

BETON SAMOZAGĘSZCZALNY – MOŻLIWOŚCI ZASTOSOWANIA W INFRASTRUKTURZE WSI

Jacek Mądrowski, Daniel Zawal

Akademia Rolnicza w Poznaniu

Streszczenie. Beton samozagęszczalny, coraz bardziej popularny w krajach zachodnich, USA oraz Japonii, jest uznawany za materiał przyszłościowy. Stosowany już dziś dość powszechnie w obiektach inżynierskich (elementy gęsto zbrojone, fundamenty i filary mostowe, płyty, zbiorniki, prefabrykacja), może znaleźć zastosowanie również w szeroko pojętej infrastrukturze wsi. Przemawia za tym wiele jego korzystnych cech zarówno na etapie mieszanki betonowej (wylimitowanie zagęszczenia wibracyjnego), jak i betonu stwardniałego (duża wytrzymałość). Coraz częściej mówi się również o korzyściach ekonomicznych. Wylimitowanie etapu zagęszczenia osiąga się poprzez odpowiedni dobór składników i zastosowanie wysokoefektywnego kompatybilnego z cementem superplastyfikatora oraz dodatków mineralnych, takich jak popiół lotny czy mikrokrzemionka. Ważnym aspektem jest również dobór kruszywa, które jest składnikiem najbardziej zmiennym (w zależności od miejsca, z którego je uzyskano). Opracowanie odpowiednich procedur doboru stosu okruszowego okazuje się kluczowe dla uzyskania betonu posiadającego, oprócz dobrych cech technologicznych i jakościowych, również walory ekonomiczne. W wyniku badań laboratoryjnych otrzymano kilka gotowych receptur mieszanek opracowanych dla różnych kompozycji kruszywa.

Słowa kluczowe: beton samozagęszczalny BSZ (SCC), dobór kruszywa, punkt piaskowy, chińska metoda ustalania składu BSZ (SCC), popiół lotny

WSTĘP

Technologia betonu samozagęszczalnego (BSZ – ang. SCC – self compacting concrete), z racji wielu korzystnych cech tego materiału zarówno na etapie mieszanki, jak i po związaniu i stwardnieniu, zyskuje coraz większą rzeszę zwolenników w świecie nauki i w przemyśle budowlanym. Szczególnie przodującymi krajami w dziedzinie betonu sa-

Adres do korespondencji – Corresponding author: Jacek Mądrowski, Daniel Zawal, Akademia Rolnicza w Poznaniu, Wydział Inżynierii Środowiska i Melioracji, Katedra Mechaniki Budowli i Budownictwa Rolniczego, ul. Piątkowska 94, 61-691 Poznań, e-mail: jacmad@au.poznan.pl, danzaw@au.poznan.pl

mozagęszczalnego są: Japonia (kraj jego twórców – Okamury i Ozawy), a także Stany Zjednoczone oraz Szwecja, Francja, Niemcy i Włochy. Od kilku lat obserwuje się wzmożone zainteresowanie także ze strony polskich naukowców i wykonawców.

Podstawową własnością BSZ, wynikającą z samej jego nazwy, jest bardzo dobra rozlewność połączona z samoczynnym wydaleniem z mieszanki pęcherzyków powietrza pod wpływem jej ciężaru własnego. Mieszanka powinna przy tym posiadać odpowiednią lepkość, przeciwdziałającą segregacji składników. Korzyści te przenoszą się na stwardniały BSZ, dzięki czemu posiada on doskonałe właściwości wytrzymałościowe i związaną z nimi trwałość.

Swoje właściwości BSZ zawdzięcza dużej zawartości drobnych ziaren, którą osiąga się przez zastosowanie zwiększonej ilości cementu (przyjmuje się, że minimalna wartość to $350 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$) oraz stosowaniu jako mikrowypełniaczy dodatków mineralnych, takich jak: mączka wapienna (stosowana najczęściej), popiół lotny, mikrokrzemionka, a także poprzez zwiększenie zawartości najdrobniejszych frakcji kruszywa. Ponieważ wymagany dla BSZ wskaźnik woda/cement powinien wynosić nie więcej niż 0,35, więc ilość wody zarobowej ogranicza się poprzez stosowanie wysokoefektywnego superplastyfikatora.

Przedstawione w artykule badania z założenia miały na celu sprawdzenie nowej metody ustalania składu mieszanki betonu samozagęszczalnego, zaproponowanej przez Su i innych [2001], która, według autorów niniejszego opracowania, dzięki swojej prostocie może być z powodzeniem stosowana w przyszłej aplikacji technologii betonu BSZ również w obszarze budownictwa rolniczego. W jej kontekście przyjrano się szczególnie roli kruszywa. Badania zmierzały w dwóch kierunkach. W pierwszym celem było znalezienie korelacji między składem stosu okruszowego kruszyw a konsystencją mieszanki BSZ, w drugim natomiast – określenie możliwości ograniczenia ilości wypełniaczy na rzecz zwiększenia ilości kruszywa, według zaleceń metody chińskiej.

