

Badania właściwości fibrobetonu z makrowłóknami syntetycznymi, przeznaczanego na podłogi przemysłowe

Testing of macro-fibres reinforced concrete for industrial floors

1. Wstęp

Zasady kształtowania właściwości mechanicznych fibrobetonu z włóknami stalowymi są dość dobrze poznane, chociaż zakres zastosowań materiału w budownictwie pozostaje raczej ograniczony, przede wszystkim do podłóg przemysłowych na podłożu gruntowym.

Znacznie mniej wiadomo o efektywności włókien syntetycznych, pojawiających się na rynku materiałów budowlanych w wyniku intensywnego rozwoju technologii chemicznych. Włókna z polipropylenu, z polietylenu, z nylonu i innych tworzyw sztucznych, nazywane ogólnie w normie PN- EN 14889-2: 2006 (1) włóknami polimerowymi, stosowane są również jako zbrojenie rozproszone betonu. O roli włókien polipropylenowych wiadomo najwięcej, jako że początki ich stosowania miały miejsce ponad 40 lat temu (2). Najczęściej są to włókna o długości od 12 do 19 mm i średnicy około 20 μm , a niekiedy nawet 50–100 μm . Użycie takich włókien polipropylenowych w mieszance betonowej w ilości 0,6–1 kg/m^3 poprawia właściwości betonu na etapie wiązania i wczesnego twardnienia, redukując skutki osiadania plastycznego i skurczu termicznego, a także hamując skutki skurczu wskutek wysychania, (3-4). Nie powodują zasadniczej poprawy wytrzymałości na ściskanie czy na rozciąganie, ewentualnie wywołując niewielkie spadki wytrzymałości związane z większą porowatością betonu, ani nie poprawiają istotnie odporności stwardniałego betonu na pękanie. Mimo tego, pozytywne oddziaływanie włókien polipropylenowych na mieszankę betonową i niedojrzały beton jest często dostatecznym uzasadnieniem ich stosowania w betonach towarowych przeznaczonych na podłogi przemysłowe.

Przedmiotem pracy są właściwości mechaniczne fibrobetonu z nowymi włóknami syntetycznymi, wyprodukowanymi z polipropylenu i polietylenu w formie włókien o długości 50 mm i średnicy około 1mm. W porównaniu z dotychczas znanymi włóknami z tworzyw sztucznych należy je nazwać makrowłóknami, zgodnie z nomenklaturą normową. Celem podjętych badań było określenie wpływu makrowłókien syntetycznych na właściwości mechaniczne betonu stwardniałego w zakresie odpowiadającym potencjalnym

1. Introduction

The principles dealing with the control of mechanical properties of concrete reinforced with steel fibres are fairly well known, though the application of this material in construction is rather limited; they are mainly used for industrial floors placed on the ground.

The effectiveness of the synthetic fibres, which appeared on the market as a result of chemical industry intensive development, is less recognized so far. The fibres produced from polypropylene, polyethylene, nylon and other synthetics are generally determined in the PN- EN 14889-2: 2006 standard (1) as polymeric fibres and used as a randomly dispersed reinforcement. The polypropylene fibres have been used for over 40 years and therefore their role is better understood (2). Most frequently they show 12 to 19 mm length and about 20 μm diameter; sometimes they are 50–100 μm thick. Polypropylene fibres, as they are the concrete mixture component added in amount 0.6–1 kg/m^3 , modify concrete properties on setting and early hardening – they reduce plastic settlement and thermal shrinkage, as well as reduce the effect of drying shrinkage (3-4). Generally, they do not bring about the early compressive or tensile strength increase; even some slight strength reduction resulting from higher porosity can be observed. They do not improve significantly the brittle hardened concrete matrix fracture toughness. However, the positive impact of the polypropylene fibres on the concrete mixture and fresh concrete is often an argument for their application in ready mix concrete mixtures designated for the industrial floors.

This work focused on the properties of concrete reinforced with the newly produced, synthetic polypropylene and polyethylene fibres having 50 mm length and 1 mm diameter. They should be determined as “macro-fibres” according to the standard nomenclature and as they are compared to the fibres used previously. The investigations were carried out to find the effect of macro-fibres on the mechanical properties of reinforced concrete. The requirements corresponding to the concrete for elements placed on the ground base were taken into account.

zastosowaniom w płytach nośnych podłóg przemysłowych wylewanych na podłożu gruntowym.

2. Właściwości fibrobetonu do wymiarowania grubości podłóg przemysłowych

W praktyce inżynierskiej stosowane są trzy sposoby wymiarowania grubości betonowych i fibrobetonowych płyt nośnych podłóg przemysłowych na warstwowym podłożu gruntowym:

- wymiarowanie „spod grubego palca” lub wymiarowanie empiryczne, uwarunkowane licznymi ograniczeniami recepturowymi na składniki mieszanki betonowej, zaleceniami dotyczącymi sposobu wykonania podłogi oraz rozmieszczenia szczelin dylatacyjnych,
- wymiarowanie w zakresie sprężystym: zastosowanie uproszczonych wzorów teorii sprężystości, np. Westergarda i Heteney, do określenia naprężeń rozciągających w płycie w zależności od usytuowania obciążenia i porównaniu z naprężeniami dopuszczalnymi, określonymi długotrwałą wytrzymałością betonu na rozciąganie,
- wymiarowanie w zakresie niesprężystym: zastosowanie metody linii załomów do obliczenia siły niszczącej w zależności od wielkości i rozkładu obciążeń oraz od właściwości podłoża gruntowego oraz porównaniu jej z nośnością graniczną fibrobetonu, wyznaczoną przy uwzględnieniu zdolności przenoszenia obciążeń po zarysowaniu materiału.

Przy wykorzystaniu analitycznych metod wymiarowania można bezpośrednio związać grubość płyty podłogi przemysłowej z odpornością fibrobetonu na pękanie przy zginaniu, wyrażoną w formie wytrzymałości równoważnej fibrobetonu na zginanie (5-6). Wieloletnie doświadczenia w stosowaniu tej metody w odniesieniu do fibrobetonu z włóknami stalowymi potwierdzają jej racjonalność. Wykorzystanie pojęcia wytrzymałości równoważnej na zginanie i ewentualnie metody linii załomów w przypadku fibrobetonu z nowymi włóknami syntetycznymi wymaga określenia wpływu zawartości włókien na wytrzymałość równoważną na zginanie, na wytrzymałość na rozciąganie przy zginaniu oraz na współczynnik sprężystości.

Analityczne metody wymiarowania mają też ograniczony zakres stosowalności. Dodatkowo stosuje się konkretne wymagania dotyczące jakości podbudowy i podłoża gruntowego, rozmieszczenia szczelin dylatacyjnych, a także ograniczenia recepturowe dotyczące składników betonu. Przy projektowaniu mieszanki betonowej przyjmuje się zazwyczaj:

- uziarnienie kruszywa do 16 mm,
- zawartość cementu około 300 kg/m³, z reguły nie więcej niż 350 kg/m³,
- rodzaj cementu odpowiedni do warunków pogodowych i technologii powierzchniowego wykończenia podłogi,
- zawartość wody ograniczona wskaźnikiem w/c nie większym niż 0,55,

2. Properties of the fibre reinforced concrete used in the industrial floor thickness design

In practice there are three ways of concrete and fibre-reinforced concrete floor slabs thickness design:

- empirical design based upon numerous requirements, as the specification for particular components of concrete mixtures, floor slab placement directives and joint layout are concerned,
- design including the calculation of elastic properties: the simplified formulae are taken into account, for example those proposed by Westergaard and Heteney for tensile stress in the slab determination; these tensile stresses are discussed in terms of loading configuration and compared to those of acceptable value, resulting from the long term tensile strength,
- design in the non-elastic range: application of the refraction line method to calculate the failure force, in terms of the distribution of loadings and the characteristics of the sub-grade; failure stress should be compared with the ultimate load capacity of fibre-reinforced concrete, determined in terms of the load transfer capacity after scratch of material.

