

WPŁYW ZAWARTOŚCI POPIOŁU LOTNEGO WAPIENNEGO ORAZ ZBROJENIA ROZPROSZONEGO NA WYBRANE CHARAKTERYSTYKI FIBROBETONÓW SAMOZAGĘSZCZALNYCH

Jacek GOŁASZEWSKI, Tomasz PONIKIEWSKI*

Wydział Budownictwa, Politechnika Śląska, ul. Akademicka 5, 44-100 Gliwice

Streszczenie: Analiza wpływu zawartości popiołu lotnego wapiennego (PLW) oraz różnego typu włókien na właściwości betonu samozagęszczalnego jest przedmiotem niniejszego artykułu. Zaprezentowano badania wpływu włókien o zróżnicowanych parametrach geometrycznych, celem określenia wpływu ich parametrów geometrycznych na urabialność oraz samozagęszczalność. W referacie zostały przedstawione wyniki badań urabialności w ujęciu reologicznym mieszanek samozagęszczalnych modyfikowanych włóknami oraz PLW. Badania metodą reometrycznego testu urabialności (RTU) zostały przeprowadzone za pomocą reometru do zapraw i mieszanek betonowych – BT2. Wykonano aproksymację wyników pomiarów dwuparametrowym modelem reologicznym Bingham'a, co pozwoliło na określenie dwóch podstawowych parametrów reologicznych – granicy płynięcia g oraz lepkości plastycznej h . Mieszanka betonowa była modyfikowana ze względu na zmienny w badaniach rodzaj i udział objętościowy włókien oraz ilość popiołu lotnego wapiennego w cemencie.

Słowa kluczowe: fibrobeton samozagęszczalny, reologia, popiół lotny wapienny, włókna stalowe.

1. Wprowadzenie

Obecny stan wiedzy nie jest wystarczający do efektywnego kształtowania urabialności mieszanek samozagęszczalnych z dodatkiem PLW. Konieczne są dalsze badania, zwłaszcza uwzględniające wpływ zmiennych właściwości fizykochemicznych popiołu lotnego wapiennego i rodzaju cementu. Stwierdzono możliwość stosowania PLW, jako zamiennik części cementu w betonie i składnika cementu (Gołaszewski i Giergiczyński, 2010). Istota stosowania w mieszankach na spoiwach cementowych włókien, jako zbrojenia rozproszonego była już omawiana we wcześniejszych publikacjach (Brandt 2000). Nowym zagadnieniem jest kształtowanie urabialności fibrobetonów samozagęszczalnych z dodatkiem popiołu lotnego wapiennego. Dodatki mineralne odgrywają bardzo ważną rolę we współczesnej technologii betonu. Ich stosowanie pozwala bowiem na modyfikowanie właściwości betonu oraz uzyskanie znaczących korzyści ekonomicznych. Stanowi również ważny element w realizacji strategii zrównoważonego rozwoju. Dodatki mineralne są dobierane ze względu na wymagania wytrzymałościowe i trwałościowe betonu. Ich obecność wpływa jednak znacząco także na właściwości reologiczne mieszanki. Jako dodatki

mineralne najczęściej stosowane są popioły lotne, zmielony granulowany żużel wielkopiecowy oraz pył krzemionkowy. Podstawowe efekty stosowania tych dodatków mineralnych przedstawiono szeroko w licznych opracowaniach (Aitcin, 1998; Neville, 2000; Giergiczyński, 2006). Ogólna tendencja poprawy charakterystyk stwardniałego betonu samozagęszczalnego wraz ze wzrostem zawartości włókien w jego objętości, powoduje pogarszanie urabialności tychże mieszanek w trakcie ich formowania. Aktualnym problemem, także w przypadku betonów samozagęszczalnych modyfikowanych włóknami, jest technologiczna trudność ich wykonywania oraz realizacji procesów technologicznych w trakcie robót betonowych. Zmusza to do rozpoznania rzeczywistej natury ich urabialności i określenia wpływu dodawanych włókien na zjawiska zachodzące w świeżym i stwardniałym betonie samozagęszczalnym. Wiąże się to z dążeniem do upowszechnienia w praktyce budowlanej fibrobetonów samozagęszczalnych. Analiza wykluczających się nawzajem czynników zachodzących w wyniku dodania włókien do betonu samozagęszczalnego: pogarszania się urabialności i poprawy właściwości mechanicznych betonów samozagęszczalnych jest przedmiotem niniejszego artykułu.