OBSZARY ZASTOSOWAŃ BETONU SAMOZAGĘSZCZALNEGO

Wśród potencjalnych zastosowań BSZ wymienia się przede wszystkim konstrukcje gęstozbrojne, gdzie wspomniane samorozlewność i samoopowietrzenie są cechami pożądanymi z racji utrudnionego dostępu sprzętu wibracyjnego. Ponadto w ostatnich latach coraz większe zainteresowanie wzbudza beton samozagęszczalny w prefabrykacji i to już nie tylko za granicą [Brameshuber i Uebachs 2001, Watson 2003, Hegger i in. 2003, Burgueño i Haq 2005], ale również w Polsce [Świerczyński 2002]. W samej tylko Japonii w 2000 roku połowa betonu samozagęszczalnego wykonywana była w zakładach prefabrykacji [Okamura i Ouchi 2003]. Zalety tego zastosowania BSZ są oczywiste. Po pierwsze, mimo kosztów związanych z koniecznością dozowania domieszek, koszty produkcji prefabrykowanych elementów z betonu samozagęszczalnego nie różnią się od kosztów przy stosowaniu tradycyjnej technologii, o czym mówi już wielu autorów, np. Uebachs i Brameshuber [2005]. Po drugie, technologia ta wskutek wyeliminowania etapu wibrowania elementów staje się bardziej produktywna. Po trzecie, również z tego powodu zaznacza się zwiększenie bezpieczeństwa i przyjazności środowiska pracy dla robotników poprzez wyeliminowanie hałasu związanego z wibracją [Watson 2003]. Zresztą odnosi się to również do wykonywania betonu na budowach, zwłaszcza w ośrodkach

miejskich, gdzie zanieczyszczenie hałasem jest już i tak spore. Badania i zastosowania betonu SCC zmierzają również w kierunku wprowadzania w strukturę betonu mikrozbrojenia w formie mikrowłókien (FRC – fiber reinforced concrete). Tematowi temu poświęcili swoje badania m.in.: Grünwald i Walraven [2001], Boström [2004], Corinaldesi i Moriconi [2004], Grunert i inni [2004] oraz Sahmaran [2005]. Pojawiają się również informacje o stosowaniu BSZ w nawierzchniach drogowych [Goodier 2002]. Beton samozagęszczalny wymienia się także jako doskonały materiał do napraw powierzchniowych [Goodier 2002], a także jako metoda szybkiego wykonywania posadzek betonowych [Reynolds 2004].

Warto jeszcze raz zwrócić uwagę na aspekt opłacalności ekonomicznej. Z wielu względów, przede wszystkim z powodu konieczności stosowania dużej ilości cementu oraz superplastyfikatorów, a także z racji niedostatecznej wiedzy i braku doświadczenia wśród wykonawców, beton samozagęszczalny jest uznawany za materiał drogi. Długo twierdziło się, że cena betonu samozagęszczalnego jest w porównaniu do betonu tradycyjnego wyższa nawet o kilkadziesiąt procent. Obecnie coraz częściej okazuje się, że w istocie tak nie jest – należy być ostrożnym w ocenie ekonomicznej, nie można bowiem zapominać o innych korzyściach, które całkowity koszt redukują. Za prosty przykład niech posłuży tutaj przytoczony przez Grzeszczyk [2002] przypadek z Japonii. Dotyczy on budowy 4-kilometrowego mostu Akashi-Kaiko – zastosowanie BSZ skróciło czas jego budowy o pół roku, a więc ograniczyło koszty robocizny.

CZY BETON SAMOZAGĘSZCZALNY MOŻE ZAISTNIEĆ NA TERENACH WIEJSKICH?

Niestety mało miejsca w literaturze poświęca się aspektowi zastosowania betonu samozagęszczalnego w infrastrukturze wiejskiej. Praktycznie zagadnienie to jest jeszcze nierozwinięte, a przecież w budownictwie wiejskim beton odgrywa znaczącą rolę jako materiał przy wykonywaniu zbiorników na kiszonkę, zbiorników na gnojówkę, płyt gnojowych, posadzek, a także jako podstawowy materiał w małych oczyszczalniach ścieków. W miejscach tych beton narażony jest na różnorakie oddziaływania, zwłaszcza na specyficzną agresywność korozyjną, dlatego powinien odznaczać się wysoką jakością, zarówno w aspekcie wytrzymałości, jak i trwałości. Wobec tych faktów warto zwrócić się w kierunku materiału wysokowartościowego, spełniającego podwyższone kryteria odporności. Z drugiej strony nie można pominąć kryterium ekonomicznego, które w praktyce często jest stawiane na pierwszym miejscu, chociaż nierządkiem działa się tutaj bardzo krótkowzrocznie, nie przewidując efektów długoterminowych.

