

APARATURA BADAWCZA I DYDAKTYCZNA

Możliwość zastosowania betonu samozagęszczalnego SCC w budownictwie rolniczym

DOROTA MAŁASZKIEWICZ

POLITECHNIKA BIAŁOSTOCKA, WYDZIAŁ BUDOWNICTWA I INŻYNIERII ŚRODOWISKA

STRESZCZENIE

Beton samozagęszczalny stosowany coraz powszechniej w obiektach inżynierskich może znaleźć zastosowanie również w budownictwie rolniczym. Części betonowe konstrukcji budynków inwentarskich oraz budowli im towarzyszących w większości przypadków pracują w klasach ekspozycji XA2 lub XA3 oraz XF3. Przez to narażone są na szybko postępującą korozję. Trwałość konstrukcji betonowych możemy zapewnić poprzez odpowiedni dobór jakościowy i ilościowy składników oraz właściwą technologię wykonania. Dzięki stosowaniu wysokowydajnych domieszek chemicznych oraz drobnoziarnistych dodatków mineralnych takich jak popiół lotny czy pył krzemionkowy w betonie SCC całkowicie został wyeliminowany etap zagęszczania. W pracy zaprojektowano kilka receptur mieszanek z dwoma cementami, które spełniają wymogi stawiane wyżej wymienionym klasom ekspozycji.

Possibility of Application of Self-Compacting Concrete for Farmhouse Buildings

ABSTRACT

Self-compacting concrete widely used for various engineering applications can be also applied for farmhouse structures. Concrete parts of buildings for livestock and other farm buildings in most cases work in exposure classes XA2 or XA3 and XF3. Thus they are subjected to corrosion hazard. Durability of concrete structures is secured by proper quality selection of components and mixture proportions, and suitable production technology as well. Compaction during the placing process is totally eliminated in the case of SCC thanks to very efficient superplasticizers and powder mineral admixtures such as fly ash or silica fume. Several SCC compositions with two cements are presented in this study. They satisfy standard requirements for the above mentioned exposure classes.

1. WSTĘP

Beton samozagęszczalny (ang. Self-compacting concrete SCC) jest to rodzaj betonu wysokowartościowego o specyficznych właściwościach mieszanki betonowej. Został po raz pierwszy opracowany w Japonii w 1986 roku i od tej pory znalazł uznanie na całym świecie. Szczególne właściwości polegają na tym, że mieszanka betonowa może szczelnie wypełnić deskowanie bądź formę nawet przy obecności gęstego zbrojenia, jedynie pod wpływem własnego ciężaru, z równoczesnym zachowaniem jednorodności, tzn. bez segregacji. Nie stosuje się w przypadku tego betonu żadnych technik zagęszczania. Tak więc w celu wyprodukowania takiego betonu większość pracy sprowadza się do zaprojektowania odpowiedniego składu oraz oceny właściwości mieszanki i betonu. W praktyce mieszanka betonu SCC wykazuje dużą ciekłość, zdolność do „samozagęszczania się”, zdolność do całkowitego odpowietrzenia się w trakcie płynięcia oraz odporność na segregację. Dzięki tym cechom możliwe jest zwiększenie trwałości konstrukcji betonowych i żelbetowych. Pominięcie wibrowania daje następujące korzyści: lepsze warunki pracy z powodu obniżenia poziomu hałasu, możliwość betonowania nocą na obszarach zurbanizowanych, niewrażliwość betonu na złą fachowość prac, możliwość betonowania elementów bardzo gęsto zbrojonych, możliwość zdalnego sterowania procesem układania betonu, poprawienie wyglądu powierzchni elementu, poprawienie jakości krawędzi elementu poprzez dokładniejsze wypełnienie form, krótszy czas formowania, oszczędność energii [1, 2].

Specyficzne właściwości mieszanki betonowej mogą być osiągnięte dzięki specyficznym cechom jej składu [3]:

- zwiększonej zawartości frakcji pyłowych <0,125 mm, na które składa się spoiwo cementowe uzupełnione drobnoziarnistym dodatkiem mineralnym,

- stosowaniu bardzo efektywnych domieszek upłynniających oraz ewentualnie domieszek modyfikujących lepkość mieszanki,
- stosowaniu niskiego wskaźnika wodno-cementowego poniżej 0,5 (w praktyce <0,35),
- stosowaniu wody zarobowej w ilości nie większej od 175 dm³/m³.

