

# Beton fasadowy z zastosowaniem włókna szklanego: najważniejsze technologie i przegląd dobrych praktyk na wybranych przykładach



mgr inż. arch.  
**PRZEMYSŁAW NOWAK**  
Wydział Architektury  
Politechnika Wrocławska  
**ORCID: 0000-0002-8848-100X**



dr hab. inż. arch. prof. PWR  
**MARCIN BRZEZICKI**  
Wydział Architektury  
Politechnika Wrocławska  
**ORCID: 0000-0002-3901-144X**

Artykuł ma na celu przedstawienie dynamicznych zmian w technologii fasad betonowych GRC, zachodzących szczególnie w dwóch pierwszych dekadach XXI w. W artykule przedstawiono zarówno informacje na temat początkowych etapów rozwoju technologii betonu zbrojonego włókniem szklanym, jak i reprezentatywne przykłady zastosowań tego materiału budowlanego skategoryzowane pod kątem osiągnięcia konkretnych celów.

Najbardziej logicznym i prostym sposobem wykonania betonowego lica fasady jest zalanie płynnym betonem formy o określonym wcześniej kształcie. Takie zastosowanie wiąże się jednak z wieloma ograniczeniami. Pozwala ono na uzyskanie elementu o niewielkiej powierzchni, z często niewystarczającą odpornością na czynniki fizyczne i chemiczne [1]. Znaczną poprawę właściwości betonu uzyskuje się, zbrojąc go innym materiałem. Przez długi czas zbrojenie płyt elewacyjnych odbywało się w tradycyjny sposób – za pomocą odpowiednio ukształtowanych prętów i drutów stalowych zatapiających w objętości mieszanki. Sposób był wzorowany na rozwiązaniach wielkoskalowych. Ze względu na specyficzne własności chemiczne, a także fizyczne żelbetu niósł on jednak ze sobą poważne konsekwencje. Jedną z nich była korozja zagrażająca zbrojeniu [2]. Aby zabezpieczyć wrażliwe pręty zbrojeniowe, płyta elewacyjna wymagała odpowiedniej otuliny. Dodatkowa warstwa z każdej strony zwiększała grubość elementów nawet o kilkanaście centymetrów. Uzyskiwany w ten sposób prefabrykat cechował ciężar własny przekraczający 300 kg/m<sup>2</sup> (przy grubości elementu powyżej 12 cm) i przysadziste proporcje. Znacząco wpływało to na możliwość uzyskania formy architektonicznej. Architekci jednak chętnie wykorzystywali tego rodzaju wykończenie fasady, ponieważ masa elementów okrywających miała

potencjał akumulacji ciepła, była trudna do zniszczenia, a także – w niektórych przypadkach – mogła działać jako element konstrukcyjny. Niestety wspomniane wady znacznie zawężyły możliwości formalne, po które mogli sięgnąć projektanci, operując tymi systemami. Istnieje jednak inna technologia, której zastosowanie niweluje wyżej wymienione ograniczenia – to technologia zbrojenia betonu włókniem szklanym GRC (ang. *glass reinforced concrete*).

Zbrojenie materiałów różnymi włókniem nie jest nowoczesną technologią. Już w starożytności, aby wzmocnić suszone na słońcu cegły mułowe, wykorzystywano końskie włosie i słomę [3]. Początek XX wieku to okres, w którym do powszechnego użytku wszedł azbest. Włókno było wykorzystywane jako samodzielny materiał budowlany, ale także jako dodatek wzmacniający do innych materiałów. Oceniając obecnie krytycznie ten materiał, należy jednak zaznaczyć, że to właśnie on otworzył możliwości zastosowania mieszanek włókien i cementu [4].

