

Wybrane właściwości samozagęszczających się fibrobetonów z włóknami stalowymi

Some properties of self compacting concretes reinforced with steel fibres

1. Wprowadzenie

Jednym z nowych zagadnień w badaniach betonów samozagęszczających się (BSZ) jest badanie wpływu włókien na urabialność oraz wytrzymałość tych betonów (1-2). Projektowanie BSZ nie jest zagadnieniem łatwym; niedokładność w dozowaniu składników, zmienne właściwości materiałów i warunków dojrzewania mogą spowodować trudności w uzyskaniu wymaganych właściwości BSZ: płynności, zdolności do przepływu bez blokowania pomiędzy prętami zbrojenia oraz odporności na segregację (4).

Wcześniejsze badania (5), pozwoliły na wytypowanie włókien stalowych o zróżnicowanej geometrii, w celu określenia wpływu ich udziału objętościowego, długości oraz kształtu na właściwości reologiczne i mechaniczne betonów samozagęszczających się.

Zagadnienie stosowania w mieszankach na spoiwach cementowych włókien stalowych, polipropylenowych i innych była już omawiana we wcześniejszych publikacjach (3, 5-7, 11). Ogólna tendencja poprawy właściwości stwardniałego betonu samozagęszczającego się wraz ze wzrostem zawartości włókien, powoduje równocześnie pogorszenie urabialności tych mieszanek, w trakcie ich formowania. Aktualnym problemem, także w przypadku BSZ z dodatkiem włókien stalowych, jest technologiczna trudność ich produkcji oraz realizacji procesów technologicznych, w trakcie robót betonowych. Zmusza to do rozpoznania ich rzeczywistej urabialności i ustalenia wpływu dodawanych włókien na właściwości mieszanki i stwardniałego betonu samozagęszczającego się. Wiąże się to z dążeniem do szerszego stosowania w praktyce budowlanej samozagęszczających się fibrobetonów. Analiza wykluczających się nawzajem czynników zachodzących w wyniku dodawania włókien stalowych do BSZ: pogarszania się urabialności i poprawy właściwości mechanicznych betonów samozagęszczalnych jest przedmiotem niniejszego artykułu.

2. Założenia i metody badań

W artykule zostały przedstawione wyniki badań urabialności mieszanek samozagęszczających się w oparciu o właściwości reolo-

1. Introduction

The studies dealing with the effect of steel fibres on the workability of self compacting concretes and the SCC strength parameters are an important, new challenge (1, 2). The SCC mix design is not a simple task; every decline from precise dosage of components, variable materials and curing conditions can result in manufacturing of material with no assumed properties: fluidity, ability to flow between the reinforcing bars as well as the resistance to segregation (4).

Basing upon our previous results (5), the selected steel fibres, possessing various geometric parameters, have been taken into account with aim to find the effect of their volume percentage, length and shape on the rheological and mechanical properties of self compacting concretes.

The idea of steel, polyethylene and other fibres implementation in concrete composite has been highlighted in some previous works (4-6). The general improvement of the hardened self compacting concretes properties with increased volume of fibres is accompanied by lowered workability on casting. There are some other problems dealing with the difficulties as the production of steel fibres modified self compacting concretes and their application is concerned. Therefore the workability of FRSCC as well as the effect of fibres on the properties of fresh and hardened concrete mixture should be well recognized. The wider propagation of FRSCC technology can be successively achieved in practice. The analysis of mutually excluding factors, such as deterioration of workability and improvement of mechanical properties are the main topics discussed in this report.

2. Basic assumptions and methods

In this report the data relating to the workability of self compacting concretes reinforced with steel fibres are presented from the rheological point of view, as well as the results of strength measurements are shown. The rheometric measurements were performed with help ROD-1E rheometer for concrete mixtures

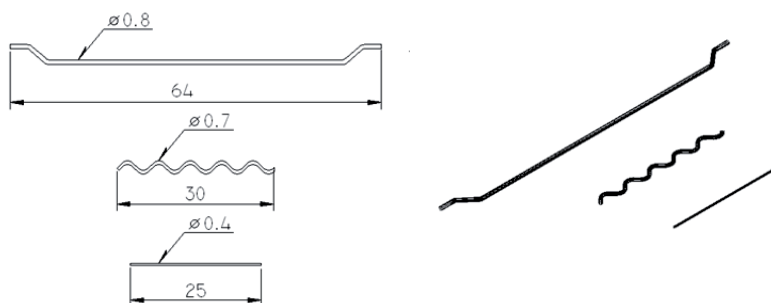
giczne oraz pomiary wytrzymałości stwardniałych betonów zawierających dodatek włókien stalowych. Badania urabialności zostały przeprowadzone za pomocą reometru do zapraw i mieszanek betonowych, których zasady są szczegółowo omówione w literaturze (8). Wykonano aproksymację wyników pomiarów dwuparametrowym modelem reologicznym Bingham'a i trójparametrowym modelem Hershell'a-Bulkey'a. Pozwoliło to na określenie dwóch podstawowych parametrów reologicznych – granicy płynięcia **g** oraz lepkości plastycznej **h**, których wartości określono za pomocą modelu dwuparametrowego. Skład badanej mieszanki samozagęszczającej się podano w tablicy 1. Rozpatrywano mieszanki zróżnicowane pod względem rodzaju i udziału objętościowego dodawanych włókien stalowych.

