



Konstrukcja ścian kina wykonana została z betonu SCC

fot. Michał Braszczowski

Specyfika technologii betonu samozagęszczalnego

1. Wprowadzenie

Beton samozagęszczalny stanowi znaczący krok w rozwoju technologii betonu na drodze do opracowania betonu autotechnologicznego. Jego zalety i możliwości do uzyskania korzyści z jego stosowania były już wielokrotnie opisywane. Potwierdzają to liczne już zastosowania betonu samozagęszczalnego. Jego technologia nadal się rozwija, obejmując coraz szerszy zakres zastosowań i właściwości betonu, takich np. jak beton lekki, fibrobeton, beton podwodny. Stosunkowo łatwo można również uzyskać samozagęszczalny beton wysokowartościowy. Ale stosowanie betonu samozagęszczalnego stawia znacznie wyższe wymagania technologiczne jego projektowaniu i wykonaniu niż w przypadku betonu zwykłego. Jest to konsekwencją większej liczby składników betonu, w szczególności domieszek i dodatku, oraz ich złożonego współdziałania ze względu na jednoczesne spełnienie wymagań samozagęszczalności mieszanki i właściwości betonu. Dominujące znaczenie mają właściwości reologiczne mieszanki. Dlatego zalety betonu samozagęszczalnego mogą być w pełni wykorzystane tylko wtedy, jeśli uwzględniona będzie specyfika jego technologii. W artykule zasygnalizowano wybrane problemy projektowania, produkcji i wykonania betonu samozagęszczalnego, mające istotne znaczenie dla jego efektywnego stosowania. Specyfika technologii betonu samozagęszczalnego tkwi już w samej jego istocie, zawartej w niezbyt fortunnej polskiej nazwie tego betonu, która jest dosłownym tłumaczeniem angielskiego terminu **self-compacting concrete**. Termin ten określa specyficzną właściwość mieszanki betonowej, a nie betonu, bowiem w terminologii angielskiej mieszanka to **fresh concrete** (świeży beton), zaś termin **self-compacting** zamiast **fresh** określa tę jej właściwość. Nawiasem mówiąc, niedostrzeżenie tego rozróżnienia skłania niekiedy do proponowania „bardziej zasadnej” nazwy **beton samozagęszczony**. Istotą technologii betonu samozagęszczalnego jest zdolność mieszanki do samozagęszczenia, poprzez samoczynne wydalenie z jej objętości (na zasadzie wyporu hydrostatycznego) powietrza schwytanego przypadkowo podczas jej wytwarzania i transportu. A specyfika tej

technologii tkwiąca w istocie tego betonu, czyli w samozagęszczalności mieszanki betonowej, zaczyna się od tego, że samozagęszczalność nie jest w niej ani kryterium projektowania mieszanki, ani jej ocenianą właściwością, ani też nie jest oceniany efekt jej samozagęszczenia. W projektowaniu przyjmuje się bowiem, że mieszanka będzie samozagęszczalna, jeśli spełni ona, w okresie od wytworzenia do ułożenia jej w deskowaniu, następujące wymagania [1-5]:

- wysokiej płynności, zapewniającej łatwe i szczelne wypełnienie deskowania pod ciężarem własnym bez względu na zbrojenie oraz samoczynne wydalenie pęcherzyków powietrza
- zdolności przepływu przez zbrojenie i jego otulenia, bez blokowania się na zbrojeniu większych ziaren kruszywa
- stabilności struktury, czyli braku segregacji i wycieku wody z mieszanki.

Z powyższego wynika, że każdy beton formowany jedynie przez układanie mieszanki w deskowaniu, bez względu na rodzaj i właściwości, którego mieszanka spełnia powyższe wymagania, będzie betonem samozagęszczalnym. Ale jeśli samozagęszczalność mieszanki ma eliminować zasadność jej zagęszczenia mechanicznego, to ich efekty powinny być porównywalne.

