

e g i e Cienkościenne prefabrykaty z betonów zbrojonych włóknami szklanymi

Stosowanie cienkościennych prefabrykatów z betonu w budownictwie nie jest pomysłem nowym, od lat znane są tzw. siatkobetony, a sposoby ich projektowania i stosowania opisano w kilku monografiach, np. prof. K. Grabca czy ostatnio prof. A. Naamana.

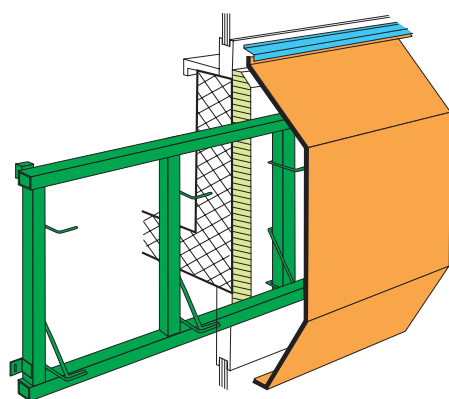
Najczęściej są to elementy niekonstrukcyjne, które nie przenoszą żadnych obciążeń użytkowych, jedynie swój własny ciężar i ewentualnie obciążenie wiatrem i śniegiem, jak w przypadku pokryć budynków lub elewacji. Wśród elementów nośnych odróżnia się elementy stosowane wewnątrz budynków (np. płyty podłóg podwójnych) oraz takie, których nośność powinna być zapewniona w krótkim określonym czasie (np. elementy deskowań traconych). Przy projektowaniu elementów cienkościennych ważne jest m.in. zapewnienie funkcjonalności użytkowej przez ograniczenie odkształceń i ugięć do poziomu dopuszczalnego. Jest to oczywiste w przypadku wysokich wymagań estetycznych stawianych prefabrykatom elewacyjnym i dekoracyjnym. Adekwatnym, a mało znanym w Polsce, rozwiązaniem materiałowym jest zastosowanie kompozytów cementowych z włóknami szklanymi, które uzyskuje się w wyniku połączenia matrycy cementowej z włóknami ze szkła cyrkonowego, odpornego na oddziaływanie alkaliów. W tekstach o charakterze praktycznym jako zamiennik podanego określenia materiału stosuje się nazwę „betony z włóknami szklanymi” i taka właśnie nomenklatura została przyjęta

Tablica 1. Charakterystyka natryskowych metod produkcji prefabrykatów GRC

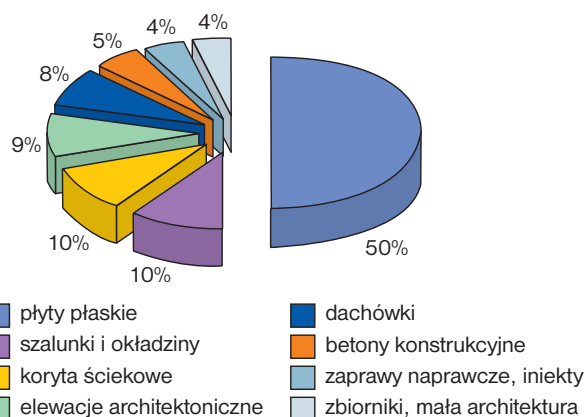
Metoda produkcji	Liczba pracowników	Dzienna produkcja		Wymagana powierzchnia zakładu [m ²]
		Masa [tony]	powierzchnia płyt o grubości 10 mm [m ²]	
1. natrysk ręczny	4	0,5-1	20-50	500-1000
2. natrysk ręczny	8	1,5-2,5	75-125	500-2000
natrysk maszynowy	8-12	4-6	200-300	2000-5000

w krajowym wydaniu stosownych norm PN-EN 1170:1999 oraz PN-EN 1169:2000. Powszechnie przyjętym oznaczeniem betonów z włóknami szklanymi, także w wymienionych normach, jest skrót „GRC” wywodzący się z języka angielskiego: *glass-fibre reinforced cement*, co uzasadnia rodzaj omawianych materiałów.

Celem artykułu jest popularyzacja technologii stosowania betonów z włóknami szklanymi, co jest ważne z uwagi na dotychczasowe nieznaczące ich wykorzystanie w krajowym przemyśle budowlanym.