* Autor odpowiedzialny za korespondencję. E-mail: tomasz.ponikiewski@polsl.pl

2. Właściwości reologiczne mieszanek na spoiwie cementowym i ich pomiar

Z licznych badań rozpatrujących właściwości mieszanki w aspekcie urabialności wynika, że zachowuje się ona pod obciążeniem jak lepkoplastyczne ciało Bingham (Szwabowski, 1999). Granica płynięcia i lepkość plastyczna, zwane parametrami reologicznymi, są stałymi materiałowymi, charakteryzującymi właściwości reologiczne mieszanki. Z chwilą, gdy naprężenia przekroczą granicę płynięcia, nastąpi płynięcie mieszanki z prędkością proporcjonalną do lepkości plastycznej. Im mniejsza będzie lepkość plastyczna mieszanki, tym większa będzie prędkość jej płynięcia przy danym obciążeniu. Ze względu na urabialność mieszanki, parametrem o zasadniczym znaczeniu jest granica płynięcia. Znaczenie technologiczne lepkości plastycznej w przypadku mieszanek zagęszczanych wibracyjnie jest mniejsze, jednak w odniesieniu do mieszanek samozagęszczalnych o ich urabialności decydują zarówno granica płynięcia, jak i lepkość plastyczna. Bardziej szczegółowo zagadnienia reologii omówiono między innymi w pracy Szwabowskiego (1999). Pomiar parametrów reologicznych mieszanek najlepiej wykonywać za pomocą reometrów. W pracach między innymi, Banfilla (2003) oraz Gołaszewskiego (2006) wykazano, że ze względu na dobrą zgodność charakteru wpływu podstawowych czynników składu na reologię zapraw i mieszanek, wyniki uzyskane na zaprawach mogą być wykorzystane do przewidywania kierunków i wielkości zmian właściwości reologicznych mieszanek betonowych. Dotyczy to szczególnie wpływu dodatków i domieszek.

3. Założenia i metodyka badań

W referacie zostały przedstawione wyniki badań urabialności wykonane normowym testem rozptywu. Dla wybranych składów mieszanek (z dodatkiem włókien syntetycznych) wykonano badania metodą reometrycznego testu urabialności (RTU). Zostały one

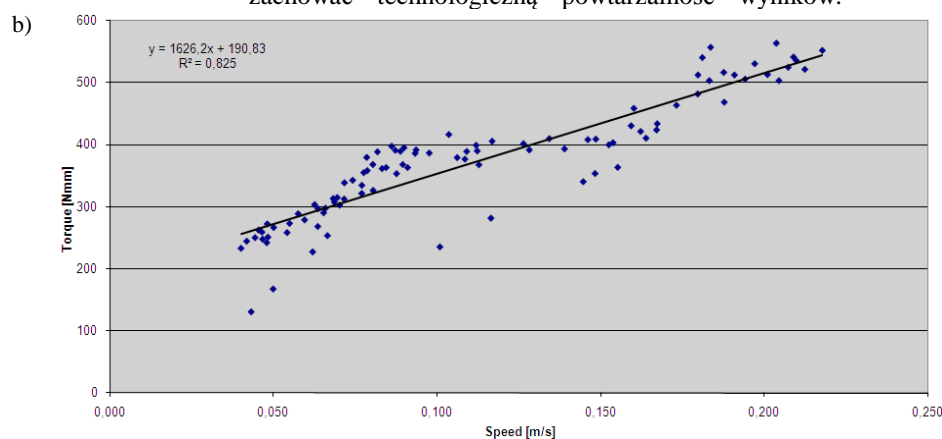
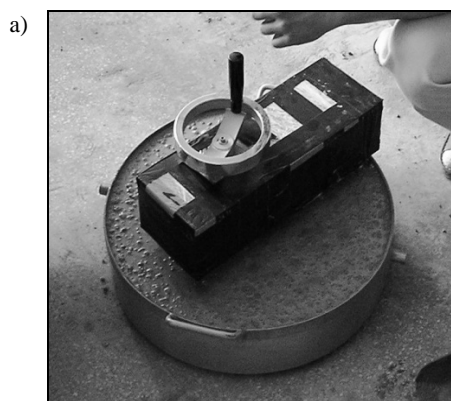
przeprowadzone za pomocą reometru do zapraw i mieszanek betonowych – BT-2. (rys. 1). Istota RTU została omówiona szczegółowo w literaturze.

