

# Prefabrykowany beton architektoniczny zbrojony włóknem szklanym – możliwości kształtowania walorów estetycznych wyrobów

*Beton architektoniczny zbrojony alkaloodpornym włóknem szklanym jest materiałem zaawansowanym technologicznie i stosunkowo nowym. Oprócz wymagań dotyczących jego wysokich wytrzymałości i trwałości, musi spełniać szereg kryteriów dotyczących estetyki. Nigdy wcześniej nie wymagano od betonu, by jego powierzchnia była idealnie gładka, bądź w określony sposób fakturowana, oraz równomierna kolorystycznie.*

## 1. Wstęp

Technologia produkcji materiałów budowlanych (wyroby prefabrykowane) z betonów zbrojonych włóknem szklanym (GRC) opracowana została ponad 40 lat temu. Ze względu na konieczność stosowania dla ich otrzymywania wysokiej jakości i stosunkowo drogich surowców, produkuje się zazwyczaj elementy budowlane cechujące się możliwie niskim stosunkiem masa/powierzchnia, czyli wyroby cienkościennie. W przypadku stosowania cementu portlandzkiego, jako spoiwa, należy bezwzględnie jako mikrobrojenie stosować alkaloodporne (AR) włókno szklane zawierające w swoim składzie powyżej 16% (w przeliczeniu na  $ZrO_2$ ) związków cyrkonu.

Podstawowe technologie produkcji betonowych wyrobów z włóknem szklanym to:

- Mieszanie zestawu surowców w stacjonarnej mieszarce, a następnie formowanie wyrobów na stole wibracyjnym lub na wibroprasie. Włókna rozmieszczone są przestrzennie w betonowej matrycy w układzie 3D. Często stosuje się specjalnie zaprojektowane mieszanki włókien, różniące się tak długością, jak i średnicą. Tak otrzymuje się typowe wyroby drobnowymiarowe o zmniejszonej grubości i masie, np., płyty elewacyjne, elementy architektury ogrodowej, płaskie detale architektoniczne.
- Technologia natrysku. Do dyszy pistoletu natryskowego osobno doprowadza się tłoczoną pompą zaprawę o odpowiednio dobranej konsystencji, osobno włókno – rowing w postaci ciągłej. Włókna cięte są na odcinki o pożądanej długości w głowicy pistoletu i wydmuchiwane na zewnątrz. Ich mieszanie z zaprawą następuje w strudze wystrzeli-

wanej w kierunku formowanego elementu. W wyrobie następuje orientacja włókien w płaszczyźnie prostopadłej do kierunku natrysku (2D). Stosuje się dwie odmiany tej metody formowania wyrobów GRC: natrysk ręczny do formy i natrysk automatyczny. Ta pierwsza metoda to uniwersalny sposób na otrzymywanie prefabrykatów o skomplikowanych kształtach, wykonywanych często na indywidualne zamówienia. Natryskiem automatycznym wykonuje się masowo typowe elementy.

Analizując panujące trendy w 40 letniej produkcji ww. materiałów w dziesiątkach zakładów zlokalizowanych w ponad 35 krajach, należy zwrócić uwagę na fakt, że nie odnotowano przypadku podjęcia przez któryś z nich produkcji masowej jakiegokolwiek wyrobu. Przeważają działania, gdzie celem jest wytwarzanie specyficznych (na specjalne zamówienie, wg indywidualnego projektu) wyrobów, czasami znacznie różniącymi się własnościami użytkowymi, kształtem, wytrzymałością, odpornością na oddziaływanie środowiska, walorami estetycznymi (kolor, faktura powierzchni) itp.

Ponadto uwarunkowania ekonomiczne stanowią poważne ograniczenia w wyborze stosowanych surowców mineralnych. Należy założyć że np. ze względów logistycznych konieczne stanie się korzystanie z surowców lokalnie dostępnych.

Nie można zatem powiedzieć że istnieje jakaś ogólna receptura, która umożliwiłaby podjęcie produkcji prefabrykowanych elementów budowlanych z betonów zbrojonych włóknem szklanym (GRC) w sposób technicznie i ekonomicznie uzasadniony. W zależności od postawionego problemu należy podejmować indywidualne decyzje rozwiązywania zagadnienia, wymagające gruntownej znajomości problemu, oraz wieloletniego, również rynkowego doświadczenia w ich stosowaniu.