When the analytical design methods are applied, the concrete slab thickness can be directly related to the fibre-reinforced concrete fracture toughness, defined as an equivalent flexural strength (5, 6). The usefulness of this approach has been verified over many years experiences as the fibre-reinforced concrete with the steel fibres was concerned. Application of the equivalent flexural strength term together with eventually the refraction line method with new type of fibre, can be preceded by the determination of the effect of fibre percentage on this flexural strength value, on the tensile strength on bending, as well as on the elasticity coefficient in case of the fibre-reinforced concrete.

The application of the analytical methods of concrete floor thickness design is limited. Additionally the requirements dealing with the sub-grade and subsoil should be complied, as well as the configuration of joints and characteristic of concrete mixture components. The following parameters are usually taken into account at the concrete mixture design:

- aggregate fraction up to 16 mm,
- cement content about 300 kg/m³, usually no more than 350 kg/m³,
- type of cement adequate to the outdoor conditions and finishing technology,
- water content limited to the w/c not higher than 0,55,
- water reducers selected adequately to the outdoor conditions and finishing technology.

These requirements aimed first of all in the reduction of shrinkage related phenomena, such as deformations resulting from variable moisture conditions and subsequent drying. Because of the economical reasons the C 20/25 and C 25/30 class concretes are most frequently produced.

- domieszki chemiczne (redukujące zawartość wody) dobrane odpowiednio do warunków pogodowych i technologii wykończenia powierzchniowego.

Celem sformułowanych wymagań recepturowych jest przede wszystkim ograniczenie skurczu betonu (deformacji wskutek zmian wilgotności i wysychania betonu). Z powodów ekonomicznych najczęściej stosowane są klasy wytrzymałości betonu C 20/25 i C 25/30.

3. Opis badań doświadczalnych

3.1. Materiały i próbki

Zaprojektowano mieszanki betonowe z następujących składników:

- cement portlandzki CEM II B-S 32,5 – z Cementowni Góraždze,
- piasek naturalny 0–2 mm,
- grys granitowy frakcji 2–8 mm oraz 8–16 mm,
- domieszka uplastyczniająca ChrysoPlast 580 w ilości ok. 0,5% masy cementu,
- woda wodociągowa,
- włókna syntetyczne o długości 50 mm i średnicy 1 mm (właściwości włókien deklarowane przez producenta: gęstość 0,92 g/cm³, moduł Younga 5 GPa, wytrzymałość na rozciąganie 650 MPa, odporność chemiczna: pełna),
- włókna stalowe o długości 50 mm z drutu o przekroju okrągłym o średnicy 1 mm, z haczykowatymi zakończeniami po obu stronach.

3. Experimental

3.1. Materials and sampling

The following components were used in the design operation:

- Portland cement CEM II B-S 32,5 from Góraždze cement plant,
- sand 0-2 mm,
- granite aggregate; 2-8mm and 8-16mm fractions,
- plasticizer ChrysoPlast 580 added as 0,5% by weight of cement,
- water,
- synthetic fibres 50 mm length, 1 mm diameter (density – 0,92 g/cm³, Young elasticity modulus – 5 GPa, tensile strength – 650 MPa, full chemical resistance following the producer's information),
- steel fibres 50 mm length, 1 mm diameter, with hooks on the ends.

6 concrete mixtures were produced using laboratory mixer, their composition is given in Table 1. The properties of concretes mixtures tested according to the PN-EN 206-1: 2003 (7) standard are shown in Table 2.

The samples shaped as 450x800 mm slabs 100 mm thick for flexural strength tests as well the 150 mm concrete cubes for standard compressive strength and split measurements were cast. The compaction of concrete was done on a vibration table. Subsequently, the samples were subjected to the 28 days maturing in the curing chamber in standard conditions. The samples for flexural strength tests were cut from the slabs as 450x100x100 mm bars.

Tablica 1 / Table 1

PROPORTIONS OF CONCRETE MIXTURES

PROPORCJE MIESZANKI BETONOWEJ Z WŁÓKNAMI

Składniki mieszanki betonowej Components of concrete mixtures [kg/m ³]	Oznaczenie mieszanki i serii próbek Sample code					
	REF	CH2	CH3	CH4	ST 15	ST 25
Cement CEM II/B-S 32,5	284	283	285	279	282	281
Piasek / Sand 0 – 2 mm	668	665	672	664	665	666
Grys granitowy / Granite aggregate 2 – 8 mm	658	655	656	652	653	654
Grys granitowy / Granite aggregate 8 – 16 mm	560	558	563	553	557	556
Domieszka uplastyczniająca / Plastifier ChrysoPlast 580	1,43	1,42	1,43	1,41	1,41	1,41
Woda / Water	153	156	165	165	153	146
Makrowłókna syntetyczne / Synthetic micro-fibres 50x1mm	-	2	3	3,9	-	-
Włókna stalowe / Steel fibres 50 x 1,0mm	-	-	-	-	14,9	25

Wykonano 6 mieszanek betonowych, których skład podano w tablicy 1. Mieszanki zostały wykonane w betonie laboratoryjnej o wymuszonym sposobie mieszania. Właściwości mieszanki betonowej określone metodami normowymi wymienionymi w normie PN-EN 206-1: 2003 (7) przedstawione są w tablicy 2.

Z mieszanek betonowych uformowano próbki do badań na zginanie (płyty o grubości 100 mm i wymiarach w planie 450x800 mm) oraz do normowych badań wytrzymałości na ściskanie i na rozłupywanie (kostki sześciennie o boku 150 mm). Zagęszczanie betonu wykonano na stole wibracyjnym. Próbki przechowywano przez 28 dni w komorze klimatycznej w warunkach wysokiej wilgotności i kontrolowanej temperatury określonych normowo. Z płyt o grubości 100 mm zostały wycięte próbki do badań na zginanie – belki o długości 450 mm i przekroju 100x100 mm.

3.2. Procedury badawcze

3.2.1. Badanie wytrzymałości równoważnej na zginanie

Badania na zginanie zostały wykonane w laboratorium IPPT PAN przy użyciu maszyny wytrzymałościowej Lloyd EZ 50 o nośności 50 kN, sterowanej mikroprocesorowo, zgodnie z normą ASTM C 1018-94 (8).



Rys. 1. Próbkę fibrobetonową podczas badania na zginanie oraz sposób zamocowania mierników ugięcia i pomiaru względem osi obojętnej belki po obu stronach

Fig. 1. Fibre-reinforced concrete sample subjected to the flexural strength test, two-sided attachment of deflection-meters along the centre line of the beam

Tablica 2 / Table 2

WŁAŚCIWOŚCI MIESZANKI BETONOWEJ PROPERTIES OF CONCRETE MIXTURE

Właściwości mieszanki Parameter	Oznaczenie mieszanki Sample code					
	REF	CH2	CH3	CH4	ST15	ST25
Gęstość objętościowa / Volume density [kg/m ³]	2324	2320	2345	2318	2326	2330
Opad stożka / Slump [mm]	40	40	40	40	50	50
Temperatura mieszanki betonowej Temperature of concrete mixture [°C]	9	10	14	15	15	15
Zawartość powietrza / Air content [%]	3,3	3,6	2,8	3,4	3,7	4,3

3.2. Testing procedures

3.2.1. Equivalent flexural strength measurements

Flexural strength tests were carried in the IPPT PAN laboratory with the help of Lloyd EZ 50 equipment of load capacity 50 kN, with microprocessor controlled run, according to the ASTM C 1018-94 standard (8).