Ilustracja 2. Schemat konstrukcji lekkiej ściany z prefabrykatów GRC na ruszcie metalowym oraz szczegóły zamocowania



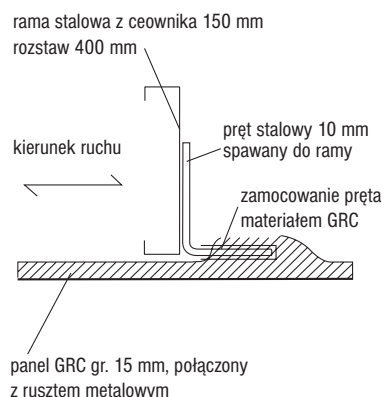
Ilustracja 1. Zastosowania betonów z włóknami szklanymi w Wielkiej Brytanii – udział w rynku na podstawie zużycia włókien

Walory estetyczne i użytkowe oraz lekkość i swoboda kształtowania formy elementów elewacyjnych wskazują na szczególnie duży potencjał ich zastosowań zamiast kamienia naturalnego.

Metody produkcji prefabrykatów

Podstawowymi surowcami do wykonania omawianych betonów są, oprócz cementu, piasek (najczęściej drobny piasek kwarcowy o uziarnieniu od 0,1 mm do 1 mm), woda, domieszki upłynniające, ewentualnie napowietrzające, dodatki żywiczne i mineralne oraz włókna ze szkła o wysokiej zawartości tlenu cyrkonu. Typowe wagowe proporcje surowców są następujące: stosunek masy piasku do cementu: od 0,5 do 1,0, wskaźnik w/c około 0,32-0,4, zawartość włókien w masie mieszanki: od 3 do 6%. Wykorzystanie włókien ze szkła o wysokiej odporności na oddziaływanie alkalicznego środowiska zaczynu cementowego jest warunkiem koniecznym długotrwałej wytrzymałości kompozytu; włókna ze zwykłego szkła ulegają szybkiej korozji alkalicznej ujawniającej się zmniejszeniem ich przekroju i dramatycznym spadkiem wytrzymałości.

Elementarne włókna szklane mają średnicę w granicach od 10 do 30 μm. Stosuje się je w formie włókien ciągłych w postaci rowingu lub jako włókna krótkie o długości od 12 mm do 40 mm w postaci ciętych pasm rowingu. W zależności od rodzaju zastosowanej preparacji powierzchniowej pasma włókien rozdzielają się na pojedyncze włókna elementarne lub zachowują integralność. Stosowane są także siatki i maty z włókien o różnych długościach. Metody produkcji wyrobów o grubości ścianek 6-20 mm



różnią się od tradycyjnych metod prefabrykacji betonowej, w szczególności stosuje się następujące technologie:

- technologia ręcznego natrysku do formy – uniwersalny sposób produkcji prefabrykatów o prostych bądź złożonych kształtach, paneli architektonicznych
- technologia natrysku automatycznego, stosowana przy masowej produkcji wyrobów typowych
- technologia mieszania i formowania wibracyjnego, stosowana do produkcji prostych, drobnowymiarowych elementów typowych (tzw. premix)
- technologia wyciskania, stosowana do masowej produkcji bezazbestowych wyrobów włóknisto-cementowych, przeznaczonych na pokrycia dachowe i elewacje.

W technologiach natryskowych mieszanie włókien z zaprawą drobnodziarnistą odbywa się w dyszy pistoletu natryskowego, do którego osobno doprowadzona jest zaprawa i osobno włókno szklane w postaci ciągłej (rowing). W dyszy pistoletu następuje przecięcie rowingu na odcinki żądanej długości, na ogół od 20 do 40 mm. Natrysk mieszanki z włóknami do formy wywołuje orientację włókien w płaszczyźnie prostopadłej do kierunku natrysku, a jednocześnie zagęszczanie kolejnych warstw. Poprzez sterowanie prędkością pompowania zaprawy i prędkością podawania włókien można precyzyjnie regulować proporcje tych składników, czyli zawartość włókien w kompozycji. Łatwość formowania prefabrykatów cienkościennych o złożonych kształtach jest podstawowym wyróżnikiem technologii natryskowych, zapewnia swobodę formy i faktury wyrobów dekoracyjnych, której z trudem dorównują inne materiały budowlane. Interesującą cechą technologii wyciskania przeznaczonej do produkcji falistych płyt dachowych, znanej pod nazwą technologii Wellcrete/Topcrete, jest optymalne wykorzystanie zbrojenia włóknistego. Wyroby formowane są warstwowo, włókna ciągłe układa się tylko w tych miejscach, gdzie po zafalowaniu powstaną grzbiety fal, natomiast włókna krótkie są pozycjonowane w warstwach skrajnych, tam gdzie powstają największe naprężenia rozciągające. Wydajność linii produkcyjnej, przekraczająca 3 mln m² w ciągu roku, odpowiada wydajności maszyn sitowych, stosowanych w przeszłości do produkcji azbestocementu.

