

Wpływ lokalnego wypełniania formy mieszanką na wytrzymałość i rozmieszczenie włókien w małych elementach z fibrobetonu samozagęszczającego się

The effect of casting by local moulds filling on the steel fibres distribution of self-compacting concrete beams and their strength

1. Wprowadzenie

Mało rozpoznany obszar badawczy jest wpływ metod formowania fibrobetonów samozagęszczających się (FBSZ) na zachowanie zakładanych w projektowaniu właściwości technologicznych i mechanicznych betonu. Brak jest informacji o rzeczywistym rozproszeniu oraz ukierunkowaniu włókien w mieszance w trakcie procesów technologicznych. Wpływ włókien stalowych na samozagęszczanie się mieszanek betonowych był już badany; (1-3), badano równocześnie ich właściwości mechaniczne (4-6). Jednakże badania nad pełniejszym poznaniem tej technologii, z uwzględnieniem rozmieszczenia włókien w mieszance są mniej zaawansowane. Ma na to wpływ złożoność takich badań oraz ograniczone metody weryfikacji struktury betonu. Dodatek zbrojenia rozproszonego poprawia w mniejszym lub większym stopniu różne właściwości betonu, ale jednocześnie powoduje trudności w przygotowaniu składu spełniającego warunek samozagęszczania się, jednorodności matrycy, a zarazem poprawy jej właściwości fizycznych (7, 8).

Najważniejsze znaczenie ma ustalenie rozmieszczenia zbrojenia rozproszonego w różnych formowanych elementach konstrukcyjnych w zależności od metody układania mieszanki samozagęszczającej się, trzeba bowiem uwzględnić właściwości reologiczne mieszanki, a także udział objętościowy i geometrię włókien stalowych.

Celem prezentowanych badań było ustalenie wpływu lokalnego wypełniania formy mieszanką na rozmieszczenie włókien stalowych w BSZ w modelowych elementach konstrukcyjnych oraz jej wpływ na właściwości mechaniczne betonu.

2. Metody badań

Jako modelowy element konstrukcyjny wybrano do badań belki betonowe o wymiarach 120x15x15 cm oraz 180x15x15 cm, przy czym mieszankę betonową wprowadzano do formy w jednym jej

1. Introduction

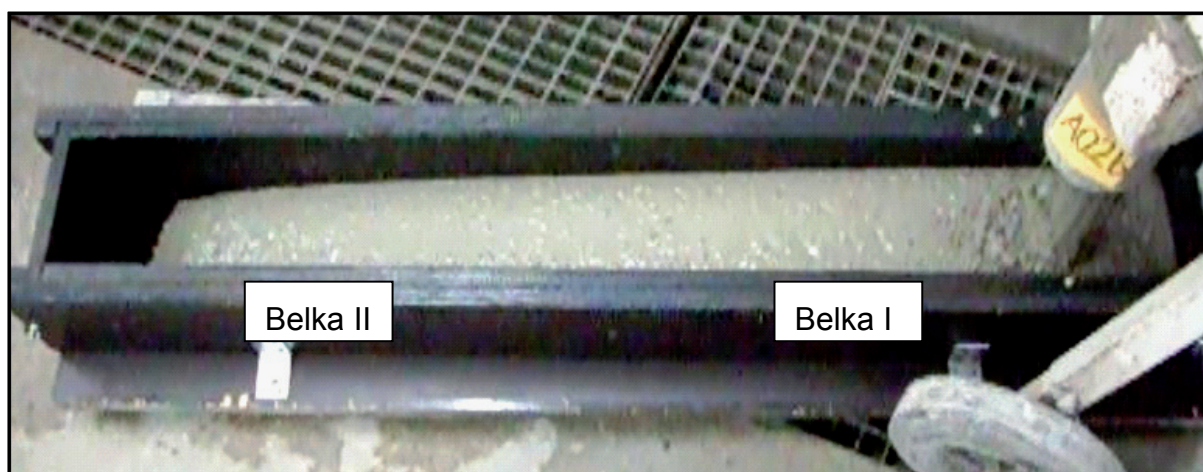
The insufficient explored area in the production of self-compacting steel fibres reinforcement concrete (SFRSCC) units is constituted by the influence of the casting method on their designed technological and mechanical properties. There is a lack of information on the homogeneity of fibres dispersion and their orientation in the concrete mixture during mixing and casting. The effect of steel fibres content on the self-compatibility of concrete mixture as well as on the mechanical properties of hardened concrete has already been investigated (1-6). However, the studies of development of this technology, including the dispersion of the fibres in concrete are less advanced. It is due to the complexity of research needed and limited methods which can be used for this purpose. The use of dispersed fibre reinforcement enhances several concrete properties, primarily it improves tensile and bending strength. Simultaneously, fibres can cause difficulties in producing the mixture fulfilling the self-compacting ability and good workability as well as assuring the, homogeneous microstructure (7-8).

The most important issue is to determine fibres dispersion in various structural concrete members, produced of the self-compacting mixture with different casting method. The effect of rheological mix properties with different fibres content and shape is also very important problem.

The goal of this work was to determine the distribution and orientation of steel fibres in self-compacting concrete, cast of small beams by filling the mould with mixture in one edge, and to investigate their mechanical properties.

2. Materials and methods

As a structural model, small concrete beams with dimensions 120x15x15 cm and 180x15x15 cm were chosen, and the concrete mixture was filling the mould in one of the edge points (Fig.1). After hardening, the demoulded beams were cut into two, or three bars with dimensions 60x15x15 cm.



Rys. 1. Metoda układania betonu w przypadku belki betonowej 120x15x15 cm

Fig. 1. Cast method of concrete in the case of concrete beam 120x15x15 cm

końcu (rysunek 1). Po stwardnieniu elementy przecinano na dwie lub trzy beleczki o wymiarach 60x15x15 cm.