W Tabeli 1 przedstawiono zakresy zawartości poszczególnych komponentów betonu samozagęszczalnego zalecane przez [4]. Podane proporcje nie są obligatoryjne i możliwe jest wykonanie betonu SCC z inną ilością składników.

Wysokowydajne domieszki upłynniające nowej generacji na bazie eterów polikarboksyłanowych dzięki sterycznemu mechanizmowi działania wydają się być mniej wrażliwe na zmiany składu cementu (szczególnie zmiany zawartości C₃A) niż tradycyjne sulfoniany melaminowo-formaldehadowe czy naftalenowo-formaldehadowe oraz znacznie dłużej utrzymują efekt upłynnienia [5].

Specyfika składu tego kompozytu (głównie niski wskaźnik w/c oraz stosunkowo wysoka zawartość cementu) powoduje, że w większości przypadków uzyskuje się betony o wytrzymałościach powyżej 40 MPa, a co trzeci przeanalizowany w pracy [6] beton został zakwalifikowany jako beton wysokiej wytrzymałości.

W literaturze opisanych jest kilka metod projektowania składu betonu SCC. Oprócz doświadczalnej metody japońskiej podanej przez Okamura – twórcę tego materiału [7], znana jest procedura De Larrarda [8] czy zaproponowana przez Su [9,10] bazująca na tzw. wskaźniku upakowania kruszywa. Metoda zaproponowana w wytycznych EFNARC [4] bazuje na doświadczalnej metodzie japońskiej.

W przypadku mieszanek betonów SCC nie sprawdzają się metody badania konsystencji stosowane do betonów tradycyjnych. Opracowano wiele metod badania zdolności do płynięcia, wypełniania form,

Tabela 1. Typowe zawartości poszczególnych składników betonu SCC zalecane przez [4]

Składnik	Zalecana zawartość wagowo [kg/m ³]	Zalecana zawartość objętościowo [dm ³ /m ³]
Pyły (cement +dodatki mineralne)	380÷600	
Zaczyn		300÷380
Woda	150÷210	150÷210
Kruszywo grube (>4mm)	750÷1000	270÷360
Kruszywo drobne (<4mm)	Zawartość zależna od objętości pozostałych składników, zazwyczaj 48÷55% wagowo całego kruszywa	
Wskaźnik woda/pyły		0,85÷1,10

przepływania między przeszkodami (prętami zbrojenia), odporności na segregację czy lepkości. Nie jest konieczne sprawdzanie w każdym przypadku wszystkich tych cech mieszanki, np. w przypadku betonu niezbrojonego czy rzadko zbrojonego nie ma konieczności sprawdzania zdolności do przepływania między przeszkodami. Zawsze wykonuje się proste badanie rozptywu stożka, które opisuje zdolność płynięcia świeżej mieszanki w warunkach bez ograniczenia. Do tego celu potrzebny jest jedynie stożek Abramska, w który wyposażone jest każde laboratorium czy węzeł betoniarski. W przeciwieństwie do tradycyjnych mieszanek nie mierzy się wielkości opadu stożka uformowanego z mieszanki a średnicę placka utworzonego z rozptywającej się mieszanki. Wielkość rozptywu determinuje zastosowanie betonu. Wytyczne [4] klasyfikują mieszanki na trzy klasy konsystencji:

- SF1 (550-650 mm) – do elementów niezbrojonych lub rzadko zbrojonych, przy układaniu mieszanki od góry (np. płyty stropowe), układaniu mieszanki poprzez pompowanie, do elementów o małym przekroju poprzecznym (pale lub głębokie fundamenty),
- SF2 (660-750 mm) – normalne zastosowania (ściany, słupy)
- SF3 (760-850 mm) dla $D_{max}=16$ mm – do wysokich elementów, przekrojów gęsto zbrojonych, skomplikowanych przekrojów, wypełniania form od spodu.

