

Betony samozagęszczalne są niewątpliwie jedną z najbardziej widowiskowych innowacji w nowoczesnej technologii betonu. Dzięki opracowaniu nowego typu domieszek upłynniających oraz oferowaniu przez rynek cementowy produktów o najwyższej jakości, stało się możliwe opracowanie mieszanek betonowych o tak dużej płynności i doskonałej urabialności. W światowych i krajowych publikacjach coraz więcej miejsca poświęca się problematyce betonu samozagęszczalnego.

Większość materiałów na temat SCC oparta jest na badaniach laboratoryjnych. Opisywane są metody projektowania betonów samozagęszczalnych, kryteria, jakie powinny spełniać materiały stosowane do ich produkcji oraz sposoby sprawdzania właściwości świeżej mieszanki betonowej (badania „samozagęszczalności“). Nieco mniej miejsca zajmują badania stwardniałego betonu, skurczu oraz trwałości. Największą lukę dotyczącą SCC stanowią informacje o praktycznym wykorzystaniu tego materiału w trakcie konkretnych realizacji oraz informacje na temat korzyści, jakie niesie z sobą nowa technologia, ale i zagrożeń, jakie może spowodować na budowie „zły“ SCC. Niniejszy artykuł stanowi swego rodzaju podsumowanie doświadczeń zebranych przez RMC Polska na budowie Superkina w Gdańsku. Należy jednak podkreślić, że nie jest to jedyna budowa w Polsce, na którą dostarczone i zabudowano beton samozagęszczalny. Mimo to SCC w Polsce ciągle jeszcze stanowi zaledwie promil w odniesieniu do całości produkowanego betonu towarowego.

Kompleks handlowo-rozrywkowy City Forum II w Gdańsku jest obiektem, na którego realizację Grupa RMC dostarczyła ok. 1800 m³ betonu samozagęszczalnego, co stanowi swego rodzaju ewenement w skali kraju. Jest to trójkondygnacyjna konstrukcja o powierzchni całkowitej 15.941 m² i kubaturze 74.613 m³. Inwestorem budowy jest Vision Film Distribution Polska, a generalnym wykonawcą Korporacja Budowlana DORACO. Ze względu na

Beton samozagęszczalny na budowie City Forum II w Gdańsku

technologię wykonania i nowatorstwo w zakresie użytych materiałów budowlanych, w tym betonu samozagęszczalnego, obiekt zasługuje na szczególną uwagę. Z SCC wykonano większość słupów oraz ścian zewnętrznych i wewnętrznych kondygnacji naziemnych, o wysokościach 4÷10 metrów. Całość konstrukcji stanowi żelbetony monolit zbrojony prętami ze stali A-III 34 GS oraz siatkami ze stali BST 500S w połączeniu z betonem klas B25 i B40.

Projekt i specyfikacje

Do budowy ścian oraz słupów nośnych konstrukcji, dochodzących do 10 metrów wysokości, specyfikacje projektowe przewidywały beton towarowy dwóch klas: B25 oraz B40 o konsystencji K4. Mieszanka betonowa miała być podawana do elementów przy użyciu pompy. Po rozpoczęciu prac budowlanych okazało się, że betonowanie tradycyjnymi metodami przy użyciu betonu towarowego o konsystencji K4 nie było dobrym rozwiązaniem. Zagęszczenie mieszanki betonowej w zbrojonej ścianie o grubości 25 cm i wysokości 10 m stało się czynnością bardzo męczącą i czasochłonną. Długość wałka giętkiego wraz z buławą wibratora ma co najwyżej 4 metry. Wibrowanie mieszanki w 4-metrowym szalunku było bardzo utrudnione w dolnych jego partiach, nie wspominając już o wyższych ścianach rzędu 8÷10 m. Do tego dochodziły często otwory w ścianach, które należało otulić mieszanką betonową (zdjęcia 1 i 2).

Ze względu na krótkie terminy realizacji, jak również niewielki plac budowy, szukano rozwiązań, które miały usprawnić i przyspieszyć proces budowlany. Wtedy też wzięto pod uwagę betonowanie z użyciem betonu samozagęszczalnego. Początkowo kierownictwo budowy potraktowało SCC jako konieczność wynikającą z realiów panujących na terenie budowy, warunków projektowych, jak też technologicznych. Wkrótce jednak przekonano się o korzyściach wynikających z zastosowania SCC.

