

XIII
KONFERENCJA

2025 DNI BETONU

TRADYCJA I NOWOCZESNOŚĆ

13-15 października 2025

MONOGRAFIE TECHNOLOGII BETONU - REFERATY



dnibetonu.com

Redakcja: **Jan Deja**
Bartosz Głowacz
Paulina Gos-Błaszczyk
Patryk Jóźwiak
Dariusz Konieczny
Grzegorz Krechowicki
Zbigniew Pilch
Bożena Środa
Zespół SPC

Skład i łamanie tekstu,
opracowanie graficzne: **AD-LINE.PL**

Projekt: **Artur Darlak**

© Copyright by Stowarzyszenie Producentów Cementu, Kraków 2025

ISBN: 978-83-61331-51-3

Wydawca:



Stowarzyszenie Producentów Cementu
ul. Lubelska 29, 30-003 Kraków
tel. +48 12 423-33-55
e-mail: wydawnictwo@polskicement.pl
www.polskicement.pl

XIII
KONFERENCJA

2025.

DNI BETONU

T R A D Y C J A I N O W O C Z E S N O Ś Ć

13-15 października 2025

**MONOGRAFIE
TECHNOLOGII
BETONU**

- REFERATY



dnibetonu.com

ARCHITEKTURA BETONOWA

CONCRETE ARCHITECTURE

Tomasz Kozłowski

Wydział Architektury, Politechnika Krakowska

Architektura betonowa - gra pustki

Concrete architecture - the playing of emptiness

Streszczenie:

Beton uważany był kiedyś za materiał pospolity, ale i najlepszy przy budowaniu wszelkiego rodzaju budynków technicznych. Dziś jego estetyka staje się czym interesującym i sztuką samą w sobie. Jego chropowatość i elegancka szarość prowokują twórców do coraz śmielszych działań. Najwyższe wiadukty, najwyższe budynki są interesujące jednak coraz częściej podobają się przęsła mostowe, wiadukty czasem niespotykanych wymiarów. Nasuwają one projektantom myśl o czymś nowym o potrzebie pustki. Niewielkich rozmiarów budynek może bardziej obiekt w Bahrajnie łączy takie dwa przeciwstawne myślenia o projektowaniu. Jego funkcja jest oczywista – to garaż wielopoziomowy, coś zwyczajnego i oczywistego. Jednak jego forma i brak poziomych elementów tworzy przestrzeń nowatorską i pełną piękna. Trzeba podkreślić, że tylko zastosowanie betonu mogło dopomóc w stworzeniu tak nowoczesnej i wcześniej nieznanej formy.

Abstract:

Concrete was once considered a commonplace material, yet it was also seen as the best choice for constructing all types of technical buildings. Today, its aesthetics are becoming something intriguing an art form in themselves. Its rough texture and elegant gray tone inspire creators to take increasingly bold approaches. The tallest viaducts and buildings are impressive, but bridge spans and viaducts sometimes of extraordinary dimensions are gaining appreciation as well. They prompt designers to consider new ideas, even the concept of emptiness as a design need.

A relatively small building more of a structure in Bahrain embodies these two opposing ways of thinking about design. Its function is clear: it is a multi-level parking garage, something ordinary and utilitarian. Yet its form, with the absence of horizontal elements, creates a space that is innovative and full of beauty. It must be emphasized that only the use of concrete made it possible to create such a modern and previously unknown form.