W Holandii [1] zaleca się stosowanie mieszanek o rozptywie 470÷570 mm na pochylnie, 540÷660 mm do ścian, a 630÷800 mm do elementów wysokich i smukłych. Na podłogi nadają się mieszanki w całym zakresie ciekłości (470÷800 mm). W specyfikacji japońskiej [9] wyróżniono trzy klasy konsystencji w przedziałach rozptywu stożka odpowiednio 650÷750 mm, 600÷700 mm i 500÷650 mm. O zakwalifikowaniu do poszczególnych klas decydują również inne parametry reologiczne mieszanki, min. czas rozptywu T_{500} (według Rys. 4.). Dla klasy 1 czas rozptywu wynosi 5÷25 s, a dla klasy 2 i 3 3÷15 s.

O zastosowaniu SCC decydują względy techniczne i ekonomiczne. Mieszanki tego betonu są bardziej wrażliwe na zmiany jakościowe i ilościowe używanych składników. Wyższy jest koszt wyprodukowania 1 m³ mieszanki, ale koszt wbudowania tej mieszanki jest porównywalny z betonami tradycyjnymi (tańsza robocizna, szybsze tempo robót, oszczędność sprzętu) [2]. Kalkulując koszty należy brać również pod uwagę trwałość konstrukcji oraz koszty ewentualnych napraw i remontów w czasie jej życia. Mimo pewnych niedogodności związanych z uzyskaniem

i utrzymaniem podczas produkcji odpowiednich parametrów reologicznych mieszanki betonowej, beton samozagęszczalny wytwarzany jest w szerokim zakresie klas wytrzymałościowych oraz w szerokim spektrum zastosowań – elementy gęsto zbrojone, filary mostów, słupy w budynkach wysokich, fundamenty, ściany tuneli, płyty, zbiorniki, elementy prefabrykowane [6, 11].

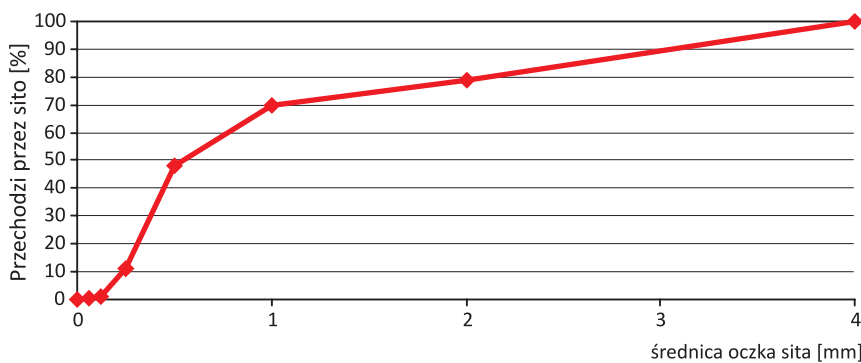
Beton w budynkach rolniczych jest często narażony na działanie agresywnych mediów, dotyczy to w szczególności budynków inwentarskich. Dlatego należy stosować w nich materiały o wysokiej trwałości. W każdym gospodarstwie rolnym zajmującym się produkcją zwierzęcą konieczne jest posiadanie płyty obornikowej i zbiornika na gnojowicę. Składniki obornika sprawiają, że stanowi on niezwykle duże zagrożenie dla trwałości konstrukcji budowlanej. W skład gnojowicy wchodzi m.in.: amoniak (250÷4100 mg/dm³), siarczan (150÷940 mg/dm³), chlorki (550÷1030 mg/dm³) oraz agresywny dwutlenek węgla (2860÷5000 mg/dm³), a poziom pH waha się między 6,8 a 8,1 [12]. Kiszonki i wywary pofermentacyjne, które stosowane są jako pasze, wpływają niekorzystnie na materiały budowlane. Szczególnie agresywne są znajdujące się w ich składzie roztwory kwasów organicznych – przede wszystkim kwasu mlekowego i octowego (stężenie ok. 2,5% przy pH 3,2÷4,7) [12]. Nawozy stosowane w produkcji roślinnej również oddziałują niszcząco na materiały budowlane. Z tego powodu budynki inwentarskie oraz budowle im towarzyszące, w szczególności części betonowe konstrukcji, narażone są na szybko postępującą korozję. Dlatego należy dostosować skład i parametry betonu do warunków środowiska, w jakim materiał będzie pracował. Zgodnie z zapisami normy PN-EN 206-1 dla betonu w budownictwie rolniczym w większości przypadków należy przyjąć klasę ekspozycji XA2 lub XA3 (agresja chemiczna) oraz XF3 (agresywne oddziaływanie zamarzania/odmarzania). Minimalna klasa betonu dla ekspozycji XA2 i XF3 wynosi C30/37, a dla XA3 – C35/45. Dodatkowo dla zbiorników i płyt obornikowych wymaga się wodoszczelności W6 lub W8.