Przygotowanie do produkcji i obserwacje z budowy

Przed przystąpieniem do projektowania mieszanki SCC założono, że powinna ona spełniać następujące kryteria:



Fot. 1. Superkino w Gdańsku – szalowanie ściany do zabudowy SCC (wysokość: ok. 8 m, szerokość ok. 8 m, grubość 25 cm); ściana zbrojona z otworami w środku

- zdolność do „samozagęszczania“ się pod własnym ciężarem
- silne odpowietrzanie mieszanki
- uzyskanie tak zwanej szybkiej mieszanki o dużej dynamice rozplątywu
- spójność składników, wysoka lepkość oraz brak bleedingu i segregacji
- spełnienie warunków „samozagęszczalności“ przy badaniach metodami rozplątywu swobodnego oraz L-Box.

Ponadto wzięto pod uwagę wymagania kierownictwa budowy dotyczące szybkiego przyrostu wytrzymałości wczesnych oraz takie dane jak: przeciętny czas dowozu mieszanki na plac budowy, założony maksymalny czas ewentualnego przestoju betonowozów na budowie i czas rozładunku. Przyjęto, że mieszanka powinna być dobrze urabialna i ma spełniać wszystkie kryteria „samozagęszczalności“ przez co najmniej jedną godzinę od momentu wyprodukowania (czas dojazdu na budowę maksymalnie 30 minut).

W pierwszym etapie projektowania SCC skoncentrowano się na doborze odpowiedniej jakości surowców, ze szczególnym zwróceniem uwagi na dobór cementu, domieszki chemicznej (superplastyfikatora) oraz dodatku mineralnego. Zaprojektowano kilka mieszanek betonowych, które później poddano próbom laboratoryjnym. Jeżeli chodzi o sposób projektowania SCC, należy zaznaczyć, że nie korzystano z żadnej z opublikowanych dotychczas metod projektowania betonów samozagęszczalnych. Wzięto natomiast pod uwagę wszelkiego rodzaju wytyczne i zalecenia dotyczące proporcji składników i ich zawartości w mieszance SCC (patrz: Polski Cement nr 1 styczeń – marzec 2002; str 40-42).

Do mieszanki SCC zastosowano trzy frakcje kruszywa (piasek 0÷2 mm, żwi-

ry 2÷8 mm i 8÷16 mm). Dobierając stos okruszowy zdecydowano się na wersję, w której udziały masowe poszczególnych frakcji kruszywa przedstawiają się następująco: piasek – 36%, żwir drobny – 26%, żwir gruby – 38%. Kolejnym krokiem było dobranie odpowiedniej ilości cementu CEM I 32,5 R oraz dodatku popiołów lotnych, których suma wynosić miała 500÷520 kg/m³. Stosunek objętościowy dodatek mineralny/cement wynosił 0,82. Zbadana została również możliwość zamiany cementu CEM I 32,5 R i dodatku popiołów lotnych na cement portlandzki popiołowy CEM II/B-V 32,5 w ilości 520 kg/m³. Ostatnim etapem było dobranie odpowiedniej ilości domieszki chemicznej i wody zarobowej. Przeprowadzono testy porównawcze kilku domieszek różnych firm, typując w ten sposób te, które dawały zadowalające wyniki. Chodzi tu o superplastyfikatory nowej generacji, których bazę surowcową stanowią polikarboksylany i etery polikarboksylowe. Domieszki te dają efekt silnego upłynnienia nawet przy ekstremalnie niskich wartościach w/c, zapewniając jednocześnie wysoką lepkość mieszanki. Zadanie to jest o tyle skomplikowane, że przekroczenie pewnej ilości wody o 3÷5 litrów/m³ może spowodować segregację składników oraz wystąpienie zjawiska bleedingu. Dlatego istnieje konieczność stosowania dużych ilości bardzo efektywnych domieszek upłynniających oraz sprawdzenia kompatybilności układu cement – dodatek mineralny – domieszka chemiczna.

W związku z dużą podatnością SCC na ilość wprowadzonej wody zarobowej, proces wytwarzania SCC na węźle betoniarskim wymaga odpowiedniego wyposażenia technicznego wytwórni oraz ścisłego nadzoru technologicznego. Wahań wilgotności kruszyw każdego dnia, a nawet każdego zarobu powodują tak duże skoki konsystencji, że wskazane jest wyposażenie wytwórni w sondy do oznaczania wilgotności kruszyw. Przed przystąpieniem do produkcji betonu samozagęszczalnego i rozpoczęciem dostaw na budowę przeprowadzono szereg szkoleń dotyczących technologii SCC, zarówno wśród pracowników RMC (operatorzy wężła, kierowcy, operatorzy pomp), jak i na terenie budowy. Beton samozagęszczalny jest ciągle jeszcze produktem nowym, nie ujętym w żadnych normach i wytycznych, dlatego wiele czasu poświęcono na przekazanie niezbędnych informacji z zakresu jego stosowności.