Wyniki pomiarów reometrycznych aproksymowano dwuparametrowym modelem reologicznym Bingham. Pozwoliło to na określenie dwóch podstawowych parametrów reologicznych – granicy płynięcia g oraz lepkości plastycznej h . Badania wykonano uwzględniając wpływ następujących czynników:

- dostawa popiołu lotnego wapiennego: partia C i D (tab. 1);
- stopień przemiału popiołu lotnego wapiennego (tab. 2);
- zawartość popiołu lotnego wapiennego, jako ekwiwalent cementu: 10-20-30 % m.c.
- materiał włókien – stalowe i syntetyczne;
- rodzaj włókien stalowych (tab. 4);
- udział masowy włókien stalowych: 20-120 kg/m³ (0,25-1,5)% objętości;
- rodzaj włókien syntetycznych (tab. 5);
- udział masowy włókien syntetycznych: 1-10 kg/m³ (0,1-1,1)% objętości;

Skład badanej mieszanki samozagęszczalnej przedstawiono w tabeli 3. Zastosowano w badaniach superplastyfikatory na bazie eteru polikarboksyłanowego. Zastosowane do badań włókna zostały wytypowane z dosyć licznej grupy dostępnych na rynku. Dobór miał na celu zaprezentowanie wpływu włókien o różnych parametrach materiałowych i geometrycznych na urabialność mieszanek samozagęszczalnych. Włókna stalowe dozowano w ilości 20-120 kg/m³ proporcjonalnie do ich geometrii (udział objętościowy włókien w mieszance odwrotnie proporcjonalny do długości włókien). Włókna syntetyczne dozowano w ilości 2-10 kg/m³ proporcjonalnie do ich gęstości objętościowej oraz parametrów geometrycznych. Należy zaznaczyć, że kształt włókien, ze względu na zmienność ich geometrii, jest dodatkowym czynnikiem, wpływającym na wyniki badań, lecz nakładającym się na rozpatrywane pozostałe parametry zmienne włókien.

Została opracowana i wdrożona procedura przygotowania mieszanek betonowych, pozwalająca zachować technologiczną powtarzalność wyników.



Rys. 1. Reometr BT-2 do wyznaczania parametrów reologicznych mieszanek betonowych: a) widok ogólny aparatu podczas procedury pomiarowej, b) odczyt parametrów reologicznych mieszanki samozagęszczalnej na podstawie krzywej płynięcia

Tab. 1. Skład popiołu lotnego wapiennego oznaczonego metodą XRF

Składnik	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Na ₂ O	K ₂ O	CaO _w
Popiół lotny wapienny C	40,17	24,02	5,93	22,37	1,27	3,07*	0,15	0,20	1,46**
Popiół lotny wapienny D	40,88	19,00	4,25	25,97	1,73	3,94	0,13	0,14	1,07

* oznaczono metodą analizy elementarnej; **metoda glikolowa





Tab. 2. Właściwości fizyczne popiołów – gęstość, mialkość, powierzchnia właściwa, masa objętościowa

Popiół	Gęstość [g/cm ³]	Mialkość – pozostałość na sicie 45µm [%]	Powierzchnia właściwa według Blaine'a [cm ² /g]	Masa objętościowa [kg/m ³]
Partia C				
C0 Bez przemiału	2,64	55,6	1900	1060
C20 Mielenie 20 min	2,71	20,0	4060	nb
Partia D				
D0 Bez przemiału	2,60	46,3	2370	1030
D15 Mielenie 15 min	2,67	20,8	3520	nb

Tab. 3. Skład mieszanek samozagęszczalnych

Składnik	Mieszanka betonowa		
	C1	C2	C3
	kg/m ³		
CEM II B-M (S-V)	490,0	-	490,0
CEM I	-	600,0	-
Piasek 0-2 mm	806,0	800,0	756,0
Kruszywo otoczkowe 2-8 mm	806,0	800,0	-
Kruszywo bazaltowe 2-8 mm	-	-	944,0
Mikrokrzemionka	-	-	48,9
Superplastyfikator Glenium ACE 48 (3,5 % m.c.)	17,2	-	-
Superplastyfikator Glenium SKY 592 (2,5 % m.c.)	-	15,0	16,2
Stabilizator RheoMatrix (0,4 % m.c.)	1,9	2,4	1,6
PARAMETRY			
Punkt piaskowy (%)	50,0	50,0	45,8
W/C	0,44	0,31	0,42
Klasa konsystencji (SF)	SF3	SF2	SF3

Tab. 4. Charakterystyka geometryczno-materiałowa badanych włókien stalowych

Nazwa	Długość (mm)	Średnica (mm)	Przekrój poprzeczny	Kształt	Materiał	Wytrzymał. na rozciąg. (N/mm ²)
SW 50/1.0	50±10%	1,0±10%	okrągły		Stal niskowęglowa	1100±15%
DM 6/0,17	6±10%	0,17±10%	okrągły	-	Stal niskowęglowa	2100±15%
SF 01-32	32±10%	3,80±10%	sierpowaty		S355 J2 G3	980±15%
KE 20/1,7	20±10%	1,70±10%	prostokątny ²⁾		DC01	770±15%
SW 35	35±10%	2,30±2,95 ¹⁾	część okręgu		Stal niskowęglowa	800±15%