Dla takiego zastosowania alternatywą dla tradycyjnych betonów jest beton samozagęszczalny. Wysoka zawartość frakcji pyłowych wymaga zastosowania dużej ilości dodatków mineralnych. Popiół lotny, który jest szeroko dostępnym odpadem nie tylko zapewni odpowiednie parametry reologiczne mieszance SCC, ale również wpłynie korzystnie na trwałość betonu w warunkach agresji chemicznej [13, 14].

2. MATERIAŁY I METODYKA BADAŃ

Beton samozagęszczalny zaprojektowano metodą doświadczalną rekomendowaną przez wytyczne [4]. Jako cement zastosowano CEM I 42,5 R oraz CEM I 32,5 R.

Jako drobnoziarnisty dodatek mineralny zastosowano popiół lotny oraz w jednym ze składów pył krzemionkowy z Huty Łaziska. Popiół lotny pochodził ze spalania węgla kamiennego w Elektrociepłowni EC-4 Łódź. Zastosowano wyłącznie kruszywo naturalne otoczkowe: piasek 0/4 mm oraz żwir 4/8 i 8/16 mm. Zgodnie z wytycznymi [4] jako piasek rozumiane jest kruszywo drobnej frakcji 0/4 mm. Krzywa uziarnienia piasku została przedstawiona na Rysunku 1. Stosowano superplastyfikator na bazie eterów polikarboksylicznych (PCE).

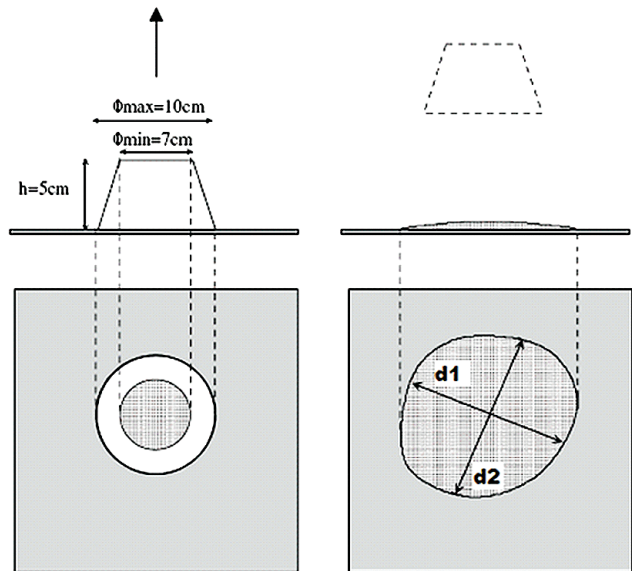


Rysunek 1. Krzywa uziarnienia piasku zastosowanego do badań

Procedura badawcza obejmowała następujące działania:

- badanie zaczynu metodą rozptywu stożka w celu wyznaczenia wartości proporcji objętościowych woda: spoiwo (V_w/V_s), przy których całkowita ilość wody zostanie powiązana z częściami pylastymi (0/0,125 mm) a teoretyczna średnica rozptywu stożka wyniesie 0; wartość tę oznacza się przez β_p ;
- badanie zapraw metodą rozptywu stożka w celu wyznaczenia optymalnej dawki superplastyfikatora,
- dodanie kruszywa grubego, ustalenie receptury mieszanki betonowej,
- zbadanie zawartości powietrza,
- sprawdzenie samozagęszczalności mieszanki metodą rozptywu stożka Abramska,
- badanie zdolności mieszanki do przepływu między prętami zbrojeniowymi za pomocą skrzynki wypływowej L-box,
- zbadanie wytrzymałości na ściskanie próbek betonowych sześciennych o boku 100 mm po 28 dniach twardnienia.