Włókna szklane charakteryzują się wysoką odpornością na siły rozciągające. Dla włókna typu E, wytwarzanego ze szkła glinowo-borowo-krzemowego, wytrzymałość wynosi do 3,5 GPa przy module sprężystości 60–70 GPa. W wyniku pierwszych prób połączenia włókien szklanych z betonem otrzymano materiał o niespotykanych wcześniej parametrach [5]. Po pierwszych przypadkach zastosowania okazało się jednak, że włókna szkla-

ne są podatne na działanie zasad naturalnie występujących w betonie oraz tych, które oddziałują ze środowiska. Po bardzo krótkim czasie element wytworzony z tego materiału tracił swoje właściwości i przydatność do zastosowania. W latach 70. XX w. na rynek wprowadzono nowy typ włókna szklanego. Wytworzone ze szkła z dodatkiem cyrkonu, wykazywało zwiększoną odporność na działanie zasadowych odczynów. Udoskonalenia sprawiły, że oprócz niespotykanych własności fizycznych materiał cechowała również wysoka trwałość [6]. Nowy materiał charakteryzował się także odpornością na zawilgoceń oraz wytrzymałością na czynniki fizyczne. Beton zbrojony włókniem szklanym okazał się bardziej elastyczny i wykazywał wyższą odporność na uderzenia niż znane dotychczas warianty betonu.

## Teza i metoda badawcza

Wobec powszechnego wykorzystania GRC w architekturze i budownictwie można sformułować tezę, że GRC jest materiałem uniwersalnym, który może być szeroko stosowany w budynkach różnego typu o odmiennych wymaganiach. Wprowadzenie odpowiednich praktyk oraz właściwe stosowanie materiału może pozwolić na pełniejsze wykorzystanie jego potencjału, a także zredukowanie negatywnego wpływu na środowisko.

Na metodę badawczą złożyły się następujące techniki: badania literaturowe i kwerenda źródeł internetowych, wizje lokalne opi-

sywanych studiów przypadków, dokumentacja metodą fotograficzną. W dalszych częściach artykułu przedstawiono reprezentatywne przykłady zastosowania technologii GRC w rozwiązaniach fasadowych. Ich wybór został podyktowany odmiennością celu zastosowania tej technologii i wykorzystaniem potencjału, jaki daje opisywany materiał.

Badania rozpoczęto od analizy źródeł w postaci publikacji naukowych oraz – obfitujących w aktualne informacje – portali internetowych. Następnie została stworzona baza danych zawierająca fasady wykonane w technologii GRC. Część analityczna opiera się na istniejących realizacjach z Polski i świata.

### Beton GRC

Beton GRC to materiał, na który składają się m.in. włókna szklane o podwyższonej zawartości cyrkonu, wysokiej klasy cement, piasek o podwyższonej zawartości krzemu, środki chemiczne stabilizujące włókna szklane i poprawiające jakość wyrobu, barwniki oraz dodatki mogące modyfikować własności gotowego produktu [7].

Technologia GRC została również zaadaptowana do tradycyjnie zbrojonego betonu, szczególnie w przypadku elementów wykonywanych na mokro na budowie, gdzie wyeliminowanie czynników sprzyjających spękanom skurczowym jest wyjątkowo trudne. Dla tradycyjnie zbrojonego betonu zawartość włókien szklanych waha się w okolicach 1,5%. Aby osiągnąć optymalną skuteczność zbrojenia, zawartość szkła w prefabrykatkach GRC jest znacznie większa i oscyluje wokół 3,5%. Beton musi zostać poddany wibrowaniu, podobnie jak w przypadku prefabrykatów z tradycyjnego materiału [8]. Oprócz włókien szklanych w betonie mogą znaleźć się również włókna polimerowe.

Modyfikacja procesu tworzenia betonu GRC ma znaczny wpływ na parametry i charakterystykę otrzymywanego produktu. Przykładem jest laminat strukturalny GRC otrzymywany przez naprzemienne nakładanie warstw betonu oraz arkuszy włókna szklanego aż do uzyskania pożądanej grubości elementu. Ma on szerokie zastosowanie w produkcji elementów dekoracyjnych, takich jak obramienia okienne, dekoracyjne kolumny, fryzy czy stiuki.

Kolejną postacią, pod jaką występuje beton GRC, jest panel warstwowy. Ten rodzaj kształtowania elementów znany jest między innymi z konstrukcji paneli ścian osłonowych, w których izolacyjny rdzeń obudowany jest z zewnątrz stalową blachą [9]. Taki sposób kształtowania daje możliwość zastosowania betonu GRC nie tylko w formach dekoracyjnych, ale czyni go również pełnoprawnym materiałem konstrukcyjnym, częstokroć przewyższającym te stosowane powszechnie w budownictwie.