Oznaczenia: ¹⁾ szerokość (mm); ²⁾ grubość 0,50±10%;

Tab. 5. Charakterystyka geometryczno-materiałowa badanych włókien syntetycznych

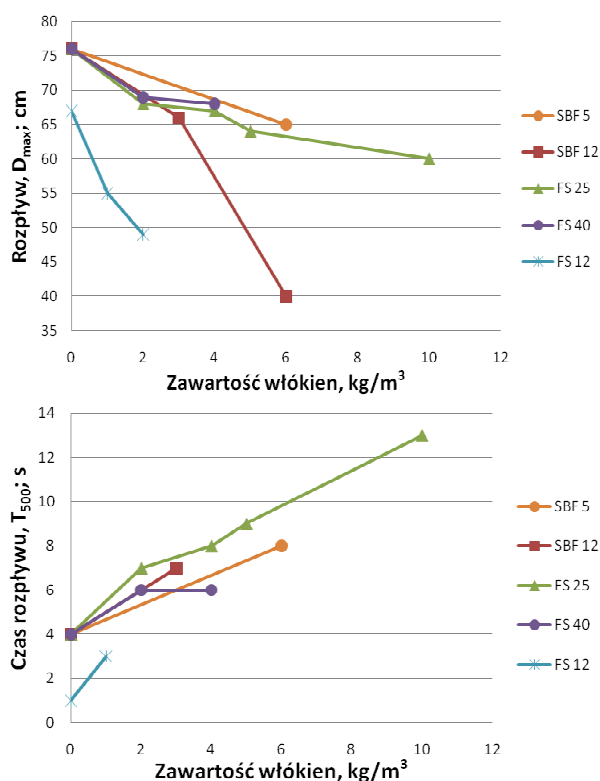
Nazwa	Długość (mm)	Średnica	Klasa	Kształt	Materiał	Wytrzymałość na rozciąganie (N/mm ²)
SBF 5	5±10%	16 [μm]	kołowy	proste	Polimerowo-bazaltowe	1 680
SBF 12	12±10%	16 [μm]	kołowy	proste	Polimerowo-bazaltowe	1 680
FS 25	25	0,66 [mm]	II; makrowłókna	odkształcone	Polipropylen, polietylen	600
FS 40	40	0,66 [mm]	II; makrowłókna	odkształcone	Polipropylen, polietylen	600
FS 12	12	28 [μm]	Ia; mikrowłókna	Proste, pojedyncze	Polipropylen	600

Kolejność postępowania w procedurze przygotowania mieszanki betonowej:

1. dozowanie kruszywa,
2. dozowanie piasku,
3. dozowanie cementu,
4. dozowanie popiołu lotnego wapiennego lub włókien,
5. wstępne mieszanie składników – 3 minuty,
6. dozowanie 2/3 ilości wody,
7. dozowanie 1/6 ilości wody wraz z pełną dawką superplastyfikatora,
8. mieszanie składników – 2 minuty,
9. dozowanie 1/6 ilości wody z pełną dawką stabilizatora,
10. mieszanie wszystkich składników – 2 minuty.

4. Wyniki badań i ich omówienie

Wprowadzenie zbrojenia rozproszonego w postaci włókien bazaltowych oraz makrowłókien polipropylenowych pogarsza urabialność mieszanek SCC, powodując spadek średnicy rozptywu D_{max} oraz czasu rozptywu T_{500} . Na rysunku 2 przedstawiono wpływ rodzaju i udziału objętościowego włókien syntetycznych na średnicę rozptywu D_{max} oraz czas rozptywu T_{500} mieszanek samozagęszczalnych. Stwierdzono zmniejszanie się średnicy rozptywu mieszanki samozagęszczalnej wraz ze zwiększaniem się zawartości włókien w mieszance. Największe zmniejszenie średnicy rozptywu stwierdzono dla mieszanek z dodatkiem mikro-włókien polipropylenowych. Już przy zawartości tych włókien na poziomie 2 kg/m³ wartość D_{max} spadła do wartości 490 mm i mieszanka utraciła cechy samozagęszczalnej. Dla mieszanek z makro-włóknami polipropylenowymi o zawartości 6 kg/m³ otrzymano średnicę 400 mm. W przypadku pozostałych rozpatrywanych włókien w przedziale zawartości 2-4 kg/m³ średnica rozptywu była zbliżona i wynosiła 670-690 mm. Czas rozptywu zwiększa się wraz ze wzrostem ilości włókien syntetycznych w mieszance. Zwiększanie ilości mikro-włókien polipropylenowych najszybciej powoduje wydłużenia czasu rozptywu mieszanki.

