A., Nygaard P., Lura P., Cement and Concrete Composites 46 (2014) 1
- [3] Li Y., Li J., Construction and Building Materials 53 (2014) 511.
- [4] Gao P., Zhang T., Luo R., Wei J., Yu Q., Construction and Building Materials 55 (2014) 57
- [5] Yoo D., Park J., Kim S., Yoon Y., Construction and Building Materials 41 (2013) 427
- [6] <http://www.schleibinger.com/cmsimple/en/?Shrinkage:Thin-Layer-Shrinkage-System>
- [7] Golaszewski J., Cygan G., Drewniak M., Materiały Budowlane 3 (2013), 89
- [8] <http://www.schleibinger.com/cmsimple>

The research was financed by the project No. 0842/B/T02/2011/40 from the National Science Centre and the project "DoktoRIS – Scholarship program for innovative Silesia" co-financed by the European Union under the European Social Fund.