

METODY BADAŃ I KRYTERIA ZGODNOŚCI DLA WŁÓKIEN DO BETONU – DOŚWIADCZENIA Z BADAŃ LABORATORYJNYCH

© Jóźwiak H., 2007

Specifications, test methods and conformity criteria for steel and polymer fibres for concrete containing in European Standards were described. Test results doing as an Initial Type Testing in laboratories of Building Research Institute were shown. It was found, that for investigated steel fibres strength requirements are performed for lower dosage than range indicated by manufacturer. In the case of polymer fibres requirements fulfilling maximum dosage demanded.

Wymagania dla włókien do betonu. Wymagania dla włókien do betonu zawarte są obecnie w dwóch normach: PN-EN 14889-1:2006(U) *Włókna do betonu – Część 1: Włókna stalowe – Definicje wymagania i zgodność* oraz PN-EN 14889-2:2006 (U): *Włókna do betonu -- Część 2: Włókna polimerowe -- Definicje, wymagania i zgodność*.

Normy te są normami zharmonizowanymi zawierającymi załącznik ZA opisujący procedury atestacji zgodności umożliwiające znakowanie wyrobów znakiem CE. W zależności od przewidzianego zastosowania włókien w betonie obowiązuje dla nich odpowiedni system atestacji zgodności. W przypadku włókien do zastosowań konstrukcyjnych jest to system „1”, dla innych zastosowań system „3”.

Zarówno przy systemie zgodności „1” jak i „3” producent musi posiadać wyniki z badań typu wyrobu i dokumenty potwierdzające prowadzenie zakładowej kontroli produkcji według zasad określonych w normie. Przy systemie oceny zgodności „3” wstępne badania typu mogą być wykonywane jako badania własne, w systemie „1” powinny być wykonywane przez notyfikowane laboratorium. Dla wyrobów posiadających system atestacji zgodności „1” wymagany jest ponadto certyfikat zakładowej kontroli produkcji wydany przez niezależną od producenta jednostkę notyfikowaną.

Włókna polimerowe dzieli się w zależności od ich grubości na dwie klasy - do klasy I zaliczane są włókna o grubości <0,3mm, do klasy II włókna, których grubość jest większa niż 0,3 mm. Producent powinien deklarować rodzaj polimeru stosowanego do wytwarzania włókien, wymiary oraz właściwości przy rozciąganiu - wytrzymałość na zrywanie dla włókien klasy I, wytrzymałość na rozciąganie dla włókien klasy II, a także temperaturę topnienia i temperaturę zapłonu.

Dla produkowanych włókien stalowych powinny być określone wymiary oraz wymagania dotyczące materiału - wytrzymałość drutu na rozciąganie, moduł sprężystości i wartość ciągliwości.

Wg zaleceń norm producent powinien dostarczyć instrukcję mieszania, obejmującą zalecenia dotyczące kolejności mieszania przy wprowadzaniu włókien zarówno w węzle betoniarskim jak i przy wykonywaniu suchych mieszanek zawierających włókna stalowe. Badania wpływu włókien na beton wykonuje się z zastosowaniem mieszanki betonowej zaprojektowanej i wykonanej przy uwzględnieniu wymagań odnośnie zawartości cementu i współczynnika wodno-cementowego zawartych w prEN 14845-1:2007 „*Test methods for fibres in concrete – Part 1: References concrete*”.

Wpływ włókien na konsystencję mieszanki betonowej określa się oznaczając najpierw konsystencję mieszanki betonowej wzorcowej bez włókien, a następnie badana jest identyczna mieszanka betonowa z włóknami. Badania konsystencji mieszanki betonowej wykonuje się metodą Vebe wg PN-EN 12350-3:2001 *Badania mieszanki betonowej -- Część 3: Badanie konsystencji metodą Vebe*.