Niewątpliwie wymienione we wstępie zalety BSZ pozwalają uważać, że może być on dobrym materiałem do zastosowania w wymienionych konstrukcjach. Pierwszym argumentem przemawiającym za takim twierdzeniem jest osiąganie przez BSZ dużej wytrzymałości na ściskanie. Domone [2006] podaje w artykule, w którym przedstawił zbiorcze wyniki badań na temat BSZ z ostatnich kilkunastu lat, że tylko w 12% badań beton SCC uzyskiwał 28-dniową wytrzymałość na ściskanie mniejszą niż 40 MPa, natomiast w 20% przypadków okazywał się betonem wysokowytrzymałym (wytrzymałość na ściskanie powyżej 60 MPa). Potwierdziło się to także w badaniach własnych. Powszechnie uważa się, że duża wytrzymałość zazwyczaj przynosi również trwałość. Nie inaczej jest

w przypadku BSZ, który dzięki zastosowaniu wysoce efektywnych superplastyfikatorów ograniczających ilość wody uzyskuje szczelną strukturę. Pozostaje jeszcze kwestia odporności korozyjnej. W badaniach de Belie'a i innych [1997] okazało się, że w rolniczym środowisku agresywnym korzystne było zarówno stosowanie cementu o podwyższonej odporności na siarczany (HSR), jak i dodatek popiołu lotnego. Dodatek popiołu (30% w stosunku do masy cementu) redukuje degradację betonu przez soki kiszonkowe, chociaż dodatek tylko 20% nie daje już takiego efektu. Według badań Holta i Schodeta [2002], BSZ z dodatkiem popiołu lotnego miał mniejszy skurcz niż z dodatkiem mączki wapiennej. W końcu popiół lotny wydaje się być odpowiednim dodatkiem również z tego oczywistego względu, że zastąpienie nim części cementu obniża cenę betonu.

Podobnie dzieje się w przypadku ograniczenia cementu przez częściowe zastąpienie go kruszywem. Dobór kruszywa jest w zasadzie kluczowym czynnikiem, gdyż stanowi ono blisko 80% objętości betonu. Jego jakość oraz skład decydują o właściwościach mieszanki oraz betonu stwardniałego. Dowodem tego są badania Góry i Piasty [2004], w których betony wysokowartościowe, wykonane z kruszyw węglanowych, uzyskiwały większą niż przy użyciu innych kruszyw wytrzymałość. Ponadto rodzaj kruszywa wpływa na obciążenia termiczne betonów, które należy uwzględnić szczególnie w zbiornikach prostopadłościennych. Według Jamrożego [2002], najkorzystniejsze pod względem odkształceń termicznych są kruszywa węglanowe (w stosunku do żwirowych o 40%, do granitowych o 30%, do bazaltowych o 20%). Kruszywo w formie drobnego pyłu tłuczniowego może być również zastępnikiem części mikrowypełniaczy [Ho i in. 2002]. W takich przypadkach konieczne jest większe dozowanie superplastyfikatora, ale zważywszy na to, że są to odpady, a więc nie powinny być one drogie, ograniczenie kosztów ogólnych także w tym przypadku staje się możliwe.