2. Dobór składu i składników betonu samozagęszczalnego

Przy projektowaniu betonów samozagęszczalnych warunkiem podstawowym jest uzyskanie odpowiednich właściwości reologicznych mieszanki, a wymagane cechy wytrzymałościowe i trwałościowe kształtowane są na podstawie znanych ich zależności od charakterystyk składu i składników betonu. Konieczność spełnienia wymagań stawianych właściwościom reologicznym mieszanki determinuje specyfikę składu betonu samozagęszczalnego. Przede wszystkim przyjmuje się mały stosunek $w/(c+d)$ (w – woda, c – cement, d – dodatki mineralne) oraz dużą ilość frakcji pyłowych ($<0,125$ mm), do których zalicza się również cement i dodatki mineralne. Typowe betony samozagęszczalne charakteryzują się $w/c < 0,50$, $w/(c+d) < 0,35$ oraz zawartością frakcji pyłowych $500-600$ kg/m³. Dodatki mineral-

ne pozwalają na zredukowanie ilości cementu, obniżenie ilości wydzielanego ciepła oraz regulowanie wytrzymałości betonu. Zwykle stosuje się mączki kamienne, zmielony granulowany żużel wielkopiecowy, popioły lotne oraz, gdy wymagane są duże wytrzymałości, pył krzemionkowy. Duża ilość frakcji pyłowych ogranicza ilość wody wolnej w mieszance, zwiększając jej odporność na segregację. Stosowane kruszywo powinno charakteryzować się punktem piaszkowym 40÷50% i maksymalną wielkością ziaren nie przekraczającą 20 mm (w praktyce często stosuje się kruszywo o wielkości ziaren do 10 mm). Wszystko to zmniejsza niebezpieczeństwo segregacji i wycieku wody z mieszanki.

Odpowiednią płynność mieszanki uzyskuje się, stosując efektywne superplastyfikatory na bazie polikarboksylanów i polieterów. Skuteczne stosowanie superplastyfikatorów jest jednym z kluczowych problemów technologii betonu samozagęszczalnego. Efekty działania superplastyfikatora zależą bowiem od wielu zmiennych czynników technologicznych, zwłaszcza właściwości składników mieszanki oraz temperatury i czasu [6]. Z tego powodu dobór superplastyfikatora dokonuje się doświadczalnie, uwzględniając rodzaj cementu, właściwości stosowanych dodatków mineralnych, obecność innych domieszek oraz przewidywaną temperaturę mieszanki. Superplastyfikator musi zapewniać odpowiednie właściwości mieszanki przez wymagany w danych warunkach okres (zwykle 1-1,5 godziny, w prefabrykacji może być on krótszy). Dobierając superplastyfikator, należy sprawdzić, czy nie powoduje on niekontrolowanego napowietrzenia mieszanki i/lub opóźnienia początku wiązania cementu. Niektóre superplastyfikatory mogą powodować bardzo znaczne napowietrzenie mieszanki, co jest przeciwwskazaniem do jego zastosowania. Stwierdzono [7], że przy rozplywie wynoszącym ok. 700 mm zawartość powietrza w mieszance dla różnych superplastyfikatorów wynosiła od 0,85% do aż 9,0% jej objętości. Wobec tego, niezbędnym uzupełnieniem testu kompatybilności superplastyfikatora z cementem w obecności domieszek jest ocena jego efektu napowietrzającego.

Stosowanie domieszek napowietrzających w przypadku betonów samozagęszczalnych jest bardziej skomplikowane niż w przypadku betonów tradycyjnych. Napowietrzenie wpływa bowiem na właściwości reologiczne mieszanki, a jego niewielkie nawet zmiany mogą istotnie wpływać na zdolność mieszanki do płynięcia i jej stabilność. Dlatego trzeba brać pod uwagę możliwość wystąpienia napowietrzenia wywołanego superplastyfikatorem. Wtedy również struktura porowatości będzie istotnie odbiegała od wymaganej ze względu na mrozoodporność betonu. Jeśli dobrany superplastyfikator nie napowietrza znacząco mieszanki, to i tak zachodzi zwykle konieczność skorygowania ilości superplastyfikatora, z uwagi na zmianę właściwości reologicznych mieszanki wywołane domieszką napowietrzającą.