Experiments consisting in the 4-point bending were carried out at the 300 mm distance of bearings. The sample attachment on testing is shown in Fig. 1. The loading was controlled (positioning control) at assumed constant rate of beam deflection, measured from both sides of the sample and equal 0,5 mm/min. The bending load as well as the deflection of sample was measured during the test run. These data were collected by computer system. A special sample holder, according to the ASTM C 1018 standard, was used to fix the deflection-meter with aim to avoid the errors during the tests [Fig. 1]. The data were processed according to the JSCE SF-4 (9) Japanese standard and ASTM C 1018 American standard.

3.2.2. Determination of the fibre-reinforced concrete coefficient of elasticity

The coefficient of elasticity of the fibre-reinforced concrete was determined by the following two methods:

- by analysis of load plotted vs. deflection for the bars subjected to bending in the linear – elastic range,
- by resonance method using Grinsonic device, according to the ASTM C 215-02 standard (10).

Analysis of the static bending plots is based upon the relationship between the deflection and load for the element subjected to bending

Próby 4-ro punktowego zginania wykonano stosując rozstaw podpór 300mm. Na rysunku1 pokazano próbkę w trakcie badania. Proces obciążania sterowany był przemieszczeniowo przy założeniu stałej prędkości ugięcia belki, mierzonego po obu stronach belki, wynoszącej 0,5 mm/min. W trakcie badania mierzono zarówno obciążenie zginające, jak i ugięcie próbki, oraz rejestrowano te wielkości przy użyciu komputerowego systemu zbierania danych. Aby uniknąć błędów w pomiarach ugięcia stosowano specjalny uchwyt do zamocowania miernika ugięcia, zgodny z wymaganiami normy ASTM C 1018 (rys. 1). Interpretację wyników badań przeprowadzono zgodnie z normą japońską JSCE SF-4 (9) i amerykańską ASTM C-1018.

3.2.2. Badanie współczynnika sprężystości fibrobetonu

Współczynnik sprężystości fibrobetonu wyznaczono dwiema metodami:

- metodą analizy wykresów obciążenia w funkcji ugięcia belek zginanych w zakresie liniowo-sprężystym,
- metodą rezonansową przy użyciu urządzenia Grindosonic, według zasad normy ASTM C 215-02 (10).

Analiza wykresów statycznego zginania belek polega na wykorzystaniu znanej z wytrzymałości materiałów zależności między ugięciem i obciążeniem elementu zginanego w zakresie odkształceń liniowych i sprężystych:

$$u = \frac{23PL^3}{108E_{fl}bh^3} \quad [1]$$

gdzie u - ugięcie belki,
 P - obciążenie zginające,
 L - rozpiętość między podporami,
 E_{fl} - współczynnik sprężystości,
 b - szerokość belki,
 h - wysokość belki.

Po przekształceniu powyższego wzoru, nadano mu formę przyrostową, aby określał tzw. sieczny współczynnik sprężystości:

$$E_{fl} = \frac{23L^3 \Delta P}{108bh^3 \Delta u} \quad [2]$$

gdzie ΔP i Δu oznaczają odpowiadające sobie przyrosty siły i ugięcia belki. Współczynnik sprężystości wyznaczono w zakresie obciążeń od 10% do 60% maksymalnego obciążenia zginającego.

Metoda rezonansowa przy użyciu urządzenia Grindosonic polegała na wzbudzeniu drgań sprężystych elementu próbnego i pomiarze częstotliwości drgań, z której oblicza się odpowiedni moduł sprężystości. Do badania stosowano próbki pryzmatyczne, wywołując dwa sposoby drgań próbki: drgania zginające i drgania skrętne. Wywołanie żądanej formy drgań wymaga podparcia elementu próbnego w przewidywanych węzłach oraz przyłożenia miernika piezoelektrycznego w kierunku oczekiwanych drgań. W przypadku próbek pryzmatycznych uzyskuje się w ten sposób dwie cechy sprężyste materiału: E_{res} rezonansowy współczynnik sprężystości

in the range of linear and elastic deformation. This relationship is known in the mechanics of materials and can be described as follows:

$$u = \frac{23PL^3}{108E_{fl}bh^3} \quad [1]$$

where u – deflection of beam,
 P – bending load,
 L – span between supports,
 E_{fl} - coefficient of elasticity,
 b – beam width,
 h - beam height.

This equation has been transformed to the increment form, in which the so-called secant coefficient of elasticity is determined:

$$E_{fl} = \frac{23L^3 \Delta P}{108bh^3 \Delta u} \quad [2]$$

where ΔP and Δu are the increments of load and deflection respectively. The coefficient of elasticity was determined in the range of load corresponding to 10% ÷ 60% maximum bending load.

The resonance method using the Grindosonic equipment consisted in the induction of elastic vibrations of tested element and the frequency measurements; they are the base of the elasticity modulus calculation. The tests were carried out on the prismatic samples; the vibrations were generated by two ways: bending and torsion. The tested element must be supported in proper nodes for every specific form of vibration, as well as a piezoelectric measuring device must be applied in the right direction. In case of prismatic samples the two elastic features of material are obtained: E_{res} – the resonance coefficient of elasticity at bending and ν – the Poisson's ratio; for this purpose the commonly known relationships from the theory of elasticity was taken into account.

3.2.3. Compressive strength tests

The compressive strength tests were carried out on the 150 mm concrete cubes after 28 days curing, using the Controls press with load capacity 300 kN.

4. Results

The examples of illustrations showing the bending load plotted vs. deflection of fibre-reinforced concrete samples are presented in Figs 2–4; in Fig. 5 the plot for the control concrete sample, without fibres, is given. It is clearly seen that the type and content of fibres affect significantly the ductility of reinforced concrete, as compared to the brittle failure of reference concrete with no fibres.

All the plots relating to the fibre-reinforced concrete show a rapid drop of transferred load when the maximum value is exceeded; however, the samples transferred substantial bending load after scratch.

przy zginaniu oraz ν współczynnik Poissona, przy czym wykorzystuje się znane zależności teorii sprężystości.

3.2.3. Badania wytrzymałości na ściskanie

Badania wytrzymałości na ściskanie na próbkach sześciennych o boku 150 mm przeprowadzono przy użyciu prasy Controls o nośności 300kN po upływie 28 dni pielęgnacji betonu.

4. Wyniki badań

Przykłady otrzymanych wykresów obciążenia zginającego w funkcji ugięcia belek fibrobetonowych przedstawione są na rysunkach 2-4, natomiast na rysunku 5 przedstawiono wykres zginania próbki z betonu porównawczego bez włókien. Wyraźnie zilustrowany jest istotny wpływ zawartości i rodzaju włókien na ciągliwość fibrobetonu, w porównaniu do kruchego zniszczenia betonu bez włókien.

Na wszystkich wykresach zginania próbek fibrobetonowych obserwuje się dość gwałtowny spadek przeniesionego obciążenia po przekroczeniu wartości maksymalnej, z tym, że po zarysowaniu próbki nadal przenosiły znaczące obciążenie zginające.