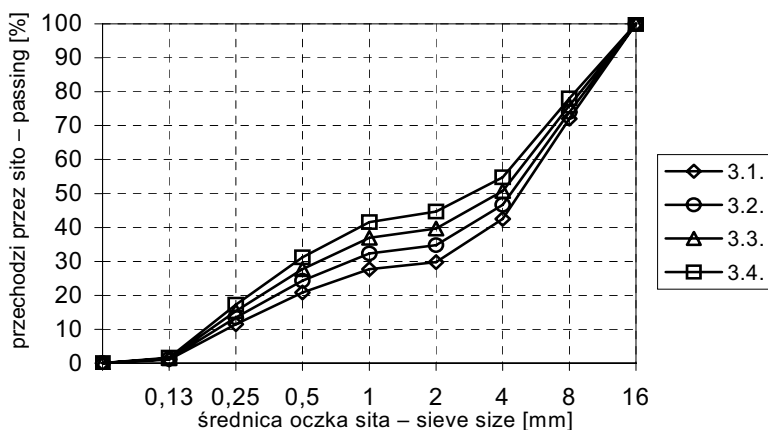
Określenie ilości kruszywa jest różnie podawane w metodach projektowania mieszanki BSZ. Pierwsza i najbardziej znana metoda japońska Okamury oraz jej modyfikacja JRMCS (Japanese Ready-Mixed Concrete Association) podają mało szczegółów o doborze kruszywa, poza informacjami o jego ilości. Okamura i Ouchi [2003] podają, że punkt piaskowy powinien być nie mniejszy niż 40%. Nieco więcej uwagi poświęca kruszywu metoda zaproponowana przez de Larrarda [2004], w której dla kruszywa wykonuje się tzw. wykres przepełnienia. Ze względu na postulat ograniczenia ilości cementu warta uwagi jest najnowsza metoda chińska (Su i in. 2001). Jej autorzy proponują prosty algorytm, którego punktem wyjścia jest założenie określonej wytrzymałości betonu oraz określenie współczynnika upakowania kruszywa (współczynnik upakowania kruszywa – stosunek masy kruszywa upakowanego do masy kruszywa luźno usypanego) i relacji ilościowej poszczególnych składników (np. wzajemnej proporcji różnych dodatków). Metoda ta jest o tyle cenna, że, w porównaniu chociażby z metodą japońską, proponuje się w niej mniejszą ilość proszków, tzn. cementu i dodatków mineralnych, natomiast zwiększa się udział kruszywa, a przede wszystkim piasku. Dzięki temu uzyskuje się oszczędności, ponieważ kruszywo z racji dostępności jest tańsze aniżeli cement i dodatki mineralne, które nierzadko dostarczane są do miejsca wytwarzania betonu z odległych miejsc.

Właśnie ze względu na aspekt łatwej (w większości przypadków) dostępności kruszywa oraz jego niskiej, w porównaniu z innymi składnikami, ceny w naszych badaniach postanowiliśmy przyjrzeć się jego roli w betonie samozagęszczalnym. Wydaje się nam, że kwestia doboru kruszywa ma ogromne znaczenie dla aplikacji BSZ w budownictwie

rolniczym w najbliższej przyszłości. Zainteresowanie betonem w najbliższym czasie w rolnictwie niewątpliwie wzrośnie wskutek wymagań, które nakłada na rolników ustawa o nawozach z dnia 26 lipca (DzU nr 89, poz. 991 z późniejszymi zmianami). W myśl jej postanowień do końca 2008 roku rolnicy będą musieli dostosować swoje gospodarstwa do wymogów Unii Europejskiej, a to oznacza również konieczność posiadania, w przypadku prowadzenia produkcji zwierzęcej, płyt gnojowych i obornikowych.

METODYKA BADAŃ

W pierwszym etapie z dostępnego kruszywa (frakcja 0/2 mm złożona z dwóch różnych piasków, frakcja 2/8 mm oraz frakcja 8/16 – krzywe uziarnienia przedstawiono na rys. 1) sporządzono 12 kompozycji, w których dokonano podziału w dwóch kierunkach: ze względu na zmienność punktu piaskowego (30, 35, 40 i 45%) oraz ze względu na zróżnicowanie proporcji frakcji (względem siebie: dwóch drobnych – piaskowych, oraz dwóch pozostałych – 2/8 i 8/16). W badaniu założono, że skoro dla każdej kompozycji kruszywa zastosuje się te same ilości cementu oraz popiołu lotnego (jako dodatku mineralnego), to w określaniu ilości wody zarobowej kryterium podstawowym będzie wodożądność kruszywa – w efekcie każda z mieszanek charakteryzowała się innym współczynnikiem woda/cement. Jako upłynniacza zastosowano superplastyfikator REMICRETE FM (Schomburg). Receptury badań przedstawiono w tabeli 1. Wykonaną mieszankę BSZ badano na stoliku rozplwowym z użyciem stożka Abramsa, mierząc czas osiągnięcia rozplwu (w sekundach) do średnicy 50 cm, a także średnicę końcową. Dla każdej mieszanki określono również procentową zawartość powietrza. Dla betonu stwardniałego zbadano wytrzymałość na ściskanie na kostkach sześciennych – po 28 dniach od wykonania zarobów.