Table 1 / Tablica 1

COMPOSITION OF SELF COMPACTING MIXTURE

SKŁAD MIESZANKI SAMOZAGĘSZCZAJĄCEJ SIĘ W kg/m³

Składnik / Component	Zawartość / Content
CEM II B-S 42,5, kg/m ³	344
Popiół lotny/ Fly ash, kg/m ³	138
Woda/ Water, kg/m ³	164
SP Viscocrete 3, 1,5% m.c.	5
Kruszywo/ Aggregate 2-8, kg/m ³	810
Piasek/ Sand 0-2 ,kg/m ³	776
Włókna stalowe / Steel fibres % objętościowy	19,5 – 39,0 – 58,5 0,25 – 0,50 – 0,75
W/(C+D)	0,34



Rys. 1. Charakterystyka geometryczna badanych włókien H 64x0,8 mm (Dramix), F 30x0,7 mm (Radomsko), P 25x0,4 mm (Drumet)

Fig. 1. Characteristic of fibers: H 64x0,8 mm (Dramix), F 30x0,7 mm (Radomsko), P 25x0,4 mm (Drumet)

Charakterystykę geometryczną badanych włókien przedstawiono na rysunku 1. Rozpatrywany udział objętościowy włókien w mieszance betonowej przedstawiono w tablicy 2. Badania rozpoznawcze wykazały trudności w trakcie pomiarów prowadzonych za pomocą reometru, przy zawartości włókien stalowych na poziomie 1%. Duży przedział długości zastosowanych włókien (25-64 mm) ograniczył ich udział objętościowy do podanych w tablicy 1 poziomów 0,25; 0,50 i 0,75%, co odpowiada zawartości masowej 19,5; 39,0 i 58,5 kg/m³.

Kształt włókien (rysunek 1) jest dodatkowym czynnikiem wpływającym na wyniki badań, który nakłada się na rozpatrywane pozostałe parametry zmienne włókien.

and mortars, following the procedure of "rheometric workability test (RTU)" (8). The results were subjected to the approximation with help of bi-parametrical Bingham's model and tri-parametrical Hershell-Bulkey model. In such a way the two basic rheological parameters were determined - the yield value **g** and plastic viscosity **h**; their values are presented with help of bi-parametrical model. The composition of self-compacting mixture is given in Table 1. The type and volume of steel fibres as components of mixtures were different.

The three types of steel fibres were used as SCC mixture modifiers (Fig. 1). The characteristics of fibres, as well as their contents in the mixtures are given in Table 2. In the preliminary experiments the perturbations appeared during the workability test at fibres content on the level 1%. Because of different length of fibres (25–64 mm), their volume fraction was limited to the 0.25, 0.50 and 0.75%, as it is given in Table 1; it corresponds to the mass fractions 19.5, 39.0 and 58.5 kg/m³ respectively.

3. Results and discussion

In Table 3 the results for 8 self compacting mixtures are presented. The ability of self compaction was verified by measurements of time and flow diameter using the Abrams cone as well as basing on the values of rheological parameters by RTU procedure. The compressive strength was measured after the 28 day storage. The flexural strength was also determined.

As one could expect, the results indicate the longer time of flow and higher diameter with growing fibres content in the mixtures (Fig. 2). These values are similar for all the fibres differing with the length up to the volume level 0.5%.

At volume fraction 0.75% the effect of longer time and reduced diameter with growing length of fibres was additionally noticed. The measurements of steel fibres content in the spread out mixture revealed different distribution (see Fig. 3). In the central part there was more fibres (V_{fmax}) while on the edges the volume of fibres was the lowest (V_{fmin}). The following relationship could be found: $V_{fmax} \approx 2 V_{fmin}$.

The varying concentration of fibres throughout the concrete body creates the need to counteract this harmful effect because the application of fibres is based upon their the random, uniform distribution. It seems that this problem could be resolved by proper selection of so-called fibre factor K_f defined as a product of volume fraction and smoothness, and on the other side by the optimum selection of mixture components which could promote the uniform displacement of fibres during the technological process.