Właściwości wyrobów i zastosowania

O wykorzystaniu betonów z włóknami szklanymi do produkcji prefabrykatów cienkościennych decydują nie tylko cechy technologiczne, jak łatwość formowania wyrobów, ale także ich wysoka wytrzymałość (na ściskanie 60-80 MPa, na rozciąganie przy zginaniu 20-35 MPa), wysoka odkształcalność graniczna i wysoka odporność na pęknięcie. Wytrzymałość na uderzenia dachowych płyt falistych zbrojonych włóknami szklanymi znacznie przewyższa wytrzymałość konkurencyjnych wyrobów bezazbestowych i azbestowych. Te właściwości materiałowe zapewniają pożądane walory funkcjonalne i estetyczne wyrobów, a zastosowane składniki gwarantują niepalność prefabrykatów.

Zakres zastosowań cienkościennych elementów z betonów zbrojonych włóknami szklanymi obejmuje następujące dziedziny:

- elementy lekkich ścian budynków: ostonowe i ocieplające, dekoracyjne, ściennie panele budowlane, ościeża okienne
- detale architektoniczne: obudowy kolumn i kapitele, gzymsy, balustrady i portyki, sztuczne skały
- zastąpienie azbestocementu: dachowe płyty faliste, płyty płaskie elewacyjne, płyty ostonowe przeciwogniowe, dachówki, rury
- elementy infrastruktury: ekrany akustyczne, przewody wodociągowe i ściekowe, szalunki tracone, obudowy i fundamenty rozdzielni energetycznych i telekomunikacyjnych, zbiorniki.

Udział różnych prefabrykatów w rynku wyrobów z betonu zbrojonego włóknami szklanymi zaprezentowano na przykładzie Wielkiej Brytanii – kraju o najbogatszej tradycji w tym zakresie (ilustracja 1). Chociaż architektoniczne wykorzystanie prefabrykatów GRC



Ilustracje 3-5. Przykłady elewacji budynków we Francji, w Szwajcarii i Czechach, wykonanych z cienkościennych prefabrykatów z betonu zbrojonego włóknami szklanymi





foto: Archiwum

Ilustracja 6
Przekrycie wieżyczki kościoła w Czechach

nie przekracza 20% rynku, jest to obszar najbardziej znaczących technicznie zastosowań. Panele elewacyjne mocowane na ruszcie metalowym są popularne w USA, w Europie i Azji, przede wszystkim w budynkach o konstrukcji szkieletowej, głównie reprezentacyjnych budynkach publicznych, ale też w budynkach mieszkalnych. Mocowanie płyt do rusztu stalowego (czasami aluminiowego) wykonuje się przy użyciu sprężystego systemu zamocowań (ilustracja 2), zapewniającego niezbędną ruchomość elementów elewacji. Płyty elewacyjne wykonuje się zarówno jako elementy ścienne, elementy ścian z oknami, elementy ryglowe, słupki międzyokienne, okładziny kolumn itp. W porównaniu z tradycyjnymi prefabrykatami betonowymi ściany z betonu zbrojonego włóknami szklanymi mają znacznie mniejszy ciężar. Na ilustracjach 3-5 pokazano przykłady elewacji budynków w Szwajcarii, we Francji i w Czechach(*), wykonanych z cienkościennych prefabrykatów z betonu zbrojonego włóknami szklanymi. Inne ciekawe zastosowania obejmują np. lekkie przekrycia dachowe i wieżyczki kościołów (ilustracja 6), sztuczne skały w parkach rozrywki (ilustracja 7).

