

dr inż. Tomasz Ponikiewski, mgr inż. Grzegorz Cygan, mgr inż. Tomasz Kmita

Politechnika Śląska, Wydział Budownictwa

Ocena jednorodności rozmieszczenia włókien stalowych w drobnoziarnistym betonie samozagęszczalnym z wykorzystaniem testu L-box

Evaluation of homogenous distribution of steel fibres in the fine grained self compacting concrete with help of L-box test

1. Wprowadzenie

Technologia betonów samozagęszczalnych jest obecnie przedmiotem bardzo dużego zainteresowania badaczy. Jednakże istniejący stan wiedzy w zakresie samozagęszczalnych betonów modyfikowanych włóknami różnego rodzaju jest dość ograniczony. Dostępne publikacje z badań takich betonów, szczególnie pod względem projektowania i metod formowania są nieliczne. Badania rozkładu włókien w fibrobetonach są prowadzone od wielu lat. Jednym z wiodących w tej problematyce badaczy jest P. Strouven [1, 2]. Dodatek zbrojenia rozproszonego poprawia w mniejszym lub większym stopniu różne właściwości BSZ, ale jednocześnie zwiększa trudności w przygotowaniu składu spełniającego warunek samozagęszczalności, jednorodności matrycy, a zarazem wyraźnej poprawy właściwości fizyko-mechanicznych [1-6].

Nieliczne są badania dotyczące rzeczywistego rozmieszczenia zbrojenia rozproszonego w samozagęszczalnej mieszance betonowej i wpływu ich dystrybucji na urabialność i właściwości mechaniczne betonu samozagęszczalnego [5][8]. Nierozpoznanym obszarem badawczym jest między innymi wpływ metod formowania zbrojonych BSZ na zachowanie zakładanych w projektowaniu parametrów technologicznych [9] i mechanicznych betonu. Powodem tego jest brak informacji o rzeczywistym rozmieszczeniu oraz ukierunkowaniu włókien w mieszance w trakcie procesów technologicznych.

1. Introduction

There is a great impact on the self compacting concrete technology. However, the knowledge dealing with the fibre modified SCC is rather limited. There is no many reports as the fibre modified SCC mixture design and processing is concerned. The analyses of the fibre distribution in fibre reinforced concrete has been investigated for some years. The works of P. Strouven should be mentioned [1, 2]. The fibre reinforcement addition results in the modification of SFRSCC, however, there are some disturbances in the production of self compacting material, with homogenous matrix and significantly better physical and mechanical properties [1-6].

The reports dealing with the distribution of fiber reinforcement in the SCC mixture and the effect of distribution on the workability and strength in real systems are scarce [5, 8]. For example, the influence of SFRSCC mixture processing on the stability of assumed parameters and properties of concrete [9] becomes unknown and this is the consequence of changing distribution and orientation of fibres which take place during the technological treatment.

2. Basic assumptions and methods

2.1. Composition of concrete mixtures

The composition of SCC mixtures is shown in Table 1. The characteristics and notation of samples is given in Table 2. The four types

2. Założenia i metody badań

2.1. Skład badanych mieszanek

Skład badanych mieszanek BSZ przedstawiono w tabelicy 1. Opis oraz przyjęte oznaczenia próbek wykonanych w ramach badań przedstawiono w tabelicy 2. Rozpatrywano w badaniach 4 rodzaje włókien stalowych na 3 poziomach udziału objętościowego. Kryterium samozagęszczalności spełniały mieszanki z maksymalną zawartością włókien 0,75%, przyjęto więc, że będzie to maksymalna analizowana zawartość włókien.