The measurements of rheological parameters using RTU method proved the effect of steel fibres on the yield value **g** and plastic viscosity **h** in case of SCC mixtures produced in this study (Fig. 4). The yield value **g** increases with volume fraction of fibres. The

Tablica 2 / Table 2

BADANE WŁÓKNA STALOWE ORAZ ICH UDZIAŁ OBJĘTOŚCIOWY W MIESZANCE BETONOWEJ

THE CHARACTERISTICS OF STEEL FIBRES AND THEIR PERCENTAGE IN THE MIXTURE

Mieszanka Mixture	Zawartość włókien stalowych, % Content of fibres, % by volume		
	H 64x0,8 mm	F 30x0,7 mm	P 25x0,4 mm
B1	-	-	-
B2	0,50	-	-
B3	-	0,50	-
B4	-	0,25	-
B5	0,25	-	-
B6	-	0,75	-
B7	0,75	-	-
B8	-	-	0,50

3. Wyniki badań i ich omówienie

W tablicy 3 przedstawiono wyniki badań ośmiu mieszanek samozagęszczających się. Zdolność do samozagęszczania się tych mieszanek zbadano określając czas i średnicę rozplywu stożka Abramsa oraz ustalając parametry reologiczne, wyznaczone na podstawie pomiarów reometrem. Wytrzymałość na ściskanie i zgnanie betonu stwardniałego określono po 28 dniach.

Tablica 3 / Table 3

WYNIKI BADAŃ WŁAŚCIWOŚCI MIESZANEK I BETONU STWARDNIAŁEGO

THE PROPERTIES OF FRESH AND HARDENED CONCRETE MIXTURES

Mieszanka Mixture	Urabialność/ Workability				$f_{c,cube 28}$ MPa
	Rozplyw/ Flow		Parametry reologiczne Rheological parameters		
	T_{50} , s	D, mm	G, Nm	H, Nmmin	
B1	4	740	1,65	0,33	50,3
B2	7	700	12,46	0,50	66,0
B3	8	680	6,61	0,63	60,7
B4	8	700	1,92	0,66	55,1
B5	8	680	5,11	0,63	56,4
B6	11	630	6,53	0,68	61,2
B7	17	630	13,28	0,63	65,1
B8	7	700	7,24	0,64	62,5

Jak można się było spodziewać wyniki wskazują na zwiększenie czasu rozplywu i średnicy rozplywu wraz ze wzrostem udziału objętościowego włókien, w mieszance betonowej (rysunek 2). Te parametry reologiczne są zbliżone w przypadku wszystkich rozpatrywanych długości włókien do poziomu zawartości 0,5% objętościowych.

W przypadku udziału objętościowego włókien wynoszącego 0,75% zaobserwowano dodatkowy wpływ wzrostu długości włókien na

length of fibres affects also the yield value g and this is clearly visible particularly as the data for H 64x0,8 mm and F 30x0,7 mm are compared. One should remember the effect of shape too, taking in mind that the fibres H (Harex) mean the milled "flakes". For the fibres H 64x0,8 mm the yield value g is substantially the highest in the range of all volume levels. This would prove the reduction of workability as it was found during the test with Abrams cone.

The highest growth of yield value g is observed in case of steel fibres volume fraction 0.50% and this value is maintained for the volume fraction 0.75%. The plastic viscosity h increases when the 0.25% fibres is introduced to the mixture, irrespectively of the geometrical parameters of fibres, and the stable value is observed up to the volume fraction 0.75%.

One should take in mind the effect of shape together with variable length of fibres. The additional tests should be performed to eliminate the superposition of different, variable factors dealing with the steel fibres which could be potentially taken into account. A wide commercial offer of steel fibres imposes however some limitations.

The strength tests of steel fibres reinforced concretes in this work covered only the compressive strength determination $f_{c,cube}$ (Fig. 5) and tensile strength on bending (Fig. 6). The strength increases with the volume fraction of fibres up to 0.50% by volume; the effect of length is not so significant. The $f_{c,cube}$ value does not change for volume fraction in the range 0.50 – 0.75%; simultaneously this is not affected markedly by variable length. The volume fraction 0.05% of steel fibres seems to be the most convenient for all types of fibres, from the compressive strength point of view. The tensile strength on bending tests were carried out according to the RILEM TC 162 TDF procedure (11) on the 600x150x150 mm bars (Fig. 6).

The dispersed reinforcement is introduced to concrete with aim to limit the formation and propagation of fissures (7). When the number of fibres in concrete is sufficiently high, the defects in the form of small cracks of thermal or shrinkage origin are sewn by fibres (9). In case of the fissures generated by the outer loads the similar effect appears. When the local cracking takes place in the concrete matrix, the load is transferred by the fibres. At increasing load the fibres can be pulled out from the matrix or ruptured. The loss of load capacity is manifested in the way influenced by the strength of fibre, its cross section and the force anchoring the fibre in the matrix. The latter one depends on the adhesion of side surface of fibre to the paste and the shape of the fibre end.