Rys. 1. Przykładowe krzywe przesiewu kruszywa użytego do badań w pierwszym etapie
 Fig. 1. Simple grading curves of aggregate used for investigation in first phase

Tabela 1. Skład receptur
Table 1. Composition of recipes

Oznaczenie receptury Number of recipe	Punkt piaskowy Sand point	Żwir Coarse aggregate K ₂₋₈	Żwir Coarse aggregate K ₈₋₁₆	Piasek Sand P _{drobny}	Piasek Sand P _{gruby}	Cement CEM I 32,5	Popiół lotny Fly ash	Woda Water	Superplastyfikator Superplasticizer
		[kg]	[kg]	[kg]	[kg]	[kg]	[kg]	[kg]	[kg]
1.1	30%	642,0	642,0	218,8	328,2			148,4	
1.2	35%	592,8	592,8	254,0	381,0			152,3	
1.3	40%	544,1	544,1	288,9	433,3			156,1	
1.4	45%	496,0	496,0	323,4	485,0			159,9	
2.1	30%	632,6	632,5	269,5	269,5			150,3	
2.2	35%	591,0	591,0	316,6	316,6			154,4	
2.3	40%	542,2	542,5	359,9	359,9	350,0	105,0	158,5	4,095
2.4	45%	494,1	494,1	402,6	402,6			162,5	
3.1	30%	767,6	511,7	272,5	272,5			150,9	
3.2	35%	708,6	472,4	316,3	316,3			155,0	
3.3	40%	650,2	433,4	359,6	359,6			159,0	
3.4	45%	592,5	395,0	402,3	402,3			163,0	
Ch 1	35%	636,56	567,8	–	646,39	250	165,3	142,45	8,306

Drugi etap badań miał na celu wykonanie mieszanki BSZ, wzorując się na metodzie chińskiej, przy zastosowaniu dostępnych we wcześniejszych badaniach materiałów. Wykorzystano 3 frakcje kruszywa (0/2, 2/8 i 8/16), cement portlandzki CEM I 32,5 oraz popiół lotny. W pierwszym kroku założono, że kruszywa skomponowane zostaną w wagowej relacji poszczególnych frakcji równej 1 : 1 : 1. Następnie dla każdej z frakcji określono gęstość nasypową w stanie luźnym oraz współczynnik upakowania (packing factor – PF). Współczynnik upakowania określono również dla kompozycji – wyniósł on 1,18 (dokładnie tyle samo, ile u badaczy chińskich). Mając te dane, obliczono masę każdej z frakcji kruszywa na 1 m³, a następnie przy założeniu, że przewidywana 28-dniowa wytrzymałość betonu na ściskanie wyniesie 34,5 MPa, obliczono masę cementu, przyjmując do obliczeń wskaźnik woda/cement na poziomie 0,35. W dalszej kolejności obliczono ilość popiołu lotnego w 1 m³, przyjmując wskaźnik woda/popiół lotny także na poziomie 0,35. W końcowym etapie przyjęto ilość superplastyfikatora (VISCOCRETE 3 PL – SICA) na poziomie 2,0. Dla powyżej sporządzonej mieszanki wykonano badania identyczne z wcześniejszymi. Dodatkowo, z racji przyjęcia nowej metody projektowania (wcześniej wspomniane mieszanki wykonane były według określonej wcześniej receptury), wykonano również badania na zaczynie i zaprawie (przy użyciu stosowanych przy określaniu cech BSZ stożka Hagermanna – średnica rozplywu zaczynu i zaprawy, oraz lejka V-funnel – czas wypłynięcia zaprawy) w celu oceny trafności przyjęcia ilości superplastyfikatora.

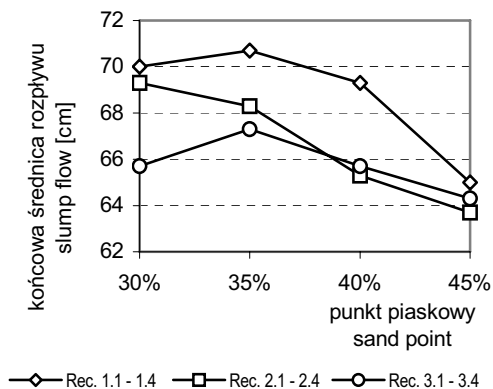
WYNIKI

Uzyskany w badaniach wstępnych na stożku Hagermanna rozptyw zaczynu (rys. 2a) był nieregularny. Bardziej stabilny okazał się rozptyw zaprawy (rys. 2b). Natomiast mieszanki wykonane w pierwszym etapie charakteryzowały się bardzo dobrym rozptywem (rys. 2c), jedynie dla receptur z punktem piaskowym 30% pojawiał się efekt segregacji. Zaskakująco dobre były również wyniki pomiaru zawartości powietrza. Biorąc pod uwagę właśnie ten parametr, najlepsze okazały się receptury przy punkcie piaskowym 35%, które również w badaniach na stoliku rozptywowym uzyskały wzorcowe wyniki. Wyniki z badań wytrzymałości nie były zaskoczeniem – mieszanki z niższym punktem piaskowym okazały się lepsze od pozostałych, co wynika z większego udziału zasadniczo bardziej wpływającego na wytrzymałość betonów kruszywa grubszych frakcji. Wszystkie wyniki przeprowadzonych badań zestawiono na rysunkach 1, 3, 4, 5 oraz w tabeli 2.