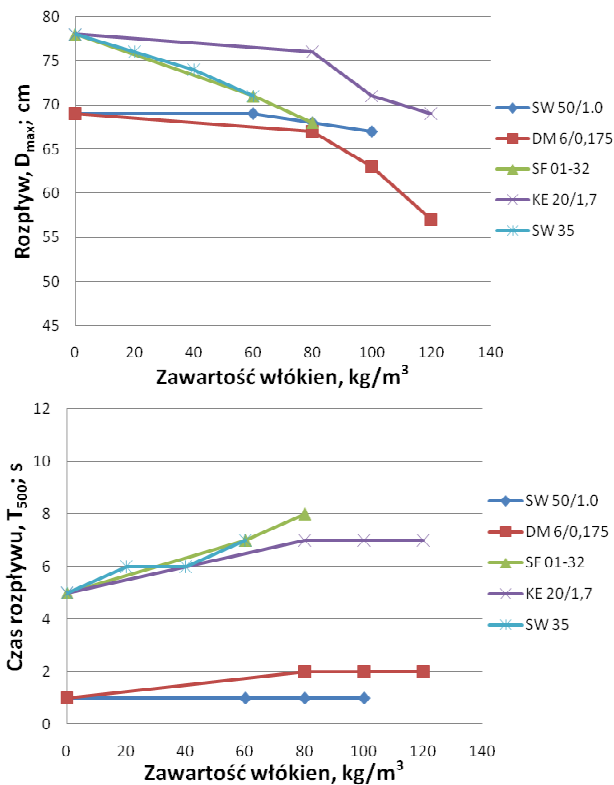


Rys. 2. Wpływ rodzaju i zawartości włókien syntetycznych na średnicę oraz czas rozptywu mieszanek SCC (mieszanka C2)

Szczególnie jest to widoczne w przypadku średnicy rozptywu dla włókien bazaltowych 12 mm, z którymi mieszanka SCC utraciła swoje właściwości samozagęszczalności. Wpływ wzrostu udziału objętościowego włókien polipropylenowych nie przekłada się na znaczny spadek średnicy rozptywu. Czas rozptywu wyraźnie zwiększa się wraz ze wzrostem udziału objętościowego włókien polipropylenowych 25 mm.

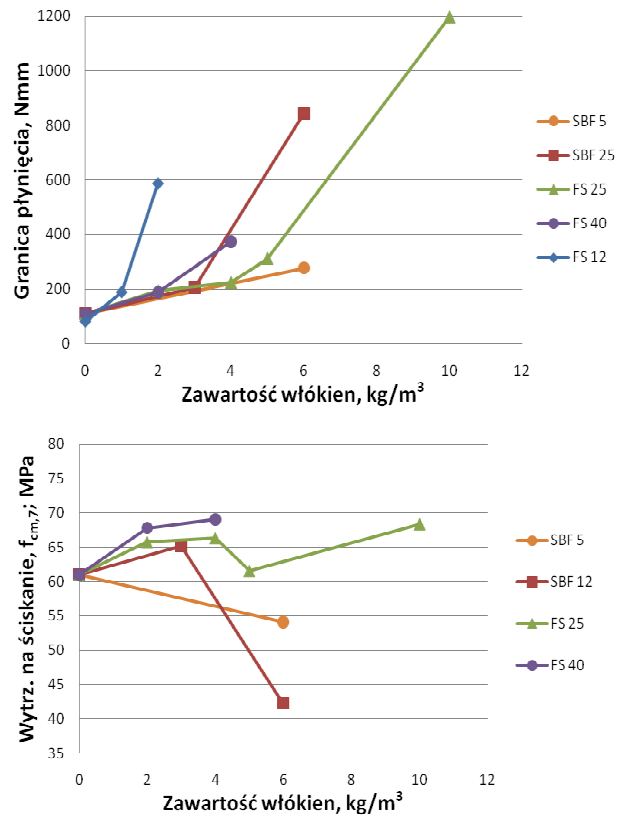
Na rysunku 3 przedstawiono wpływ rodzaju i udziału objętościowego włókien stalowych na średnicę rozptywu D_{max} oraz czas rozptywu T_{500} mieszanek samozagęszczalnych. Mieszanka bez dodatku włókien spełniała dwie klasy konsystencji. Generalnie wraz ze wzrostem ilości dozowanych włókien stalowych, pogarsza się urabialność mieszanek z ich dodatkiem. Stwierdzono brak utraty samozagęszczalności SCC ze wszystkimi badanymi włóknami stalowymi dla zawartości włókien do 40 kg/m³. Przy dozowaniu 60 kg/m³, nastąpiła największa utrata samozagęszczalności (D_{max} z 780 do 720 mm) dla mieszanki z dodatkiem wybranych włókien stalowych długich. Zaobserwowano niewielki spadek średnicy