Taking the area under the curves as a measure of energy consumed during the destruction of specimens one can find that the energy needed to destroy the fibre reinforced concrete E_{zfb} is higher than the energy for ordinary concrete E_{zfbz} . The deformation limit at complete destruction of fibre reinforced concrete element ϵ_{fb}^{gr} is significantly higher as compared with the value for concrete without fibres ϵ_{bz}^{gr} . The presence of fibres affects also the deformation corresponding to the formation of the first fissure (ϵ_{bz}^{1r} and ϵ_{fb}^{1r}) (9). In Fig. 7 the bending force vs. deflection curves for the self compacting, F 30x0,7 mm and H 64x0,8 mm fibres reinforced concrete elements are shown. The volume fraction of fibres was variable.

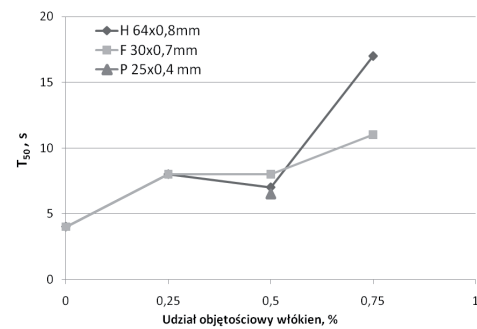
zwiększenie czasu i zmniejszenie średnicy rozplywu. Badania zawartości włókien stalowych w objętości mieszanki po rozplynięciu wykazały ich zróżnicowane rozmieszczenie (rysunek 3). Zawartość włókien w obszarze centralnym „placka” była największa (V_{fmax}), natomiast w obszarze skrajnym najmniejsza (V_{fmin}). W obszarach tych stwierdzono około dwukrotne zróżnicowanie zawartości włókien ($V_{fmax} \approx 2 V_{fmin}$).

Stwierdzone nierównomierne rozmieszczenie włókien zmusza do poszukiwań rozwiązania tego negatywnego zjawiska. Podstawowym założeniem stosowania włókien jest bowiem, jak wiadomo, ich równomierne rozmieszczenie w całej objętości mieszanki. Wydaje się, iż problem ten można rozwiązać dobierając odpowiedni współczynnik włóknistości K_f , rozumiany jako iloczyn udziału objętościowego włókien i ich smukłości. Ponadto duże znaczenie będzie miał także dobór korzystnego składu mieszanki, umożliwiający równomierne przemieszczanie się włókien, w trakcie procesów technologicznych.

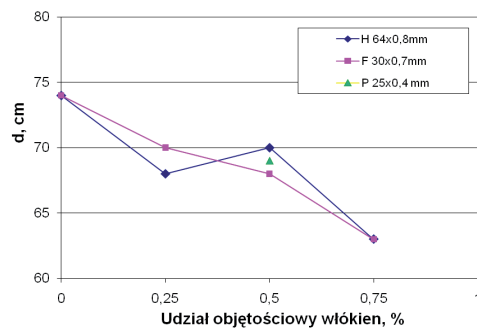
Przeprowadzone badania reometryczne potwierdziły wpływ włókien stalowych na granicę płynięcia g oraz lepkość plastyczną h , badawczych mieszanek samozagęszczających się z ich dodatkiem (rysunek 4). Wraz ze wzrostem udziału objętościowego włókien w mieszance wzrastała granica płynięcia g . Długość samych włókien również wpływała na wzrost granicy płynięcia, co było szczególnie widoczne przy porównaniu właściwości włókien H 64 x 0,8 mm oraz F 30 x 0,7 mm. Kształt badanych włókien może być rozpatrywany tylko w porównaniu wyników badań mieszanek z włóknami F 30 x 0,7 mm oraz P 25 x 0,4 mm, dla udziału objętościowego 0,5%. Wyniki badań mieszanek z dodatkiem tych włókien w teście technologicznym oraz reometrycznym są zbliżone. Pozwala to wysunąć wniosek, że wpływ kształtu włókien o przekroju kołowym i zbliżonej długości jest pomijalny, lecz konieczne są dodatkowe badania weryfikacyjne. Dla włókien H 64 x 0,8 mm wartość g jest zdecydowanie najwyższa w całym rozpatrywanym udziale objętościowym włókien. Potwierdza to pogarszanie się urialności wykazane w badaniu stożkiem Abramsa.

Najwyższy wzrost wartości granicy płynięcia g obserwujemy w przypadku zawartości włókien wynoszącej 0,50% objętościowych i utrzymuje się na zbliżonym poziomie także w przypadku zawartości 0,75% objętościowych. Natomiast lepkość plastyczna h wzrasta już po dodaniu 0,25% objętościowych włókien, niezależnie od ich geometrii i utrzymuje się na stałym poziomie aż do ich udziału objętościowego wynoszącego 0,75%.