Do badania rozptywu zaczynów i zapraw służy stożek o wymiarach przedstawionych na Rysunku 2.



Rysunek 2. Stożek do badania zaczynów i zapraw oraz metoda pomiaru rozptywu

Każdy zaczyn został wykonany mechanicznie przy użyciu mieszarki do zapraw, czas mieszania wynosił 180 sekund. Tak przygotowany zaczyn wlewano do stożka, który został umieszczony na zwilżonej płycie szklanej. W momencie całkowitego zatrzymania rozptywu mierzono średnice w dwóch prostopadłych kierunkach (d_1 i d_2). Za wymiar rozptywu przyjmuje się średnią arytmetyczną z dwóch pomiarów, co jest podstawą do obliczenia względnego rozptywu Γ_p według wzoru 1.

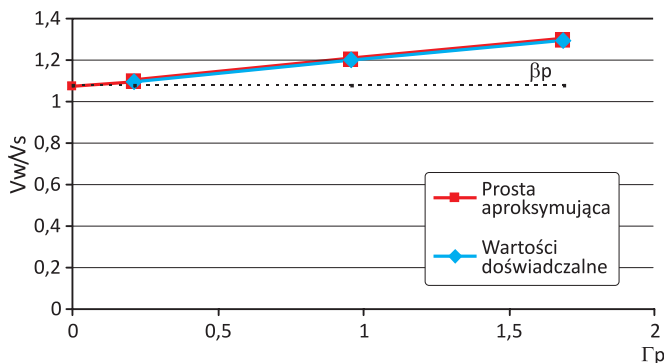
$$\Gamma_p = \left(\frac{d}{d_o} \right)^2 - 1, \quad (1)$$

gdzie:

- d – średnia arytmetyczna z dwóch pomiarów (d_1 i d_2 na Rysunku 1),
- $d_o = 100$ mm

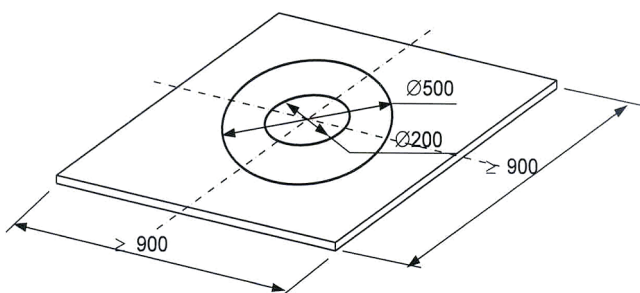
Następnie sporządzano dla każdej mieszanki spoiw wykresy zależności $f(\Gamma_p) = V_w/V_s$ oraz wyznaczono proste aproksymujące te zależności. Miejsce przecięcia prostej aproksymującej z osią Y wyznacza β_p dla poszczególnych mieszanek spoiw, których wartości zostały podane w Tabeli 2. Przykładowy wykres wartości doświadczalnych oraz prostej aproksymującej trend wyznaczone dla spoiwa S11 przedstawiono na Rysunku 3.

Zgodnie z zaleceniami do sporządzania zapraw przyjęto proporcje objętościowe $V_w/V_s = (0,8 \div 0,9)$ β_p , których wartości podano w ostatniej kolumnie Tabeli 2. Zaprawy modyfikowano dodatkiem superplastyfikatora. Optymalna dawka domieszki to taka, przy której średnica rozptywu stożka zaprawy (Rys. 2) mieści się w przedziale 24÷26 cm.