## 2. Barwienie

Tradycyjnie uformowany beton architektoniczny (głównie elewacje) ceniony był za to, że wygląd jego powierzchni odzwierciedlał jego naturalny charakter: kolor pochodzący od stosowania cementu portlandzkiego, wykwyty, przebarwienia, chropowatość, czasem odciski szalunku. Z czasem gusta projektantów i inwestorów uległy zróżnicowaniu. Rosły wymagania co do rodzaju faktury, koloru oraz jednorodności ekspozycyjnej betonowej powierzchni. Tym bardziej, że zmienił się asortyment produkowanych prefabrykatów, wykonywanych głównie z betonów GRC. Oprócz elementów elewacyjnych, wytwarza się całą gamę wyrobów o coraz to bardziej urozmaiconym przeznaczeniu – mała architektura, elementy wyposażenia wnętrz itp.

### 2.1. Barwienie w masie

Barwienie w masie wyrobów betonowych z zastosowaniem cementów portlandzkich jako spoiwa, w chwili obecnej nie stwarza większych problemów.

Fot. 1. Płyty elewacyjne barwione czarnym pigmentem, różne dawkowanie





Fot. 2. Politechnika w Białymstoku, biblioteka, obiekt po oddaniu



fot. Archiwum autorów

Fot. 3. Politechnika w Białymstoku, biblioteka, obiekt po przemalowaniu

Powszechnie stosowane pigmenty zarówno tlenkowe, jak i syntetyczne muszą właściwie spełniać jeden podstawowy warunek, a mianowicie muszą być trwałe w wysoko alkalicznym środowisku dojrzewającego betonu i łatwo ulegać rozmieszaniu. Dodaje się je zazwyczaj do zarobu w ilości <math><6\%</math> masy cementu, niemniej mają one wpływ nie tylko na barwę, lecz i na inne właściwości użytkowe betonu. Prefabrykaty betonowe barwione w masie charakteryzują się pastelowym odcieniem. Coraz częściej w celu uzyskania lepszej wyrazistości barwy wyrobów, stosuje się w recepturach ich otrzymywania cementy białe. Producenci oferują duży wybór ww. pigmentów różniących się intensywnością barwienia, trwałością w okresie eksploatacji i ceną. Wybór rodzaju i ilości pigmentu jest istotny, zwłaszcza gdy dotyczy to tych, które będą stosowane do otrzymywania wyrobów przeznaczonych do ekspozycji na wpływ warunków zewnętrznych (elewacje, elementy infrastruktury drogowej).

## 2.2. Barwienie powierzchniowe

Tradycyjnie kojarzone jest jako operacja maskująca niedokładności wynikające z niedokładności procesu produkcji. Ale nie zawsze tak jest. Wyroby betonowe (w tym GRC) żyją, zmieniają swoje właściwości w trakcie ich eksploatacji, zwłaszcza poddane oddziaływaniu czynników zewnętrznych. Zmienia się ich wytrzymałość, trwałość, faktura powierzchni, kolorystyka. Mogą wystąpić wykwyty i przebarwienia, których nie było widać na etapie budowy i pierwszego okresu ich eksploatacji. W tym przypadku inwestor, czasem kierowany subiektywnym odczuciem estetycznym, decyduje się na barwienie powierzchniowe. W tym celu stosuje się zazwyczaj specjalistyczne farby na bazie kopolimerów żywic akrylowych, bądź też na bazie uwodnionych krzemianów potasowych lub fluorokrzemianów sodowych.

## 3. Kształtowanie powierzchni z betonu architektonicznego

Kształt powierzchni ma istotne znaczenie dla subiektywnego odbioru estetyki wyrobów. Możliwości jej kształtowania są duże. Można produkować prefabrykaty charakteryzujące się wręcz lustrzaną gładkością, którą uzyskuje się nanosząc zaprawę zbrojoną włóknem na powierzchnię nieporowatej

i nienasiąkłej formy (szkło, tworzywa organiczne) lub też wręcz przeciwnie, specjalnie nadając jej szorstkość, o czym piszemy poniżej.