W przypadku skłonności mieszanki do segregacji, w celu zwiększenia jej stabilności zaleca się stosowanie domieszek zwiększających lepkość. Należy jednak zwrócić uwagę, że domieszki te nie zawsze działają w oczekiwany sposób i mogą zmniejszać wytrzymałość betonu (nawet do 30%) [8]. Mieszanki samozagęszczalne są bardzo wrażliwe na zmiany składu i warunków wykonywania, zwłaszcza temperatury. Konieczne jest więc projektowanie mieszanki przy uwzględnieniu warunków analogicznych do przewidywanych w trakcie wykonywania betonu. Dobrze zaprojektowana mieszanka samozagęszczalna powinna tolerować drobne zmiany składu i właściwości składników, a zwłaszcza ilości wody. Przy projektowaniu należy sprawdzić, jak mieszanka toleruje zmiany ilości wody w zakresie do 5-10 litrów i zmiany temperatury w zakresie 3°C. Jeśli to konieczne, należy również opracować sposoby korygowania składu mieszanki betonowej w zależności od zmian warunków betonowania, np. wahań temperatury.

Właściwości mieszanki samozagęszczalnej zależą nie tylko od procedury mieszania, ale również od intensywności mieszania oraz objętości zarobu. Stąd ważne jest, aby przy projektowaniu mieszanki stosować mieszalnik jak najbardziej zbliżony do mieszalnika, który

będzie stosowany przy produkcji mieszanki, oraz bardzo dokładnie odmierzać składniki próbnego zarobu. Pożądane jest przy tym wykonanie prób na skalę techniczną przed rozpoczęciem produkcji betonu samozagęszczalnego, w celu wypracowania optymalnej procedury mieszania oraz potwierdzenia, że projektowany beton spełnia wszystkie wymagania ze względu na właściwości reologiczne mieszanki i właściwości techniczne betonu. Specyfika technologii betonu samozagęszczalnego polega również na silnej zależności właściwości mieszanki od czasu i intensywności mieszania. Zaleca się więc możliwie duże wielkości zarobów próbnych i sposób mieszania zbliżony do stosowanego w wytwórni oraz koniecznie sprawdzenie zaprojektowanej mieszanki w wytwórni i na budowie [9]. Jak wykazano w [10], pomimo stosowania drogich domieszek chemicznych, koszt betonu samozagęszczalnego zwykle nie jest znacząco większy do kosztu betonu zagęszczanego tradycyjnie o tej samej klasie.

3. Wytwarzanie mieszanki

Ponieważ właściwości reologiczne mieszanki samozagęszczalnej są wrażliwe na nawet niewielkie zmiany właściwości składników, każdą nową dostarczoną ich partię należy składować osobno. Przed wprowadzeniem do produkcji należy skontrolować ich podstawowe właściwości i wpływ na właściwości reologiczne mieszanki oraz w razie potrzeby odpowiednio skorygować skład mieszanki. Najistotniejszymi ze względu na właściwości mieszanki samozagęszczalnej są: zmiany uziarnienia i wilgotności kruszywa, zwłaszcza piasku, zmiany rodzaju, uziarnienia i składu cementu oraz zmiany koncentracji i właściwości superplastyfikatora.

Procedura mieszania – czas i kolejność dodawania składników – powinna być dla danej mieszanki i mieszalnika optymalizowana doświadczalnie, a następnie ściśle przestrzegana w trakcie produkcji. Nawet niewielkie jej zmiany mogą się przyczyniać do znaczących zmian właściwości reologicznych mieszanki. Dotyczy to zwłaszcza kolejności i momentu dodawania superplastyfikatora oraz innych domieszek. Domieszki należy dodawać z wodą zarobową lub z pewnym opóźnieniem, zgodnie z zaleceniami producenta. Nie należy dodawać domieszek do suchych składników mieszanki, ani mieszać ze sobą różnych domieszek przed ich wprowadzeniem do mieszanki. Mieszanka samozagęszczalna wymaga zwykle dłuższego czasu mieszania od tradycyjnej.