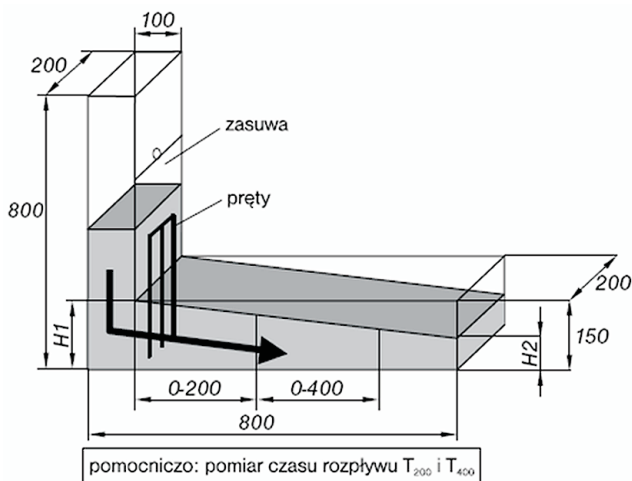


Rysunek 3. Wyniki badania rozptyłu stożka dla kompozycji spoiwa CEM I 42,5 i popiół lotny w proporcjach wagowych 80:20

W celu oceny zdolności mieszanki betonowej do całkowitego i szczelnego wypełnienia przestrzeni w formach wykonuje się badanie rozptyłu stożka wykorzystując stożek Abramska. W celu oceny lepkości mierzy się czas $T_{500'}$, czyli czas potrzebny na to, aby rozptywająca się mieszanka osiągnęła średnicę 500 mm (wg schematu pokazanego na Rys. 4). Wytyczne [4] wyróżniają dwie klasy lepkości: VS1 (≤ 2 s) oraz VS2 (> 2 s), nie podają jednak górnej granicy czasu $T_{500'}$. Im jest on dłuższy tym większa jest lepkość mieszanki.



Rysunek 4. Płytka do wykonania badania metodą rozptyłu stożka i do wyznaczenia czasu T_{500}



Rysunek 5. Schemat skrzynki wypływowej L-Box; odległość w świetle między prętami 12 wynosi 41 mm

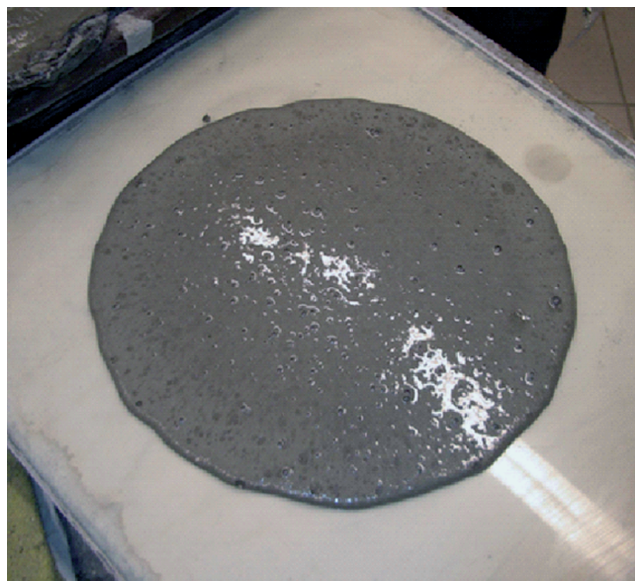
W celu zbadania zdolności mieszanki betonowej do przepływu między prętami zbrojeniowymi bez segregacji albo blokowania się wykorzystano skrzynkę wypływową L-box, której schemat pokazano na Rysunku 5. Mierzony jest czas $T_{200'}$, tzn. czas potrzebny mieszance na przepłynięcie pierwszych 200 mm po podniesieniu zasuw oraz stosunek H_2/H_1 po zakończonym procesie płynięcia mieszanki betonowej (oznaczenia według schematu na Rys. 5).

3. WYNIKI BADAŃ I DISKUSJA

W Tabeli 2 przedstawiono charakterystyki zastosowanych spoiw i zaczynów.

Dla każdej mieszanki spoiw sporządzano zaczyny o zmiennych proporcjach objętościowych V_w/V_s w przedziale od 1,1 do 1,4 w celu wyznaczenia wartości β_p . W Tabeli 3 podano składy zapraw oraz dozowania superplastyfikatora, przy których osiągnięto optymalne średnice rozptywu. Proporcje zaczynu do piasku 0/4 mm dobrano objętościowo, przyjmując stosunek 55:45. Wartości wskaźnika w/s (woda: spoiwo masowo) obliczono na podstawie ustalonych proporcji objętościowych tych składników, które zostały podane w ostatniej kolumnie Tabeli 2.