Tablica 1 / Table 1

SKŁAD ZAPROJEKTOWANEJ MIESZANKI SAMOZAGĘSZCZALNEJ

COMPOSITION OF SCC MIXTURE

Składnik / Component	[kg/m ³]
CEM II B-S 42,5	466
Popiół lotny / Fly ash	58
Woda / Water	188
SP na bazie eterów polikarboksyłanowych Polycarboxylate-based superplasticizer [1,0% m.c.]	4,66
Kruszywo sjenitowe / Syenite aggregate 2 - 8 [mm]	809,5
Piasek / Sand 0 - 2 [mm]	809,5
W/(C+Pl)	0,36

2.2. Sposób wykonania elementów próbnych

Po przygotowaniu mieszanek betonowych o składzie podanym w tabelicy 1 i 2, po upływie 20 minut od ukończenia mieszania wykonywano próby rozplywu stożkiem Abramsa, których celem była weryfikacja samozagęszczalności mieszanek. Następnie, po ponownym przemieszaniu mieszanki, przystępowano do wykonania próbek do badań zasadniczych. W tym celu wypełniano pionową część skrzynki L-box (rys. 1) i dalej postępowano identycznie jak przy teście urabialności mieszanki samozagęszczalnej, z tym, że

Tablica 2 / Table 2

RODZAJE ZASTOSOWANYCH DO BADAŃ WŁÓKIEN STALOWYCH I OZNACZENIA PRÓBEK

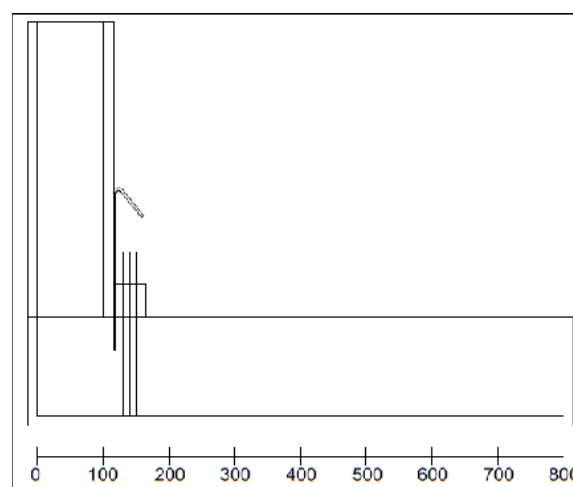
THE CHARACTERISTICS OF STEEL FIBRES AND NOTATION OF SAMPLES

LLp	Kształt włókien Shape of fibres	Smukłość Fineness ratio	Długość Length [mm]	Średnica Diameter [mm]	Oznaczenie próbki wg zawartości włókien [% obj.] Notation of samples based on fibre content [% by volume]			
					0	0,25	0,50	0,75
11	haczykowane hook like	45	30	0,66	P13	P2	P1	P3
22	haczykowane hook like	45	50	1,1	P13	P5	P4	P6
33	proste plain	64	25,4	0,4	P13	P8	P7	P9
44	faliste corrugated	43	30	0,7	P13	P11	P10	P12

of steel fibres were taken into account; the three levels of volume fraction were used. The self compactness criterion was found for the mixtures with maximum fibre content of 0,75%, therefore this value was the maximum one.

2.2. Sample preparation

The concrete mixtures of composition given in tables 1 and 2 were produced and 20 min. after mixing they were subjected to the flow test using the Abrams cone, to verify their self compacting properties. Subsequently the further experiments were carried out: the vertical part of L-box (fig. 1) was filled with the mixtures and the material flowing out from the horizontal part of L-box was saved in the box for 24 hours.



Rys. 1. Skrzynka wypływowa L-box

Fig. 1. L-box

After 24 hours the samples (fig. 2) were demoulded from L-box, sliced, polished and subjected to the computer aided image analysis.

The L-box test gives the possibility to verify the self compacting properties in the presence of reinforcing bars, the self-leveling ability, as well as potential segregation and blockage of fibres. One should mention that the control mixture P-13 (with no fibres) gives the complete flow from L-box. The longitudinal cross section of samples is shown in figs 5-7.



a)



b)

Rys. 2. Przykładowy wygląd próbek po rozformowaniu a) BSZ z włóknami prostymi 0,4/25,4 mm w ilości 0,25; 0,50 i 0,75% obj., b) BSZ z włóknami falistymi 0,7/30 mm w ilości 0,25; 0,50 i 0,75% obj.

Fig. 2. Demoulded samples a) SCC with plain fibres 0.4/25.4 mm added as 0.25; 0.50 and 0.75% by volume, b) SCC with corrugated fibres 0.7/30 mm with addition as 0.25; 0.50 and 0.75% by volume

rozlaną w poziomej części urządzenia L-box mieszankę pozostawiano w niej na 24 godziny.