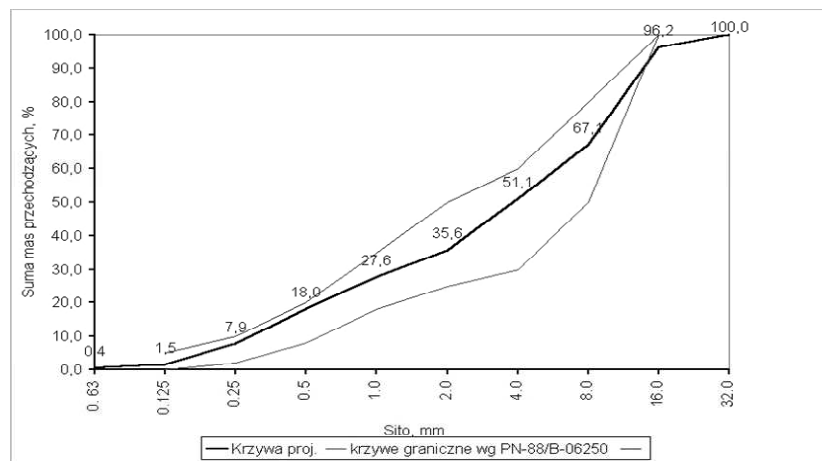
Wpływ włókien na wytrzymałość betonu określa się dla włókien stalowych oraz w przypadku włókien polimerowych tylko dla włókien klasy II (o średnicy powyżej 0,3mm). Badania wykonuje się wg PN-EN 14845-2:2006(U) - *Metody badania włókien w betonie Część 2: Efekt oddziaływania na beton*.

1. Skład mieszanek betonowych, badania konsystencji i wykonanie próbek do badania wytrzymałości

Do wykonania mieszanki betonowej zastosowano cement portlandzki CEM I 42,5 R w ilości 350 kg/m³ mieszanki betonowej, kruszywa grube 8/16 mm i 2/8 mm oraz kruszywo drobne 0/2 mm i wodę wodociągową. W/C mieszanki betonowej wynosiło 0,53 (wymagane 0,55±0,2).

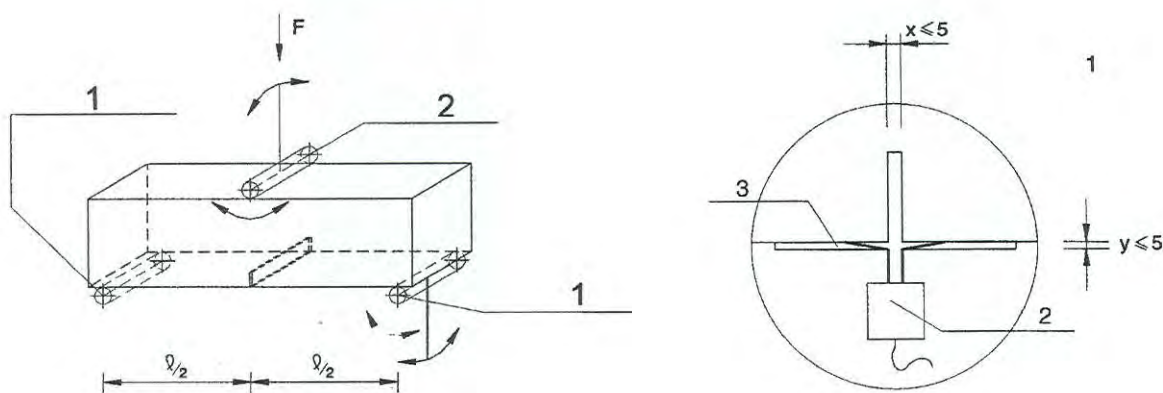
Na rysunku 1 przedstawiono krzywą uziarnienia dla stosowanej mieszanki kruszyw.

Dla każdej serii badawczej wykonano dwie mieszanki betonowe o objętości 80l w betoniarce z mieszadłami planetarnymi o nominalnej pojemności 150l. Składniki dodawano w następującej kolejności – najpierw w ciągu około dwóch minut mieszano kruszywo z około 2/3 całkowitej ilości wody zarobowej, następnie dodawano cement i resztę wody. Włókna dodawano po około 3 minutach od początku mieszania i kontynuowano mieszanie jeszcze przez około 2 minuty. Całkowity czas mieszania wynosił 5 minut. Ten sposób mieszania został ustalony w laboratorium na podstawie wcześniejszych doświadczeń.