Konieczność ścisłego przestrzegania reżimu technologicznego sprawia, że mieszanki samozagęszczalne mogą być produkowane w zasadzie tylko w węzłach wyposażonych w odpowiednio dokładne dozowniki, aparaturę do kontroli wilgotności kruszywa oraz precyzyjne dozowniki domieszek.

4. Deskowania

Stosowanie betonu samozagęszczalnego nie wpływa zasadniczo na konstrukcję deskowań poziomych. Należy jednak zaznaczyć, że konieczne jest stosowanie deskowań o szczelnych stykach, a wykonywanie elementów o nachyleniu większym niż 5% wymusza stosowanie zamkniętych form. W przypadku deskowań pionowych konieczne jest uwzględnienie parcia bocznego mieszanki betonowej. Zależy ono od właściwości reologicznych i ciężaru właściwego mieszanki, wyso-

Badanie betonu SCC



foto: Michał Braszczyński

kości betonowanego elementu, metody i prędkości układania mieszanki, nachylenia i sztywności deskowania, gładkości powierzchni deskowania, a w przypadku betonów zagęszczanych wibracyjnie również od głębokości wibracji. Deskowania pionowe projektowane są zwykle na parcie boczne mieszanki betonowej wynoszące od 40 do 80 kN/m², co jest wystarczające ze względu na typowe prędkości układania mieszanek tradycyjnych. Mieszanka samozagęszczalna charakteryzuje się jednak bardzo wysoką płynnością, a w takim przypadku parcie boczne na deskowania może odpowiadać pełnemu parciu hydrostatycznemu i osiągać wartości nawet ponad 150 kN/m² [3, 11, 12]. W związku z tym, w przypadku stosowania mieszanki samozagęszczalnej deskowania należy projektować przy założeniu pełnego parcia hydrostatycznego. Wymusza to, zwłaszcza przy wyższych elementach, konieczność stosowania wzmocnionych deskowań, a także zwiększenia liczby podpór i ściągów (stosowania mniejszych elementów deskowań systemowych). Wpływa to znacząco na pracochłonność wykonania deskowania (szacuje się, że jest ona o około 10% większa), a w konsekwencji na koszt wykonania konstrukcji z betonu samozagęszczalnego [12]. Jeśli betonowanie prowadzone jest przez pompowanie od dołu, deskowania wymagają dodatkowego wzmocnienia ze względu na lokalny wzrost parcia ponad parcie hydrostatyczne. Trzeba przy tym zwrócić uwagę, że wznowianie procesu betonowania pompowego również powodować może wzrost parcia na deskowanie.

Znaczący wpływ na parcie boczne mieszanki ma prędkość jej układania. Zmniejszenie parcia poniżej pełnego parcia hydrostatycznego (do ok. 60-70% parcia hydrostatycznego) można uzyskać, gdy prędkość układania mieszanki samozagęszczalnej nie przekracza 2 m/h [11, 12]. Jest to typowa prędkość przy układaniu tradycyjnych mieszanek betonowych. Należy jednak zwrócić uwagę, że nawet jeśli prędkość układania mieszanki jest poniżej 2 m/h, to parcie boczne mieszanki samozagęszczalnej nadal pozostaje wyraźnie większe niż mieszanki układanej i zagęszczanej w tradycyjny sposób.

Doświadczenia z praktycznego wykonywania betonów samozagęszczalnych pokazują, że utrata urabialności oraz sztywnienie mieszanki obniżają parcie mieszanki na deskowania nawet do 30% parcia hydrostatycznego [11, 12]. Należy przy tym zaznaczyć, że uwzględnienie efektu sztywnienia mieszanki na zmniejszenie parcia bocznego przy projektowaniu deskowań jest możliwe tylko wtedy, gdy zostanie on pozytywnie zweryfikowany w badaniach wykonanych w rzeczywistych warunkach techniczno-organizacyjnych.