Uzyskane beleczki badano za pomocą tomografii komputerowej, opisanej we wcześniejszej pracy (9) oraz mierzono ich wytrzymałość na rozciąganie przy zginaniu, zgodnie z zaleceniami RILEM (10). Skład badanych mieszanek samozagęszczających się podano w tablicy 1. W badaniach zastosowano dwa rodzaje włókien stalowych i ich trzy różne udziały objętościowe. Właściwości stosowanych włókien stalowych podano w tablicy 2. Warunek samozagęszczania się mieszanki spełniały w całym przedziale zawartości włókien. Średnica rozplywu wzorcowej mieszanki wynosiła $SF = 770$ mm. Zastosowanie włókien SW35 oraz SW50 nie wpływało w znaczny sposób na rozplyw, dzięki dobrej lepkości plastycznej wzorcowej mieszanki samozagęszczającej się. Belki rozformowywano po 24 godzinach, a następnie przecinano je na dwie lub trzy beleczki o długości 60 cm. Przypisywano im oznaczenia I, II, III, w zależności od rosnącej odległości od miejsca podawania mieszanki.

Tablica 1 / Table 1

SKŁAD MIESZANEK

COMPOSITION OF MIXTU

| SKŁADNIK/COMPONENT | kg/m ³ |
|--|-------------------|
| CEM I | 490,0 |
| Piasek/Sand 0-2 m | 800,0 |
| Kruszywo otoczkowe/Crushed gravel 2-8 mm | 800,0 |
| Włókna stalowe/ Steel fibres (0,5 - 1,0 - 1,5%) | 40-80-120 |
| Superplastyfikator/ Superplasticizer Glenium SKY 592 (2,5 % m.c.) | 12,25 |
| Stabilizator/ Stabilizer RheoMatrix (0,4 % m.c.) | 1,96 |
| Punkt piaskowy/ Sand ratio, % | 50,0 |
| W/C/w/c | 0,41 |
| Klasa konsystencji betonu Class of concrete consistency (SF) = 770 mm | SF3 |

Samples were analyzed by computed tomography, described earlier (9), and their tensile strength in bending were measured according to RILEM recommendations (10). The composition of self-compacting mixtures is presented in Table 1. Two types of steel fibres were used and their three addition were examined. The properties of used steel fibres are presented in Table 2. The self-compatibility of the mixture met the criterion for all mixture samples of different fibres content. The flow diameter of the reference mixture was $SF=770$ mm. The addition of SW35 and SW50 fibres did not affect significantly the SF value, due to the proper plastic viscosity of the reference SCC mixture. The beams were demoulded after 24 hours, and then cut into two or three parts of 60 cm length. These samples were designed as I, II, III, depending on the increasing distance from the point of mould filling with concrete mixture. The influence of steel fibres type, their content and kind of samples (I, II or III) on their tensile strength in bending are presented in Table 3.

The tests included:

- the consistency measurement 10 minutes after mixing,
- distribution of fibres with computed tomography (7 and 14 days after casting),
- tensile strength in bending f_{η} measurement (after 28 days).

3. The results and discussion

The results of test give the possibility to examine the effect of the distance of samples cutting from the mix feeding place in the mould on the distribution of fibres in concrete and its mechanical properties. Bars of 60x15x15 cm cut from 180x15x15 cm beams, were designed as I, II, or III with increasing distance from the point of mixture feeding to the mould, respectively. Two bars were cut from smaller beam of 120x15x15 cm and three from longer one of 180x15x15 cm.

For fibres distribution examination in the bars, the 2D and 3D images were obtained, using the computed tomography method.

Tablica 2 / Table 2

RODZAJ STOSOWANYCH WŁÓKIEN STALOWYCH*

THE TYPE OF USED STEEL FIBRES*

| Nazwa Type | Długość, Length, mm | Szerokość, Diameter, mm | Przekrój poprzeczny The cross-section | Materiał Material | Wytrzymałość na rozciąganie Tensile strength, N/mm ² |
|---------------|------------------------|----------------------------|--|---------------------------------------|--|
| SW 35/1.0 | 35±10% | 2,30 - 2,95 | część okręgu part of the circle | Stal niskowęglowa Low carbon steel | 880±15% |
| SW 50/1.0 | 50±10% | 2,30 - 2,95 | część okręgu part of the circle | Stal niskowęglowa Low carbon steel | 880±15% |

* Uwaga: włókna o kształcie prostych prętów

* Remark: fibres as straight-shaped bars

Tablica 3 / Table 3

WPŁYW RODZAJU WŁÓKIEN, ICH ZAWARTOŚCI ORAZ RODZAJU WYCIĘTEJ BELECZKI NA WYTRZYMAŁOŚĆ NA ROZCIĄGANIE PRZY ZGINANIU f_{fl} , MPaINFLUENCE OF STEEL FIBRES TYPE, FIBRE CONTENT AND KIND CUT BAR ON THE FLEXURAL STRENGTH f_{fl} , MPa

| Rodzaj włókien / Type of fibres | | SW50 | | SW50 | | | SW35 | | |
|---|-------------------------|------|-------|------|------|------|------|------|------|
| Zawartość włókien / Fibres content (kg/m ³) | | 80 | 120 | 40 | 80 | 120 | 40 | 80 | 120 |
| Belecza I Bar I | I pomiar / measurement | 9,17 | 7,95 | 4,96 | 6,56 | 6,35 | 3,54 | 4,55 | 7,12 |
| | II pomiar / measurement | 9,10 | 8,59 | 4,63 | 5,97 | 5,52 | 3,81 | 3,75 | 6,11 |
| Belecza II Bar II | I pomiar / measurement | 8,41 | 10,80 | 4,62 | 7,92 | 8,85 | 3,73 | 4,52 | 6,99 |
| | II pomiar / measurement | 8,64 | 11,97 | 4,15 | 7,52 | 9,98 | 3,37 | 4,65 | 6,82 |
| Belecza III Bar III | I pomiar / measurement | 8,80 | 12,19 | - | - | - | - | - | - |
| | II pomiar / measurement | 8,26 | 13,52 | - | - | - | - | - | - |

Wpływ rodzaju włókien, ich zawartości oraz rodzaju formowanej belki na wytrzymałość na rozciąganie przy zginaniu przedstawiono w tablicy 3.

Zakres przeprowadzonych badań obejmował:

- oznaczenie klasy konsystencji po upływie 10 minut od ukończenia procesu mieszania,
- zaformowanie (rysunek 1),
- rozmieszczenie włókien za pomocą tomografii komputerowej (po 7 i 14 dniach od zaformowania),
- oznaczenie wytrzymałości na rozciąganie przy zginaniu f_{fl} (po 28 dniach od zaformowania).