Należy pamiętać o zróżnicowanym kształcie badanych włókien połączonym z ich zróżnicowaną długością. Szeroka oferta handlowa włókien w tym zakresie narzuca jednak pewne ograniczenia. Badanie wytrzymałości rozpatrywanych betonów samozagęszczających się z dodatkiem włókien stalowych objęły jedynie pomiary wytrzymałości na ściskanie $f_{c,cube}$ (rysunek 6) oraz na rozciąganie przy zginaniu (rysunek 7). Wykazano wyraźny wpływ wzrostu zawartości włókien do poziomu 0,50% objętościowych oraz mniejszy ich długości na wzrost wytrzymałości na ściskanie. Wartość $f_{c,cube}$ nie zmienia się w przedziale zawartości włókien 0,50 – 0,75% przy



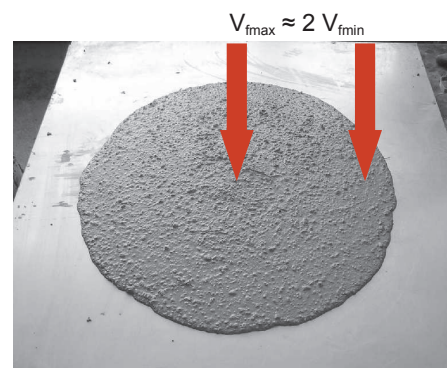
a)



b)

Rys. 2. Wpływ rodzaju i udziału objętościowego włókien stalowych na czas T_{50} (a) i średnicę (b) rozplywu stożka Abramsa

Fig. 2. Effect of type and volume fraction of steel fibres on the flow time T_{50} (a) and flow diameter (b) as measured using Abrams cone



Rys. 3. Mieszanka samozagęszczalna z dodatkiem włókien stalowych po badaniu stożkiem Abramsa, z zaznaczonymi miejscami badania zawartości włókien

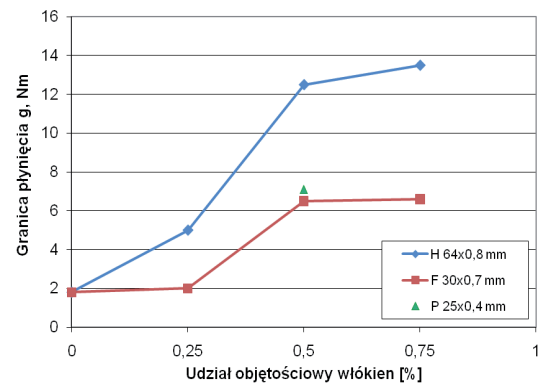
Fig. 3. The self compacting mixture modified with steel fibres after the test with help of Abrams cone; the spots where the fibres volume was determined are indicated by arrows

A strong relationship between the length and volume fraction of fibres and the energy consumed on destruction of the fibre reinforced self compacting concrete mixture was found. The concretes with the H 64x0,8 mm fibres showed the highest energy at the highest volume fraction (0,75%). The longer fibres were able to transfer more efficiently the loads in the local fissures in concrete matrix. However one cannot evaluate the effect of fibre shape on the phenomena studied in these experiments. Does the fibres reinforced concrete with the hook-ended 64 mm fibres exhibit better properties than the one with the wavy 30 mm fibres, only because

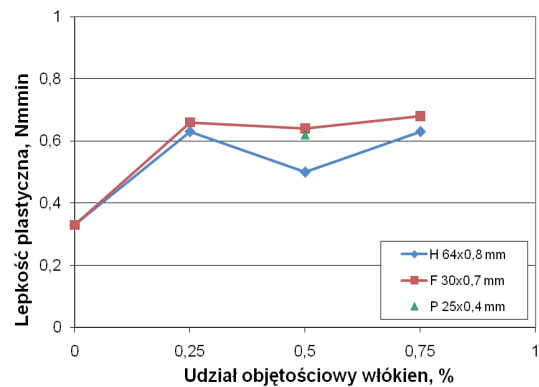
jednoczesnym minimalnym wpływie wzrostu ich długości. Udział objętościowy 0,50% jest najkorzystniejszym poziomem zawartości wszystkich badanych włókien, poprawiającym wytrzymałość na ściskanie. Badania wytrzymałości na rozciąganie przy zginaniu zostały przeprowadzone według zaleceń RILEM TC 162 TDF (10) na próbkach o wymiarach 600 x 150 x 150 mm (rysunek 6).