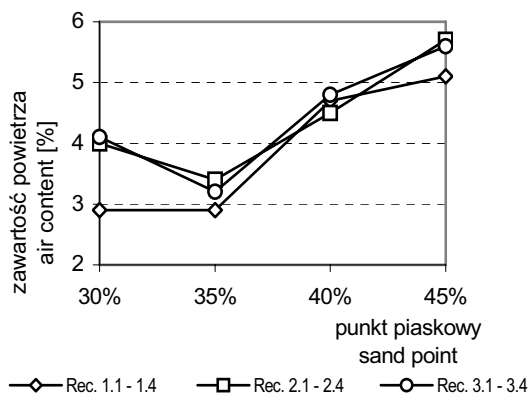
Fot. 2. Wyniki rozptywu zaczynu (a) – średnica 51 cm, i zaprawy (b) – średnica 33,5, z użyciem stożka Hagermanna dla mieszanki wykonanej według zaleceń metody chińskiej, oraz właściwej mieszanki (c) – nieregularny rozptyw zaczynu jest efektem użycia mniejszej ilości spoiw niż w innych metodach

Fig. 2. Results of slump flow paste (a) – 51 cm diameter, and mortar (b) – 33,5 cm diameter, in Hagermann method of mix made according to chinese mix design, and result of slump flow (c) of suitable mix – irregular slump flow of paste ist effect of use smaller content of powders than in another methods



Rys. 3. Średnica rozptywu dla mieszanek wykonanych według receptur 1.1–3.4

Fig. 3. Slump flow in mixes made according to the recipes 1.1–3.4

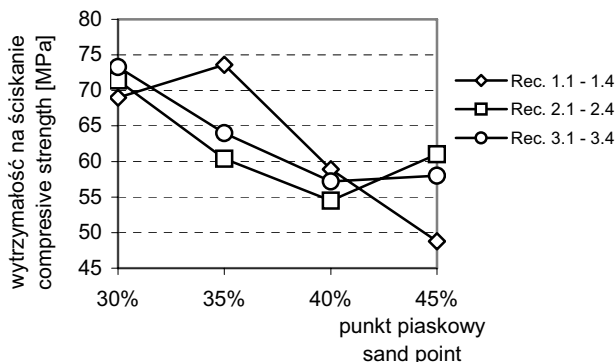


Rys. 4. Zawartość powietrza dla mieszanek wykonanych według receptur 1.1–3.4
 Fig. 4. Air content in mixes made according to the recipes 1.1–3.4

Tabela 2. Wyniki badań zaczynów, zapraw i mieszanek
 Table 2. Results of test of pastes, mortars and mixes

Numer receptury Number of recipe	Punkt piaskowy Sand point	Zaczyn Paste		Zaprawa Mortar		Mieszanka Mix		Zawartość powietrza Air content	Wytrzymałość na ścislenie Compressive strength
		Stożek Hagermanna Hagermann cone	Stożek Hagermanna Hagermann cone	Czas wypływu z lejka V-funnel V-funnel time	Średnica rozplywu Slump flow	Czas rozplywu T ₅₀ Slump flow T ₅₀			
		[cm]	[cm]	[s]	[cm]	[s]	[%]	[MPa]	
1.1	30%	–	32,5	–	70,0	4,8	2,9	69,0	
1.2	35%	–	31,8	–	70,7	4,7	2,9	73,6	
1.3	40%	–	30,3	–	69,3	5,0	4,7	58,9	
1.4	45%	–	17,3	–	65,0	5,8	5,1	48,8	
2.1	30%	–	33,5	–	69,3	4,5	4,0	71,4	
2.2	35%	–	31,7	–	68,3	3,8	3,4	60,4	
2.3	40%	–	29,3	–	65,3	4,8	4,5	54,5	
2.4	45%	–	21,5	–	63,7	5,0	5,7	61,0	
3.1	30%	–	33,5	–	65,7	5,2	4,1	73,3	
3.2	35%	–	31,7	–	67,3	4,3	3,2	64,0	
3.3	40%	–	29,3	–	65,7	4,8	4,8	57,2	
3.4	45%	–	21,5	–	64,3	5,7	5,6	58,0	
Ch 1	47%	51	33,5	3,5	63,0	7,0	3,8	38,0*	

* Beton wykonany po 7 dniach.
 Concrete made after 7 days.