Dane liczbowe charakteryzujące fibrobeton przy zginaniu podano w tablicach 3-4, stosując następujące oznaczenia parametrów wytrzymałościowych, określonych na podstawie wykresów zginania:

- P_{max} - maksymalne obciążenie zginające, N,
- u_0 - ugięcie belki odpowiadające maksimum obciążenia, mm,
- wytrzymałość $f_{\#}$ - wytrzymałość na rozciąganie przy zginaniu (w skrócie nazywana wytrzymałością na zginanie), MPa,
- wytrzymałość równoważna f_{eq} MPa - wytrzymałość równoważna na zginanie, obliczona według normy japońskiej SF-4 według następującego wzoru:

$$f_{eq} = \frac{T_b L}{\delta_b b h^2} \quad [3]$$

gdzie: T_b - pole powierzchni pod wykresem obciążenie-ugięcie, do wielkości ugięcia δ_b równej 1/150 rozpiętości belki, N mm,

L - rozpiętość belki (=300 mm), mm,

b - szerokość próbki, mm,

h - wysokość próbki, mm.

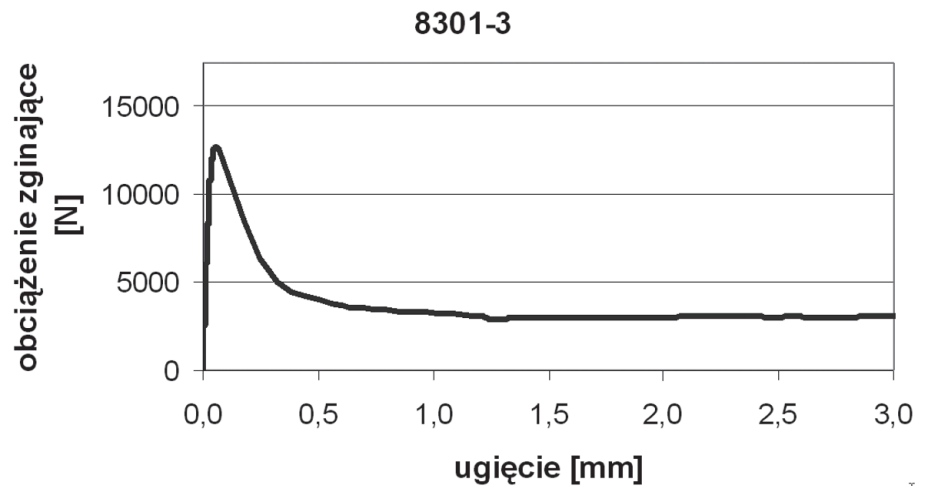


Fig. 2. Example plot of bending load plotted vs. deflection of fibre-reinforced concrete samples with the synthetic macro-fibres added as 2 kg/m³

Rys. 2. Przykład wykresu obciążenia zginającego w funkcji ugięcia próbki z fibrobetonu z makrowłóknami syntetycznymi w ilości 2 kg/m³

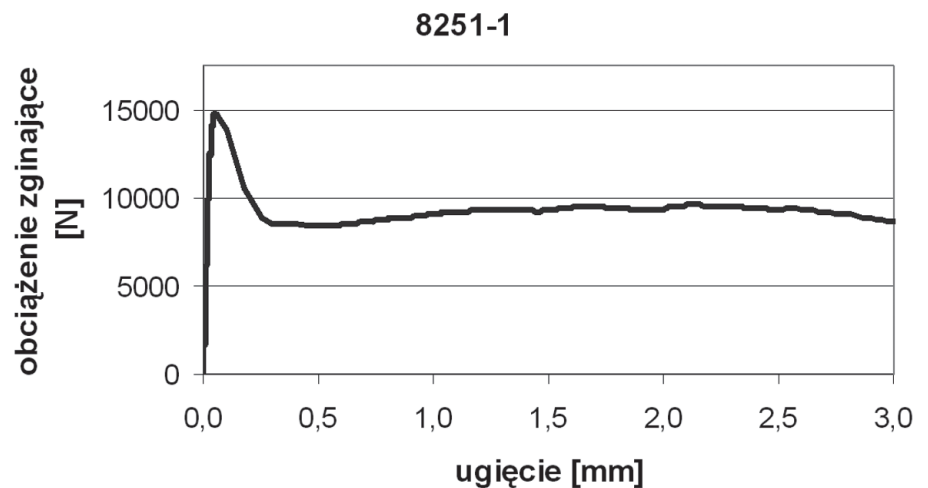


Fig. 3. Example plot of bending load plotted vs. deflection of fibre-reinforced concrete samples with the synthetic macro-fibres added as 4 kg/m³

Rys. 3. Przykład wykresu obciążenia zginającego w funkcji ugięcia próbki z fibrobetonu z makrowłóknami syntetycznymi w ilości 4 kg/m³

The data relating to the fibre-reinforced concrete, based on the plots obtained from bending test are given in Tables 3-4; the following notation was used for strength parameters:

- P_{max} – maximum bending load, N,
- u_0 – deflection of the beam corresponding to the maximum load, mm,
- strength value $f_{\#}$ - tensile strength on bending (in short form: flexural strength), MPa,
- equivalent strength f_{eq} [MPa] – equivalent flexural strength, calculated according to the Japanese standard SF-4 following the equation:

$$f_{eq} = \frac{T_b L}{\delta_b b h^2} \quad [3]$$

where: T_b – area under the load – deflection plot, to the deflection

Należy zwrócić uwagę na rozrzuty wyników przeprowadzonych badań w grupach próbek wykonanych z jednego rodzaju betonu. Odchylenie standardowe wytrzymałości na rozciąganie przy zginaniu mieściło się w zakresie 9–13%, a zatem odpowiadało zazwyczaj obserwowanym rozrzutom wyników badania wytrzymałości betonu na rozciąganie. Odchylenie standardowe wytrzymałości równoważnej na zginanie wynosiło od 8 do 26% w przypadku makrowłókien syntetycznych, natomiast sięgało 41% w przypadku włókien stalowych. Rozrzuty wyników f_{eq} sięgające 25%, a nawet 30%, były rejestrowane w innych, wcześniejszych badaniach fibrobetonu z włóknami stalowymi (11).

W tabelicy 4 podano wyniki oznaczenia współczynnika sprężystości E_f metodą analizy wykresów zginania oraz wyniki oznaczenia współczynnika sprężystości metodą rezonansową E_{res} , a także współczynnika Poissona. Nie należy utożsamiać podanych wartości współczynnika sprężystości z modułem sprężystości E , który normowo wyznacza się przy ścisaniu statycznym betonu. Wartości rezonansowego współczynnika sprężystości, jak też statycznie określonego współczynnika sprężystości przy zginaniu służą do względnej oceny zmian struktury betonu wskutek wprowadzenia zbrojenia rozproszonego; współczynnik sprężystości E_f ma także znaczenie kontrolne – służy do sprawdzenia poprawności pomiarów ugięcia.