Czasem idąc białymi i spokojnymi uliczkami miasta, gdzie dla Europejczyka nic ciekawego się już nie wydarzy, możemy natknąć się jednak na coś niezwykłego. Coś, czego w żadnym innym kraju i miejscu na ziemi nie zobaczymy. Bahrain a właściwie Królestwo Bahrajnu w ostatnich latach za sprawą władcy Hamada ibn Isa Al Chalifa przeżywa swój rozkwit. I tu możemy przekonać się, że nic nie może stać się wyrazem większego statusu państwa niż architektura. Kiedyś monumentalne budowle wychwalały wielkich władców. Katedry i kościoły miały pokazywać monumentalną drogę ku bogu i przytłaczały swym pięknem nieobeznanych widzów. Twierdze odstraszały swoją wielkością a pałace przepychem. Jedną z pierwszych budowli, która zainteresowała świat jako reklama Bahrajnu był pawilon promujący się hasłem *Archeologies of the Green*, a zaprojektowany przez holenderskiego architekta Anne Holtrop we współpracy z architektką krajobrazu Anouk Vogel. Tu w prefabrykowane panele z białego betonu, wkomponowano 10 ogrodów owocowych, z typowymi dla Bahrajnu roślinami. Potem pracownia ta zaprojektowała jeszcze kilka kolejnych, znowu betonowych budynków w Bahrajnie: Qaysariyah Suq, 35 Green Corner Building czy rewitalizację urzędu pocztowego w Manamie. Pokazują one jak materiał nie tradycyjny w tej części świata może wpisywać się w lokalną tradycję budowania i zostać zaakceptowany przez lokalną społeczność.

Możemy więc przejść do zagadnienia naszych rozważań – pustki. Coś co nazywamy pustką, w sztukach plastycznych jest elementem dość oczywistym. Brak jakichś elementów w rzeźbie czy biała palma w malarstwie czy cisza w muzyce. W architekturze pustka nie zawsze była w kręgu zainteresowań twórców. Funkcja, kubatura, piękno były najważniejsze. Pustka nie jest jednak pojęciem bardzo złożonym – jej odniesienia do różnych dziedzin często są emocjonalne, głębokie i uruchamiające wyobraźnię. Dlatego jej pojawienie się w architekturze chyba nie dziwi. W szeroko rozumianej kulturze szokiem odbiła się premiera dzieła, która miała miejsce 29 sierpnia 1952 roku w Woodstock. John Cage wystawił swoją kompozycję pod tytułem *4'33"*. Została skomponowana na dowolny instrument, a składała się wyłącznie z samych tacetów. To termin używany w partyturach, oznaczający, że instrument nie bierze udziału w wykonaniu kolejnej części kompozycji. Tu wszystkie instrumenty miały nie brać udziału w wykonaniu. Oczywiście można polemizować czy to jest dzieło muzyczne. Jednak przecież mamy tu kompozytora (znanego), zapis nutowy, wykonawcę, instrument lub instrumenty. Brakuje tylko jakichkolwiek dźwięków. Może wydawać się, że miał być to żart, coś zwyczajnego lub wręcz przeciwnie. Jednak w muzyce było to dzieło szalenie odkrywcze i prowokatorskie. I właśnie ta odkryta przez kompozytora cisza prowadzi nas ku pustce w innych dziedzinach sztuk a dla nas w architekturze zwłaszcza. Można tu przywołać tekst Thomasa Cliftona dotyczący ciszy. Píše on: „Koncentrowanie się na zjawisku muzycznej ciszy jest analogiczne do celowego badania przestrzeni między drzewami w lesie: na początku nieco przewrotne, dopóki nie zdamy sobie sprawy, że przestrzenie te przyczyniają się do postrzegania charakteru samego lasu i pozwalają nam spójnie mówić o „gęsty” wzrost lub „rzadka” roślinność. Inaczej mówiąc, cisza nie jest niczym. To nie jest zbiór zerowy. Cisza jest doświadczana zarówno jako znacząca, jak i przylegająca do brzmiejącej części obiektu muzycznego. Cisza jest doświadczana jako ucieleśniona substancja lub czynność. Sugeruje to, że cisza uczestniczy w prezentacji muzycznego czasu, przestrzeni i gestu”¹. Odwołanie się do czegoś fizycznego jak drzewo i porównanie do ciszy, możemy podobnie przypisywać fizyczność pustce w architekturze. Postawmy tu śmiałą tezę, że bez pustki nie byłoby architektury. Nie będziemy jej udowadniać, ale pustka wywołuje różne odczucia – potęgę, małość, zagubienie, osamotnienie, wyobcowanie. Czasem może pojawić się poczucie spokoju, równowagi czy odpoczynku. Zupełnie tak jak opisywał to Thomas Clifton między drzewami. Widać, że można takie rozważania przenieść do architektury i podkreślić potrzebę istnienia zarówno materii budynku, jak i wydzielonej nią pustki. Mówimy czasem przecież o pięknie sali koncertowej, a sala koncertowa musi być wielką pustką. Bez tej pustki muzyka nie mogłaby się rozchodzić, a bez słuchaczy, którzy tę pustkę wypełnią, nikt nie chciałby grać.