Podstawowym celem stosowania zbrojenia rozproszonego w betonie jest ograniczenie powstawania i propagacji rys (7). Jeżeli liczba wprowadzonych do betonu włókien jest odpowiednio duża, to występujące w betonie defekty w postaci drobnych rys wywołanych skurczem lub efektami termicznymi zostaną „zsyte” przez włókna (9). W przypadku rys powstających wskutek oddziaływania na beton obciążeń zewnętrznych ma miejsce podobny efekt. W chwili, gdy nastąpi lokalne pęknięcie betonu-matrycy, obciążenia zostaną przejęte przez włókna. Rosnące obciążenie włókna wywołać może albo jego wysunięcie z matrycy, albo zerwanie. Mechanizm, w jaki włókno utraci swą nośność będzie zależał od wytrzymałości włókien, ich przekroju poprzecznego oraz siły kotwiącej włókno w matrycy, która z kolei zależy od przyczepności zaczynu do jego powierzchni bocznej oraz kształtu zakończeń. Przyjmując powierzchnię obszarów pod krzywymi jako ilość energii niszczonej element, energia niszczenia fibrobetonu E_{zfb} jest większa od energii niszczenia betonu zwykły E_{zbb} . Graniczne odkształcenie przy całkowitym zniszczeniu elementu fibrobetonowego ε_{fb}^{gr} jest znacznie większe w porównaniu z odkształceniem przy zniszczeniu elementu z betonu bez włókien ε_{bz}^{gr} . Na wielkość odkształcenia towarzyszącego pojawieniu się pierwszej rysy (ε_{bz}^{1r} i ε_{fb}^{1r}) obecność włókien również ma wpływ (9). Na rysunku 7 pokazano kształt krzywych opisujących zależność „siła zginająca-ugięcie” dla elementu fibrobetonowego z betonu samozagęszczającego się z dodatkiem włókien F 30 x 0,7 mm oraz H 64 x 0,8 mm, o zmiennym udziale objętościowym.

Na podstawie przeprowadzonych badań stwierdzono wyraźny wpływ długości włókien oraz ich udziału objętościowego na wzrost energii zniszczenia rozpatrywanych fibrobetonów z mieszanek samozagęszczających się. Ze względu na zróżnicowaną długość oraz kształt badanych włókien, nie można jednoznacznie określić wpływu ich kształtu na energię zniszczenia betonów z ich dodatkiem. W przypadku betonów z włóknami H 64 x 0,8 mm stwierdzono największą energię zniszczenia przy największej rozpatrywanej ich zawartości w betonie (0,75% objętości). Zastosowane w badaniach włókna dłuższe w większym stopniu były w stanie przenosić obciążenia w lokalnych pęknięciach betonu matrycy. Nie można jednak określić jednoznacznego wpływu kształtu włókien na zachodzące zjawiska. Czy beton z włóknami o długości 64 mm, o zakończeniach haczykowatych wykazuje lepsze właściwości od betonu z włóknami falistymi o długości 30 mm tylko dzięki dwukrotnie większej długości samych włókien? Wpływ znaczenia kształtu włókien i ich długości na urabialność i wytrzymałość betonów samozagęszczających się pozostaje do szerszego rozpatrzenia (rysunek 8).



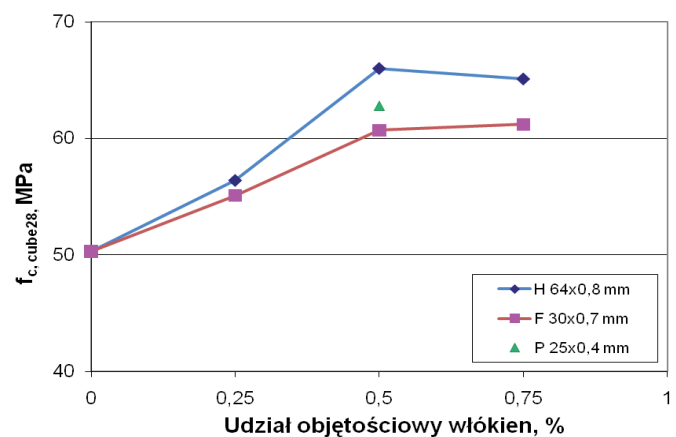
a)



b)

Rys. 4. Wpływ dodatku włókien stalowych na parametry reologiczne badanych mieszanek samozagęszczalnych; a) granicę płynięcia g , b) lepkość plastyczną h

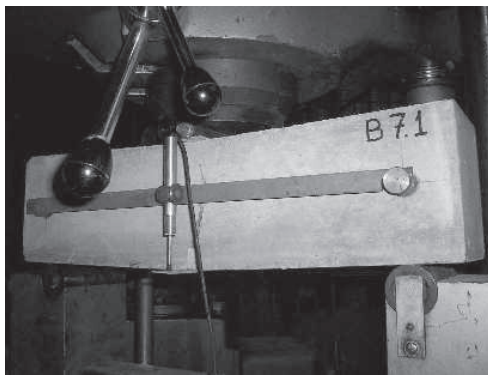
Fig. 4. Effect of steel fibres on the rheological parameters of self compacting mixtures; a) yield value g , b) plastic viscosity h