Rys. 1. Dom mieszkalny w dzielnicy Jätkäsaari, Helsinki (arch. Huttunen-Lipasti Architects)

### Przegląd dobrych praktyk stosowania betonu GRC w architekturze

W dalszej części tekstu zostaną przedstawione dobre praktyki zastosowania omówionych wcześniej technologii w obiektach budowlanych. Informacje techniczne i opisy zastosowanych technologii zostały pozyskane z ogólnodostępnych źródeł literaturowych. Celem tego przeglądu jest udowodnienie wszechstronności materiału, a także przedstawienie szerokiego wachlarza jego zastosowań w architekturze oraz budownictwie. Przykłady zostały uporządkowane w kolejności chronologicznej.

#### Cannon Street 30, Londyn (arch. Whinney, Son and Austin Hall, 1960)

Za pierwsze zastosowanie GRC przyjmuje się powstały w latach 60. XX w. budynek przy Cannon Street w Londynie. Od początku był traktowany jako eksperyment. W zamyśle jego trwałość określono na 25 lat. Badania wykonywane w trakcie funkcjonowania dowiodły jednak, że elewacja budynku nie wykazuje znaczących śladów zużycia i z wielkim prawdopodobieństwem przetrwa kolejne dekady. W 2003 roku podczas kongresu IGRC w Barcelonie badacze Chris Peaston i Bob Cather z Arup Materials Consulting przedstawili wyniki jednoznacznie wskazujące, że poprawnie zaprojektowany, wykonany oraz zainstalowany beton GRC charakteryzuje się znacznie dłuższym okresem przydatności technicznej niż inne powszechnie stosowane materiały budowlane [16].

#### Länsisatamankatu 23, Helsinki (arch. Huttunen-Lipasti Architects, 2014)

Jednym z przykładów zastosowania GRC w budownictwie wielorodzinnym jest budy-



Rys. 2. Salon marki Louis Vuitton (arch. Jun Aoki)

nek Länsisatamankatu 23, zlokalizowany w dzielnicy Helsinki, Jätkäsaari (rys. 1.). Zastosowanie elementu powtarzalnego – betonowej ażurowej kraty stanowiącej balustradę – i wydzielenie balkonów pozwoliło na obniżenie kosztów produkcji elementu. Fasadzie nadano modułarny wyraz przy jednoczesnym zachowaniu lekkości formy.

#### Fasada salonu marki Louis Vuitton, Tokio (arch. Juno Aoki, 2014)

W 2014 r. salon marki Louis Vuitton zlokalizowany w tokijskiej dzielnicy Ginza zyskał wyjątkową, przeświecającą obudowę. Architekt zdecydował się połączyć GRC z indyjskim alabastrem (rys. 2.). Dzięki unikalnym właściwościom tego kamienia – przezierności i nieregularnej fakturze – nadał elewacji charakterystyczny wygląd. Oryginalny efekt wyma-



Rys. 3. Budynek Rauti-Huus w Zurychu (arch. Spillmann-Echsle)



Rys. 4. Biblioteka Archidiecezji Wrocławskiej (arch. pracOFFnia, 2020)

gał niestandardowych rozwiązań – płyty musiały zostać odpowiednio sprefabrykowane. Alabastrowe prostopadłościanny umieszczono w formach, a następnie zalano masą włóknobetonową. Po odlaniu płyty wyszlifowano i wypolerowano aż do uzyskania jednolitej grubości 15 mm. Projektant określa swój zabieg jako efekt „lastryko”, w którym to kamienie różnego pochodzenia zostają spojone masą betonową i wyszlifowane. Podświetlone od spodu płyty fasady tworzą interesujący efekt wizualny, ukazując unikalne żyłkowanie alabastrowych inkluzji.

### Rauti-Huus, Zurich (arch. Spillmann-Echsle, 2015)

Biuro projektowe Spillmann-Echsle otrzymało zadanie zmiany sposobu użytkowania istniejącego budynku przemysłowego Rauti-Huus z 1947 r. (rys. 3.) w Zurychu [15]. Po usunięciu nadbudów z lat 60. do 4-kondygnacyjnego budynku zostały dodane dwie nowe kondygnacje mieszkalne. Ponieważ ekspertyza konstrukcyjna wykazała, że nośność fundamentów budynku jest ograniczona, zastosowanie konwencjonalnych technik budowlanych było utrudnione. Projektanci podjęli de-

cyzję o zastosowaniu konstrukcji drewnianej. Projekt zakładał jednak utrzymanie formalnej spójności materiału, z którego jest wykonana fasada. Konieczne było dobranie materiału elewacyjnego, który zapewniłby odpowiednie walory wizualne, stanowiąc jednocześnie trwałe i niezawodne pokrycie budynku. Materiałem spełniającym wszystkie kryteria był włóknobeton. Elementy elewacyjne o grubości 15 mm zachowały surową fakturę oraz kolor, a jednocześnie były ok. 10 razy lżejsze niż podobne elementy wykonane w tradycyjnej technologii.