Po 24 godzinach próbki (rys. 2) rozformowywano, a następnie cięto je i wykonano zglądy, na których przeprowadzono komputerową analizę obrazów.

Badanie za pomocą rozbiernych skrzynek wypływowych L-box pozwoliło na ocenę samozagęszczalności mieszanki ze zbrojeniem rozproszonym, zdolności mieszanki do samopoziomowania oraz skłonności do segregacji i blokowania włókien. Należy zaznaczyć, że mieszanka wzorcowa P-13 (bez włókien) uzyskiwała pełny rozpliw w skrzynce L-box. Przekrój podłużny uzyskanych próbek pokazano w dalszym ciągu na rys. 5-7.

2.3. Przygotowanie zglądów i zliczanie włókien

Kolejnym zabiegiem było podzielenie otrzymanych próbek betonowych na części, w celu otrzymania zglądów do dalszej analizy komputerowej. Przyjęto, że próbki zglądów zafornowane w części poziomej skrzynki L-box będą dzielone na części o długości 100 mm i kolejno oznaczane od h100 do h700.

W badaniach zawartości włókien przyjęto siatkę podziałową, której wymiary zostały przyjęte dla zglądu o największym przekroju tzn. 100x200 mm. Powierzchnię zglądu podzielono na 32 pola o wymiarach 25x25 mm (rys. 3).

W celu sprawnego analizowania obrazu betonu zawierającego rozproszone włókna, zastosowano oprogramowanie, którego dokładność zależy wyłącznie od rozdzielczości zdjęcia. Zadaniem programu jest odnalezienie śladów przeciętych włókien oraz znalezienie ich pozycji w badanej próbce. Praca programu podzielona jest na części będące kolejnymi krokami rozpoznawania obrazu. Pierwszym krokiem jest określenie zakresu analizowanej czę-



Rys. 3. Zastosowana siatka podziału powierzchni zglądów

Fig. 3. The distribution of polished surface of samples

2.3. Cross section preparation and counting of fibres

In the subsequent operation the sliced concrete samples were polished for the computer aided observations. The 100mm pieces were cut from the material collected in the horizontal part of L-box; the samples were denoted as h100 to h700 respectively.

In the visual assessment of fibres distribution the 100x200 mm network was formed, with the 32 25x25 mm squares (see fig. 3).

For effective analysis of scattered fibres reinforced concrete the computer program has been used; the accuracy of results depends only upon the resolution of analyzed image. The program finds the intersections of fibres on the surface and their orientation. Some steps can be distinguished when the program operates. At first, the area of analyzed part of the image is delineated. In this stage the virtual table of colors is created in which the contents of particular meshes correspond with the colors.

ści obrazu. Odpowiada to utworzeniu tablicy wirtualnej (w dalszym ciągu nazywaną Tablicą kolorów).

Następny krok rozpoznania obrazu polega na odrzuceniu tych komórek, które przechowują wartość liczbową poniżej wyznaczonej przez użytkownika. Po tym zabiegu tablica kolorów staje się tablicą logiczną, która przechowuje ona jedynie wartości 0 lub 1, określając w ten sposób czy w danej komórce znajduje się część szukanego włókna czy nie.