5. Układanie, zagęszczanie oraz pielęgnacja mieszanki

Mieszanka samozagęszczalna powinna być przewożona za pomocą samochodów z mieszalnikiem. Mieszanie podczas transportu powinno odbywać się w sposób ciągły i na wolnych obrotach mieszalnika. W momencie układania w deskowaniach

mieszanka musi charakteryzować się założonymi w projekcie właściwościami reologicznymi i spełniać wymagania rozplywu, stabilności i samoodpowietrzenia. Ze względu na niepewny efekt oraz utrudnioną kontrolę jakości należy unikać korygowania składu betonu samozagęszczalnego na budowie.

Pozostawione w spoczynku mieszanki samozagęszczalne wykazują często efekt zeszywnienia tzw. żelowania [3]. Mieszanka taka staje się sztywna i nie wykazuje zdolności do samoczynnego rozplywu. Efekt ten jest jednak odwracalny – ponowne przemieszanie powoduje, że mieszanka odzyskuje wcześniejszy stopień upłynnienia. W związku z efektem zeszywnienia mieszankę samozagęszczalną należy poddawać stałemu mieszanii, a w przypadku konieczności czasowego jej przechowywania należy stosować zasobniki mieszające. Mieszankę samozagęszczalną można układać analogicznie jak mieszankę zagęszczaną tradycyjnie: rynną zsygową bezpośrednio z samochodu mieszalnika, za pomocą zasobników lub za pomocą pompy. Należy unikać swobodnego układania mieszanki. Wprawdzie mieszanka samozagęszczalna jest zwykle bardziej odporna na segregację niż mieszanka tradycyjna, jednak w trakcie swobodnego układania dostaje się do niej dużo powietrza.

Przy układaniu mieszanki samozagęszczalnej za pomocą zasobników należy zwrócić uwagę, aby zasobnik nie był poddany drganiom, ani tym bardziej wibracji. Ponieważ efekt sztywnienia pozostawionej w spoczynku mieszanki może utrudnić opróżnienie zasobnika, musi być napełniany bezpośrednio przed betonowaniem i opróżniony najszybciej jak to możliwe. Zalecane jest opróżnianie zasobnika poprzez sztywny lej zasypowy.

Układanie mieszanki samozagęszczalnej za pomocą pompy powinno odbywać się w sposób ciągły, z prędkością dostosowaną do wytrzymałości deskowań i prędkości odpowietrzenia mieszanki. Ze względu na parcie na deskowania zaleca się prędkość układania mieszanki nie większą niż 2 m/h. Ponadto, aby uniknąć wprowadzenia do mieszanki powietrza, końcówka rozdzielacza powinna być cały czas zanurzona ok. 10 cm poniżej poziomu układanej mieszanki betonowej, także wtedy gdy zmieniane jest jej położenie. W przypadku betonowania elementów pionowych mieszanka samozagęszczalna może być także podawana poprzez specjalny zawór umieszczony w dolnej części wzmocnionego ze względu na zwiększone parcie na deskowania. Podawanie od dołu zmniejsza niebezpieczeństwo segregacji oraz sprzyja lepszemu wykończeniu powierzchni betonu, gdyż do mieszanki dostaje się mniej powietrza (jednak zwiększone parcie na deskowania wymusza ich wzmocnienie).