¹ T. Clifton, *The Poetic of Musical Silence*, „The Musical Quarterly” 62 (1976) nr 2, s. 163.

Od tych rozważań, przenieśmy się do Bahrajnu. Właśnie tu w jednej spokojnej uliczce Muharraqu napotkamy na coś, co ma stać się wyrazem nowoczesności, przepychu tego państwa i naszych rozważań o pustce, *Four Car Parks* projektu Christiana Kereza. Na pierwszy rzut oka trudno poznać funkcję budynku a on sam będzie ukrywał przed przechodniem swoje przeznaczenie. Dzieło jest szalenie filozoficzne, czyli niezrozumiałe. Przynajmniej dla osób, które zobaczą w nim zwyczajny parking. Jednak nie miało być to dzieło czysto funkcjonalistyczne. Możemy przypomnieć sobie zapamiętane kształty setek a może i tysięcy budowli o podobnej funkcji. Tam beton jest wyrazem czystej funkcji, jaka narzucili mu inżynierowie. Czasem piękny, jednak przeważnie brzydki, zwyczajny i brudny. Jest to coś dla samochodów, może coś na jeden raz i nie musi być piękne. Ma to przynosić zysk budowniczemu. Tu jednak jesteśmy w królestwie i tu wszystko musi być niezwykle. Słowa Paula Valériego mogą pomóc nam zrozumieć fenomen tej niezwykłej architektury: „To, co śpiewamy lub wygłaszamy w najbardziej uroczystych, lub najbardziej krytycznych chwilach życia, to, co dźwięczy w liturgiach, to, co szepcemy lub krzyczymy w uniesieniach namiętności, to, czym uspokajamy dziecko lub nieszczęśliwego, to, co świadczy o prawdziwości przysięgi – wszystko to są słowa, których treści nie da się ująć w jasnych pojęciach ani oddzielić od pewnego sposobu i tonu ich wypowiedzienia, nie pozbawiając ich tym samym sensu i skuteczności. We wszystkich tych przypadkach akcent i brzmienie głosu ważniejsze są od tego, co wywołuje zrozumienie: przemawiają one bardziej do tego, co jest w nas życiem, niż do naszego umysłu. Chcę, przez to powiedzieć, że słowa te są dla nas znacznie silniejszym bodźcem do stawania się niż do zrozumienia”². Nie możemy jednoznacznie opisać i zrozumieć budowli. Kształt parkingu można uznać za „brzmienie głosu” a funkcję za „zrozumienie”. Jednak przy pierwszym kontakcie kształt i funkcja są trudne do rozpoznania. Taka dwoistość pojawia się już u Arystotelesa, który twierdził, że substancja jest złożona z materii i formy. Materia jest prosta do odkrycia, jest to beton. Forma jest trudniejsza do opisanie, nie ma nic, co zwykle zobaczymy w takich budynkach.

