

mgr inż. Przemysław Lemann¹⁾

Beton FRC – rola włókien w betonie ze zbrojeniem strukturalnym

Beton ze zbrojeniem strukturalnym należy do grupy betonów, które cechują się specjalnymi właściwościami. W porównaniu z betonem zwykłym, beton FRC ma większą odporność na powstawanie rys i pękanie oraz na uderzenia (tzw. udarność), a także większą wytrzymałość na rozciąganie i na ścinanie. Zbrojenie rozproszone stosuje się praktycznie od lat siedemdziesiątych XIX wieku, obecnie głównie w betonach niezbrojonych oraz zbrojonych prętami stalowymi, torkretach i w prefabrykacji.

Rodzaje włókien

Najważniejszą grupę włókien przeznaczonych do konstrukcyjnego i niekonstrukcyjnego stosowania w betonie stanowią włókna z metali, a wśród nich stalowe. Zgodnie z normą PN-EN 14889-1 **włókna stalowe** to proste lub odkształcone fragmenty drutu stalowego, proste lub odkształcone włókna cięte z arkusza, włókna skrawane z drutu ciągniętego oraz z bloków stalowych, odpowiednie do jednorodnego wymieszania z betonem lub zaprawą. Długość włókien najczęściej wynosi 48 mm.

Włókna polimerowe wg normy PN-EN 14889-2 to proste lub odkształcone fragmenty wytłaczanego, zorientowanego i ciętego materiału polimerowego, przydatne do jednorodnego wymieszania z betonem lub zaprawą. Wymienione w normie polimery obejmują polipropylen lub polietylen, poliester, nylon, poliakryl, aramid. Norma klasyfikuje włókna polimerowe co do ich formy fizycznej:

- klasa Ia – mikrowłókna, średnica < 0,30 mm, pojedyncze;
- klasa Ib – mikrowłókna, średnica < 0,30 mm, fibrylowane;
- klasa II – makrowłókna, średnica > 0,30 mm.

Ważniejszy jest podział funkcjonalny, np. włókna klasy II mają zastosowanie konstrukcyjne, tzn. wpływają na nośność elementu betonowego. Tekstylne włókna szklane produkuje się w zależności od przeznaczenia ze szkła różnego rodzaju. Jako zbrojenie rozproszone betonów stosuje się włókna ze szkła o dużej odporności na alkaliczne środowisko zaczynu cementowego, najczęściej ze szkła z dodatkiem tlenku cyrkonu. Dostępne są w dwóch podstawowych formach: włókna ciągłe oraz włókna krótkie, cięte na długości od 6 do 48 mm. Podczas produkcji na kilkaset włókien elementarnych, tworzących równoległą wiązkę, nakłada się tzw. preparację powierzchniową. Włókna uzyskuje się przez pocięcie pasm włókien ciągłych do wybranej długości. W zależności od rodzaju i ilości preparacji naniesionej na pasmo, pasma zachowują integralność lub ulegają dyspersji na monowłókna, czyli włókna elementarne, podczas wprowadzania włókien do kompozytu.

¹⁾ MC-Bauchemie sp. z o.o.; przemyslaw.lemann@mc-bauchemie.pl



Rury betonowe zbrojone włóknami polimerowymi MC-Fibre

Składniki betonu FRC

Oprócz włókien, pozostałe składniki betonu FRC (*Fiber Reinforced Concrete*) nie różnią się od składników betonu zwykłego, omówionych dokładnie w znanych podręcznikach technologii betonu, np. Z. Jamrożego lub A. Neville'a. Do betonów z włóknami stosuje się te same cementy i kruszywo, jak do zwykłych betonów konstrukcyjnych. Maksymalna wielkość ziaren kruszywa nie powinna być większa niż 1/3 długości włókien stalowych prostych i nie większa niż 1/2 długości włókien haczykowatych.