Rys. 1. Krzywa uziarnienia mieszanki kruszyw

Badania wytrzymałości. Badania belek wykonanych z włóknami wykonuje się wg PN-EN 14651:2005 (U) *Metoda badania betonu zbrojonego włóknem stalowym -- Pomiary wytrzymałości na rozciąganie przy zginaniu (granica proporcjonalności LOP)*.



Rys. 2. Schemat badania wytrzymałości resztkowej przy określonym rozwarciu szczeliny

Celem badań jest określenie zawartości włókien w kg/m³, przy której osiąga się wytrzymałość resztkową na zginanie równą 1,5 MPa przy 0,5 mm CMOD (co odpowiada ugięciu osiowemu belki

równemu 0,47 mm) i wytrzymałość resztkową na zginanie równą 1 MPa przy 3,5 mm CMOD (co odpowiada ugięciu osiowemu równemu 3,02 mm).

Wyniki badań. Przedstawiono wyniki wstępnych badań typu dla czterech rodzajów włókien stalowych i dwóch rodzajów włókien polimerowych. Włókna stalowe 50/1,0, 50/0,8 oraz 60/1,0 były wytwarzane przez jednego producenta, włókna 60/1,2 produkowane były przez innego producenta i różniły się od pozostałych kształtem. Badane włókna polimerowe wytwarzane były przez dwóch różnych producentów, różniły się zarówno rodzajem polimeru – wg informacji technicznych włókna A wykonano z kopolimeru polietylen-polipropylen, włókna B wytwarzane były z polipropylenu.

Badania obejmowały określenie wpływu dodatku włókien na konsystencję mieszanki betonowej i na wytrzymałość betonu. Badania włókien stalowych 50/1,0, 50/0,8 i 60/1,0 wykonano przy ilości włókien zalecanych przez producenta. Ilości włókien 60/1,2 ustalone zostały na podstawie wcześniej wykonywanych badań (poziom dozowania zalecany przez producenta wynosił 15 – 30kg/m³).

Tablica 1

Wyniki badań wpływu włókien stalowych i polimerowych na konsystencję mieszanki betonowej oraz na wytrzymałość resztkową przy CMOD = 0,5 i CMOD = 3,5

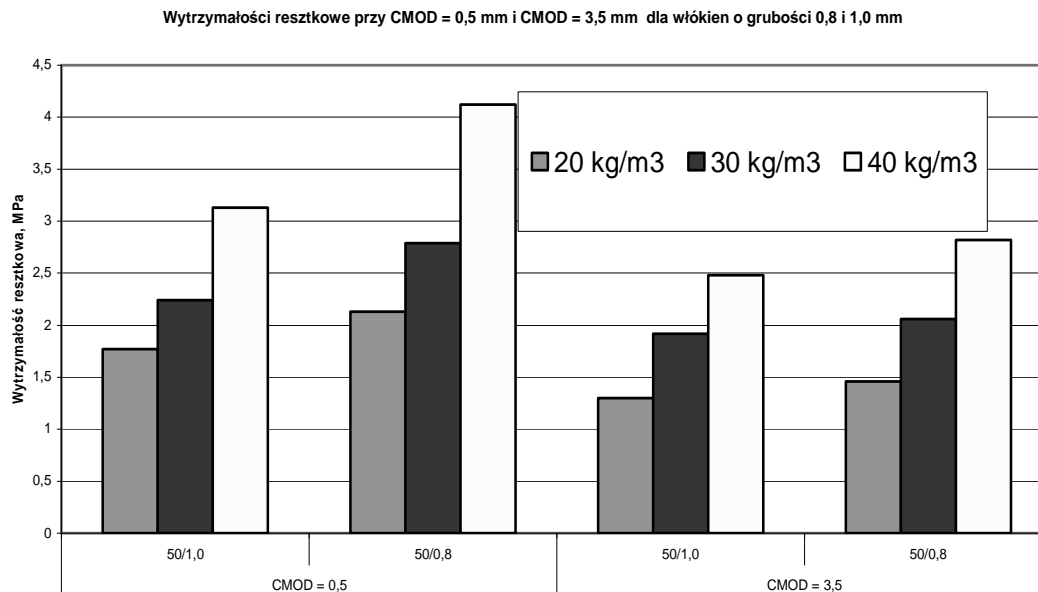
Symbol włókna	ilość, kg/m ³	konsystencja metodą Vebe, s	Wytrzymałość resztkowa, MPa	
			CMOD = 0,5 mm	CMOD = 3,5 mm
stalowe 50/1,0	20	2,3	1,77	1,30
	30	2,7	2,24	1,92
	40	3,1	3,13	2,48
stalowe 50/0,8	20	2,1	2,13	1,46
	30	2,6	2,79	2,06
	40	3,2	4,12	2,82
stalowe 60/1,0	15	1,9	1,89	1,19
	25	2,6	3,27	2,96
	35	2,9	3,26	2,83
stalowe 60/1,2	10	2,9	1,78	0,79
	20	3,2	2,60	1,99
polimerowe A	1,5	2,6	-	0,39
	3,5	4,7	1,36	1,06
	5,0	5,2	1,48	1,52
polimerowe B	3,5	3,1	1,91	0,72
	5,0	6,1	1,94	1,03