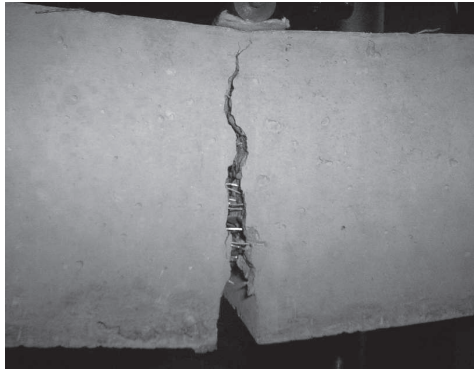
Rys. 5. Wpływ dodatku włókien stalowych na wytrzymałość na ściskanie $f_{c,cube28}$

Fig. 5. Effect of steel fibres on the compressive strength $f_{c,cube28}$

twice longer fibres? The effect of significance of the shape and length of fibres on the workability and strength of self compacting concretes should be better recognized. The growing load can result in pulling out or the rupture of fibre as it has been proved (Fig. 8).



a)



b)

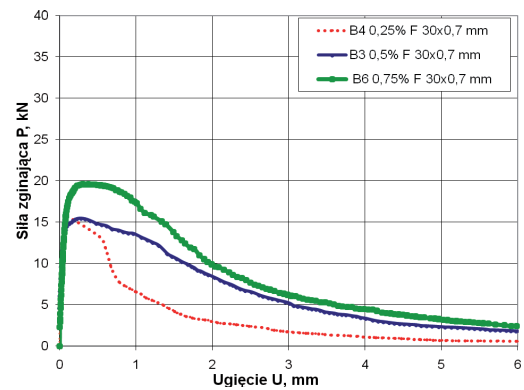
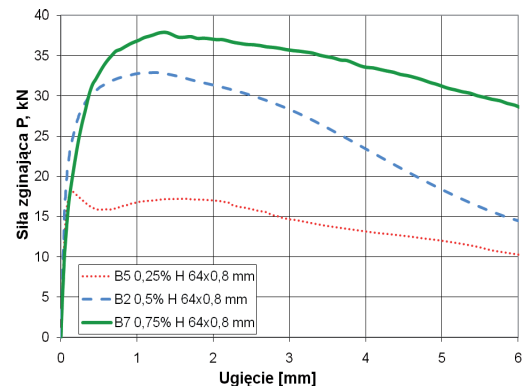
Rys. 6. Badanie wytrzymałości na zginanie; a) widok ogólny; b) widok obejmujący obciążenia włókien w pękniętej belce

Fig. 6. The tensile strength on bending measurements: a) general view; b) fibres transferring stress in fractured concrete bar

4. Podsumowanie i wnioski końcowe

Przedstawione wyniki badań betonów samozagęszczających się z dodatkiem wybranych rodzajów włókien stalowych pozwalają na sformułowanie następujących wniosków:

1. Długość i ilość wprowadzonych włókien stalowych powoduje pogorszenie urabialności świeżej mieszanki oraz wzrost wytrzymałości stwardniałych fibrobetonów z mieszanek samozagęszczających się. Dodatek włókien powoduje problemy związane z zachowaniem jednorodnego rozmieszczenia w betonie dodawanych włókien, a wymagane procesy technologiczne w przypadku betonów tego rodzaju jeszcze bardziej utrudniają zachowanie jednorodności jego mikrostruktury.
2. Za najkorzystniejszą zawartość włókien stalowych w betonie samozagęszczającym się, a więc taką, która w najmniejszym stopniu pogarsza urabialność mieszanki i w najwyższym poprawia wytrzymałość betonu stwardniałego, uznać należy 0,5% objętościowych.
3. Z punktu widzenia urabialności wydaje się właściwym dodawanie włókien krótszych o wyższym udziale objętościowym w mieszance betonowej, co powinno wpłynąć na zachowanie jednorodności formowanego betonu. Konieczną jest weryfikacja wpływu tych włókien na cechy betonu stwardniałego.