### Centrum Handlowe Serenada, Kraków (arch. AMC, 2017)

Elementem wyróżniającym budynek CH Serenada spośród innych tego typu jest oryginalny wzór pokrywający elewację przywodzącą na myśl ceglane zabytkowe fortyfikacje – element charakterystyczny dla krakowskiej zabudowy. W rzeczywistości pokryta jest skomplikowanym, przemysłowym wzorem geometrycznym, na który składają się trójwymiarowe elementy o różnym stopniu rozrzeźbienia. Aby wizja projektantów mogła zostać zrealizowana, potrzebne było zastosowanie prefabrykacji na wielką skalę.

Do pokrycia elewacji wielkopowierzchniowego centrum handlowego użyto 134 tysięcy elementów wykonanych z GRC w 900 różnych wariantach. Wielkim wyzwaniem okazało się nie tylko wyprodukowanie, ale również zapewnienie ciągłości i łączy dla tak skomplikowanego wzoru. Dokładne rozplanowanie układu elementów oraz przeniesienie projektowanego układu na strukturę budowlaną to zadanie wymagające niezawodnego i precyzyjnego materiału. Odchylenia wymiarowe włóknobetonu przy zachowaniu odpowiednich procedur produkcji są liczone w milimetrach. Dodatkowo możliwość barwienia elementów w masie pozwoliła nadać fasadzie charakterystyczny ceglasty kolor.

### Biblioteka Archidiecezjalna, Wrocław (arch. pracOFFnia, 2020)

Biblioteka Archidiecezji Wrocławskiej jest współczesnym budynkiem w bryle rekonstruowanej zgodnie z historycznym pierwowzorem. Program konserwatorski nakazywał jego odbudowę w barokowej bryle i szacie (rys. 4.). Dzięki obszernej dokumentacji historycznej możliwe było odtworzenie zdobień pokrywających niegdyś elewację budynku. Podjęto decyzję o odtworzeniu historycznej elewacji przy użyciu współczesnego materiału. GRC umożliwił pokrycie budynku stosunkowo cienką (od 15 mm) okładziną elewacyjną kształtowaną w formy barokowych zdobień. Z prefabrykowanych elementów dzielonych na regularne segmenty zostały złożone obra-

mienia okienne, fryzy i gzymsy. Pozwoliło to na wykonanie ocieplenia budynku z wykorzystaniem technik powszechnie stosowanych w fasadach wentylowanych.

## Wnioski

Zestawienie opisanych przykładów oraz analiza stanu wiedzy technicznej pozwala wyciągnąć wstępne wnioski na temat zastosowań GRC. Dane dotyczące stosowania GRC nie pozostawiają wątpliwości – technologia jest rozwojowa, a wachlarz jej zastosowań stale się zwiększa.

Wśród realizacji i przykładów literaturowych można doszukiwać się cech wspólnych. Jedną z nich jest złożoność geometryczna obiektu. W zestawieniu budynków wykorzystujących standardowe technologie oraz GRC widać, że projektanci dysponujący tak uniwersalnym materiałem otrzymują większą swobodę w kształtowaniu przestrzeni, którą wykorzystują, projektując nietypowe formy, rozrzeźbienia i zdobienia (patrz: Länsisatamankatu 23 i Biblioteka Archidiecezjalna) [10].