Parkingi w starym centrum miasta Al-Muharrak były częścią projektu *Pearling Path*, stworzonego przez Ministerstwa Kultury Bahrajnu. Projekt ten ma łączyć tradycyjne rezydencje i współczesną architekturę. Mamy tu Pawilon na Światową Wystawę, centrum dla zwiedzających Valerio Olgiati i miejskie place czy już w innym miejscu wyspy Muzeum narodowe. Odkrywamy parkingi pośród gęstej tkanki historycznego miasta. Mijamy małe sklepy i meczety, żeby zobaczyć raczej rzeźbę niż budowlę inżynierską. Kondygnacje – płyty parkingowe wyginają się i pochylają. Czasem są połączone jedna z kolejną. Mało kto chce zostawić swój zaparkowany samochód na dachu przepelnionym słońcem. W tradycyjnym parkingu możemy wyróżnić rampy łączące poszczególne poziomy. Tu służą do tego odpowiednio wyprofilowane kondygnacje, łączące się i tworzące razem rampy dla dwóch poziomów. Piszący te słowa nie wie, czy odważyłby się wjechać tu samochodem. Płyty parkingu budują dość dziwną jak na tę funkcję geometrię. Trochę przy pierwszym kontakcie zastanawiamy się, czy nie jest to tor do jazdy na deskorolce, wklęsłe i wypukłe powierzchnie miejsc parkingowych nie budzą zaufania. Jednak to właśnie sposób, w jaki poruszają się po budynku samochody, jest jedną z jego najciekawszych rzeczy. Można tu przywołać słowa Daniela Libeskinda opisującego swój zupełnie inny w estetyce projekt: „to jest projekt o dwóch liniach myślenia, organizacji i powiązań. Jedna jest prostą linią, ale załamana w wielu fragmentach: inna jest krętą linią, ale kontynuującą nieskończoność. Te dwie linie rozwijają architektonicznie i programowo przez ograniczony, ale określony dialog. One też rozpadają się, stają się uwolnione i są postrzegane jak by były w separacji. W ten sposób ujawniają pustkę, która przebiega przez architekturę i przez to muzeum – niekończącą się pustkę. I odwrotnie, ta niekończąca się pustka materializuje się w ciągłej przestrzeni zewnętrznej jako coś, co zostało zrujnowane, czy raczej jako stała pozostałość niezależnej struktury; co

² P. Valéry, *Estetyka słowa*, Warszawa 1971, s. 191.

nazwałem pustka pustki”³. Tu nie mamy ostrych krawędzi, jednak poszczególne kondygnacje wyglądają jak ponawlekane na słupy konstrukcyjne. Na stosunkowo smukłych podporach opierają się kolejne piętra, przemyślnie połączone ze sobą dla zwiększenia sztywności całej budowli. Kolumny mają 25 centymetrów średnicy i stosunkowo duży rozstaw około 10 metrów. Bardzo interesujący element stanowią klatki chodowe. Są takie trochę nieeuropejskie, wiele osób bałoby się nimi zejść, a potem wejść po pozostawiony samochód. Schody na każdej kondygnacji mają inną ilość stopni i przypominają trochę sprężyny podpierające płaszczyzny dla samochodów. Muszą być lekkie i to może tłumaczyć dyskomfort dla użytkowników. Kondygnacje są różnej wysokości od 2.20 do 4.80 metra. Wyglądają raczej jak pozostawione fragmenty budowy niż perfekcyjny detal architektoniczny. Podobnie windy osłonięte przed dotykiem ciekawskich tylko przezroczystą płytą z pleksi. To, co wydaje się wielką trudnością dla konstruktora i zaletą dla architekta to to, że żadna płyta nie jest identyczna. Możemy przemieszczać się wewnątrz parkingu i nigdy nie znaleźć podobnego widoku. Szalunek z nieheblowanych desek dopełnia całości. Tworzy to obraz surowej, może jednak funkcjonalistycznej, brutalistycznej budowli. Określenie funkcjonalizm oczywiście został użyty tu trochę na wyrost. Rampy i skośne miejsca dla samochodów są absolutnie wyrafinowane i są czystą kreacją architekta a nie technologa.