Zastosowania prefabrykatów elewacyjnych czy cienkościennych detali architektonicznych uzasadnia nie tylko atrakcyjność ich kształtu i wykończeń powierzchniowych, ale także wysoka odporność na oddziaływanie czynników atmosferycznych, takich jak mróz, sole i zanieczyszczenia miejskie. Duża odporność na zarysowanie, pękanie i oddziaływanie uderzeń, wykorzystywana jest również w zastosowaniach prefabrykatów w formie paneli osłonowych w konstrukcjach czy też osłon przeciwogniowych w budynkach. Włókna ze szkła cyrkonowego przeznaczone do betonów są stale dostępne w Polsce od kilku lat. Prototypową produkcję i zastosowania rozwija Hydrobudowa-1 w Warszawie, a także kilka zakładów prefabrykacji na Mazowszu, w Małopolsce i na Wybrzeżu; jak dotąd produkowane są elementy małej architektury, elementy dekoracyjne budynków oraz panele elewacyjne niewielkich rozmiarów. Kwestia ceny włókien nie jest tu decydująca: przy znacznej zawartości

włókien ich względny udział w kosztach mieszanki betonowej jest poważny, ale nadal nieznaczny w odniesieniu do łącznego kosztu np. 1 m² gotowego panelu architektonicznego na ruszcie metalowym, stanowiącego fragment ściany kurtynowej. Takie rozwiązania elewacji budynków przy wykorzystaniu prefabrykatów cienkościennych są w Polsce jak na razie w fazie projektów. Przewiduje się ich szybkie wdrożenie jako rozwiązania bardzo konkurencyjnego do kosztownych elewacji ze szkła czy kamienia naturalnego.

Dalsze perspektywy

Poszerzenie zakresu zastosowań prefabrykatów z betonów z włóknami szklanymi wymaga rozwoju adekwatnych metod projektowania. W przygotowywanych dokumentach normalizacyjnych grupa WG3/TG2 Komitetu Technicznego 229. Europejskiego Komitetu Normalizacyjnego proponuje klasyfikację i wymiarowanie betonów z włóknami szklanymi na podstawie trzech parametrów określonych w standardowych badaniach na zginanie: granicy proporcjonalności, wytrzymałości na rozciąganie i odkształcalności granicznej. Ponieważ przy wymiarowaniu prefabrykatów stosowano jak dotąd liniowo-sprężysty model materiału przy ograniczeniu naprężeń do poziomu granicy proporcjonalności, nowe ujęcie właściwości tych materiałów umożliwi wykorzystanie tkwiących w nich zapasów bezpieczeństwa. Sprawa optymalnego kształtowania składu i trwałości omawianych materiałów jest przedmiotem aktualnych badań, prowadzonych w dziedzinie inżynierii materiałowej, sięgających nawet do nanoskali, np. badanie przyczepności elementarnych włókien szklanych w komorze mikroskopu skaningowego. Trzeba pamiętać, że włókna szklane mają średnice zbliżone do średnicy ziaren cementu, zatem oddziałują w mikroskali, odmiennie od zbrojenia tradycyjnego. W związku z tym prowadzone są także badania dotyczące zastosowań włókien szklanych jako mikro-zbrojenia uzupełniającego zbrojenie prętami i siatkami.

Uwagi końcowe

Chociaż zasięg krajowych zastosowań cienkościennych prefabrykatów z betonów zbrojonych włóknami szklanymi jest niewielki, można uważać, że zalety materiału i dostępnych technologii zostaną dostrzeżone na naszym rynku materiałów budowlanych, podobnie jak w krajach wysoko rozwiniętych. Dzięki wprowadzeniu serii norm PN-EN 1170 i PN-EN 1169, dotyczących badań betonów zbrojonych włóknami szklanymi oraz zasad fabrycznej kontroli produkcji, możliwy jest stabilny rozwój zastosowań tych atrakcyjnych materiałów w budownictwie.

doc. dr hab. inż. Michał A. Glinicki

Institut Podstawowych Problemów Techniki PAN Warszawa

(* Przykłady zaczerpnięto z materiałów informacyjnych firm Saint-Gobain Vetrotex (UK), Nippon Electric Glass (Japonia) oraz Ortodum-Humpolec (Czechy)

Ilustracja 7

Sztuczne skały w parku rozrywki w Wielkiej Brytanii



foto: Archiwum