Przy narzuconym przez prEN 14845-1 w/c mieszanki betonowej uzyskano mieszankę betonową kontrolną o konsystencji 1,5s, dla której metoda Vebe nie jest metodą zalecaną. W przypadku włókien stalowych zaobserwowano niewielki wpływ dodatku włókien na konsystencję (Tablica 1), wg PN-EN 206 wszystkie wykonane mieszanki betonowe z włóknami stalowymi można zakwalifikować jako mieszanki o konsystencji V4. Wpływ włókien polimerowych był bardziej widoczny - mieszanki, w których zawartość włókien wynosiła 5 kg/m³ charakteryzowały się konsystencją V3.

Wyniki określonych w badaniach wytrzymałości resztkowych dla wielkości rozwarcia szczeliny CMOD równej 0,5 mm oraz 3,5 mm w zależności od ilości zastosowanych w mieszance betonowej włókien wskazują, że wymagania normowe spełnione są przy ilości włókien stalowych wynoszącej poniżej 15 kg/m³.

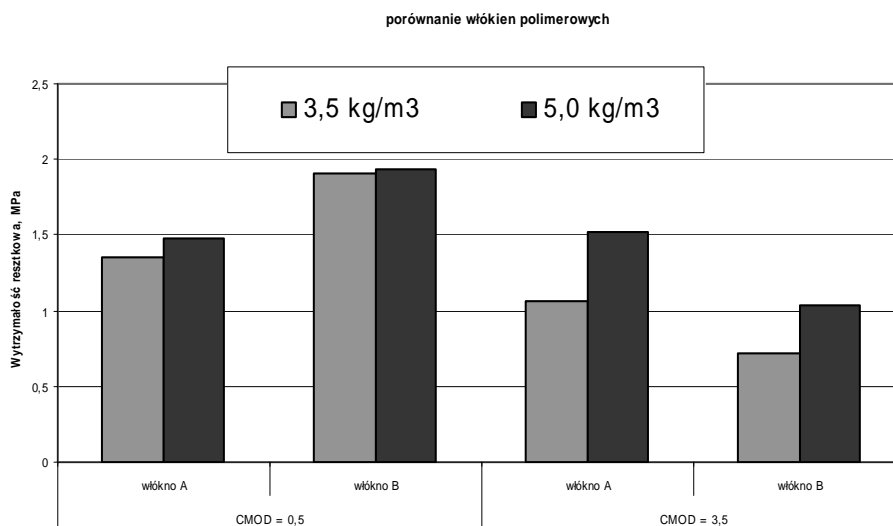
Badania dla kolejnych włókien stalowych wykonane przy ilości 10 kg/m³ wykazały, że zawartość tych włókien niezbędna do spełnienia wymagań normowych wynosi około 12 kg/m³, wartość tę uzyskano poprzez interpolację wartości uzyskanych na podstawie badań.

Z przedstawionego na rysunku 3 porównania włókien o długości 50 mm wytwarzanych przez tego samego producenta, a więc o tym samym kształcie z drutu 0,8 mm i 1,0 mm wynika, że włókna wykonane z drutu o mniejszej grubości wpływają korzystniej na wytrzymałość niż zastosowane w takiej samej ilości włókna grubsze. Wyższe wartości wytrzymałości resztkowej obserwowane są zwłaszcza przy maksymalnym zastosowanym dozowaniu włókien dla rozwarcia szczeliny wynoszącego 0,5 mm.