Wytrzymałość na ściskanie na podstawie wartości średnich z badań na 3 próbkach w każdej serii podana została w tabelicy 5. Wartości średnie wytrzymałości na ściskanie po 28 dniach dojrzewania mieściły się w zakresie od 28 MPa do 44 MPa, a zatem orientacyjnie odpowiadały klasie wytrzymałości co najmniej C20/25. Ze

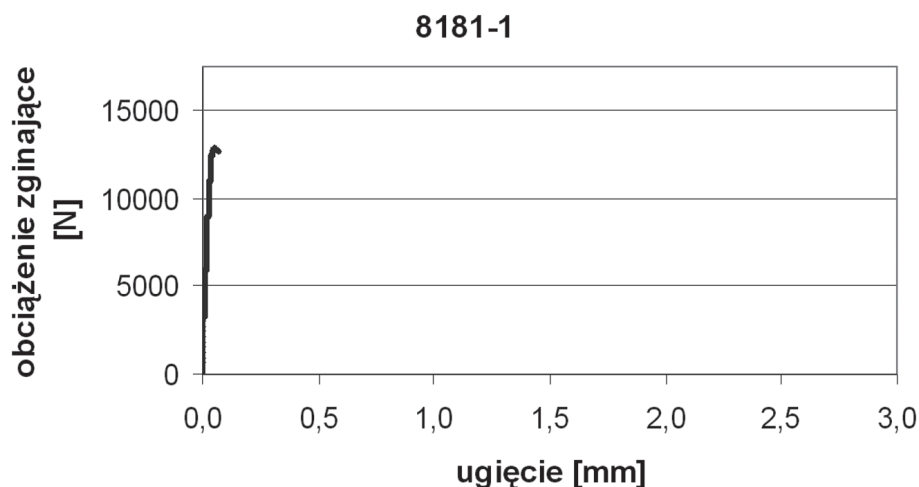


Fig. 5. Example plot of bending load plotted vs. deflection of the control concrete sample without fibres

Rys. 5. Przykład wykresu obciążenia zginającego w funkcji ugięcia próbki z betonu porównawczego tj. bez włókien

8253-2

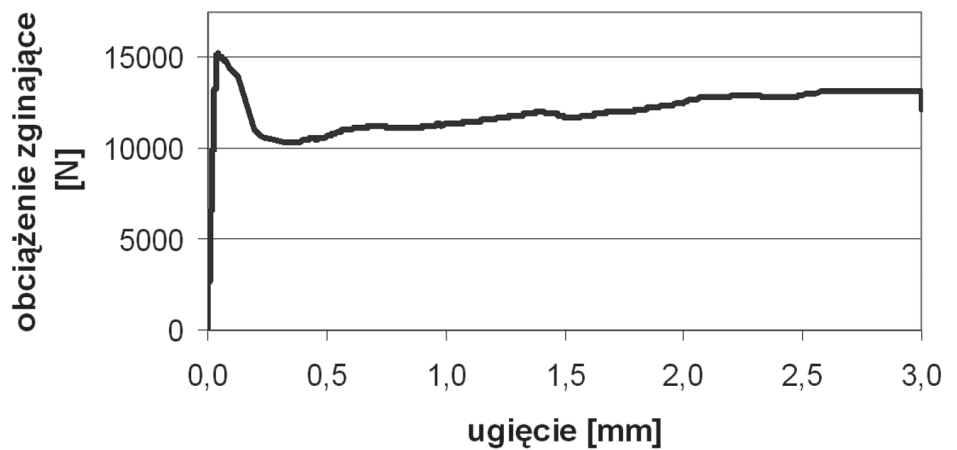


Fig. 4. Example plot of bending load plotted vs. deflection of fibre-reinforced concrete samples with the steel 50x1,0 mm fibres added as 25 kg/m³

Rys. 4. Przykład wykresu obciążenia zginającego w funkcji ugięcia próbki z fibrobetonu z włóknami stalowymi 50x1,0mm w ilości 25 kg/m³

value δ_b equal to the 1/150 beam span, N mm,

L – beam span (=300 mm), mm,

b – sample width, mm,

h – sample height, mm.

One should pay attention to the scatter of results for particular series of samples produced from one concrete mixture. The standard deviations for the tensile strength on bending were in the range 9–13%, that is corresponding to the scatter of flexural strength results commonly observed for concretes. The standard deviations for the equivalent flexural strength were in the range from 8 to 26% in case of synthetic macro-fibres; for steel fibres they attained the 41% value. The scattering of f_{eq} value reaching 25% or even 30% was found in some earlier reports dealing with the investigation of fibre-reinforced concrete with steel fibres (11).

In Table 4 the coefficient of elasticity values E_f , based on the plots obtained on bending, the coefficient of elasticity results determined using the resonance method, as well as Poisson's ratio values are shown. One should not identify these data with elasticity modulus E which is derived from the static compression of concrete, according to the standard. The resonance coefficient of elasticity, as well as the coefficient of elasticity determined by static method on bending serve as a way of evaluation of structural changes accompanying the dispersed fine reinforcement introduction; the coefficient of elasticity E_f is of control importance too – it serves as a verification of deflection measurements correctness.

The compressive strength is given in Table 5 as mean values from 3 measurements in

Tablica 3 / Table 3

WYNIKI BADANIA WYTRZYMAŁOŚCI NA ROZCIĄGANIE PRZY ZGINANIU I WYTRZYMAŁOŚCI RÓWNOWAŻNEJ NA ZGINANIE FIBROBETONU I BETONU BEZ WŁÓKIEŃ (**WARTOŚCI ŚREDNIE** I ODCHYLENIE STANDARDOWE W SERII LICZĄCEJ 6 PRÓBEK)

THE RESULTS OF THE TENSILE STRENGTH ON BENDING AND EQUIVALENT FLEXURAL STRENGTH TESTS FOR FIBRE-REINFORCED CONCRETES AND CONCRETE WITHOUT FIBRES (**MEAN VALUES** AND STANDARD DEVIATIONS FOR THE 6-SAMPLE SERIES)

Oznaczenie serii Series	Obciążenie maksymalne Maximum load P_{max} [kN]	Ugięcie u_0 przy P_{max} Deflection u_0 at P_{max} [mm]	Wytrzymałość na rozciąganie przy zginaniu Tensile strength on bending f_t [MPa]	Wytrzymałość równoważna na zginanie Equivalent flexural strength f_{eq} [MPa]
REF	13,18	0,057	3,95	-
	1,72	0,008	0,51	-
CH_2	12,57	0,049	3,77	1,30
	1,33	0,008	0,40	0,10
CH_3	13,13	0,048	3,94	1,87
	1,18	0,011	0,35	0,26
CH_4	12,94	0,048	3,88	2,18
	1,32	0,006	0,39	0,57
ST_15	15,77	0,060	4,73	1,70
	1,38	0,006	0,41	0,70
ST_25	12,74	0,050	3,82	1,95
	1,69	0,007	0,51	0,80

wzrostem zawartości włókien stwierdzono spadek wytrzymałości na ściskanie, który można bezpośrednio skorelować ze wzrostem wskaźnika wodno-cementowego od 0,542 do 0,595.

Obserwacje postaci zniszczenia próbek fibrobetonowych podanych zginaniu wykazały, że nawet przy znaczących ugięciach belek, powyżej L/100, próbki zachowywały integralność. Po ich wymuszonym rozerwaniu stwierdzono, że całkowite zniszczenie było związane z wyciąganiem włókien z zaczynu cementowego matrycy, nie zaobserwowano zrywania włókien. Na rysunku 6 przedstawiono widok powierzchni przełomu zginanych próbek fibrobetonowych z makrowłóknami syntetycznymi. Widoczne włókna są rozmieszczone przypadkowo, ale dość równomiernie, na całej powierzchni.

each sample series. The mean compressive strength values after 28 days maturing were in the range from 28 MPa to 44 MPa, that is corresponding to the concrete class at least C20/25. The compressive strength decrease with fibre content was found; this can be directly correlated with water to cement ratio increasing from 0.542 to 0.595.