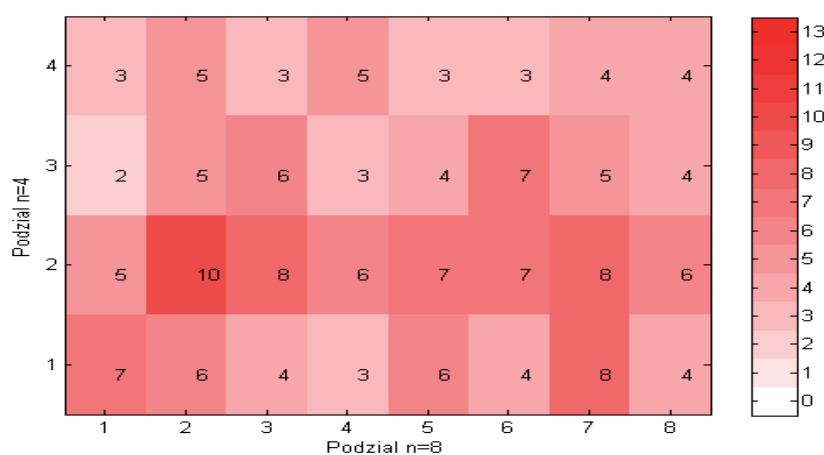
Ponieważ przejście z rzeczywistej palety barw na skalę szarości zawsze pociąga za sobą utratę pewnych informacji, kolejnym etapem jest wypełnienie konturów włókien, nadanie im bardziej zaokrąglonego kształtu. Na tym etapie tworzona jest nowa tablica, określająca ilość włókien i dane każdego z nich. W kolejnym kroku postępowania program odrzuca te obszary, których pole jest zbyt małe bądź zbyt duże, aby mogło być pozytywnie rozpoznane jako przekroje włókien. Następnym etapem jest przejście do wyświetlenia wyników analizy obrazu.

Opracowany program został wykorzystany do oceny jednorodności rozmieszczenia włókien stalowych w próbkach betonu samożęszczalnego formowanych w urządzeniu L-box. W każdym polu generowane są przez program komputerowy wartości określające ilość włókien znajdujących się w danym obszarze.

3. Wyniki badań i ich omówienie

W badaniach uzyskano mapy obrazujące rzeczywisty rozkład włókien stalowych w zglądach BSZ (zawartość w poszczególnych polach siatki). Aby umożliwić porównanie poszczególnych map, do wszystkich rysunków przyjęto taką samą skalę kolorów, jak w przypadku próbki z największą zawartością włókien. Przykładowa mapa rozkładu włókien dla przekroju h100 próbki P1 została przedstawiona na rys. 4.

Przykładowe rozmieszczenie i oznaczenie włókien stalowych dla wybranych 3 badanych betonów we wszystkich zglądach pomia-



Rys. 4. Mapa rozkładu włókien dla przekroju h100 w przypadku próbki P1 z włóknami haczykowatymi o wymiarach 30/0,66 mm w ilości 0,5% udziału objętościowego

Fig. 4. The fibre distribution map for the cross section h100 of sample P1 with hook like fibres 30/0.66 mm, at 0.5% volume content

The next step of image recognition consists in elimination of those meshes which represent the values under the assumed limit. After this operation the table of colors transforms into the logic table which contains only the values 0 or 1; it means that in the mesh there is a part of analyzed fibers or there is no fibers.

Because the transfer from the real color scale to the grey color scale leads always to the loss of some information, the next step consists in filling and rounding the contours of fibers. The new table, determining the number of fibres and some other data is formed. In the next step the program eliminates too small or too large areas which could be positively identified as fibre cross sections. Finally the results of image analysis are highlighted.

This program was applied to the assessment of homogeneity of steel fibres distribution in the self compacting concrete samples cast in L-box. The values determining the amount of fibres present in every square area are generated.

3. Results and discussion

The maps illustrating the real distribution of steel fibres (the contents in particular areas of network) on the polished sections of SFRSCC samples were obtained. In order to compare the particular maps the same scale of colors was used in all the figures, as for the sample with the highest fibre content.

The example of fibre distribution map for the cross section h100 of sample P1 is presented in fig. 4.

The examples of fibre distribution maps and determination of fibre content for selected 3 concrete samples on the all cross sections are presented in figs 5-7. It has been found that the amount of fibers decreased with the distance from the gate of L-box. The mixture was blocked on the rods and the flow of the mixture was not laminar. Therefore the mixture in lower part of the box was not distributed homogeneously. The differences between the content of fibers in particular areas in any horizontal or vertical plane reach up to 50%.

The effect of shape of fibres on their content in particular cross sections of L-box mould was also investigated. The example results for the 0,75% fibre content are presented in fig. 8. The corrugated fibres in the sample P12, added as 0,75% by volume exhibit significantly lower blockage effect between the rods in L-box, as compared to the image for the samples P3, P6 and P9 respectively. As higher the fineness ratio of fibres as higher their impact on the workability. The plain, fine fibres in the P9 sample have been almost totally immobilized in the vicinity of the rods.