Rys. 3. Wpływ grubości włókien stalowych na wytrzymałość resztkową betonu

Uzyskanie większego wzrostu wytrzymałości przy zastosowaniu włókien o mniejszej grubości może wynikać z większej ilości włókien i gęstszego ich upakowania w betonie, wtedy wykorzystanie włókien jest bardziej efektywne.



Rys. 4. Porównanie wytrzymałości resztkowej dwóch rodzajów włókien polimerowych

W przypadku włókien polimerowych badania włókien A wykazały, że zastosowana ilość 1,5 kg/m³ jest zbyt mała aby uzyskać wymagane wartości wytrzymałości resztkowych. Przy zastosowaniu tych włókien możliwe jest spełnienie wymagań wytrzymałościowych dla obydwu wielkości rozwarcia szczeliny przy zastosowanym dozowaniu wynoszącym pomiędzy 3,5 a 5 kg/m³.

Z porównania dwóch rodzajów włókien polimerowych wynika, że włókna te w zróżnicowany sposób wpływają na wytrzymałość betonu. Wyższe od wymaganej wartości wytrzymałości resztkowej

przy rozwarciu szczeliny 0,5 mm dla włókien B uzyskano zarówno przy dozowaniu włókien 5,0 kg jak i przy zawartości 3,5 kg/m³. Natomiast dla włókien A dopiero przy dozowaniu 5,0 kg/m³ uzyskano wynik zgodny z wymaganiami normowym (w granicach błędu oznaczenia).

Przy CMOD=3,5 mm dla włókien A wystarczające jest dozowanie 3,5 kg/m³, natomiast wymaganie dla włókien B spełnione jest dopiero przy dozowaniu na poziomie zbliżonym do 5,0 kg/m³.

Wnioski. Na podstawie przeprowadzonych wstępnych badań typu włókien do betonu można stwierdzić:

1. Przy narzuconym przez prEN 14845-1 w/c mieszanki betonowej uzyskuje się mieszankę betonową o konsystencji ciekłej (V4), dla której metoda Vebe wg, której należy oceniać wpływ włókien na konsystencję nie jest metodą zalecaną.

2. Wpływ włókien stalowych dodawanych w ilości 10 – 40 kg/m³ na konsystencję mieszanki betonowej jest niewielki, wszystkie mieszanki betonowe wykonane z zastosowaniem tych włókien mogą być zakwalifikowane do tej samej klasy konsystencji.

3. W przypadku stosowania włókien polimerowych w maksymalnej zalecanej ilości (5 kg/m³) wystąpiła zmiana konsystencji z klasy V4 na V3.

4. Badania wpływu włókien stalowych na wytrzymałość wykazały, że wymagania normowe spełnione są przy najmniejszych zalecanych przez producentów ilościach (w przedziale od 10 do 15 kg/m³ w zależności od kształtu włókna).

5. Wymagania wytrzymałościowe dla włókien polimerowych spełnione są w zakresie dozowania włókien zaleconym przez producenta.

6. Wyniki wstępnych badań typu są warunkiem koniecznym dla producentów p do znakowania wytwarzanych włókien znakiem CE.

1. PN-EN 14889-1:2006(U) Włókna do betonu – Część 1: Włókna stalowe – Definicje wymagania i zgodność. 2. PN-EN 14889-2:2006 (U): Włókna do betonu -- Część 2: Włókna polimerowe -- Definicje, wymagania i zgodność. 3. prEN 14845-1:2007 „Test methods for fibres in concrete – Part 1: References concrete”. 4. PN-EN 12350-3:2001 Badania mieszanki betonowej -- Część 3: Badanie konsystencji metodą Vebe. 5. PN-EN 14845-2:2006(U) - Metody badania włókien w betonie Część 2: Efekt oddziaływania na beton. 6. PN-EN 14651:2005 (U) Metoda badania betonu zbrojonego włóknem stalowym -- Pomiar wytrzymałości na rozciąganie przy zginaniu (granica proporcjonalności LOP).