Na Rysunku 6 pokazano rozptyw zaprawy ZSII1, w której jako spoiwo zastosowano cement CEM I 32,5 oraz popiół lotny w proporcji wagowej 80:20, czyli popiół stanowi 25% masy cementu. Jak wynika ze zdjęcia, zaprawa nie wykazuje segregacji oraz nie zaobserwowano wycieku mleczka cementowego



Rysunek 6. Rozptyw zaprawy z widocznymi pęcherzykami powietrza

Tabela 2. Proporcje wagowe zastosowanych spoiw oraz parametry zaczynów

Oznaczenie	Spoivo	Proporcje wagowe	Gęstość, kg/dm ³	β_p	$V_w/V_s=(0,8\pm 0,9)\beta_p$
SI1	Cem 42,5 : popiół	80:20	2,99	1,071	0,900
SI2	Cem 42,5 : popiół	75:25	2,94	1,108	0,944
SI3	Cem 42,5 : popiół	70:30	2,89	1,103	0,943
SI4	Cem 42,5 : popiół	65:35	2,83	1,065	0,906
SI11	Cem 32,5R : popiół	80:20	2,92	1,073	0,967
SI12	Cem 32,5R : popiół : pył krzemionkowy	78:16,5:5,5	2,91	1,277	1,023

Tabela 3. Składy i właściwości zapraw

Lp.	Zawartość zaczynu [% objętościowo]	Zawartość piasku [% objętościowo]	w/s	SP [% masy spoiwa]	Średnica rozptywu [cm]
ZSI1	55	45	0,312	2,0	25,5
ZSI2	55	45	0,323	2,0	25,0
ZSI3	55	45	0,330	2,0	26,5
ZSI4	55	45	0,320	2,0	24,5
ZSI11	55	45	0,331	1,0	26,5
ZSI12	55	45	0,351	1,5	26,5

Tabela 4. Składy i cechy techniczne projektowanych betonów

		Skład na 1 m ³					
		BSI1	BSI2	BSI3	BSI4	BSI11	BSI12
Woda	[dm ³]	162	170	169	163	166	197
Objętość spoiwa	[dm ³]	180	180	180	180	171	192
Masa spoiwa	[kg]	538	529	518	509	500	560
Cement	[kg]	431	397	363	331	400	392
Popiół lotny	[kg]	107	132	155	178	100	137
Pył krzemionkowy	[kg]	-	-	-	-	-	31
w/s		0,301	0,321	0,326	0,320	0,332	0,351
Objętość zaczynu	[dm ³]	342	350	349	343	337	389
Objętość kruszywa grubego	[dm ³]	320	320	320	320	319	328
Masa kruszywa grubego 4/16	[kg]	848	848	848	848	845	869
w tym 4/8		381	381	381	381	382	393
w tym 8/16		466	466	466	466	467	482
Obj. kruszywa drobnego 0/4	[dm ³]	336	329	329	336	343	281
Masa kruszywa drobnego	[kg]	890	872	872	890	908	746
Kruszywo razem	[kg]	1738	1720	1720	1738	1753	1615
SP	[%]	2	2	2	2	1	2
Zawartość powietrza	[%]	1,8	1,5	1,9	1,5	1,5	1,7
T ₅₀₀	[s]	14	5	6	8	4	2
Rozptyw stożka, mm		670	720	680	650	610	700
T ₂₀₀	[s]	2	3	3	5	2	2
H ₂ /H ₁		0,78	0,84	0,89	0,43	0,98	0,82
Średnia wytrzymałość na ściskanie po 28 dniach [MPa]		58,7	57,3	47,0	62,4	55,9	49,3
Klasa betonu		C40/50	C40/50	C30/37	C45/55	C40/50	C35/45

na brzegach placka, co świadczy o dobrej lepkości mieszanki.

Ostateczne receptury poszczególnych betonów oraz właściwości mieszanek betonowych i betonów stwardniałych podano Tabeli 4. Wytrzymałości podano w przeliczeniu na próbki sześciennie 150 mm.