Warto również zwrócić uwagę na przebudowy, a także rozbudowy istniejących obiektów. Niewielka użyteczna grubość elementów wykonanych z GRC pozwala na zmniejszenie ciężaru okładziny elewacyjnej (patrz: Rauti-Huus). Jest to właściwość, która stanowi powtarzający się argument za wyborem właśnie tej technologii w różnych realizacjach. Kolejną zaletą przemawiającą za wykorzystaniem tego materiału w przebudowach jest wysoka uniwersalność w zakresie łączenia z innymi materiałami – GRC może potencjalnie współpracować z dowolną strukturą budowlaną (patrz: fasada salonu marki Louis Vuitton). Przeprowadzono również liczne badania wykazujące wyjątkowo korzystne parametry wytrzymałościowe i odporność na czynniki zewnętrzne [11].

Między przykładami realizacji można doszukać się również wielu różnic. Wynikają one z odmiennego podejścia do materiału oraz z koncentracji na różnych jego właściwościach. Wielu projektantów stawia sobie za cel wykorzystanie pełnego potencjału GRC jako uniwersalnego budulca. W znacznej części istniejących realizacji jest on jednak stosowany jedynie jako zamiennik tradycyjnego betonu charakteryzujący się lepszymi parametrami.

W obecnej chwili okładziny elewacyjne z GRC są stosowane alternatywnie do okładzin wykonanych z innych materiałów, nie stanowią jednak dla nich poważnej konkurencji. Jego niepodważalne zalety zachęciły wiele podmiotów przemysłowych oraz praktyków do prowadzenia nad nim prac badawczych dotyczących zarówno udoskonalania samego materiału, jak i jego składników. W literaturze pojawiają się jednak głosy na temat wad GRC [12]. Badacze wskazują m.in.

na spękania, ogólne osłabienie strukturalne i przyspieszone starzenie materiału. Na podstawie ww. artykułu oraz innych badań można wywnioskować, że udoskonalenie technologii GRC jest w wysokim stopniu uzależnione od modernizacji procesów budowlanych i produkcyjnych, często przystosowanych do przetwarzania standardowego betonu.

Czynnikiem istotnie oddziałującym na perspektywę rozwoju technologii GRC jest aspekt ekologiczny wynikający z zastosowania cementu [13]. Jedną z przesłanek działającą na jego korzyść jest możliwość zredukowania objętości materiału potrzebnego do wytworzenia struktury budowlanej. Dzięki odpowiednim zabiegom projektowym możliwe jest łączenie go z tworzywami biodegradowalnymi i ekologicznymi. Nadal jednak zasadniczym składnikiem GRC pozostaje cement, czyli substancja odpowiadająca za niemal 8% światowej emisji dwutlenku węgla [14]. Do dalszego rozwoju tej technologii konieczne jest równoległe prowadzenie badań nad możliwościami recyklingu, ograniczeniem emisji, a także poszukiwanie przyjaznych dla środowiska komponentów mogących zastąpić tradycyjne spoiwa.

Posiłkując się wnioskami płynącymi z powyższego przeglądu dobrych praktyk, można stwierdzić, że stosowanie betonu GRC umożliwi wznoszenie budynków o dłuższym przewidywanym okresie eksploatacji, łatwiejszych do modernizacji oraz przebudowy. Ograniczenie ciężaru elementów okładziny oznacza zmniejszone zużycie materiału, w tym piasku – którego zasoby są na wyczerpaniu – i cementu, który charakteryzuje duży ślad węglowy. Wpłyynie to również na zmniejszenie ilości utylizowanych odpadów. Na podstawie przytoczonego przeglądu dobrych praktyk można stwierdzić, że GRC – po wyeliminowaniu niedoskonałości procesu produkcji – może stać się uniwersalnym materiałem z szerokim potencjałem stosowania w budynkach różnego typu o odmiennych wymaganiach.

## Literatura

- [1] Coulter Alton R. et al., Cast-in-place concrete slab pouring form, U.S. Patent No. 4,202,145. 13 May 1980.
- [2] Kõliõ Arto et al., The corrosion rate in reinforced concrete facades exposed to outdoor environment, *Materials and Structures* 50.1 (2017): 23.
- [3] Binici Hanifi, Orhan Aksogan and Tahir Shah, Investigation of fibre reinforced mud brick as a building material, *Construction and building materials* 19.4 (2005): 313–318.
- [4] Urbaniaik W., Historia azbestu – od euforii do zakazu, *Przegląd Komunalny* 1 (2015): 44–46.
- [5] Fu S.-Y. et al., Tensile properties of short-glass-fiber-and short-carbon-fiber-reinforced polypropylene composites, *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing* 31.10 (2000): 1117–1125.
- [6] Yılmaz V.T., Lachowski E.E., Glasser F.P., Chemical and Microstructural Changes at Alkali Resistant Glass Fiber–Cement Interfaces, *Journal of the American Ceramic Society* 74.12 (1991): 3054–3060.
- [7] Shakor P.N., Pimpilikar S.S., Glass fibre reinforced concrete use in construction, *International Journal of Technology and Engineering System* 2.2 (2011): 632–634.
- [8] Hajok D., Beton-twardy sojusznik, *Budownictwo, Technologia, Architektura* 1 (2012): 20–23.
- [9] Shakor P.N., Pimpilikar S.S., Glass fibre reinforced concrete