Kruszywo do 16 mm i włókna o długości 40 – 60 mm stosuje się w elementach masowych. Ograniczenia i zalecenia recepturowe niezbędne do efektywnego działania zbrojenia rozproszonego w betonie są następujące:

- uziarnienie kruszywa nie powinno przekraczać 16 mm, a nawet 8 mm w przypadku elementów cienkich;
- zaleca się zwiększyć zawartość ziaren drobnych (do 2 mm) kruszywa, przy których można uzyskać dobrą jednorodność rozmieszczenia włókien w mieszance;
- konieczne jest zastosowanie skutecznie działającej domieszki uplastyczniającej lub upłynniającej, aby zniwelować pogorszenie urabialności mieszanki spowodowane obecnością inkluzji włóknistych; rezultatem braku takiej domieszki może być duża porowatość betonu i nierównomierne rozmieszczenie włókien, a nawet tworzenie się zbitków włókien (tzw. jeży);

■ wskaźnik wodno-cementowy powinien być nie większy niż 0,55. Warunkiem dobrego współdziałania włókien z zaczynem cementowym jest duża wytrzymałość zaczynu, ponieważ w przeciwnym razie nawet najbardziej wytrzymałe i sztywne włókna nie będą właściwie wykorzystane.

Projektowanie mieszanki zbrojonej włóknami

Projektowanie takiej mieszanki przebiega tak samo, jak projektowanie mieszanki betonu zwykłego, z uwzględnieniem dodatkowo urabialności mieszanki betonowej z włóknami oraz jednorodności rozmieszczenia włókien w betonie.

Przy projektowaniu stosu kruszywa należy zachować ciągłość uziarnienia oraz ustalić punkt piaskowy (zwykle 35 – 40% w kruszywie do 16 mm oraz 40 – 45% w kruszywie do 8 mm) i ilość pyłu (do 0,125 mm), która powinna wynosić 2 – 5% całego stosu. Należy pamiętać, że włókna wnoszą ze sobą dodatkową powierzchnię do otulenia i ich kształt bardzo utrudnia gęste ułożenie ziaren. Z tego powodu ilość zaprawy w fibrobetonie jest o ok. 10% większa niż wystarczyłoby do betonu bez włókien (tzw. ilość optymalna). Wykres krzywej uziarnienia kruszywa zwykle znajduje się w górnym polu granic dopuszczalnych. Włókna stalowe powodują zwiększenie porowatości stosu okruszowego w zależności od względnej wielkości ziaren w stosunku do długości włókna. Zazwyczaj stosuje się włókna o długości 2 – 4 razy większej niż maksymalne uziarnienie kruszywa.



Zbrojenie polimerowe MC-Fibre zastosowane przy produkcji płyt drogowych



Prefabrykowana ściana typu L ze zbrojeniem polimerowym MC-Fibre

Przy typowej zawartości włókien stalowych można oczekiwać zmniejszenia opadu stożka o 25 – 100 mm w porównaniu z mieszanką betonową bez włókien. Korzystniej jest regulować konsystencję mieszanki domieszką upłynniającą, a nie wodą czy innymi składnikami. Produkcja mieszanki betonowej z włóknami w typowych węzłach betoniarskich nie sprawia zasadniczych trudności, chociaż na ogół nie są one wyposażone w dozowniki włókien. Sprawę dozowania należy starannie rozwiązać, aby uniknąć tworzenia się zbitek włókien i zapewnić jednorodność ich rozmieszczenia w mieszance. Stosowanym i skutecznym sposobem jest dozowanie włókien z opakowań transportowych (worków lub kartonów po 20 kg w przypadku włókien stalowych i po 1 kg w przypadku włókien syntetycznych) na transporter podający kruszywo. Nie wolno wsypywać włókien jako pierwszego składnika mieszanki betonowej.

Kontrola mieszanki betonowej z włóknami obejmuje, oprócz parametrów sprawdzanych w przypadku mieszanki betonu zwykłego, sprawdzenie zawartości włókien w mieszance. Ilość włókien w objętości mieszanki betonowej określa się metodą wymywania składników na sicie o oczkach tak dobranych, aby nie wymywać włókien. Włókna stalowe wybiera się za pomocą silnego magnesu i waży, określając ich zawartość w jednostce objętości mieszanki betonowej. Metodę podano w normie PN-EN 14721. Można również kontrolować zawartość i jednorodność rozmieszczenia włókien w betonie z wykorzystaniem metod stereologicznych na przekrojach elementów wyciętych z wykonanego obiektu. Stosowanie metod rentgenowskich jest ograniczone do elementów fibrobetonowych o małej grubości.

Partner działu:

Stowarzyszenie Producentów Betonów

www.s-p-b.pl