The observations of fractured surfaces after bending reveal the integrity of samples even at significant deflection, over L/100. It

Tablica 4 / Table 4

WYNIKI OKREŚLENIA WSPÓŁCZYNNIKA SPRĘŻYSTOŚCI FIBROBETONU METODĄ ANALIZY WYKRESÓW ZGINANIA ORAZ METODĄ REZONANSOWĄ (**WARTOŚCI ŚREDNIE** I WSPÓŁCZYNNIK ZMIENNOŚCI W SERII LICZĄCEJ 6 PRÓBEK)

THE RESULTS OF THE FIBRE-REINFORCED CONCRETE COEFFICIENT OF ELASTICITY DETERMINATION BY BENDING PLOTS ANALYSIS AND BY RESONANCE METHOD (**MEAN VALUES** VARIABILITY COEFFICIENT FOR THE 6-SAMPLE SERIES)

Oznaczenie serii Series	Współczynnik sprężystości Coefficient of elasticity E_f [GPa]	Współczynnik sprężystości Coefficient of elasticity E_{res} [GPa]	Współczynnik Poissona Poisson's ratio [-]
REF	24,6	37,1	0,17
	10%	3%	13%
CH_2	26,4	38,3	0,18
	6%	2%	5%
CH_3	26,4	37,3	0,16
	6%	3%	14%
CH_4	24,0	32,9	0,18
	14%	2%	14%
ST_15	25,1	34,0	0,16
	6%	3%	29%
ST_25	22,9	34,7	0,18
	10%	4%	11%

5. Analiza i dyskusja wyników

Nie stwierdzono systematycznego i znaczącego wpływu zawartości włókien na wytrzymałość na rozciąganie przy zginaniu; w porównaniu do średniej wartości f_t w przypadku betonu bez włókien, wartości f_t dla fibrobetonów zmieniły się w zakresie $\pm 5\%$, z wyjątkiem fibrobetonu serii CH4 wykazującym spadek f_t

Tablica 5 / Table 5

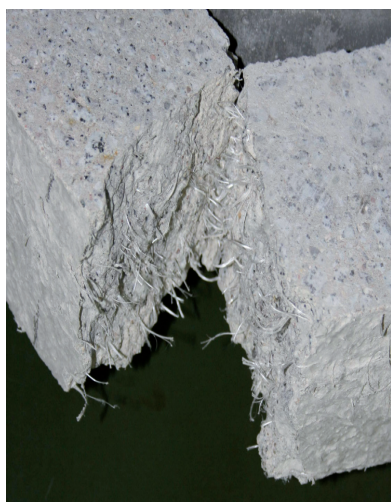
WYNIKI OKREŚLENIA WYTRZYMAŁOŚCI NA ŚCISKANIE f_c I GĘSTOŚCI OBJĘTOŚCIOWEJ BETONU W PRÓBKACH PO 28 DNIACH DOJRZEWANIA (WARTOŚCI ŚREDNIE Z 3 PRÓBEK)

COMPRESSIVE STRENGTH AND VOLUME DENSITY OF SAMPLES AFTER 28 DAYS MATURING (MEAN VALUES FROM 3 MEASUREMENTS)

Oznaczenie serii Series	Wytrzymałość na ściskanie Compressive strength [MPa]	Gęstość objętościowa Volume density [kg/m ³]	Wskaźnik w/c
REF	44,2	2400	0,539
CH_2	41,1	2380	0,551
CH_3	35,3	2365	0,579
CH_4	27,8	2335	0,591
ST_15	40,3	2405	0,542
ST_25	37,5	2385	0,520

o ok. 15%. Należy to przypisać gorszemu zagęszczeniu betonu z włóknami w ilości 4 kg/m³, co zresztą jest skorelowane z mniejszą gęstością betonu i mniejszą wytrzymałością na ściskanie.

Stwierdzono znaczący wzrost wytrzymałości równoważnej na zginanie ze wzrostem zawartości makrowłókien syntetycznych. Wzrost zawartości włókien stalowych również wywołał wzrost wytrzymałości równoważnej na zginanie, z tym że rozrzut wyników w tym przypadku był duży, prawdopodobnie na skutek niejednorodności rozmieszczenia włókien w betonie. Średnie wartości f_{eq} w przypadku fibrobetonu z włóknami stalowymi odpowiadały wcześniej uzyskanym rezultatom przy zastosowaniu włókien stalowych od różnych producentów, ale o jednakowym kształcie typu Dramix, tzn. z haczykowatymi zakończeniami na końcach. Jak podano w pracy (11) w zakresie zawartości włókien, odpowiadających dozowaniu włókien od 15 do 40 kg/m³, znana jest liniowa korelacja średnich wartości f_{eq} ze wzrostem stopnia zbrojenia włóknistego ($V_f / l/d$) według następującego wzoru:



Rys. 6. Widok powierzchni przełomu zginanej próbki fibrobetonowej z makrowłóknami syntetycznymi

Fig. 6. Fractured surface of macro-fibre reinforced sample after bending.

has been found after forced tensile failure that the total destruction can attributed rather to the pull out of fibres from the matrix than to the failure of fibres themselves. In fig. 6 the morphology of the fractured surface of macro-fibre reinforced sample after bending was illustrated. The fibres are randomly dispersed throughout the surface, however the distribution seems to be rather uniform.

5. Discussion

Systematic and significant relationship between the fibre content in concrete mixture and the tensile strength on bending has not been found. As compared to the f_{fl} mean value for control concrete without fibres, the f_{fl} values for fibre-reinforced concretes change in the range $\pm 5\%$, except of the CH4 series where about 15% decrease is observed. This should be attributed to the poor densification of concrete mixture with 4 kg/m³ fibres content. These results are well correlated with lower concrete volume density and lower compressive strength.

A substantial growth of the equivalent flexural strength with the synthetic micro-fibre content was found. The steel fibres content increase resulted in the equivalent flexural strength rise too, however the scatter of results was high in this case, probably because of the non-uniform distribution of fibres in concrete. The mean f_{eq} values in case of the steel fibre-reinforced concrete correspond to the previously obtained results for concretes with the steel fibres from different sources but with the same Dramix - type shape. As it has been reported [11], for fibre content from the range between 15 and 40 the linear correlation of f_{eq} mean values and the so-called "degree of reinforcement" ($V_f / l/d$) takes place following the equation:

$$f_{eq} = 0,73 + 8,06V_f \frac{l}{d} \quad [4]$$

where l and d are the steel fibre length and diameter respectively and V_f is the volume ratio of fibres in concrete. This formula relates to the CEM I based concrete. As it is commonly known the hydration degree of blended cements paste at age of 28 days is significantly

$$f_{eq} = 0,73 + 8,06V_f \frac{l}{d} \quad [4]$$

w którym l i d oznaczają odpowiednio długość i średnicę włókien stalowych, V_f oznacza objętościową zawartość włókien w betonie. Powyższy wzór dotyczy betonu na cemencie CEM I. Jak wiadomo, stopień hydratacji cementów mieszanych w wieku 28 dni jest znacznie niższy niż cementu czystego portlandzkiego, co może wpływać na mikrostrukturę kontaktu zaczynu z włóknami i zróżnicowaną przyczepność włókien do zaczynu (12-13). Można stwierdzić, że wytrzymałość równoważna na zginanie fibrobetonu na cemencie CEM II B-S z włóknami stalowymi nie odbiega znacząco od wartości znanych, dotyczących podobnych włókien i betonu o podobnej klasie wytrzymałości.