Ze względu na sztywnienie mieszanki samozagęszczalnej ponowne rozpoczęcie pompowania po przerwie może być utrudnione i wymagać znaczącego zwiększenia ciśnienia w rurociągu (co sprzyja segregacji wewnętrznej mieszanki). Ponadto przerwy



Betonowanie betonem SCC przyczółków wiaduktu drogowego węzła autostradowego A1 – A4

Źródło: Michał Graczyński

w betonowaniu mogą powodować powstawanie słabych połączeń na styku układanych kolejno warstw mieszanki, osłabiających wytrzymałość, trwałość i wygląd konstrukcji. W przypadku wystąpienia krótkich przerw w betonowaniu, po jego wznowieniu pierwsze partie mieszanki należy układać tak, aby powierzchniowo upłynnić wcześniej ułożoną mieszankę, ułatwiając tym samym jej dobre połączenie się z nowo układaną. Można to osiągnąć np. poprzez zwiększenie ciśnienia mieszanki w rurociągu lub poprzez zwiększenie wysokości, z której jest układana mieszanka.

Istotą betonu samozagęszczalnego jest wyeliminowanie konieczności stosowania zagęszczania wibracyjnego. Należy jednak podkreślić, że specyficzne właściwości reologiczne mieszanki samozagęszczalnej praktycznie wykluczają stosowanie wibracji. Poddanie takiej mieszanki nawet słabej wibracji spowoduje bowiem zakłócenie jej stabilności wewnętrznej i doprowadzi do jej segregacji. Z tego powodu jakiegokolwiek urządzenia wibracyjne nie powinny być używane przy układaniu mieszanki samozagęszczalnej, jak również w pobliżu miejsca betonowania. Niemożność uzyskania odpowiedniego stopnia zagęszczenia mieszanki wymaga przerwania robót, sprawdzenia zgodności właściwości mieszanki i procedur jej produkcji, transportu i układania ze specyfikacją. Dalsze betonowanie jest możliwe dopiero po wprowadzeniu odpowiednich korekt. W wyjątkowych przypadkach możliwe jest zastosowanie słabej wibracji, jednak zawsze pod bardzo ścisłą kontrolą. Dotyczy to sytuacji, gdy w wyniku przedłużającej się przerwy w betonowaniu na powierzchni wcześniej ułożonej mieszanki utworzy się sztywna skorupa uniemożliwiająca prawidłowe połączenie z następnie układaną warstwą mieszanki, betonowania konstrukcji o skomplikowanych kształtach oraz wykończenia powierzchni płyt. W tym ostatnim przypadku najlepiej odczekać, aż mieszanka zeszywnieje.

Jeśli mieszanka samozagęszczalna nie jest samopoziomującą, powinna być wyrównana za pomocą typowych narzędzi ręcznych, bezpośrednio po zakończeniu układania, nim wystąpi powierzchniowe zeszywnienie mieszanki. Ze względu na niskie w/c, brak wycieku wody oraz dużą ilość zaczynu, pielęgnację należy zaczynać bezpośrednio po ułożeniu mieszanki.

6. Podsumowanie

Beton samozagęszczalny jest dość trudny w wykonaniu. Jego stosowanie wymaga wprowadzenia szeregu specyficznych dla niego procedur, których nieuwzględnienie zwykle prowadzi do znaczącego obniżenia jego jakości. Właściwości betonu samozagęszczalnego są bardzo wrażliwe na niewielkie nawet zmiany składu i/lub właściwości składników oraz powtarzalność stosowanych procedur technologicznych. Często przyczyną braku powtarzalności właściwości mieszanki w kolejnych zarobach