rozpływu dla mieszanek z zawartością 80 kg/m³ włókien stalowych krótkich. Wartość średnicy rozpływu dla włókien najdłuższych 50 mm jest praktycznie niezmienna w przedziale dozowania 60-100 kg/m³. Utrata parametrów samozagęszczalności nastąpiła dla mieszanki z dodatkiem włókien najkrótszych przy zawartości 120 kg/m³. Czas rozpływu T500 badanych mieszanek samozagęszczalnych wzrasta wraz ze wzrostem zawartości włókien w mieszance. Dla zawartości włókien w przedziale 80-100 kg/m³ zaobserwowano brak zwiększenia się czasu rozpływu mieszanek w przypadku 3 typów włókien.



Rys. 3. Wpływ rodzaju i zawartości włókien stalowych na średnicę oraz czas rozpływu mieszanek SCC (mieszanka C2)

Na rysunku 4 przedstawiono wpływ rodzaju i zawartości włókien syntetycznych na wartość granicy płynięcia g oraz na wytrzymałość na ściskanie $f_{cm,7}$. Na podstawie uzyskanych wyników można stwierdzić, że wartość granicy płynięcia wzrasta wraz ze wzrostem udziału objętościowego włókien w mieszance. Wykazano wpływ materiału włókien na wartość granicy płynięcia. W przypadku mikro-włókien polipropylenowych stwierdzono największy przyrost granicy płynięcia g dla zawartości 2 kg/m³ w mieszance samozagęszczalnej. W przedziale zawartości 2-4 kg/m³, mieszanki z makro-włóknami polipropylenowymi oraz bazaltowymi charakteryzują się stosunkowo najniższą wartością granicy płynięcia. Dla zawartości 6 kg/m³ włókien bazaltowych długości 5 mm mieszanka z ich dodatkiem wykazuje najmniejszy przyrost wartości granicy płynięcia. Dla zawartości 6 kg/m³ włókien długich bazaltowych dodawanych do mieszanki, następuje relatywnie najwyższy wzrost granicy płynięcia.



Rys. 4. Wpływ rodzaju i zawartości włókien syntetycznych na wartość granicy płynięcia g i wytrzymałość na ściskanie $f_{cm,7}$ (mieszanka C2)

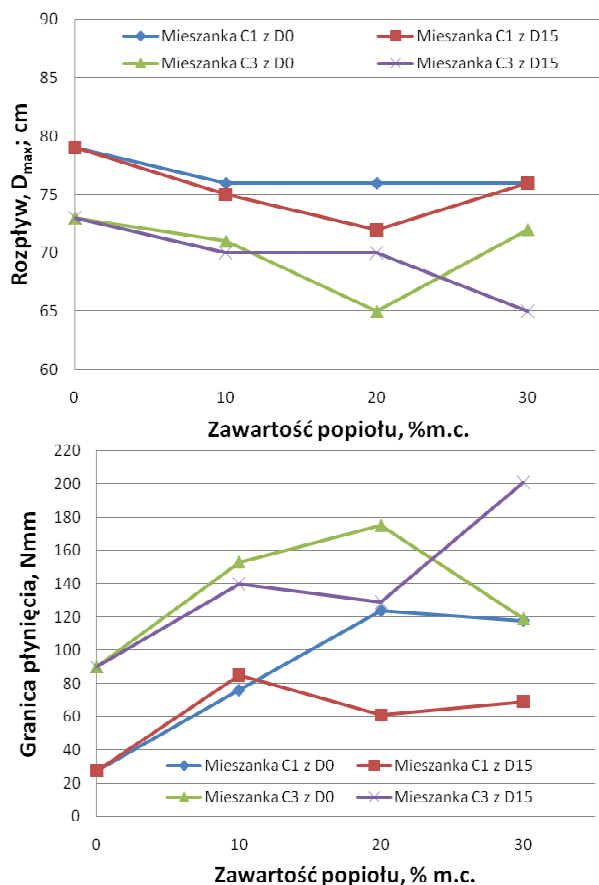
Dodatek 10 kg/m³ włókien polipropylenowych długości 25 mm spowodował wzrost wartości granicy płynięcia ze 100 do 1200 Nmm.

Stwierdzono najwyższy przyrost wytrzymałości dla betonów SCC z dodatkiem 4 kg/m³ włókien polipropylenowych długości 40 mm względem betonu bez włókien. Zbliżoną wartość $f_{cm,7}$ uzyskano dla betonu z 10 kg/m³ włókien polipropylenowych 25 mm. Beton z włóknami bazaltowymi 5 i 12 mm (6 kg/m³) charakteryzował się spadkiem wartości $f_{cm,7}$ w odniesieniu do betonu bez włókien.