Zastosowany do badań tomograf komputerowy został opisany we wcześniejszej pracy autorów (9).

3. Wyniki badań i ich omówienie

Badania obejmowały belki wycinane w różnej odległości od miejsca formowania (rysunek 1). Przeprowadzone doświadczenia pozwalały na zbadanie wpływu odległości formowania mieszanki na ułożenie włókien w matrycy oraz właściwości mechaniczne belek. Belecza 60x15x15 cm, uzyskane z przecięcia na połowę belek 120x15x15 cm, oznaczono w ten sposób, że położoną bliżej miejsca podawania mieszanki oznaczono belka I, a położoną dalej belka II. Belecza 60x15x15 cm, uzyskane z pocię-

Fig. 4 shows a selected 2D and 3D images of bar with different content of steel fibres SW50. Selected 2D images present the cross section of bar in the places of incisions for testing of tensile strength in bending, according to RILEM recommendations (10).

The effect of SW35 fibres content on tensile strength in bending is shown on Fig. 2 (first measurement) and Fig. 3 (second measurement). The increase of bending strength occurs with increasing content of SW35 fibres in SCC, as it could be expected. There were no significant difference in the bending force as a function of bar deflection between bar I and II for SCC with steel fibres SW35.

The SFRSCC with SW35 fibres have similar fibres orientation, their distribution and mechanical properties, regardless of the bar distance from the point of mix feeding. There is also similar, random distribution of fibres in the cross-sections of all samples (Fig. 2). The content of SW35 fibres increases towards the bottom section of bars. The orientation of fibres parallel to the direction of flow of the mixture in the mould is observed. Additionally, the increase of the air bubbles with the rise of fibres content in the mixture is also typical. On the basis of these results, it can be concluded that the hypothesis of avoiding by fibres the degree of aeration loss of SFRSCC mixture is possible, especially in the case of higher fibres content.

Figure 4 shows the selected 2D and 3D images of steel fibres in cross bar section of SCC with variable SW50 fibres content. The same observations, as in the case of SW35 fibres, show the

cia belek 180x15x15 cm oznaczono odpowiednio jako beleczka I, beleczka II oraz III, ta ostatnia znajdowała się najdalej od miejsca podawania mieszanki. W badaniach uzyskano obrazy 2D i 3D rzeczywistego rozkładu włókien stalowych w belkach, dzięki zastosowaniu metody tomografii komputerowej. Na rysunku 4 pokazano przykładowe obrazy 2D i 3D włókien stalowych w badanych BSZ z dodatkiem zmiennej zawartości włókien SW50. Obrazy 2D przedstawiają miejsca wykonania nacięcia belek do przeprowadzenia badania wytrzymałości na rozciąganie przy zginaniu, według zaleceń RILEM (10).

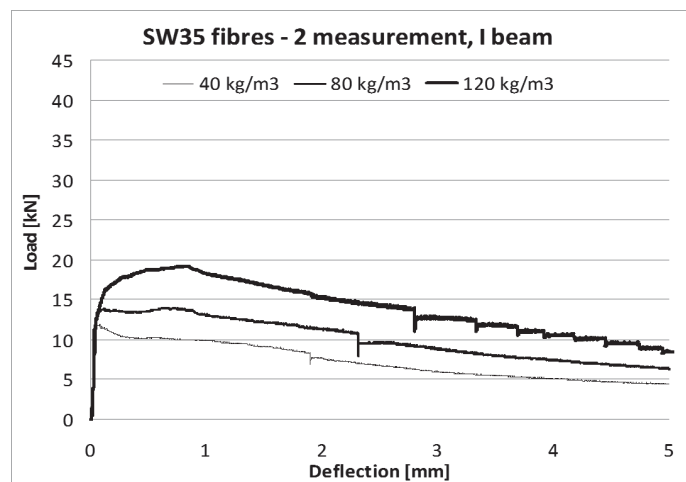
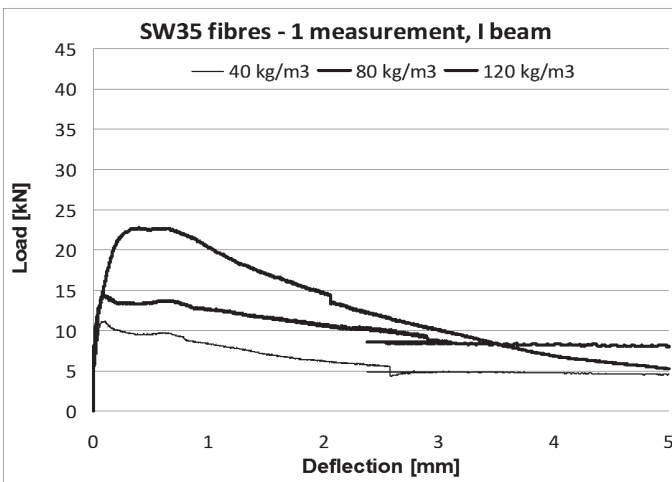
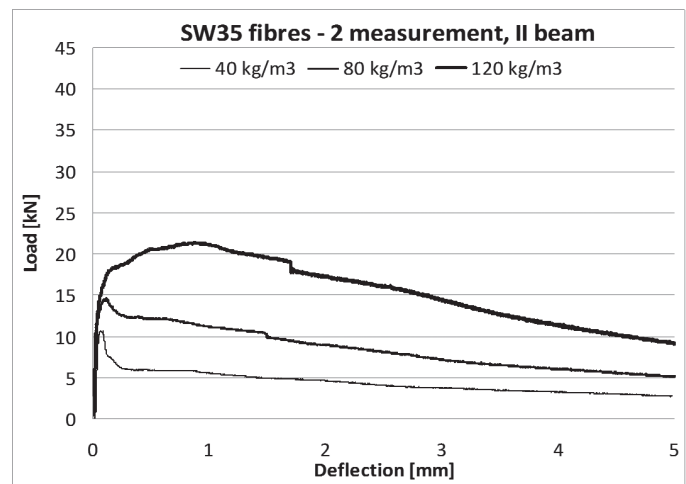
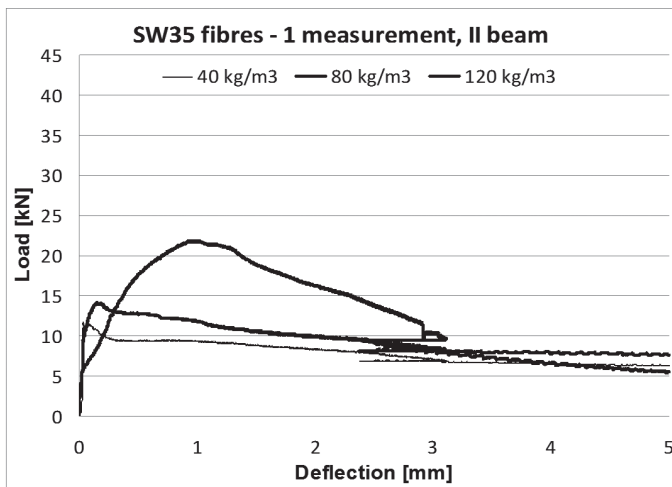
Wpływ zawartości włókien SW35 na wytrzymałość na rozciąganie przy zginaniu badanych próbek FBSZ pokazano na rysunku 2 (pomiar 1) i na rysunku 3 (pomiar 2). Stwierdzono wzrost siły ugięcia wraz ze wzrostem zawartości włókien SW35 w BSZ, co było jednak do przewidzenia. Nie stwierdzono znacznych różnic pomiędzy wykresami siły zginającej w funkcji ugięcia belek typu I i II w przypadku BSZ z dodatkiem włókien stalowych SW35.