jest zmienność wilgotności kruszywa w silosach [13]. Równie ujemny wpływ może mieć niewystarczająca dokładność urządzeń dozujących składniki betonu, nieistotna w produkcji mieszanek zagęszczanych wibracyjnie [2]. Dlatego o ile opracowanie receptury betonu samozagęszczalnego w laboratorium dla doświadczonych technologów nie stanowi istotnego wyzwania, to jej wykorzystanie w wytwórni betonu przysparza niejednokrotnie sporych problemów. W związku z tym bardzo ważne jest, by systemy sterowania i dozowania wykorzystywane w produkcji mieszanki samozagęszczalnej spełniały wysokie wymagania odnośnie precyzji pomiaru. Każdy etap procesu jego wykonania powinien być prowadzony pod wzmocnionym nadzorem technologicznym, zwłaszcza wtedy, gdy wykonawca nie ma odpowiedniego doświadczenia lub wdrażany jest nowy rodzaj mieszanki. Najlepiej, jeśli zarówno procesy wytwarzania jak i wykonania betonu samozagęszczalnego objęte są systemem zarządzania jakością, co wiąże się z odpowiednim przeszkoleniem pracowników zaangażowanych w procesy produkcji i wykonania betonu samozagęszczalnego w zakresie ich specyfiki oraz konsekwencji niewłaściwego ich wykonania. Szczególne znaczenie w wykonywaniu konstrukcji z tego betonu mają: wpływ drgań na stabilność mieszanki, prędkość układania mieszanki, wpływ przerw w betonowaniu, sposoby wykończenia powierzchni i pielęgnacji oraz sposób pobierania próbek do badań jego właściwości.

dr hab. inż. Jacek Gołaszewski
prof. Politechniki Śląskiej
prof. dr hab. inż. Janusz Szwabowski

Literatura

- 1 *The European Guidelines for Self-Compacting Concrete. Specification, Production and Use. SCC European Project Group, 2005*
- 2 *Casting of self compacting concrete. Rilem Report 35. Ed. by A. Skarendahl & P. Billberg, RILEM Publication S.A.R.L., 2006*
- 3 *De Schutter G., Bartos P.J.M., Domone P., Gibbs J.: Self compacting concrete. Dunbeath: Whittles Publishing, 2008*
- 4 *J. Szwabowski, Reologia a urabialność betonu samozagęszczalnego, „Cement, Wapno, Beton”, 1/2004*
- 5 *Z. Giergiczny, J. Matolepszy, J. Szwabowski, J. Śliwiński, Cementy z dodatkami mineralnymi w technologii betonów nowej generacji, Wydawnictwo Instytut Śląski sp. z o.o. w Opolu, Opole 2002*
- 6 *J. Gołaszewski, Wpływ superplastyfikatorów na właściwości reologiczne mieszanek na spoiwach cementowych w układzie zmiennych czynników technologicznych, Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, Gliwice 2006*
- 7 *B. Łażniewska-Piekarczyk, Ocena wpływu rodzaju superplastyfikatora na wywołane nim napowietrzenie samozagęszczalnej mieszanki betonowej na podstawie badania właściwości zaczynu, XI Sympozjum Nauk.-Techn. „Reologia w technologii betonu”, Gliwice 2009*
- 8 *J. Gołaszewski, Influence of viscosity enhancing agent on properties of mortars with different cements and superplasticizers. The 9th International Conference “Modern Building Materials, Structures and Techniques”. Selected Papers, Vol. I, Ed. by M.J. Skibniewski, P. Vainiunas and K. Zavadskas, Vilnius, Lithuania 2007*
- 9 *J. Śliwiński, R. Czołgosz, Spostrzeżenia z praktycznego projektowania składu betonów samozagęszczalnych, Sympozjum naukowo-techniczne „Reologia w technologii betonu”, Gliwice, czerwiec 2002*
- 10 *J. Gołaszewski, D. Stolarczyk, Ekonomiczne aspekty stosowania betonów SCC, „Przegląd Budowlany” 2/2009*
- 11 *P. Billberg, Form pressure generated by self-compacting concrete. 3rd International Symposium on Self-Compacting Concrete, Ed. by O. Wallevik and I. Nielsson, Reykjavik, Iceland 2003*
- 12 *M. Drewniak, Właściwości reologiczne mieszanki samozagęszczalnej a jej parcie na deskowanie, XI Sympozjum Nauk.-Techn. „Reologia w technologii betonu”, Gliwice 2009*
- 13 *A. Leemann, Receptury mieszanek betonu samozagęszczalnego – od laboratorium do zakładu betonowego, Zakłady Betonowe International, nr 3, czerwiec 2009*

Badanie betonu SCC