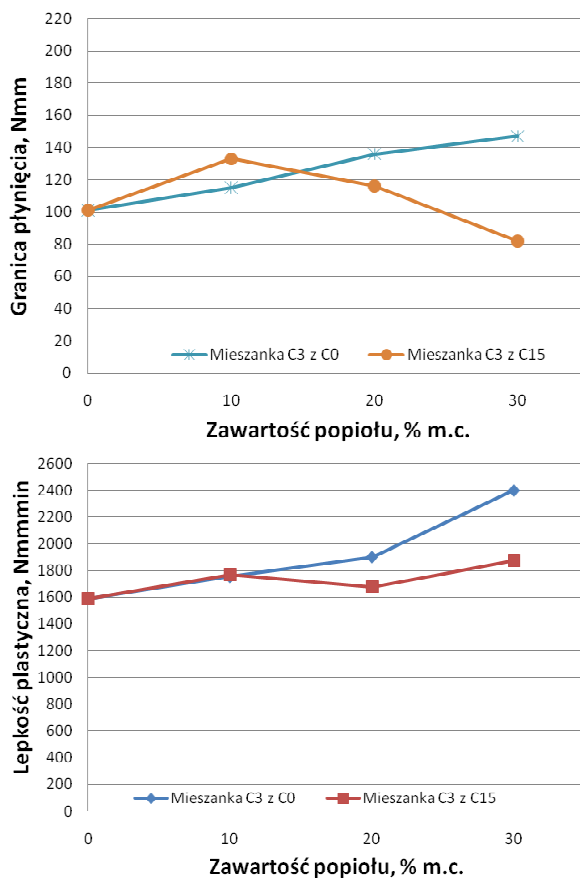
Na rysunku 5 przedstawiono wpływ zawartości popiołu lotnego wapiennego (dostawa D) i jego stopnia przemiału na średnicę rozpływu D_{max} oraz parametry reologiczne (mieszanka C1 i C3). Wzrost zawartości popiołu lotnego wapiennego w mieszance powoduje zmniejszenie średnicy rozpływu oraz wzrost wartości granicy płynięcia g . Następuje utrata urabialności, ale w stopniu pozwalającym zachować właściwości mieszanki samozagęszczalnej. Obserwowane jest pogorszenie urabialności wraz ze wzrostem zawartości PLW o 10 i 20% a dla 30% poprawa urabialności. Ta tendencja musi być potwierdzona w dodatkowych badaniach. Domielanie PLW nie powodowało jednoznacznie mniejszej utraty urabialności przez mieszanki betonowe z ich dodatkiem. W kolejnych badaniach obserwowano większą granicę płynięcia g mieszanek z PLW niedomielanym.

Na rysunku 6 przedstawiono wpływ zawartości PLW (dostawa C) i jego stopnia przemiału na wartość granicy płynięcia g oraz lepkość plastyczną h (mieszanka C3). W przypadku PLW niedomielanego stwierdzono wzrost

granicy płynięcia g wraz ze wzrostem udziału objętościowego PLW w mieszance. Mieszanka z PLW domielonym charakteryzowała się wzrostem granicy płynięcia dla 10% PLW oraz obniżaniem granicy płynięcia dla 20 i 30% PLW. Lepkość plastyczna wzrastała w mieszankach z PLW niedomielonym wraz ze wzrostem ich udziału objętościowego w mieszance. W przypadku PLW domielonego lepkość plastyczna wzrastała wraz ze wzrostem udziału objętościowego PLW w mieszance.



Rys. 5. Wpływ zawartości popiołu lotnego wapiennego (dostawa D) i jego stopnia przemiału na średnicę oraz wartość granicy płynięcia g (mieszanka C1 i C3)



Rys. 6. Wpływ zawartości popiołu lotnego wapiennego (dostawa C) i jego stopnia przemiału na wartość granicy płynięcia g oraz lepkość plastyczną h (mieszanka C3)

5. Podsumowanie

Badania wykazały niekorzystny wpływ PLW surowych (bez przemiału) dodawanych do mieszanki na jej właściwości reologiczne i urabialność. Aktywacja popiołów (ich przemiał) poprawia ich właściwości i są one dobrym dodatkiem do mieszanek betonowych. Zwraca uwagę większa lepkość zapraw z PLW, co jest bardzo korzystne w przypadku betonów samozagęszczalnych.

Przedstawione badania betonów samozagęszczalnych modyfikowanych włóknami wykazują wpływ ich dodatku na pogarszanie się urabialności mieszanki samozagęszczalnej.