Jednak parking nie jest zwykłym parkingiem, możemy w nim odnaleźć podobieństwo do kilku arcydzieł architektury. Analogicznie działał zaprojektowany przez Le Corbusiera *Maison Dom-Ino*. Oczywiście określenie „analogicznie” jest tu trochę nie na miejscu, gdyż dzieło Corbusiera było wielkim odkryciem na początku XX wieku. Podobna konstrukcja tam jednak była prototypem dla masowej produkcji mieszkań. Ta intelektualna gra z nowym podejściem do projektowania, stwarza nowe możliwości kreacji formy. Nie mamy już ograniczeń jakie niesie nam ściana konstrukcyjna, tworzących przestrzeni, jednak powodujących szereg ograniczeń. Plan poszczególnych kondygnacji może wreszcie być dowolnie tworzenie. Płyty stropów oparte na słupach są połączone klatkami schodowymi. Taka konstrukcja dawała pełną swobodę dla projektowania wnętrza budynku. Parking z Bahrajnu czerpie wiele z tego nowatorskiego jak na lata powstania sposobu. Oczywiście, tu funkcja budynku jest w oczywisty sposób dostosowana do takiej konstrukcji. Jednak, kiedy spojrzymy na inne budowle o podobnej funkcji, nie zobaczymy w nich tej miłości do *Don-Ino*. Możemy spróbować doszukać się jeszcze innych konotacji budynku i jego podobieństw do innych ikon architektury. Dom Edith Farnsworth projektu Ludwiga Miesa van der Rohe mógł być mógł być jednym z natchnień dla Christiana Kereza. To jednokondygnacyjna, przeszklona bryła, delikatnie uniesioną nad ziemią na stalowych słupach (niestety). Ma lekką, moglibyśmy dziś powiedzieć minimalistyczną formę, wyrażającą ideę przejrzystości, prostoty i harmonii z otoczeniem. Oczywiście gabaryty, funkcja czy otaczająca dom przyroda są inne, jednak łączy oba budynki coś trudnego do opisanie. Może właśnie to marzenie o lekkości. Możemy też doszukiwać się powinowactw z Glass House. Dziś muzeum, a wcześniej domem zbudowany w latach 1948–49 a zaprojektowanym przez Philipa Johnsona. Porównanie do domu Miesa czy Johnsona, ikon modernizmu, jednych z najpiękniejszych budynków na świecie, może oddawać rolę jaką może odegrać parking z Bahrajnu w historii architektury.

Tu jednak dzieło architektoniczne zrywa z prostą geometrią. Łatwość z jaką można układać pionowe szalunki nie jest interesująca w tej części świata. Jest to jednak przykład powoli umierającej architektury dekompozycji. Coraz nieśmielszej, jednak absolutnie nieodpowiedniej na taką funkcję budynku. Władysław Tatakievicz pisał, że: piękno to „ład, proporcja i określoność”, oraz że można je „znaleźli w liczbach własności i stosunki harmonii”. Liczby są tu trudne do odnalezienia. Słupy trochę się mijają, płyta stropowa zwykle pozioma nie nadaje się do prostego opisanie. Chyba budowla ma być eksponatem samym w sobie.

³ D. Libeskind, *Between The Lines*, [w:] *The New Modern Aesthetic*, „Architectural Design” 1990 nr 6-7, s. 26-28. Także: D. Libeskind, *The Jewish Extension to The German Museum in Berlin*, „Architectural Design” 1990 nr 3-4, s. 62-77.