Mieszanie betonu w bębnach betonomieszarek powinno odbywać się w spo-

sób ciągły, na wolnych obrotach. Nie wolno doprowadzić do zatrzymania bębna na budowie, gdyż może to spowodować częściową segregację i szybsze sztywnienie mieszanki. Wszelkie spostrzeżenia operatorów wężła, kierowców betonomieszarek, robotników czy kierownictwa budowy były natychmiast przekazywane technologowi, który na bieżąco korygował i kontrolował proces produkcji SCC. Szczególną uwagę zwrócono na przygotowanie szalunków. Płyty szalunkowe muszą być odpowiednio przesmarowane środkami służącymi do tego celu, co zapobiega powstawaniu odprysków w fakturze ściany przy ich demontażu. Szczelność deskowań jest równie istotna. Nie należy dopuścić do sytuacji, w której zaczyn cementowy wycieka niezabezpieczonymi szczelinami, gdyż prowadzi to do powstawania „raków“, a zaczyn cementowy, który wypłynie, odstania kruszywo dając nieestetyczny wygląd ściany. Szczególną uwagę zwrócono na proces pielęgnacji betonu. Z uwagi na wysokie ciepło hydratacji wynikające z dużej ilości użytego cementu oraz niskiego stosunku W/C, pielęgnację rozpoczynano bardzo wcześnie (po kilku – kilkunastu godzinach od zabudowania betonu) i prowadzono w sposób intensywny. Szczególnie w okresie letnim prowadzono bardzo wzmożoną pielęgnację wodą i przykrywanie elementów folią, aby zapobiec wczesnemu skurczowi, który, jak wynika z danych literaturowych, najbardziej aktywny jest przez pierwsze trzy doby.

Mieszanie SCC w mieszalniku przemysłowym na węźle betoniarskim powinno się odbywać zdecydowanie dłużej niż w przypadku zwykłego betonu. Najlepsze czasy mieszania oscylowały w granicach od 2 do 4 minut na każdy zarób w zależności od jego wielkości. Pozwoliło to na precyzyjną homogenizację składników, a w szczególności superplastyfikatora oraz dokładne ustalenie konsystencji. Badanie konsystencji przeprowadzono dla każdej dostawy i, co może niektórych zdziwić, dla każdego zarobu. Beton samozagęszczalny ze względu na swoją ciekość jest wyjątkowo podatny na przedozowanie nawet najmniejszej ilości wody, dlatego bardzo dokładnie pilnowano jej dawkowania. Kruszywa pobrane z różnych miejsc hałdy mogą w znaczący sposób wpłynąć na konsystencję, a nawet doprowadzić do segregacji składników przy dużych różnicach w wilgotności. Z tego właśnie powodu operatorzy wężła mieli za zadanie badać konsystencję każdego zarobu metodą rozptywu swobodnego i regulować ilość wody zarobowej tak, aby średnica

rozptywu na węźle wahała się między 69 a 72 cm. Każdorazowo mierzono również temperaturę powietrza i mieszanki betonowej. Wyniki przeprowadzonych badań w trakcie produkcji oraz wszelkie uwagi dotyczące produkcji, czasu dostaw i wbudowania mieszanki odnotowywane były w dzienniku produkcji. Takie obostrzenia powodowały wydłużenie procesu produkcyjnego w stosunku do tradycyjnego betonu towarowego, ale tylko w ten sposób można było zapewnić jakość na najwyższym poziomie.

Proces zabudowania betonu do elementu odbywał się dwoma metodami: mieszanka podawana była pojemnikami lub przy pomocy pompy. Podawanie SCC pojemnikami do szalunków niczym nie różni się od betonu tradycyjnego. Pompowanie SCC powinno z założenia odbywać się bez problemów. Zapewnić to ma duża ilość frakcji drobnych poniżej 0,125 mm pochodzących z cementu (ewentualnie dodatków mineralnych) i piasku oraz wysoki stopień ciekości mieszanki. Bardzo ważnym elementem w przypadku pompowania mieszanek SCC jest zapewnianie ciągłości pompowania. W przypadku przerw w pompowaniu mieszanka w rurociągu pompy przestaje płynąć i bardzo szybko sztywnieje. Ponowne rozpoczęcie pompowania może być utrudnione, a niekiedy nawet niemożliwe. Ze względu na dużą zawartość spoiwa następuje gwałtowny proces wiązania, co przy dłuższych przestojach, np. w oczekiwaniu na kolejny betonowóz, może przynieść efekty w postaci zablokowanego rurociągu pompy, szczególnie w okresie podwyższonych temperatur. Nie można również doprowadzić do przedozowania ilości wody w mieszance, gdyż nadmierna jej ilość spowoduje natychmiastowo segregację kruszywa. Segregacja ma miejsce już w koszu pompy, co powoduje, że ciśnienie ssące pompy podciąga zaprawę z mieszanki, podczas gdy kruszywo blokuje się i nie jest zasysane.