Mieszanki i betony FBSZ z dodatkiem włókien SW35 wykazują zbliżoną orientację włókien, ich rozmieszczenie oraz właściwości mechaniczne, niezależnie od odległości w stosunku do napełniania formy mieszanką betonową. Stwierdzono również nierówno-

random distribution of these fibres, the increase of their content towards the bottom of the bar, parallel orientation of fibres to the direction of mixture flow during casting and increase of the air bubbles content with the increase of fibres in concrete was found.

In the case of bars cut from the beam 120x15x15 cm, the effect of SW50 fibres content on tensile strength in bending (Figs. 5 and 6) is analogous to the first series of measurements with SW35 fibres. Also in these samples, there is the increase of bending force with the increase of SW50 fibres content. Additionally, there is an increase in bending force in the case of bar II in relation to bar I with the rise of volume content of these fibres.

When the content of SW50 fibres is 120 kg/m³, the increase in bending force in bar II, in the further distance from the point of mixture feeding to the mould, is 80% higher than in case of bar I. In the case of the SW50 fibres content in SCC equal of 40 kg/m³, there was no difference between the bending forces for sample I and II. In Fig. 6 the tensile strength in bending of samples I and II with different content of steel fibres SW50, second measurement hereas, in the case of SW50 fibres content of 80 kg/m³, the bending force in bar II was 35% higher in relation to bar I. The second series of measurements confirmed these trends.