Trochę jak Muzeum Żydowskie w Berlinie projektu Libeskinda, którego forma jest ważniejsza od wystawy którą mieści. Tutaj także autor zrywa z jednoznacznością pionu i poziomu na rzecz formy obłej. Juliusz Żórawski teoretyk architektury chyba byłby niezadowolony z takiej formy. Dla niego „Kierunki poziomy i pionowy człowiek uważa za uprzywilejowane i silnie reaguje na drobne od nich odchylenia. Na istnienie tego zjawiska wpływa m.in. przyciąganie ziemskie. W architekturze, gdzie kształtowanie form jest konstrukcyjnie zależne od tego przyciągania, uprzywilejowanie tych kierunków jest szczególnie zrozumiałe. Nie pociąga to jednakże konieczności stosowania ściśle geometrycznych poziomów i pionów w architekturze. Tymczasem człowiek kategorycznie żąda pionów i poziomów i przykro odczuwa najmniejsze od nich odchylenie. Razi go pion niebędący pionem geometrycznym i poziom, który nie jest poziomem geometrycznym”⁴. Samochodom jak widzimy jest wszystko jedno czy stoją na płaskim czy na skosie. To my, odbiorcy jesteśmy przyzwyczajeni do takiego projektowania miejsc postojowych. Nazywając dzieło dekonstruktywistycznym nie myślimy o rozmontowaniu jego kompozycji: dekonstruowanie jako przeciwieństwo – „konstruowanie”⁵. Tak kiedyś konstruktywiści nazywali tworzenie swoich dzieł. Tu autor rozbija nasze przyzwyczajenia taniego, funkcjonalnego parkingu. Dzieło staje się metaforą, ma nas uwolnić od prostackiego myślenia o kształcie tego typu budynków. Forma nadaje nowe nie znane wcześniej znaczenie miejscu w którym powstał, jest nieoczywista i niedosłowna. I tworzy zresztą miasta nowe symboliczne znaczenie. Niszczy nasze przyzwyczajenia i zapamiętane kształty. I możemy cytować dalej: „[...] dekonstrukcja, jak wskazuje nazwa, musi od początku dekonstruować konstrukcję jako taką, jej strukturalny czy konstruktywistyczny motyw, jej schematy, intuicje, koncepcje, retorykę. Jednakże dekonstruuje także ściśle architektoniczną konstrukcję, filozoficzną konstrukcję konceptu architektury. Koncepcją rządzi model zarówno w idei samego systemu filozoficznego, jak i w teorii, praktyce i nauczaniu architektury”. Tu nasz obraz i sam kształt zostają zdekomponowane i rozbite. Jednak porównanie dzieła z Bahrajnu do muzeum w Berlinie ma tylko pokazać pewne powinowactwa w dążeniu do tworzenia nowej nieznanej wcześniej formy. Oba budynki nie nadają się do dosłownego porównania. Skala i forma są zdecydowanie inne, wiąże je pewne dążenie do niepowtarzalności. Autor tych rozważań musi przyznać się, że przy pierwszej wizycie w budynku Libeskinda chyba nie zrozumiał tej „dziwnej” architektury. Zupełnie odwrotne reakcje miał natomiast przechodząc się w palącym słońcu po parking w Bahrajnie. Tu geniusz tego dzieła został odkryty od razu.

No i musimy w końcu dobrać do najważniejszego, do betonu. Jest to dzieło należące do niezbadanej jeszcze kategorii *architektury betonowej*. Ten materiał nie jest tu prostym elementem konstrukcyjny. Oczywiście nie dałoby się stworzyć takiej formy z niczego innego, a tu dodatkowo beton jest czystą ozdobą. Zabawy architekta z chropowatymi powierzchniami, z długimi deskami użytymi do stworzenia szalunku, pokazują całą celowość powstania dzieła i zastosowania tego materiału. Materiał jest użyty celowo i autor nie ukrywa go. Ciemna szarość na tle niebieskiego nieba tworzy dodatkowo magiczną całość. Forma ma niczego nie ukrywać przed przechodniem. Jej brutalistyczna estetyka ma pokazywać całą konstrukcję, a my mamy zastanawiać się czemu mamy zaparkować nasz samochód na spadku.

Literatura:

1. „Architectural Design” 1990 nr 6-7.
2. „Architectural Design” 1990 nr 3-4.
3. Benjamin A., *Derida, Architecture and Philosophy*, [w:] *Deconstruction in Architecture*, Academy Edition, Londyn 1988.

⁴ J. Żórawski, *O budowie formy architektonicznej*, Warszawa 1973, s. 29.

⁵ A. Benjamin, *Derida, Architecture and Philosophy*, [w:] *Deconstruction in Architecture*, Academy Edition, Londyn 1988.

-
4. „The Musical Quarterly” 62 (1976) nr 2.
 5. Valéry P. , *Estetyka słowa*, Warszawa 1971.
 6. Żórawski J., *O budowie formy architektonicznej*, Warszawa 1973, s. 29.



