Rys. 5. Wytrzymałość na ściskanie betonów wykonanych według receptur 1.1–3.4

Fig. 5. Compressive strength of hardened concrete made according to the recipes 1.1–3.4

DYSKUSJA WYNIKÓW

Wielce obiecujące, choć z pewnymi zastrzeżeniami, okazały się wstępne badania BSZ metodą chińską. W porównaniu z badaniami autorów tej metody w naszym przypadku nie zastosowano jako drugiego dodatku granulowanego żużla wielkopieczowego. Jedyнным wypełniaczem był zatem popiół lotny. Badanie na zaczynie z racji użycia mniejszej ilości spoiwa nie dało wyniku wymaganego w przypadku BSZ – rozplływ w metodzie Hagermanna był duży i nieregularny. Bardzo dobry okazał się natomiast rozplływ dla zaprawy oraz czas wypływu z lejka V-funnel. Przeniosło się to na wynik mieszanki betonowej, która dobrze się rozplnęła i nastąpiło w niej samooodpowietrzenie. Niestety pewną wadą była minimalna segregacja objawiająca się efektem bleedingu (wypływu zaczynu na powierzchnię betonu). Mieszanka miała też dłuższy czas wiązania. Wspomniane wady wynikały z dużej zawartości popiołu oraz przypuszczalnie ze zbyt małej zawartości najdrobniejszych ziaren (< 0,25 mm), które w BSZ współdziałają z mikrowypełniaczami. W przypadku metody chińskiej wydaje się zatem konieczne stosowanie jako drugiego wypełniacza żużla wielkopieczowego. Metoda ta jest jednak bardzo obiecująca, bo mimo większej zawartości kruszyw, a mniejszej spoiwa, co stoi w niezgodzie z najbardziej znaną metodą japońską, uzyskano bardzo dobre wyniki wytrzymałości na ściskanie – po 7 dniach wyniosła ona 38 MPa, czyli nawet więcej niż wynikało z obliczeń po 28 dniach.

Biorąc uzyskane wyniki całościowo, można stwierdzić, że przeczą one twierdzeniu, iż minimalny punkt piaskowy powinien wynosić w BSZ 40%. Okazuje się, że wymaganie to niekoniecznie musi być spełnione dla uzyskania dobrej mieszanki, a nawet może osłabić beton (o czym świadczy większa zawartość powietrza).

WNIOSKI

1. Stwierdzono, że dla dostępnego kruszywa istnieje optymalna wartość punktu piaskowego, która zapewnia mieszance BSZ właściwości najlepsze z możliwych do uzyskania przy użyciu tych kruszyw. W naszym przypadku najlepsze okazały się betony

przy zastosowaniu kruszywa z punktem piaskowym 35%, a więc niższym niż zalecany w literaturze (40%). Mieszanki te charakteryzowały się zarówno dobrym rozplywem, jak i najmniejszą zawartością powietrza. W mieszankach z punktem piaskowym 30% pojawiła się segregacja składników.

2. Zmienność punktu piaskowego w oczywisty sposób przekładała się w BSZ na podstawową właściwość stwardniałego betonu, którą jest wytrzymałość na ściskanie. Betony przy niższych punktach piaskowych miały zazwyczaj większe wytrzymałości (co jest oczywiste z racji większej ilości kruszywa grubego).

3. Przy wykonaniu BSZ prostą, w założeniach, metodą chińską przy mniejszej zawartości cementu otrzymano zaskakująco dobre wyniki podczas badania wytrzymałości betonu na ściskanie. Przy wynikającej z obliczeń wytrzymałości (po 28 dniach) 34,5 MPa już po 7 dniach uzyskano wytrzymałość 38 MPa.