Jak wynika z danych zamieszczonych w Tabeli 4, wszystkie mieszanki uzyskały rozptyw pozwalający zakwalifikować je do mieszanek samozagęszczalnych klas konsystencji SF1 bądź SF2. Mieszanka BSI4 nie nadaje się jednak do elementów zbrojonych ze względu na brak zdolności do przepływania między prętami zbrojenia (negatywny wynik testu L-box). Beton BSI3 uzyskał najniższą wytrzymałość na ściskanie pozwalającą zakwalifikować go do klasy C30/37 – może więc pracować w klasie ekspozycji XF3 lub XA2. Pozostałe betony nadają się również do pracy w klasie ekspozycji XA3. Możliwe jest uzyskanie betonu samozagęszczalnego przy umiarkowanej zawartości cementu (poniżej 400 kg/m³), uzupełniając niezbędne frakcje pyłowe dodatkiem popiołu lotnego. Dodatek pyłu krzemionkowego powoduje zwiększone zapotrzebowanie na wodę zarobową, a tym samym wzrasta wskaźnik w/c, co przekłada

się na zmniejszenie 28-dniowej wytrzymałości na ściskanie. Jak wynika z przeprowadzonych badań możliwe jest uzyskanie betonów samozagęszczalnych średnich wytrzymałości stosując popiół lotny, efektywną domieszkę upłynniającą oraz kruszywo otoczkowe.

4. WNIOSKI

Wykorzystując zalecaną przez wytyczne europejskie [4] doświadczalną metodę projektowania betonu samozagęszczalnego uzyskano z dwoma stosowanymi cementami mieszanki o rozptywie stożka 610÷720 mm. Możemy zakwalifikować je więc do mieszanek samozagęszczalnych. Stosując jako dodatek popiół lotny w ilości 25÷54% masy cementu uzyskano betony klas C30/37 do C45/55, co pozwala stosować je w warunkach panujących w obiektach inwentarskich (klasach ekspozycji XA2, XA3 oraz XF3).

Badania zrealizowano w ramach projektu badawczego S/WBiIŚ/1/10.

LITERATURA

- [1] Walraven J., Beton o szczególnych właściwościach: nowe podejście do procesu projektowania materiałów, Konferencja: Dni Betonu, Wisła, 2004, s. 19-36.
- [2] Jawański W., Beton samozagęszczalny, Konferencja: Dni Betonu, Wisła, 2002, s. 101-121.
- [3] Szwabowski J., Betony samozagęszczalne, Budownictwo Technologie Architektura, s. 42-45, 2/2003.
- [4] The European Guidelines for Self-Compacting Concrete. Specification, Production and Use. EFNARC Report, 2005.
- [5] Grabiec A.M., Chutek R., Cement Type and Properties of Self-Compacting Concrete, Scientiarum Polonorum Acta Architectura 7(4), s. 3-14, 2008.
- [6] Domone P.L., Self-Compacting Concrete: An Analysis of 11 Years of Case Studies, Cement and Concrete Composites, Vol. 28, s. 197-208, 2006.
- [7] Okamura H., Ouchi M., Self Compacting Concrete. Development, present use and future, The First International RILEM symposium on self-compacting concrete, Stockholm, 1999, s. 3-14.
- [8] De Larrard F., Concrete Mixture Proportioning: A Scientific Approach, Spon Press, 1999.
- [9] Su N., Hsu K.-C., Chai H.-W., A Simple Mix Design Method for Self-Compacting Concrete, Cement and Concrete Research, Vol. 31, s. 1799-1807, 2001.
- [10] Su N., Buquan M., A New Method for the Mix Design of Medium Strength Flowing Concrete with Low Cement Content, Cement and Concrete Composites, Vol. 25, s. 215-222, 2003.
- [11] Domone P.L., A Review of the Hardened Mechanical Properties of Self-Compacting Concrete, Cement and Concrete Composites, Vol. 29, s. 1-12, 2007.
- [12] Maciejewski K., Ochrona budynków inwentarskich przed korozją, Higiena Jakość Ekologia, nr 5, s. 50-51, 2008.
- [13] Dinakar P., Babu K.G., Santhanam M., Durability of High Volume Fly Ash Self Compacting Concretes, Cement and Concrete Composites, Vol. 30, s. 880-886, 2008.
- [14] De Belie N., Debruyckere M., Van Nieuwenburgs D., De Blaeres B., 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, Vol. 68, s. 101-108, 1997.