Rys. 7. Kształt krzywych ilustrujących zależność „siła zginająca-ugięcie” dla elementu fibrobetonowego z betonu samozagęszczalnego z dwoma rodzajami włókien (10)

Fig. 7. The curves illustrating the relationship between the bending force and deflection for the self compacting fibres reinforced concrete elements with two types of fibres (10)

4. Summary and conclusions

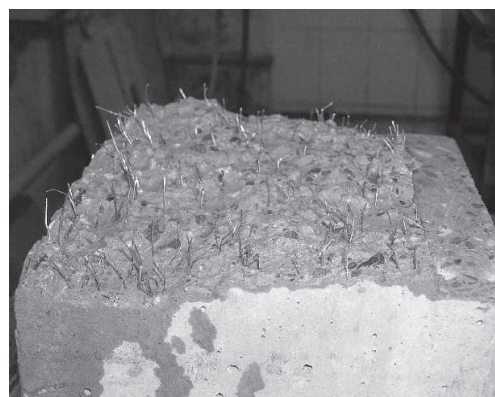
The effect of some types of steel fibres on the worsening of concrete mixture workability and the compressive strength of the fibre reinforced concrete increase has been derived from the results of experiments. The volume ratio on the level 0.5% seems to be the most adequate as the lowering of workability and the modification of strength properties is considered. Some disturbances dealing with the uniform distribution of fibres throughout the concrete matrix are observed; the technological process of fiber reinforced self compacting concrete application does not favour the uniformity. The fibre reinforced self compacting concrete mixture applied by pumping should be supplied directly to the place of concreting with reduction of horizontal displacement in the area of formed concrete structure. The workability is lowered and the strength parameters are significantly better and these changes depend on the length and volume ratio of steel fibres in the mixtures. The uniformity of steel fibres distribution during the production and maturing of self compacting concrete is an important problem for the research and development institutions.

The large scale studies on the effect of steel fibres on the properties of fresh and hardened matrix, based on the variability of so-called fibre factor are to be recommended. From the workability point of

4. Badania będą kontynuowane w zakresie wpływu istotności kształtu włókien na urabialność i wytrzymałość betonów samozagęszczalnych.

Literatura / References

1. B. Barragán, R. Zerbino, R. Gettu, M. Soriano, C. de la Cruz, G. Giaccio, M. Bravo, Development and application of steel fibre reinforced self-compacting concrete, 6th RILEM Symposium on Fibre-Reinforced Concretes (FRC), 457-466, BEFIB 2004, Varenna, Italy.
2. Y. Ding, D. Thomaseth, Ch. Niederegger, A. Thomas, W. Lukas, The investigation on the workability and flexural toughness of fibre cocktail reinforced self-compacting high performance concrete, 6th RILEM Symposium on Fibre-Reinforced Concretes (FRC), 467-478, BEFIB 2004, Varenna, Italy.
3. J. Szwabowski, T. Ponikiewski, The rheological properties of fresh polypropylene fibre reinforced mortar and concrete, 6th RILEM Symposium on Fibre-Reinforced Concretes (FRC), 309-318, BEFIB 2004, Varenna, Italy.
4. M. Kaszyńska, Beton samozagęszczalny – rozwój technologii i wyniki badań, 95 – 110, Konferencja „Dni betonu”, Wisła 2004.
5. T. Ponikiewski, Aspekty doboru włókien z punktu widzenia technologii mieszanki betonowej, 113 – 126, VI Seminarium reologiczne, Gliwice 2004.
6. T. Ponikiewski, J. Szwabowski, The influence of selected composition factors on the rheological properties of fibre reinforced fresh mortar, in: Proc. Int. Symp. 'BMC7', A. M. Brandt, V. C. Li, I. H. Marshall, 321-329, Warsaw, 13-15. 10. 2003.
7. A. M. Brandt, Zastosowanie włókien jako uzbrojenia w elementach betonowych, 433-444, Konferencja: Beton na progu nowego Milenium, Kraków, 9-10. 11. 2000.
8. J. Szwabowski, Reologia mieszanek na spoiwach cementowych, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 1999.
9. J. Śliwiński, Beton zwykły – projektowanie i podstawowe właściwości, Wyd. Polski Cement Sp. z o.o., Kraków 1999.
10. RILEM TC162-TDF: Test and design methods for steel fibre reinforced concrete, Recommendations: Bending test. Materials and Structures, 33, Jan.-Feb. 2000.
11. T. Ponikiewski, G. Cygan, T. Kmita, Ocena jednorodności rozmieszczenia włókien stalowych w drobnoziarnistym betonie samozagęszczalnym z wykorzystaniem testu L-box, Cement Wapno Beton, **78**, 3 (2011).



Rys. 8. Widok włókien wysnutych z matrycy stwardniałego betonu samozagęszczającego się po pomiarze wytrzymałości na zginanie; a) włókna H 64 x 0,8 mm; b) włókna P 25 x 0,4 mm

Fig. 8. The fibres pulled out from the self compacting concrete matrix during the compressive strength measurements; a) H 64x0,8 mm fibres; b) P 25x0,4 mm fibres

view it is suitable to use short fibres at higher volume ratio; the better homogeneity of concrete mixture could be thus obtained.

The effect of shape of fibres, important as the anchoring in the self compacting concrete matrix is considered, was not definitively determined.