W celu bezpiecznego i łatwego oddzielenia formy od stwardniałego wyrobu, ważnym jest właściwy dobór środków antyadhezyjnych odpowiednich dla określonej technologii produkcji, stosowanych surowców, pigmentów. Dotyczy to też uwzględnienia rodzaju materiału, z jakiego wykonane są formy, oraz okresu ich eksploatacji (zużycia). Źle dobrany antyadhezant utrudnia rozformowywanie, powoduje widoczne na powierzchni wyrobu przebarwienia, a czasem wżery.

### 3.1. Piaskowanie

Piaskowanie jest procesem pozwalającym na uzyskanie gładkiej powierzchni, na zaburzenie gładkości powierzchni lub na usunięciu zanieczyszczeń z powierzchni danego obiektu, tj. betonu architektonicznego. Proces usuwania stwardniałego mleczka cementowego z powierzchni odbywa się pod wysokim ciśnieniem za pomocą środka ściernego, którym jest w zazwyczaj piasek kwarcowy o różnej gradacji.

Fot. 4. Elementy przestrzenne formowane na tworzywie organicznym



fot. Archiwum autorów



Fot. 5. Powierzchnia okładziny GRC piaskowanej kwarcytem o średnicy  $< 1\text{ mm}$



Fot. 6. Stalowa forma pokryta preparatem opóźniającym wiązanie cementu

Czas, w którym beton poddaje się piaskowaniu musi być zgodny z harmonogramem produkcji, bowiem należy uwzględnić takie czynniki jak: czas i warunki dojrzewania betonu, twardość kruszywa (kwarc, wapień), zamierzony efekt wizualny. Jeżeli pożądane jest głębsze odsłonięcie kruszywa, piaskowanie należy przeprowadzić podczas pierwszych trzech dni, natomiast nie przed uzyskaniem przez beton wytrzymałości 15 MPa. Dla każdego procesu piaskowania powinno się przeprowadzać próby związane z wiekiem betonu.

Fot. 7. Powierzchnia płyty okładzinowej z eksponowanym kruszywem



### 3.2. Trawienie kwasem

Trawienie kwasem jest procesem służącym do usuwania pozostałości mleczka cementowego oraz wodorotlenku wapniowego i soli metali alkalicznych z powierzchni betonu. Pozwala na całkowite, lub przynajmniej częściowe usuwanie wykwitów. Trawienie odbywa się za pomocą kwasów, np. kwasu solnego lub fosforowego, i środków powierzchniowo czynnych (o różnych stężeniach, różny jest też czas ekspozycji). Trawienie stosuje się wtedy, gdy beton jest zacierany mechanicznie, a piaskowanie i szlifowanie nie jest stosowane. Dzięki temu procesowi zapewnia się dobrą przyczepność powłok do betonu, np. impregnatów lub farb.

### 3.3. Eksponowanie kruszywa

Odbywa się ono poprzez mechaniczne lub hydromechaniczne usuwanie zewnętrznej powierzchni elementu betonowego, który tworzony był przy użyciu środka opóźniającego wiązanie naniesionego na styku zaprawa-forma. Środek opóźniający wiązanie umieszcza się (wałek, natrysk) w cieniwej warstwie na dnie lub ścianach formy. Po rozformowaniu można zauważyć, że element betonowy jest związany w masie, natomiast powierzchnia lico wa elementu jest nie w pełni związana, tzn. jest plastyczna i łatwo obrabialna. Za pomocą takich przedmiotów jak: strumień wody pod wysokim ciśnieniem, szczotki, papier ścierny, itp. można usunąć na tyle warstwę zewnętrzną, by odsłonić ziarna kruszywa.

### 4. Strukturalnie formowana powierzchnia

Zastosowanie formy tłoczonej pozwala na bardzo dokładne odwzorowanie w betonie kształtów jego powierzchni. Już na etapie wstępnym projektując formy, a zwłaszcza jej silikonową warstwę pozwalającą na utrwalenie na powierzchni wyrobu pożądanej faktury, należy zrobić to w sposób profesjonalny. Najlepszym rozwiązaniem jest zakupienie w wyspecjalizowanej firmie odpowiedniej wkładki (dosyć wysokie koszty). Jeżeli zakład jest odpowiednio wyposażony (frezarka CNC i nóż wodny) umożliwiające wykonanie zaprojektowanego modelu i cięcie płyt na odpowiednie wymiary, należy projektując silikonową warstwę unikać tzw. kątów ujemnych. Zakładany kształt i wymiary powierzchni formy powinny w sposób optymalny umożliwić dzielenie wyrobu na zaplanowane elementy.