In case of the 0,50% content the drop of fibres content between the cross section h100 and h200 is 17%; between the terminal cross sections - 45%. For 0,25% fiber content the blockage of fibers is not significant, as compared to the samples with higher amount of

rowych przedstawiono na rys. 5–7. Stwierdzono, że wraz z odalenieniem się od zasuw urządzenia L-box, ilość włókien w kolejnych zglądach jest coraz mniejsza. Stwierdzono blokowanie się mieszanki przy prętach, ich przepływ nie był jednolity, czego efektem było rozmieszczanie się mieszanki w dolnych rzędach próbki w sposób zależny od ilości i rodzaju włókien (rys. 1). Różnice pomiędzy zawartością włókien w polach pomiarowych w jednym poziomie lub pionie dochodzą nawet do 50%.

Badano również wpływ rodzaju włókien na ich liczbę w przekrojach pomiarowych formy L-box. Przykładowe wyniki badań dla zawartości włókien 0,75% przedstawiono na rys. 8. Zastosowane włókna faliste w próbce P12 przy zawartości 0,75% wykazywały znacznie mniej negatywny wpływ i mieszanka nie ulegała blokowaniu między prętami urządzenia L-box, w porównaniu z próbkami P3, P6 i P9. Wykazano znaczący wpływ kształtu włókien na urabialność mieszanki. Im większa smukłość zastosowanych włókien tym większy wpływ na urabialność. Włókna proste o dużej smukłości próbki P9 niemalże całkowicie zostały zablokowane przy prętach skrzynki L-box.

W przypadku zawartości włókien 0,50% procentowy spadek ilości włókien pomiędzy przekrojem h100 i h200 wynosił 17%, natomiast między przekrojem pierwszym i ostatnim 45%. Dla zawartości włókien 0,25% blokowanie się włókien przed prętami nie jest duże w porównaniu z próbkami o większej zawartości włókien (rys. 9). Procentowy spadek ilości włókien w próbce P2 między przekrojem h100 i h200 wynosił 8%, natomiast między przekrojem pierwszym i ostatnim wynosił 31%, a w próbce P5 odpowiednio 2 i 23%.

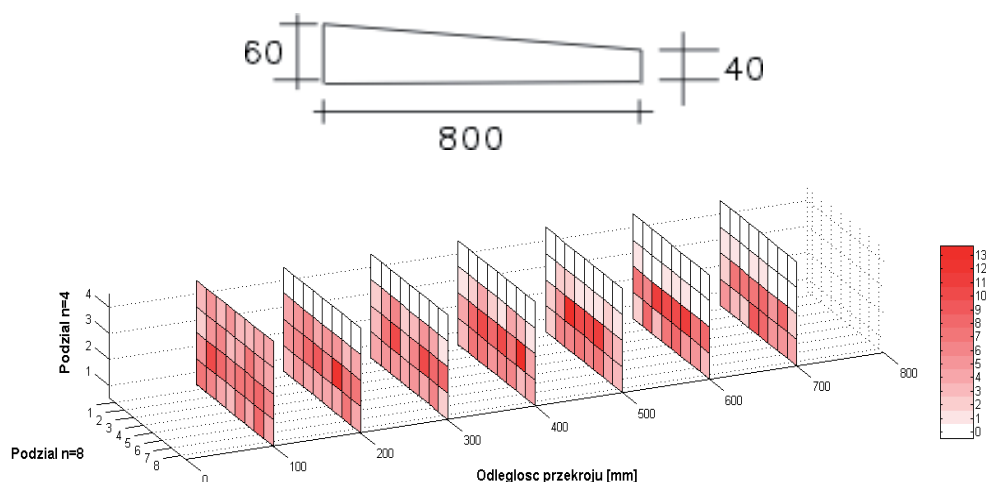
4. Podsumowanie i wnioski końcowe

Wyniki przeprowadzonych badań potwierdzają w sposób wyraźny problemy technologiczne związane z równomiernym rozmieszczeniem włókien stalowych w BSZ. Podczas symulacji przepływu mieszanki betonowej w aparacie L-box miało miejsce blokowanie

fibers in the mixture (fig. 9). In case of the sample P2 the drop of fibres content between the cross section h100 and h200 is 8%; between the terminal cross sections - 31%, while in the case of the sample P5 2 and 23% respectively.