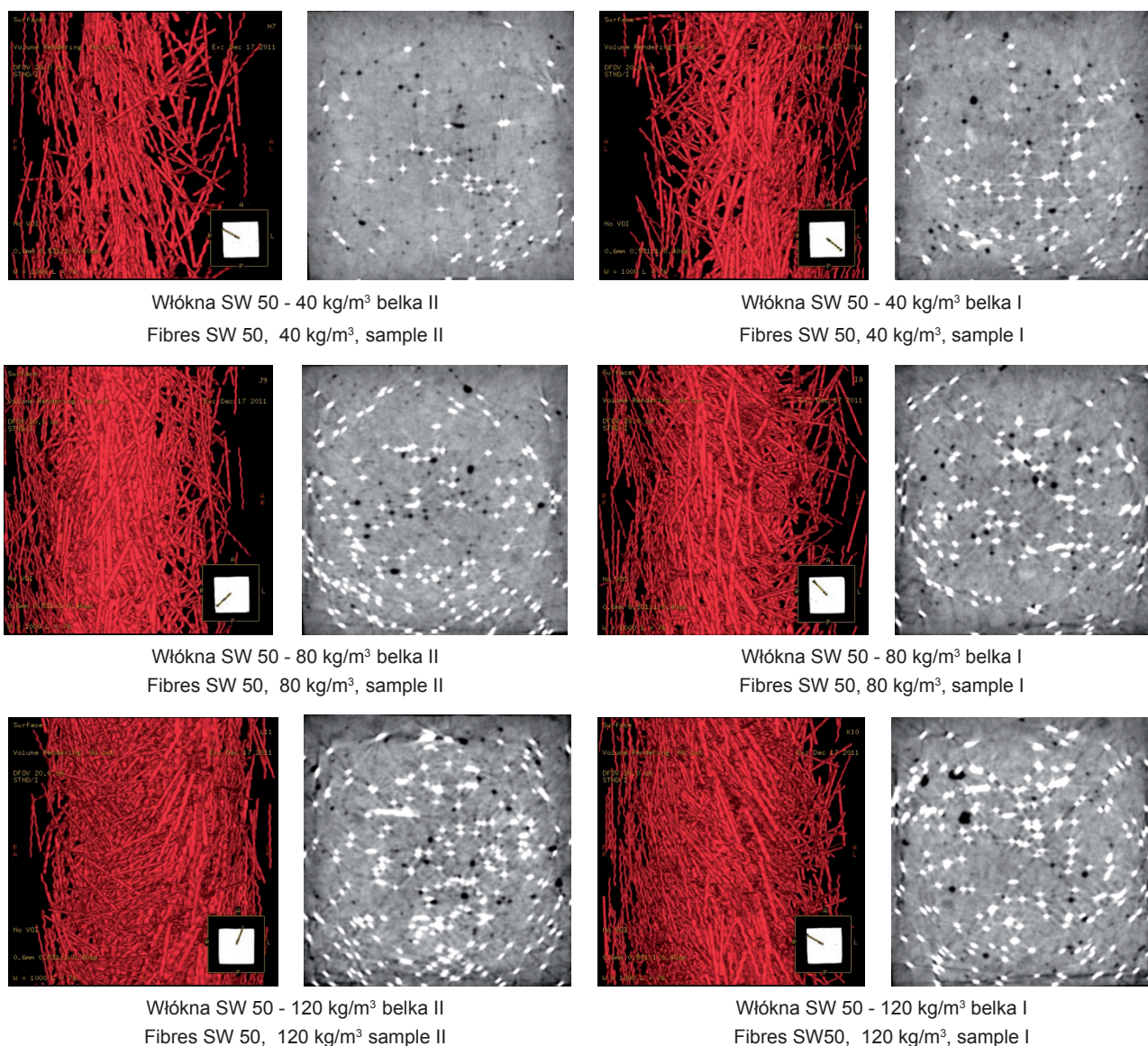


Rys. 2. Wpływ zawartości włókien stalowych SW35 na wytrzymałość na rozciąganie przy zginaniu beleczek I i II, pomiar pierwszy

Fig. 2. The tensile strength in bending of bars I and II with steel fibres SW35, the first measurement

Rys. 3. Wpływ zawartości włókien stalowych SW35 na wytrzymałość na rozciąganie przy zginaniu beleczek I i II, pomiar drugi

Fig. 3. The tensile strength in bending of the bars I and II with steel fibres SW35, the second measurement



Rys. 4. Obrazy 2D i 3D włókien stalowych w badanych BSZ z dodatkiem zmiennej zawartości włókien SW50 (obrazy 3D: strona lewa – dół belki, strona prawa – góra belki)

Fig. 4. 2D and 3D images of steel fibres in SCC with variable SW50 fibres content (3D: left – sample bottom, right – sample top)

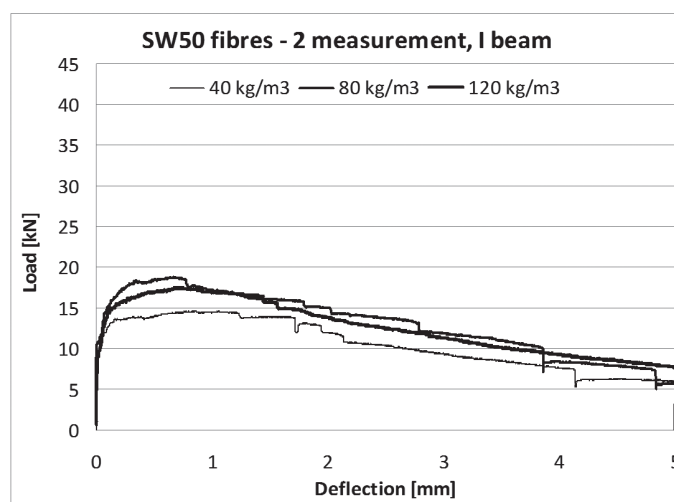
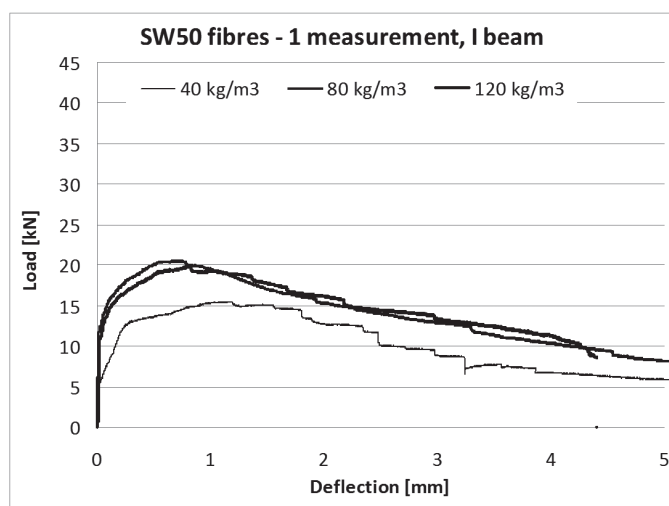
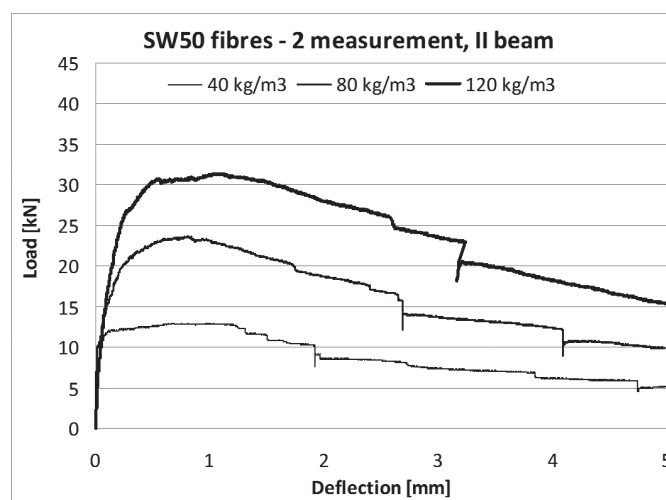
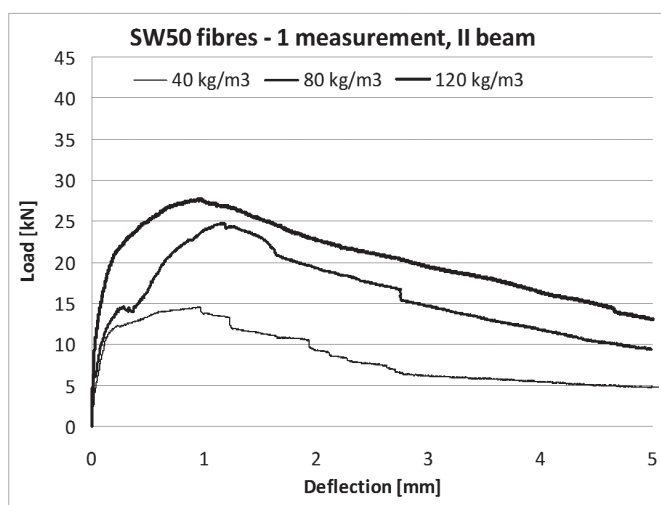
mierny rozkład włókien w przekrojach beleczek (rysunek 2). Ilość włókien SW35 wzrasta w kierunku dolnego przekroju belek. Obserwuje się również równoległy układ włókien w stosunku do kierunku przepływu mieszanki BSZ. Dodatkowo obserwuje się wzrost ilości makroporów powietrznych wraz ze zwiększaniem zawartości włókien w mieszance.