Na potrzeby wymiarowania fibrobetonowych podłóg przemysłowych (14-15) wprowadza się pojęcie tzw. wskaźnika wytrzymałości równoważnej R_e w formie stosunku wytrzymałości równoważnej na zginanie do wytrzymałości na rozciąganie przy zginaniu. Wskaźnik wytrzymałości równoważnej jest uzależniony od rodzaju i zawartości włókien w fibrobetonie oraz ich współpracy z matrycą, toteż jest uznawany za jeden z najważniejszych parametrów, świadczących o efektywności zbrojenia rozproszonego w betonie. Stwierdzono liniową korelację wskaźnika wytrzymałości równoważnej i zawartości makrowłókien syntetycznych według następującego wzoru:

$$R_e = 0,13 + 0,109 * W_f, \quad R^2 = 0,98 \quad [5]$$

przy czym W_f oznacza masę makrowłókien wyrażoną w kg/m^3 .

Wpływ rodzaju i zawartości włókien na średni współczynnik sprężystości przy zginaniu nie był ani systematyczny ani znaczący. Współczynniki sprężystości mieściły się w zakresie od 22,9 GPa do 26,4 GPa i wykazywały małe rozrzuty w grupach próbek. W porównaniu z betonem bez włókien współczynniki sprężystości fibrobetonu mieszczą się w granicach $\pm 7\%$; spadek (niewielki) wartości E_{η} zanotowano jedynie w przypadku fibrobetonu serii CH4 i fibrobetonu serii ST25. Z różnych publikacji znane są obserwacje niewielkiego spadku współczynnika sprężystości fibrobetonu ze wzrostem zawartości włókien.

Analizując wyniki rezonansowego badania właściwości sprężystych próbek można stwierdzić podobny wpływ rodzaju i zawartości włókien. Względne różnice średnich wartości E_{res} w porównaniu z betonem bez włókien mieściły się w granicach -11% $+3\%$, przy czym największy spadek wartości E_{η} zanotowano w przypadku fibrobetonu serii CH4. Systematyczna różnica wartości E_{η} i E_{res} określona w przybliżeniu w sposób następujący:

$E_{res} = 1,4 \div 1,5 E_{\eta}$, jest znana i uwarunkowana zasadniczymi różnicami metodyki określania tych wartości. W wyniku badania właściwości sprężystych metodą rezonansową uzyskano potwierdzenie tendencji stwierdzonych przy statycznej analizie wykresów zginania. Ponadto uzyskano określenie wartości współczynnika Poissona w zależności od rodzaju badanego betonu. Wartości średnie współczynnika Poissona mieściły się w granicach 0,16-0,18, były więc zbliżone do wartości rejestrowanych w innych, wcześniejszych badaniach fibrobetonu.

lower than the value for the neat portland cement paste. This could impact the microstructure of transition zone paste – fibre and different adhesion between them (12–13).

One can find that the equivalent flexural strength of fibre-reinforced concrete in the CEM/II B-S with the steel fibres does not decline significantly from that for the known values, relating to the similar fibres and concretes attributed to the similar class.

The so-called equivalent strength coefficient R_e , as an equivalent flexural strength to the tensile strength on bending ratio is introduced in the concrete ground floor thickness design (14-15). This coefficient depends on the fibre type and content in the fibre-reinforced concrete, as well as on their compatibility with the matrix; therefore this is an important parameter, reflecting the effectiveness of dispersed reinforcement. The linear correlation between the equivalent strength coefficient and macro-fibres content, meeting the following equation was found:

$$R_e = 0.13 + 0.109 * W_f, \quad R^2 = 0.98 \quad [5]$$

where W_f – this is the macro-fibres mass in kg/m^3 .

The effect of macro-fibres type and content on the elasticity coefficient on bending was neither systematic nor significant. The elasticity coefficients values were in the range from 22,9 GPa to 26,4 GPa with low scatter in particular groups. The elasticity coefficients, as compared to the elasticity coefficient for control concrete, were in the range $\pm 7\%$; some reduction of value were observed only in case of fibre-reinforced concrete series CH4 and fibre-reinforced concrete series ST25. The elasticity coefficient of fibre-reinforced concrete decrease accompanying the fibre content increase has been reported.

Analyzing of the elastic properties, as determined by resonance examination, one can find a similar role of the micro-fibres type and content. The relative differences of E_{res} mean values, as compared to the concrete without fibres, were in the range from -11% to $+3\%$; the highest E_{η} reduction was observed in case of fibre-reinforced concrete series CH4. The systematic difference between the E_{η} and E_{res} values can be approximately given as $E_{res} = 1.4 \div 1.5 E_{\eta}$; this is known as resulting from the basic difference between the methods leading to E_{η} and E_{res} determination.

As a result of the elastic properties determination by resonance method the trends found by statistical analysis of bending plots were proved. Additionally the values of Poisson's ratio were determined as a function of the type of concrete. The mean Poisson's ratio values were in the range 0.16–0.18; that is they were similar to those reported previously for fibre-reinforced concretes.

The compressive strength decrease should be considered in more details in term of the concrete mixture composition, as given in Table 2 and 3. At increasing fibre content the water content increased too in order to achieve the required consistency. The water to cement ratio increase from 0.542 to 0.595 strongly promoted the compressive strength drop. Additionally the compressive strength was affected by higher porosity which was the consequence of

Stwierdzony spadek wytrzymałości na ściskanie wymaga dodatkowego komentarza na podstawie składu mieszanki betonowej podanego w tablicach 2 i 3. Przy wzrastającej zawartości włókien, aby utrzymać pożądaną konsystencję mieszanki, zwiększona została zawartość wody. Wzrost wskaźnika wodno-cementowego od 0,542 do 0,595 miał zasadniczy wpływ na zarejestrowany spadek wytrzymałości. Dodatkowo, negatywny wpływ na wytrzymałość na ściskanie betonu miała większa porowatość wynikająca z trudności w prawidłowym zagęszczeniu mieszanki przy wysokich zawartościach włókien. Negatywny wpływ włókien na wytrzymałość na ściskanie znany jest także z innych badań (16). Zaleca się, aby negatywny efekt włókien na urabialność mieszanki betonowej był rekompensowany zwiększoną dawką domieszki uplastyczniającej, lub zastosowaniem superplastyfikatora o silniejszym działaniu upłynniającym, zamiast podwyższania zawartości wody.

6. Wnioski

Na podstawie przeprowadzonych badań można sformułować następujące wnioski.