4. Summary and final conclusion

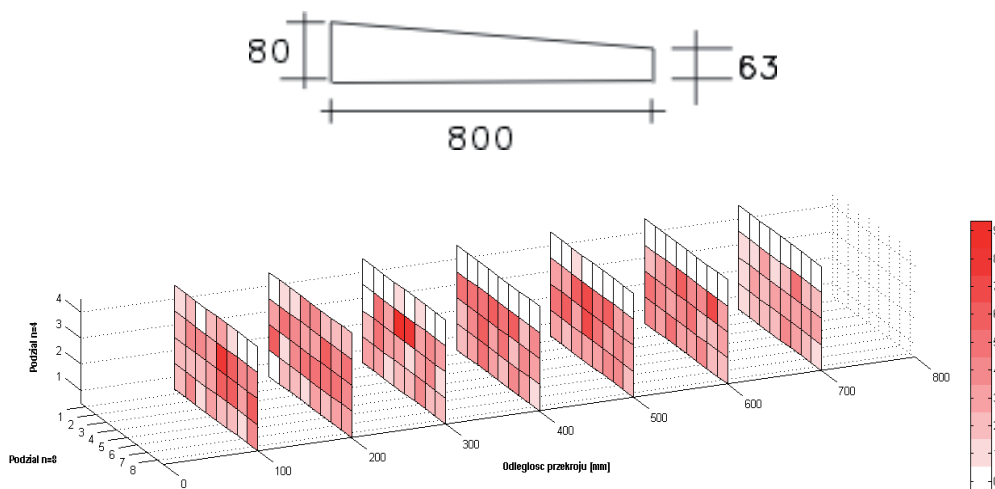
The problem of homogenous, uniform distribution of steel fibres in the SFRSCC has been highlighted. The simulation of concrete mixture flow in the L-box device the blockage of fibers in the vicinity of rods (imitation of reinforcement) takes place. This effect is more visible as the fiber content increases. The shape and fineness ratio of fibers is not out of importance.



Rys. 5. Przykład rozkładu włókien w zglądach h100–h700 próbki P1 z włóknami haczykowatymi o wymiarach 30/0,66 mm w ilości 0,5% udziału objętościowego

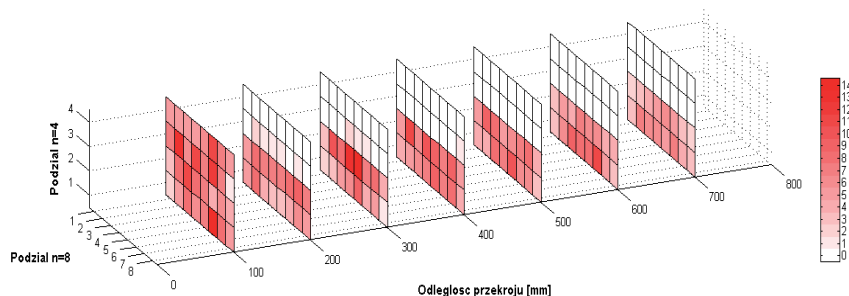
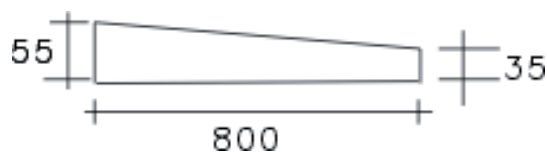
(u góry kształt i wymiary przekroju podłużnego próbki P1)

Fig. 5. The example of fibre distribution map for the cross sections h100-h700 of sample P1 with hook like fibres 30/0.66 mm, at 0.5% volume content (longitudinal intersection of P1 in upper part)



Rys. 6. Przykład rozkładu włókien w zglądach h100–h700 próbki P2 z włóknami haczykowatymi o wymiarach 30/0,66 mm w ilości 0,25% udziału objętościowego (u góry kształt i wymiary przekroju podłużnego próbki P2)

Fig. 6. The example of fibre distribution map for the cross sections h100-h700 of sample P2 with hook like fibres 30/0.66 mm, at 0.25% volume content (longitudinal intersection of P2 in upper part)