W oparciu o przeprowadzone obserwacje można stwierdzić, że możliwa jest hipoteza zmniejszania przez włókna odpowietrzania mieszanki FBSZ, szczególnie w miejscach większego skupiania się włókien w matrycy betonowej.

Na rysunku 4 przedstawiono wybrane obrazy 2D i 3D włókien stalowych w badanych FBSZ z dodatkiem zmiennej zawartości włókien SW50. Z tych badań wynika również nierównomierny rozkład włókien, wzrost ilości włókien SW50 w kierunku dolnego przekroju beleczek, a także równoległa orientacja włókien w stosunku do kierunku przepływu mieszanki betonowej, zaznaczył się także

For the bars cut from beams of 180x15x15 cm, the effect of SW50 fibres content on tensile strength in bending of SCC, is shown in Fig.7 (left – the first measurement; right – the second measurement). The increase in bending force with the increase of SW50 fibres content in SFRSCC was observed too. Additionally, there was the increase in bending force for samples II and I with the increase of SW50 fibres content in tested SFRSCC.

The series of fibres SW50 content of 120 kg/m³ in SFRSCC, caused the 65% increase of bending force in bar III (the furthest) in relation to the bar I (the closest one). For the content of SW50 fibres equal 80 kg/m³ in SCC, there was no difference between bending forces of bars I, II and III. The repeated tests on bars casting and measurements confirmed these trends. Presented results show significant differences in strength parameters of SFRSCC bars in relation to the distance from the point of their mould feeding. The increase in distance of SFRSCC bars from the point of mixtures feeding significantly improves their strength. This is related to the



Rys. 5. Wpływ zawartości włókien stalowych SW50 na wytrzymałość na rozciąganie przy zginaniu dla beleczek I i II w pomiarze pierwszym

Fig. 5. The tensile strength in bending of bars I and II with different content of steel fibres SW50, the first measurement

wzrost zawartości makroporów powietrznych wraz ze zwiększaniem zawartości włókien w mieszance.

W przypadku beleczek wycinanych z elementu o wymiarach 120x15x15 cm, wpływ zawartości włókien SW50 na wytrzymałość na rozciąganie przy zginaniu (rysunki 5 i 6) jest analogiczny do pierwszej serii próbek z włóknami SW 35. Również i w tych beleczkach występuje wzrost siły zginającej wraz ze wzrostem zawartości włókien SW50. Dodatkowo zwiększa się siła zginająca w przypadku belek II w stosunku do beleczek I wraz ze wzrostem udziału objętościowego włókien SW50.

Gdy zawartość włókien SW50 wynosi 120 kg/m³ przyrost siły zginającej w beleczce II, położonej w dalszej odległości od miejsca podawania mieszanki do formy, jest nawet o 80% większy niż w przypadku beleczki I. W przypadku zawartości włókien SW50 w BSZ wynoszącej 40 kg/m³ nie stwierdzono różnic wytrzymałości na rozciąganie beleczek I oraz II. Natomiast w przypadku zawartości włókien SW50 wynoszącej 80 kg/m³ wystąpiło zwiększe-

Rys. 6. Wpływ zawartości włókien stalowych SW50 na wytrzymałość na rozciąganie przy zginaniu beleczek I i II, pomiar drugi

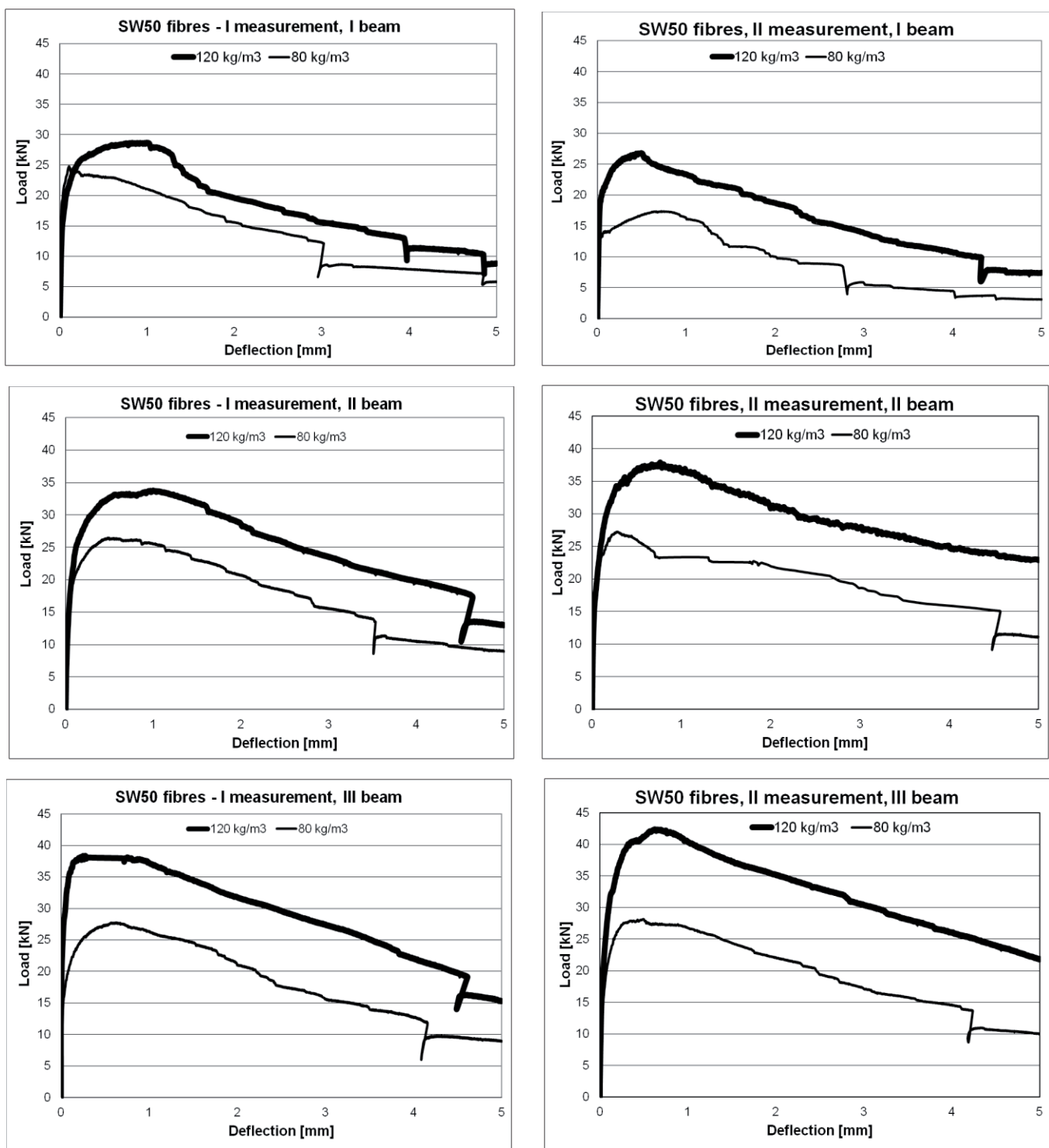
Fig. 6. The tensile strength in bending of bars I and II with different content of steel fibres SW50, second measurement