1. Charakterystyka mechaniczna przy zginaniu fibrobetonu z makrowłóknami syntetycznymi oraz z włóknami stalowymi była jakościowo podobna: w obu przypadkach włókien stwierdzono ciągliwość materiału ujawniającą się jako zdolność do przenoszenia znaczących obciążeń rozciągających po powstaniu zarysowań oraz radykalny wzrost odporności na pękanie w porównaniu z betonem bez włókien.
2. Wytrzymałość równoważna na zginanie fibrobetonu z makrowłóknami syntetycznymi 50x1mm wynosiła średnio 1,30 MPa, 1,88 MPa i 2,18 MPa, odpowiednio przy zastosowaniu włókien w ilości 2, 3 i 4 kg/m³. Wytrzymałość równoważna na zginanie fibrobetonu z włóknami stalowymi 50x1,0 mm wynosiła średnio 1,70 MPa i 1,95 MPa, odpowiednio przy zastosowaniu włókien w ilości 15 i 25 kg/m³.
3. Wskaźnik wytrzymałości równoważnej na zginanie wzrastał ze wzrostem zawartości włókien i wynosił średnio od 0,34 do 0,56 w badanych zakresie rodzajów i zawartości włókien.
4. Efekty stosowania makrowłókien syntetycznych jak zbrojenia rozproszonego betonu w elementach poddanych obciążeniom zginającym były następujące:
 - znaczący wzrost wytrzymałości równoważnej na zginanie i wskaźnika wytrzymałości równoważnej ze wzrostem zawartości włókien,
 - brak istotnego wpływu na wytrzymałość na rozciąganie przy zginaniu,
 - brak istotnego wpływu na współczynnik sprężystości przy zginaniu.
5. Stosowanie wysokich zawartości ≥ 4 kg/m³ makrowłókien syntetycznych w betonie wymaga odpowiednio silnego upłynnienia mieszanki przy użyciu domieszek chemicznych.

difficulties with homogenization of concrete mixture at high fibre content. The negative effect of fibre on the compressive strength is known from the other reports (16). Therefore, to compensate the negative effect of fibre on the workability, it is recommended to use higher dosage of plasticizer or superplasticizer with better effectiveness, instead of water content increase.

6. Conclusions

The following conclusions can be drawn from the investigation presented above:

1. Mechanical characteristics of fibre-reinforced concrete with the synthetic macro-fibres on bending was similar to the characteristics of concrete with the steel fibres: in both cases the ductility of material was improved; it revealed as a ability of the substantial load transfer, after the crack formation, as well as the extraordinary fracture toughness, as compared to the concrete without fibre.
2. The equivalent flexural strength of fibre-reinforced concrete with the synthetic 50x1 mm macro-fibres was 1,30 MPa, 1,88 MPa and 2.18 MPa at introducing the fibres in amount 2, 3 and 4 kg/m³ respectively. The mean equivalent flexural strength of fibre-reinforced concrete with the steel 50x1mm fibres was 1.70 MPa and 1.95 MPa at fibre content 15 and 25 kg/m³ respectively.
3. The equivalent flexural strength coefficient increased with fibre content; the mean value was in the range from 0.34 to 0.56 for the type and amount of fibre used in this study.
4. Application of the synthetic macro-fibres as a randomly dispersed reinforcement in the elements subjected to bending load resulted in the following effects:
 - significant increase of the equivalent flexural strength and equivalent flexural strength //coefficient with fibre content,
 - no significant effect on the flexural strength,
 - no significant effect on the elasticity coefficient on bending.
5. At high synthetic fibre content in concrete, higher than 4 kg/m³, the concrete mixture should be fairly well plasticized with admixtures.

Podziękowanie

Badania zostały sfinansowane przez Chryso Polska Sp. z o.o.

Literatura / References

1. Norma PN-EN 14889-2: 2006 Włókna do betonu. Część 2: Włókna polimerowe. Definicje, wymagania i zgodność
2. A.M.Brandt, Cement based composites: materials, mechanical properties and performance. E & FN SPON, London 1995, 470 s. (wznowienie - 2008)
3. P. Balaguru, Contribution of fibers to crack reduction of cement composites during the initial and final setting period, ACI Materials Journal, 91, 1994, 280-288
4. N.S.Berke, M.P.Dallaire, The effect of low addition rate of polypropylene fibers on plastic shrinkage cracking and mechanical properties of concrete, in "Fiber Reinforced Concrete: Developments and Innovations", edited by J.I.Daniels and S.P.Shah, ACI SP-142, 1994, 19-42
5. D. Beckett, Thickness design methods for concrete industrial ground floors, Concrete, Vol. 32, No. 6, 1998, 12-16.
6. M.A.Glinicki, Ocena i projektowanie fibrobetonów na podstawie wytrzymałości równoważnej, DROGI i MOSTY, nr 3/2002, 5-36
7. Norma PN-EN 206-1: 2003 Beton. Wymagania, właściwości, produkcja, zgodność
8. Norma ASTM C 1018-94 Standard Test Method for Flexural Toughness and First-Crack Strength of Fiber-Reinforced Concrete (Using Beam With Third-Point Loading)
9. Norma japońska: Standards for Test Methods of Fiber Reinforced Concrete, JCI SF-4 - Method of Test for Flexural Strength and Flexural Toughness of Fiber Reinforced Concrete, Concrete Library No.50, Japan Society of Civil Engineers, 1984
10. Norma ASTM C 215-02 Standard Test Method for Fundamental Transverse, Longitudinal, and Torsional Resonant Frequencies of Concrete Specimens
11. M. A. Glinicki, A. Litorowicz, M. Zieliński: Interpretacja badań odporności fibrobetonów na pękanie przy zginaniu, XLVII Konferencja Naukowa KILiW PAN i KN PZITB, Krynica 2001, Tom 1, 307-314.
12. J.Śliwiński, T.Zych: Contact zone between cement paste and fibre and its influence on the water permeability of fibre reinforced concrete, Brittle Matrix Composites-5, eds. A.M.Brandt, V.C.Li and I.H.Marshall, Bigraf & Woodhead, Warsaw 1997, 54-63
13. W.Pichór, Rola i budowa granicy kontaktowej włókno-zaczyn w kompozytach cementowych z włóknami polimerowymi, Praca doktorska, AGH Kraków, 1998
14. J.Knapton, Research into design and construction of laser screeded industrial floors, in: Radical Concrete Technology, ed. R.K.Dhir and P.C.Hewlett, E&FN Spon, London, 1996, 543-558
15. Concrete Industrial Ground Floors. A guide to their design and construction. Concrete Society Technical Report No 34, The Concrete Society, Slough UK, 2003
16. Z. Jamróży: Betony ze zbrojeniem rozproszonym (co projektant konstrukcji wiedzieć powinien), Materiały XVII Ogólnopolskiej Konferencji „Warsztaty Pracy Projektanta Konstrukcji”, Tom I, Ustroń 2002

Warunki prenumeraty na 2008 r.

Wpłaty na prenumeratę można dokonywać na ogólnie dostępnych blankietach w Urzędach Poczтовых (przekazy pieniężne) lub Bankach (polecenie przelewu), przekazując środki na adres: „Cement-Wapno-Beton” Spółka z o.o. 30-003 Kraków, ul. Lubelska 29.

Konto: PKO BP S.A. I O/Kraków nr 21 1020 2892 0000 5102 0018 6171

Na blankiecie wpłaty należy czytelnie podać nazwę zamawianego czasopisma, liczbę zamawianych egzemplarzy, okres prenumeraty oraz własny adres.

*,
„Cement-Wapno-Beton” – dwumiesięcznik
Cena 1 egz. – 40 zł,

Prenumerata roczna – 240 zł
Prenumerata roczna – 80 € lub 100\$

*,
Zamówienia na prenumeratę można przysyłać bezpośrednio na e-mail lub faxem do redakcji podając numer NIP-u.
Ogłoszenia przyjmuje: „Cement-Wapno-Beton” Sp. z o.o., ul. Lubelska 29, 30-003 Kraków, tel./fax: +48 12 632 29 95.

Adres do korespondencji: ul. Lubelska 29, 30-003 Kraków
e-mail: cwb@polskicement.com.pl

*,
Redakcja nie bierze odpowiedzialności za treść publikowanych ogłoszeń