Należy zaznaczyć, że pomimo pogarszania się urabialności, można uzyskać mieszanki samozagęszczalne z dodatkiem włókien stalowych oraz syntetycznych. Samozagęszczalność mieszanek betonowych pogarsza się wraz ze wzrostem udziału objętościowego włókien w mieszance samozagęszczalnej. Z punktu widzenia zachowania samozagęszczalności mieszanek z dodatkiem włókien stalowych, ich zawartość na poziomie 80 kg/m^3 nie powoduje znacznego pogorszenia urabialności.

Rozpatrywane włókna syntetyczne również wpływają na pogarszanie urabialności mieszanek samozagęszczalnych z ich dodatkiem. Wykazano największe pogorszenie samozagęszczalności mieszanek z dodatkiem mikro-włókien polipropylenowych długości 12 mm. Mieszanka

z zawartością 2 kg/m³ tych włókien utraciła właściwości mieszanki samozagęszczalnej. Mieszanki z dodatkiem włókien polimerowo-bazaltowych utraciły właściwości mieszanki samozagęszczalnej przy zawartości 6 kg/m³. Najmniejsze pogorszenie samozagęszczalności uzyskano dla mieszanek betonowych z dodatkiem włókien polipropylenowo-polietylenowych. Dozowanie tych włókien w ilości do 4 kg/m³ powoduje zmniejszanie się średnicy rozplywu mieszanek samozagęszczalnych z ich dodatkiem o około 90 mm.

Badania reologiczne mieszanek samozagęszczalnych potwierdziły trend wzrostu wartości granicy płynięcia g wraz ze wzrostem ilości dozowanych włókien syntetycznych. Badania potwierdziły korelację uzyskanych wyników pomiędzy testem technologicznym rozplywu a reometrycznym testem urabialności. Stwierdzono wpływ rodzaju i zawartości włókien na pogarszanie właściwości reologicznych mieszanek SCC. Dodatek zbrojenia rozproszonego szczególnie w postaci włókien polipropylenowych w sposób nieznaczny wpływa na poprawę wytrzymałości na ściskanie. Nie stwierdzono wpływu włókien bazaltowych na wzrost wytrzymałości betonu SCC z ich dodatkiem.

Literatura

- Aitcin P.-C. (1998). High Performance Concrete. *E & F.N. Spon*, London.
- Banfill P.F.G. (2003). The rheology of fresh cement and concrete – a review. W: Proc. of the *11th International Cement Chemistry Congress*, Durban 2003, 50-62.
- Brandt A.M. (2000). Zastosowanie włókien, jako uzbrojenia w elementach betonowych. W: *Materiały Konferencji „Beton na progu nowego Milenium”*. Kraków, 433-444.
- Giergiczny Z. (2006). Rola popiołów lotnych wapniowych i krzemionkowych w kształtowaniu właściwości współczesnych spoiw budowlanych i tworzyw cementowych. *Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej*, Kraków.

- Gołaszewski J. (2006). Wpływ superplastyfikatorów na właściwości reologiczne mieszanek na spoiwach cementowych w układzie zmiennych czynników technologicznych. *Wydawnictwo Politechniki Śląskiej*, Gliwice.
- Gołaszewski J., Giergiczny Z. (2010). Kształtowanie właściwości reologicznych mieszanek na spoiwach cementowych z dodatkiem popiołu lotnego wapiennego. W: *Materiały Konferencji „Energia i Środowisko w Technologii materiałów budowlanych, ceramicznych, szklarskich i ogniotrwałych”*, Opole.
- Neville A.M. (2000). Właściwości betonu. *Polski Cement*, Kraków 2000.
- Szwabowski J. (1999). Reologia mieszanek na spoiwach cementowych. *Wydawnictwo Politechniki Śląskiej*, Gliwice.

THE INFLUENCE OF HIGH CALCIUM FLY ASH AND FIBRES ON CHOSEN CHARACTERISTICS OF SELF-COMPACTING CONCRETE

Abstract: The methodology and test results are presented and discussed in the paper. The influence of high calcium fly ash and fibres on workability and mechanical properties of Self-Compacting Concrete (SCC) are analysed. The rheological parameters of SCC – behaves as a Bingham body, their rheological parameters yield value g and plastic viscosity h were determined by using new kind of rheometer BT2 to mortar and concrete mix research. The mechanical parameter of SFRSCC – the cube compressive strength were presented as well. In the research, an experimental verification of a significance of an influence: type and volume fraction of fibres on rheological properties of SFRSCC was investigated. The length of fibres has the significant influence on yield value g and plastic viscosity h of SCC. The significant influence of the length of fibres on plastic viscosity h of tested polypropylene 25 mm fibres in SCC was only observed.

Badania są współfinansowane przez Unię Europejską z Europejskiego Funduszu Rozwoju Regionalnego