### 5. Formy przestrzenne

Wytwarzanie wyrobów stanowiących zazwyczaj elementy wyposażenia wnętrza, małej architektury i betonowych replik różnego rodzaju obiektów, wymaga konstrukcji specjalnych form, które umożli-

Fot. 8. Przykład strukturalnego formowania powierzchni



fot. Archiwum autorów



Fot. 9. Przykład strukturalnego formowania powierzchni



fot. Archiwum autorów

wią wyprodukowanie cienkościennych (przeważnie metodą natrysku) betonowych elementów. Istnieją możliwości konstruowania form, które w sposób ekonomiczny pozwolą na wytwarzania ww. betonowych prefabrykatów. Formy mogą być: składane, zaginane, frezowane lub silikonowo nanoszone na odwzorowywany obiekt. Stworzenie betonowego, a jednocześnie lekkiego elementu przestrzennego niesie ze sobą wiele trudności. Przede wszystkim wytworzenie takiej formy, która będzie trwała i nie będzie się w żaden sposób odkształcać podczas dojrzewania betonu. Osobny problem to zaprojektowanie receptury mieszanki betonowej, która nie będzie spływać z pionowych ścianek formy, oraz równomierne natryskiwanie mieszanki betonowej na każdej powierzchni elementu. Pewnego rodzaju wyroby użytkowe, a dotyczy to zwłaszcza niektórych elementów wyposażenia wnętrz, wymagają szczególnie dokładnego zabezpieczenia powierzchni przed wpływem wszelkiego rodzaju zabrudzeń (brudna woda, tłuszcze, kawa, wino itp.). Dotyczy to głównie betonowych zlewów, umywalk, waniek, blatów kuchennych, betonowych elementów wyposażenia barów, restauracji itp. Tego rodzaju bezpieczna impregnacja betonu jest procesem nadzwyczaj skomplikowanym, wymagającym stosowania nie tylko jednego rodzaju impregnatu, ale pakietu różnego rodzaju żywic, z pełną świadomością możliwości ich współdziałania.

## 6. Podsumowanie

Możliwości wytwarzania prefabrykowanych wyrobów z betonów zbrojonych włóknem szklanym są niemal nieograniczone. Można produkować klasyczne kształty, do których w przypadku betonu jesteśmy przyzwyczajeni, jak płyty, prostokątne bryły itp., ale możemy formować też bryły „miękkie”, zakrzywione, wręcz faliste. Można też w sposób zaplanowany realizować zamierzenia projektanta dotyczące zarówno kolorystyki, jak i faktury powierzchni. W ostatnich latach często z tej możliwości korzystała Zaha Hadid, uzyskując oszałamiające efekty. Jej projekty (zrealizowane) zaskakują brakiem wszelkich ograniczeń i zahamowań, jakie ktoś kto projektując konstrukcje „realizowane w betonie” sobie narzuca. Beton zbrojony włóknem szklanym jest materiałem trwałym, odpornym na zmienne warunki atmosferyczne. Jest również odporny na kruche pęknięcie.

**Łukasz Żyła, Magdalena Thiel**

**Centrum Badawczo-Rozwojowego Technologii  
Betonowych Ren-Bet Sp. z o. o.**

**Marek Petri**

**Akademia Górniczo-Hutnicza  
im. Stanisława Staszica w Krakowie**

**Artykuł został opublikowany  
w materiałach konferencyjnych  
Konferencji Dni Betonu 2016**

Fot. 10. Przykład strukturalnego formowania powierzchni, mapa świata



fot. Archiwum autorów

Fot. 11. Bryła ze strukturalnie formowaną powierzchnią, ścianki o grubości 2 cm



fot. Archiwum autorów

Fot. 12. Betonowy fotel, grubość skorupy 2 cm



fot. Archiwum autorów

Fot. 13. Impregnowany, z wtrąceniami imitacji rdzy blat kuchenny