Temperatura powietrza ma jak wiadomo zasadniczy wpływ na parametry



foto: Archiwum

Fot. 2. Superkino w Gdańsku – gotowa ściana z SCC (wysokość: ok. 8 m, szerokość ok. 8 m, grubość 25 cm); ściana zbrojona z otworami w środku, czas betonowania ok. 15 minut



Fot. 3. Superkino w Gdańsku – z lewej strony szalowanie ściany, z prawej gotowa ściana wykonana z SCC

świeżej mieszanki betonowej. Szczególnie jest to widoczne w mieszankach SCC. Domieszki nowej generacji pozwalają uzyskać zaskakująco dobre efekty upłynniające, natomiast ich wrażliwość na zmiany temperatury jest duża. Skoki temperatury latem dochodzące do 30-35°C powodowały tak duże zmiany konsystencji od momentu wyprodukowania do dostawy na budowę (20 minut), że konieczne stało się wprowadzenie domieszki opóźniającej wiązanie cementu. Bez domieszki opóźniającej przy rozpięciu wyjściowym na węźle betoniarskim (72 cm) otrzymywano na budowie średnicę rozpięciu sięgającą tylko 55 cm. Gdy temperatura powietrza spadała do 20°C, uzyskiwano spadek rozpięciu z 72 cm na węźle do około 68 cm na budowie. Przy temperaturach powietrza rzędu 10°C okazywało się, że konieczna jest redukcja ilości domieszki w celu zachowania odpowiednich właściwości mieszanki. Zmniejszono rozpięcie na węźle do około 68 cm, tak aby praktycznie bez utraty konsystencji w trakcie transportu taki sam rozpięcie uzyskać na budowie. Jak widać w trakcie produkcji SCC należy uważnie kontrolować przebieg procesu, reagując na wszelkie zmiany czynników zewnętrznych.

Korzyści wynikające z zastosowania SCC

Badania wytrzymałościowe betonu były prowadzone przez dwa niezależne laboratoria jednocześnie. Próbkę do badań pobierane były z każdej dostawy betonu. Z obu źródeł uzyskano prawie identyczne wyniki kwalifikujące dostarczony beton do klasy B60. Dzięki osiągnięciu wysokich wytrzymałości wczesnych (7-dniowe wytrzymałości około 45 MPa), możliwe było wcześniejsze obciążenie konstrukcji od zakładanego. Element, który byłby betonowany z użyciem betonu zwykłego B25 lub B40, mógłby być teoretycznie w pełni obciążony dopiero po 28 dniach, podczas gdy przy zastosowaniu SCC to samo obciążenie mogło być już przeniesione po 3 dniach od zabudowania mieszanki. Wpłynęło to z pewnością na przyspieszenie cyklu realizacji budowy, szczególnie

gdy terminy realizacji były tak krótkie. Ponadto dochodzi fakt przyspieszenia pracy wynikający z szybszego rozładunku. Wyeliminowane zostały tu wszelkie czynności związane z wibrowaniem

mieszanki, które szczególnie przy skomplikowanych kształtach zajmują pokaźną część cyklu budowlanego. Porównując beton SCC z tradycyjnym obliczono, że zabudowanie 9 m³ betonu (jednego betonowozu) odbywa się ponad trzy razy szybciej niż betonu tradycyjnego o konsystencji K4. Do zabudowania SCC potrzebny jest zaledwie jeden pracownik trzymający gumową końcówkę węża pompy, kierując go w miejsce ułożenia mieszanki. Tak więc pozostałych pracowników można w tym samym czasie przesunąć na inny odcinek robót. Zbędne są także wibratory.