orientation of fibres and their perpendicular distribution to the applied bending force and their parallel anchoring in bending element. Fibres as dispersed reinforcement, but at the same time as oriented ones, significantly improve the concrete mechanical properties.

In this paper, the results of compressive strength measurements are not included, due to low effect of steel fibres on this property, what has been confirmed in Glinicki's (11) and Brandt's (12) studies. In previous studies (13, 14), also authors showed small changes of compressive strength with the increase of volume ratio of steel fibres in SCC.

On the basis of computed tomography, uneven distribution of steel fibres in concrete volume samples was proved. Whereas, no high concentrations of fibres in concrete matrix were detected. Also, the parallel distribution of fibres was confirmed, in accordance with the direction of movement of the mixture during casting, especially in the case of SW50 fibres. Only few fibres were perpendicularly oriented to this direction.

The radial arrangement of fibres in the vicinity of the corners of bars cross-section is associated with the slower movement of the



Rys. 7. Wpływ zawartości włókien stalowych SW50 na wytrzymałość na rozciąganie przy zginaniu beleczek I, II i III, pomiar pierwszy (strona lewa) i drugi (strona prawa)

Fig. 7. The tensile strength in bending of bars I, II and III with different content of steel fibres SW50; the first measurement (left) and second measurement (right)

nie wytrzymałości na rozciąganie beleczki II o 35% w stosunku do belki I. Druga seria pomiarów dała takie same wyniki.

W przypadku beleczek wyciętych z belek o wymiarach 180x15x15 cm, wpływ zawartości włókien SW50 na wytrzymałość na rozciąganie przy zginaniu badanych WSBSZ zilustrowano na rysunku 8 (strona lewa – formowanie i pomiar pierwszy; strona prawa – formowanie i pomiar drugi). Stwierdzono również wzrost siły zgina-

nia przy zginaniu beleczki II o 35% w stosunku do belki I. Druga seria pomiarów dała takie same wyniki.

4. Summary and conclusions

The study confirms the technological problems connected with uneven distribution of steel fibres in SCC matrix. At the same time,

jącej wraz ze wzrostem zawartości włókien SW50 w BSZ. Dodatkowo stwierdzono zwiększenie się siły zginającej w przypadku beleczek typu III, względem beleczek II oraz I, wraz ze wzrostem udziału objętościowego włókien SW50 w badanym WSBSZ.

Dla zawartości 120 kg/m³ włókien SW50 w WSBSZ stwierdzono przyrost siły zginającej w beleczce III (najdalszej) nawet o 65% względem siły zginającej w beleczce I (najbliższej). Dla zawartości 80 kg/m³ włókien SW50 w WSBSZ nie stwierdzono różnic pomiędzy siłami zginającymi w belce typu I, typu II oraz typu III. Powtórzenia formowania beleczek i pomiarów wykazały podobne tendencje. Przedstawione wyniki badań pokazują znaczne różnice wytrzymałości belek formowanych z WSBSZ różnie położonych w stosunku do miejsca napełniania formy mieszanką. Wzrost odległości od tego miejsca wpływa w znacznym stopniu na poprawę wytrzymałości beleczek. Jest to na pewno związane z równoległym ułożeniem włókien i ich prostopadłym położeniem w stosunku do przykładanej siły zginającej oraz ich równoległym kotwieniem w zginanym elemencie. Włókna jako zbrojenie rozproszone, ale jednocześnie zbrojenie kierunkowe, w znacznym stopniu wpływają na poprawę właściwości mechanicznych betonów z ich dodatkiem. Włókna dłuższe SW50 mają znacznie lepszy wpływ, pełniąc rolę kierunkowego zbrojenia rozproszonego.

W artykule nie zamieszczono wyników pomiarów wytrzymałości na ściskanie FBSZ, ze względu na niewielki wpływ włókien stalowych na tę właściwość, co zostało wykazane w pracy Glinickiego (11) i w monografii Brandta (12). We wcześniejszych badaniach (13, 14), autorzy stwierdzili niewielkie zmiany wytrzymałości na ściskanie wraz ze wzrostem udziału objętościowego włókien stalowych w FBSZ.

Na podstawie obserwacji za pomocą tomografii komputerowej stwierdzono nierównomierne rozmieszczenie włókien stalowych w objętości próbek betonowych. Natomiast nie stwierdzono dużych skupisk włókien w matrycy betonowej. Potwierdzono także równoległe ułożenie włókien, zgodne z kierunkiem przemieszczania się mieszanki w formie, szczególnie w przypadku włókien SW50. Niewiele włókien było ułożonych prostopadle do tego kierunku.