Rys. 7. Przykład rozkładu włókien w zglądach h100 – h700 próbki P12 z włóknami falistymi o wymiarach 30/0,7 mm w ilości 0,75% udziału objętościowego (u góry kształt i wymiary przekroju podłużnego próbki P12)

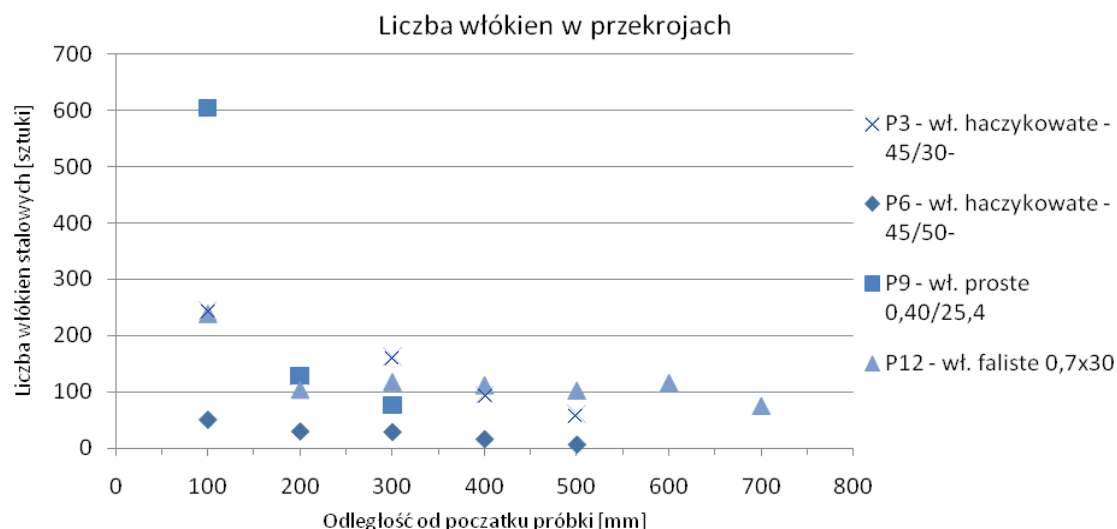
Fig. 7. The example of fibre distribution map for the cross sections h100-h700 of sample P12 with corrugated fibres 30/0.7 mm, at 0.75% volume content (longitudinal intersection of P12 in upper part)

There is no consistent, verified data leading “a priori” to the SFRSCC concrete design, based upon the assumed strength parameters, as well as the real distribution and orientation of fibers.

Consequently, there are discrepancies between the assumed and real parameters of modified concretes thus produced. It is important to find how do the latter ones decline from the assumed values, as the distribution and orientation of scattered reinforcement is taken into account.

Literatura / References

1. P. Stroeven, P. Shah, S.P., Use of radiography-image analysis for steel fibre reinforced concrete. In. “Testing and Test Methods of Fibre Reinforced Composites”, R.N. Swamy ed. Construction Press, Lancaster, 1978, 308 – 311.
2. P. Stroeven, H. He, Patches in concrete: recent experimental discovery of a natural phenomenon – support



Rys. 8. Wpływ rodzaju włókien na ich liczbę w przekrojach pomiarowych formy L-box przy zawartości włókien 0,75%

Fig. 8. The effect of shape of fibres on their content in particular intersections of L-box mould at 0.75% by volume content. From up the fibres are: P3 hook, P6 hook, P9 plain, P12 corrugated

się włókien na prętach imitujących zbrojenie. Stopień blokowania włókien wzrastał wraz ze wzrostem udziału objętościowego włókien w betonie. Wykazano również wpływ smukłości oraz kształtu włókien na intensywność zjawiska blokowania.

Dotychczasowe badania nie dostarczyły systematycznych, zweryfikowanych danych doświadczalnych umożliwiających projektowanie SFRSCC z warunku zakładanych parametrów mechanicznych oraz rzeczywistego rozmieszczenia i ukierunkowania zbrojenia rozproszonego.