Koszt produkcji SCC jest wyższy niż betonu tradycyjnego. Na wyższą cenę wpływają przede wszystkim: duża zawartość części pylastych (w tym cementu) oraz zastosowanie dużej ilości wysokoefektywnych, ale jednocześnie drogich domieszek upłynniających. Dlatego przy kalkulacji cenowej należy brać pod uwagę wszystkie korzyści, jakie niesie z sobą SCC dla budowy i podchodzić do kosztów w sposób globalny. Trzeba tu wyważyć opłacalność zakupu materiału w stosunku do komfortu, tempa i jakości pracy. I tutaj stosunek ceny do jakości i wszystkich zalet SCC przedstawia się bardzo korzystnie. W tabelach 1-2 pokazane zostały korzyści i zagrożenia, jakie niesie z sobą nowa technologia dla różnych uczestników procesu budowlanego. Doraco jest korporacją budowlaną otwartą na nowe rozwiązania. Inżynier Zbigniew Sondej, kierujący wykonaniem robót żelbetonowych na omawianej budowie, w następujący sposób wyraża swoją opinię o SCC: – Skończył się czas zwykłych betonów. Beton musi być szyty na miarę. Potrzebowałem betonu, który nie wymaga zagęszczania mechanicznego, (bo ze względu na wysokość

Tab. 1. Zagrożenia co do przyszłości SCC

Projektant/Klient	Inwestor/Wykonawca	Dostawca=wytwórnia betonu	Dostawcy surowców
<ul style="list-style-type: none"> • przywiązanie do tradycyjnych praktyk budowlanych • brak standardów, norm i wytycznych • wyższe koszty samego betonu • brak znormalizowanych metod badawczych 	<ul style="list-style-type: none"> • korzystanie z taniej siły roboczej • brak znormalizowanych metod badawczych gwarantujących jakość • niechęć do zmiany przyjętej praktyki budowlanej 	<ul style="list-style-type: none"> • większa ilość stosowanych surowców • trudniejsza produkcja betonu • większa odpowiedzialność • mniejsza wydajność 	<ul style="list-style-type: none"> • konieczność opracowywania nowych surowców • konieczność inwestycji dla zapewnienia surowców o odpowiedniej jakości

ścian nie było technicznej możliwości wibrowania), który zabudowany szybko traci płynność i nie przekazuje parcia na ściany szalunków. Taki beton typu SCC dostarczyła skutecznie firma RMC. Dzięki temu w znaczącym stopniu zwiększono wydajność wykonywania konstrukcji żelbetonowej i uzyskano efekty związane z ograniczeniem czasu dzierżawy desek, dźwigów i urządzeń pomocniczych. Przyszłość należy do betonów projektowanych indywidualnie pod daną konstrukcję żelbetonową, technologię wykonania oraz inne specjalne wymagania.

Niestety, nieprzychylnie pozostają regulacje prawne. Swoją małą popularność SCC zawdzięcza m.in. faktowi braku norm, wytycznych oraz specyfikacji. Stąd też wyraźnie zauważalna niechęć projektantów do korzystania z SCC już na etapie projektowania konstrukcji. Sytuacja ta musi zdecydowanie ulec zmianie, gdyż to właśnie na deskach projektowych padają pierwsze założenia i wytyczne odnośnie technologii wykonania i materiałów do tego użytych. W tym celu należy organizować prelekcje, szkolenia i konferencje naukowe, jak ta, która odbyła się w dniach 29-30.11.2001 w Rydzynie, której organizatorem była Spółka Polski Cement i RMC Polska. W trakcie konferencji pokazano w sposób szczegółowy technologię SCC. Miejmy nadzieję, że SCC stanie się wkrótce powszechnym materiałem budowlanym na większości polskich budów.

Michał Daszkiewicz

Tab. 2. Korzyści stosowania SCC na budowie

Projektant/Klient	Inwestor/Wykonawca	Dostawca=wytwórnia betonu	Dostawcy surowców
<ul style="list-style-type: none"> • więcej innowacji na budowie • bardziej złożone kształty • zwiększenie bezpieczeństwa na budowie • wyższa wytrzymałość betonu • wyższa trwałość • wyższa jakość powierzchni betonu • wyeliminowanie "dodawania wody" na budowie • szybszy program budowy • globalne oszczędności w kosztach budowy 	<ul style="list-style-type: none"> • mniejsze koszty deskowania • mniejsze koszty sprzętu na budowie • mniejsza liczba wykwalifikowanych pracowników na budowie • szybkie wbudowywanie mieszanki • krótszy czas budowy • lepsze warunki pracy • mniejsze koszty robocizny na budowie • niższy poziom hałasu na budowie • zmniejszona odpowiedzialność wykonawcy • wysoka jakość krawędzi • wyeliminowanie "dodawania wody" na budowie 	<ul style="list-style-type: none"> • możliwość oferowania alternatywnych rozwiązań • umocnienie pozycji na rynku • mniej groźna konkurencja "słabych" producentów • nowy produkt w ofercie 	<ul style="list-style-type: none"> • nowe rynki dla ich produktów • rozwój nowych produktów