Promieniste ułożenie włókien w sąsiedztwie narożników przekroju poprzecznego beleczek jest związane z wolniejszym ruchem mieszanki blisko ścianek formy. Wiąże się to z większymi oporami tarcia występującymi w tych miejscach.

4. Podsumowanie i wnioski końcowe

Przeprowadzone badania potwierdzają problemy technologiczne związane z nierównomiernym rozmieszczeniem włókien stalowych w matrycy BSZ. Równocześnie, w przypadku zasilania mieszanką formy w punkcie brzegowym, włókna układają się w zasadzie równoległe do kierunku przepływu mieszanki betonowej w tej formie. Efekt ten pogłębia się w beleczkach z dłuższymi włóknami (SW50) oraz ze wzrostem ich udziału objętościowego w mieszance. To ułożenie włókien spowodowało poprawę wytrzymałości na rozciąganie

fibres are generally parallel oriented to the direction of concrete mixture flow in the mould. This phenomenon is increasing in the case of longer fibers (SW50) and with the increase of their volume ratio in the mixture. However, such fibres orientation caused the improvement of beams bending strength with the addition of longer fibres (SW50). The increase in flexural strength was about 80% higher in bar II with SW50 fibres content of 120 kg/m³, in relation to bar I, cut from the element of 120x15x15 cm.

Similar, but smaller increase of strength was found in bars III, in relation to I, cut from beams of 180x15x15 cm.

Moreover, the tests have shown that computed tomography gives the possibility of the distribution of steel fibres in the entire volume of concrete examination, and also in small, selected areas. Such analysis allows to obtain two-dimensional (2D) and three-dimensional (3D) images of fibres distribution.

Obtained results may present the basis for the development of designing methods of self-compacting fibres reinforced concrete, including the form of structural elements. The key problem is to determine changes in distribution of dispersed reinforcement in various structures, depending on used technology of mixture casting and its rheological properties, and also the volume and geometrical forms of steel fibres. Obtained results may also be used for modeling of the properties of selected structural elements.

The authors would like to thank the National Science Centre for funding this research under grant N N506 236039 Fri: Effect of forming methods SFRSCC (Steel Fibre Reinforced Self-Compacting Concrete) on the distribution and orientation of the reinforcement distributed in selected structural elements.

nie przy zginaniu belek z dodatkiem dłuższych włókien (SW50). Wzrost wytrzymałości na zginanie wyniósł nawet 80% w beleczce II w przypadku zawartości włókien SW50 równej 120 kg/m³, w stosunku do belki I, wycinanych z elementu 120x15x15 cm.

Podobny, jednak mniejszy przyrost wytrzymałości, wystąpił w beleczkach III w stosunku do beleczek I, wycinanych z elementów 180x15x15 cm.

Przeprowadzone doświadczenia wykazały ponadto, że tomografia komputerowa daje możliwość badania rozmieszczenia włókien stalowych w objętości betonu, jak również w niewielkich, wybranych obszarach. Za pomocą tej metody można uzyskać dwuwymiarowe (2D) i trójwymiarowe (3D) obrazy rozmieszczenia włókien.

Uzyskane w badaniach wyniki mogą w przyszłości stanowić podstawę do opracowania metody projektowania fibrobetonów samozagęszczających się, z uwzględnieniem formy elementów konstrukcyjnych. Istotą problemu jest ustalenie zmian rozmieszczenia zbrojenia rozproszonego w różnych konstrukcjach w zależności od stosowanej technologii układania mieszanki oraz jej właściwości reologicznych, a także udziału i form geometrycznych włókien stalowych. Uzyskane wyniki mogą być również wykorzystane do modelowania właściwości mechanicznych wybranych elementów konstrukcyjnych.

Autorzy dziękują Narodowemu Centrum Nauki za sfinansowanie prezentowanych badań w ramach grantu N N506 236039 pt.: Wpływ metod formowania SFRSCC (Steel Fibre Reinforced Self-Compacting Concrete) na rozmieszczenie i ukierunkowanie zbrojenia rozproszonego w wybranych elementach konstrukcyjnych.

Literatura / References

1. B. Akcay, M. A. Tasdemir, Mechanical behaviour and fibre dispersion of hybrid steel fibre reinforced self-compacting concrete, *Constr. Build. Mat.*, **28**, 287–293 (2012).
2. S. Grünwald, Performance-based design of self-compacting fibre reinforced concrete, Doctor`s thesis, 2004.
3. 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, 467 – 478, 6th RILEM Symposium on Fibre-Reinforced Concretes (FRC) – BEFIB 2004, Varenna, Italy.
4. K. H. Khayat, Y. Roussel, Testing and performance of fibre-reinforced self-consolidating concrete, 509 – 521, In: Proceedings of the First RILEM International Symposium on Self-compacting Concrete, Stockholm, Sweden, September 1999, RILEM Publications, Bagnaux, France.
5. 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.
6. C-P. Strobach, H. Kurth, V. Petrik, J. P. Grunert, Steel-fibre-reinforced prestressed concrete beams made of self-compacting concrete, *Concrete Engineering International*, **10**, 3, 37 – 40 (2006).
7. L. Busterud, K. Johansen, A. L. Dossland, Production of fibre reinforced SCC, 381 – 386, 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.
8. 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.
9. T. Ponikiewski, J. Gołaszewski, Nowa metoda badania losowej dystrybucji włókien w wysokowartościowym betonie samozagęszczalnym, *Cement Wapno Beton* **79**, 165 – 176 (2012).
10. RILEM TC162-TDF: Test and design methods for steel fibre reinforced concrete, Recommendations: Bending test, *Materials and Structures*, **33**, Jan.-Feb., 2000.
11. M. A. Glinicki, Ocena i projektowanie fibrobetonów na podstawie wytrzymałości równoważonej, *IBDiM, Drogi i mosty*, **3**, 5 – 36 (2002).
12. A. M. Brandt, Cement-based composites. Materials, mechanical properties and performance, Taylor & Francis, USA & Canada 2009.
13. 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 - 9 (2011).
14. T. Ponikiewski, G. Cygan, Wybrane właściwości samozagęszczających się fibrobetonów z włóknami stalowymi, *Cement Wapno Beton*, **78**, 203-209 (2011).