PIŚMIENNICTWO

- Boström L., 2004. Polypropylene fibres improve the fire resistance of self-compacting concrete. *Betonwerk und Fertigteil-Technik/Concrete Precasting Plant and Technology* 70 (1), (<http://www.bft-online.info>).
- Bramshuber W., Uebachs S., 2001. Practical experience in using self-compacting concrete at the precasting plant – studies on the mix design. *Betonwerk und Fertigteil-Technik/Concrete Precasting Plant and Technology* 67 (1), (<http://www.bft-online.info>).
- Burgueño R., Haq M., 2005. Development length of prestressing strands in precast/prestressed girders using self compacting concrete. *Proceedings of the Structures Congress and Exposition*.
- Corinaldesi V., Moriconi G., 2004. Durable fiber reinforced self-compacting concrete. *Cement and Concrete Research* 34 (2), 249–254.
- de Belie N., Debruyckere M., van Nieuwenburgs D., de Blaeres B., 1997. Attack of Concrete Floors in Pig Houses by Feed Acids: Influence of Fly Ash Addition and Cement-bound Surface Layers. *Journal of Agricultural Engineering Research* 68, 101–138.
- de Larrard F., 2004. Naukowa metoda ustalania składu mieszanki betonowej. *Konferencja Dni Betonu, Wisła 2004*, 81–94.
- Domone P.L., 2006. Self-compacting concrete: An analysis of 11 years of case studies. *Cement & Concrete Composites* 28 (2), 197–208.
- Goodier C., 2002. Design and use of self-compacting concrete. *Concrete Engineering International* 6 (4).
- Góra J., Piasta W., 2004. Wpływy kruszyw łamanych na właściwości wytrzymałościowe betonów wysokiej jakości. *Konferencja Dni Betonu, Wisła 2004*, 369–376.
- Grunert J.P., Strobach C.-P., Teutsch M., 2004. Prestressed steelfiber-reinforced SCC beams without steel reinforcement. *Betonwerk und Fertigteil-Technik/Concrete Precasting Plant and Technology* 70 (4), (<http://www.bft-online.info>).
- Grünewald S., Walraven J.C., 2001. Parameter-study on the influence of steel fibers and coarse aggregate content on the fresh properties of self-compacting concrete. *Cement and Concrete Research* 31 (12), 1793–1798.
- Grzeszczyk S., 2002. Beton samozagęszczalny – projektowanie, właściwości, kierunki rozwoju. *Inżynieria i Budownictwo* 9, 465–468.
- Hegger J., Görtz .S., Kommer B., Tigges C., Drössler C., 2003. Prestressed precast beams made of self-compacting concrete. *Betonwerk und Fertigteil-Technik/Concrete Precasting Plant and Technology* 69 (8), (<http://www.bft-online.info>).

- Ho D.W.S., Sheinn A.M.M., Ng C.C., Tam C.T., 2002. The use of quarry dust for SCC applications. *Cement and Concrete Research* 32 (4), 505–511.
- Holt E., Schodet O., 2002. Self-compacting Concrete: early age shrinkage, Technical Report. Technical Research Centre of Finland Vtt Building and Transport, 10.12.2002.
- Jamróży Z., 2002. O systematyce nazewnictwa związanego z betonem. *Inżynieria i Budownictwo* 11, 616–619.
- Okamura H., Ouchi M., 2003. Self Compacting Concrete. *Journal of Advances Concrete Technology* 1.
- Reynolds J., 2004. Fast and flat – The ideal structural topping. *Concrete (London)* 38 (7).
- Sahmaran M., Yurtseven A., Ozgur Yaman I., 2005. Workability of hybrid fiber reinforced self-compacting concrete. *Building and Environment* 40 (12), 1672–1677.
- Su N., Hsu K.-C., Chai H.-W., 2001. A simple mix design method for self-compacting concrete. *Cement and Concrete Research* 31 (12), 1799–1807.
- Świerczyński W., 2002. Produkcja prefabrykatów betonowych w technologii ASCC I SCC. IV Sympozjum Naukowo-Techniczne „Reologia w technologii betonu”. Góraźdże Cement, Gliwice 2002.
- Uebachs S., Brameshuber W., 2005. Economical assessment of self-compacting concrete in the precast element plant. *Betonwerk und Fertigteil-Technik/Concrete Precasting Plant and Technology* 71 (2), (<http://www.bft-online.info>).
- Watson N., 2003. Self-compacting concrete: The future of precast cladding. *Concrete (London)* 37 (2).

SELF COMPACTING-CONCRETE – POSSIBLE APPLICATION IN INFRASTRUCTURE OF VILLAGE

Abstract. Self-compacting concrete (SCC), increasingly popular in Japan, USA and western countries of Europe, is an accepted structural material for the future. More and more common use of in engineering objects (congested reinforcement elements, foundations, bridge piers, slabs, tanks, precast industry) makes it possible to apply SCC technology in the village infrastructure. Particular advantages, regarding both fresh concrete (elimination of vibration) and hardened concrete (high strength and durability) and also economical aspects seem to be especially prosperous. Elimination of vibration is achieved by the proper choice of SCC constituents, including high effective superplasticizer, compatible with cement and mineral fillers, such as fly ash, silica fume, etc. The correct selection of the aggregate seems to be an important aspect of SCC technology as well. The aggregate is one of particularly changeable component of the concrete, taking into account its origin. Hence, the development of a suitable procedure for design of the aggregate stock is the essential issue in SCC technology. The paper presents results of studies on self-compacting concrete mixes designed at the different quantitative relation between the coarse and fine aggregates. Particular attention was paid to the value of sand point (30, 35, 40, 35%). The authors tried to verify Chinese mix design method for SCC, decreasing the amounts of cement. The properties of fresh concretes (initial slump, slump-flow, air content) and hardened concretes (compressive strength) were compared and analysed.

Key words: Self-compacting concrete, aggregate selection, sand point, chinese mix design of SCC, fly ash.