use in construction, *International Journal of Technology and Engineering System* 2.2 (2011): 632–634.

- [10] Mistewicz M., Pierwsze w Królestwie Polskim łukowe mosty systemu Moniera zbudowane przez inżyniera Arnolda Bronikowskiego, *Kwartalnik Historii Nauki i Techniki* 64.1 (2019): 39–55.
- [11] Vahidi E.K., Malekabadi M. M., 2 GRC and Sustainable Building Design, *GRC Istanbul* (2011).
- [12] Moceklis R., Kitiāte A., Keturakis E., Workability of glass reinforced concrete (GRC) with granite and silica sand aggregates, *IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.* Vol. 251. 2017.
- [13] Fowler D.W., Polymers in concrete: a vision for the 21st century, *Cement and concrete composites* 21.5-6 (1999): 449–452.
- [14] Mehta P.K., Reducing the environmental impact of concrete, *Concrete international*: 23.10 (2001): 61–66.
- [15] <https://www.spillmannechse.ch/> dostęp sierpień 2020.
- [16] [https://www.specifiedby.com/grouk/architectural-cladding/GRCUK\\_Architectural-Cladding\\_Technical\\_Durability-and-Weathering.pdf](https://www.specifiedby.com/grouk/architectural-cladding/GRCUK_Architectural-Cladding_Technical_Durability-and-Weathering.pdf) dostęp wrzesień 2020.

DOI: 10.5604/01.3001.0014.4530

## PRAWIDŁOWY SPOSÓB CYTOWANIA

Nowak Przemysław, Brzezicki Marcin, 2020, Beton fasadowy z zastosowaniem włókna szklanego: najważniejsze technologie i przegląd dobrych praktyk na wybranych przykładach, *„Builder”* 11 (280). DOI: 10.5604/01.3001.0014.4530

**Streszczenie:** Artykuł ma na celu przedstawienie dynamicznych zmian w technologii fasad betonowych GRC, zachodzących w okresie dwóch pierwszych dekad XXI w. W tekście zawarto zarówno informacje na temat początkowych etapów rozwoju technologii betonu zbrojonego włóknem szklanym, jak i reprezentatywne przykłady zastosowań tego materiału budowlanego skategoryzowane pod kątem osiągnięcia konkretnych celów. Charakterystyka nowego materiału pokazuje szerokie możliwości zastosowania betonów fasadowych, w tym głównie GRC. Celem jest dokonanie przeglądu dobrych praktyk w stosowaniu systemów prefabrykowanych dla fasad z włókno-betonu i betonów zbrojonych polimerem oraz prezentacja studiów przypadku oraz przykładów zastosowania.

**Słowa kluczowe:** fasada, beton, włókno szklane, zbrojenie

**Abstract:** FACADE CONCRETE WITH GLASS FIBRE: THE MOST IMPORTANT TECHNOLOGIES AND AN OVERVIEW OF APPLICATIONS ON SELECTED EXAMPLES. The objective of the paper is to present the dynamic changes in the glass fibre reinforced concrete (GRC) facade technology, taking place in particular during the first two decades of the 21<sup>st</sup> century. The paper presents both information on the initial stages of development of the glass fibre reinforced concrete technology and representative examples of the application of this building material, categorized in terms of achieving specific goals. The characteristics of the new material show the wide possibilities of using facade concretes, mainly GRC. The aim is to review good practices in prefabricated systems of fibre and polymer reinforced concrete facades and to present case studies and examples of use. **Keywords:** GRC, façade, concrete, glass fibre, reinforcement