Konsekwencją tego jest rozbieżność w projektowanych i otrzymywanych parametrach mechanicznych tak modyfikowanych betonów. Ważne jest określenie stopnia odchylenia w zakładanych pa-

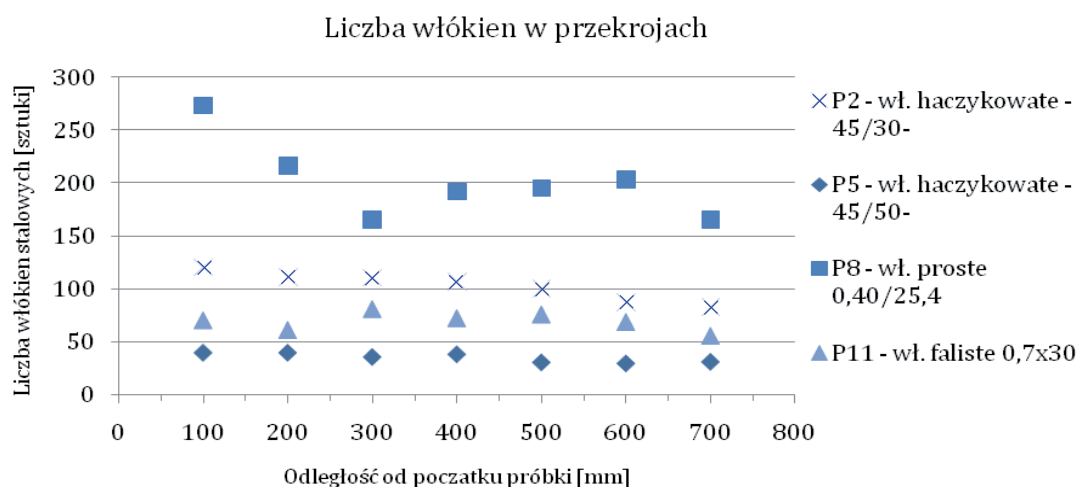
ting evidence by DEM. In. Proc. Int. Symp. „Brittle Matrix Composites 9”, A.M.Brandt, J. Olek, I.H. Marshall, Warsaw 2009.

3. I. Busterud, K. Johansen, A.I. Dossland: Production of fibre reinforced SCC, in: Proceedings of the second North American conference on the design and use of self-consolidating concrete and the fourth international RILEM Symposium on self-compacting concrete, Chicago, IL, USA, October 2005, Hanley Wood, Minneapolis, MN, USA, pp 381 – 386.

4. 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) – BEFIB 2004, Varenna, Italy 2004.

5. S. Grünwald: Performance-based design of self-compacting fibre reinforced concrete, *Doctor's thesis*, 2004.

6. S. Grünwald, J.C. Walraven: Optimisation of the mixture composition of self compacting fibre reinforced concrete. In: Proceedings of the



Rys. 9. Wpływ rodzaju włókien na ich liczbę w przekrojach pomiarowych formy L-box przy zawartości włókien 0,75%

Fig. 9. The effect of shape of fibres on their content in particular intersections of L-box mould at 0.75% by volume content. From down the fibres are: P11 corrugated, P8 plain, P5 hook, P2 hook

rametrach mechanicznych ze względu na rzeczywiste rozmieszczenie i ukierunkowanie zbrojenia rozproszonego.

Second North American conference on the Design and Use of Self-consolidating Concrete and the Fourth International RILEM Symposium on Self-compacting Concrete, Chicago, IL, USA, October 2005, Minneapolis, MN, USA, pp 393 – 399.

7. K.H. Khayat, P. Ghoddousi, F. Kassimi: Effect of fiber type on workability and mechanical properties of SCC, In: Proceedings of the Third North American conference on the Design and Use of Self-consolidating Concrete SCC Chicago 2008.

8. T. Ponikiewski: The rheological properties of fresh steel fibre reinforced self compacting concrete, in: Proc. Int. Symp. "Brittle Matrix Composites 8", A.M.Brandt, V.C.Li, I.H.Marshall, Cambridge and Warsaw 2006.

9. T. Ponikiewski: Investigation on random distribution of fibres in cement composites, in: Proc. Int. Symp. "Brittle Matrix Composites 9", A.M. Brandt, J. Olek, I.H. Marshall, Warsaw 2009.