Krzysztof Kuniczuk

Technologia Betonów Architektonicznych i Specjalistycznych

Beton architektoniczny. Wytyczne techniczne. Wydanie drugie rozszerzone

Architectural concrete. Technical guidelines. Second expanded edition

Streszczenie

Od wydania pierwszej edycji książki *Beton architektoniczny. Wytyczne techniczne* minęło już kilkanaście lat. Przez ten czas okazało się, że kolejne rodzaje betonów wchodzących w zakres pojęcia beton architektoniczny wymagają uzupełnienia lub całkiem innego podejścia niż to było dotychczas.

Najpierw były to betony architektoniczne mostowe, do których konieczna była modyfikacja kategorii, a część wytycznych wymagała szerszego opisu tak, by nie było wątpliwości, co jest dopuszczalne, a co nie. Wyniknęło to z licznych analiz dokumentacji przetargowych, ale również ze spotkań z wykonawcami, inspektorami i przedstawicielami Generalnej Dyrekcji Dróg Krajowych i Autostrad (GDDKiA).

Rozszerzenie zawartości wydania z 2011 roku o dodatkowe informacje, które były jedynie zasygnalizowane wynika ze zdobywanego doświadczenia przy kolejnych realizacjach konstrukcji z betonem architektonicznym. Udział w licznych projektach takich, jak Muzeum Wojska Polskiego, Muzeum Historii Polski, Plac Pięciu Rogów (wszystkie autorstwa WXCA), Muzeum Sztuki Nowoczesnej (autorstwa Thomas Phifer and Partners), Sąd Okręgowy w Częstochowie, Małopolskie Centrum Nauki Cogiteon (oba autorstwa Heinle Wisner und Partners) czy też Park Akcji „Burza” pod Kopcem Powstania Warszawskiego (autorstwa Archigrest i topoScape) pozwolił na konfrontację zapisów które powstały w 2011 roku z praktycznym ich stosowaniem na terenie budowy.

Abstract

Since the publication of the first edition of the book *Architectural Concrete. Technical guidelines* more than ten years have passed. During this time, it has become apparent that further types of concrete falling within the scope of the term architectural concrete require supplementation or a completely different approach than was previously the case.

First it was architectural bridge concretes, for which a modification of the categories was necessary, and some of the guidelines required a broader description so that there was no doubt as to what was acceptable and what was not. This resulted from numerous analyses of tender documents, but also from meetings with contractors, inspectors and representatives of the General Directorate for National Roads and Motorways (GDDKiA).

The expansion of the content of the 2011 edition with additional information that was only hinted at is due to the experience gained with successive realizations of architectural concrete structures. Participation in numerous projects such as the Museum of the Polish Army, the Museum of Polish History, Five Corners Square (all by WXCA), the Museum of Modern Art (by Thomas Phifer and Partners), the

Regional Court in Częstochowa, the Cogiteon Science Centre in Malopolska (both by Heinle Wisner und Partners) or the 'Storm' Action Park under the Warsaw Uprising Mound (by Archigrest and topoScape) made it possible to confront the records that were created in 2011 with their practical application on site.

Wstęp

Od publikacji pierwszego wydania książki *Beton architektoniczny. Wytyczne techniczne* minęło już kilkanaście lat. W tym czasie okazało się, że rozwój technologii oraz pojawianie się nowych odmian betonu określanych jako architektoniczne wymagają nie tylko uzupełnienia wcześniejszych zapisów, ale nierzadko zupełnie nowego podejścia.

Pierwszym obszarem, który wymagał rewizji, były betony architektoniczne stosowane w infrastrukturze mostowej. Konieczne stało się doprecyzowanie kategorii oraz rozszerzenie istniejących wytycznych tak, aby jednoznacznie określić, które rozwiązania są dopuszczalne, a które nie. Potrzeba ta wynikała zarówno z analizy dokumentacji przetargowych, jak i ze spotkań z wykonawcami, inspektorami nadzoru oraz przedstawicielami Generalnej Dyrekcji Dróg Krajowych i Autostrad (GDDKiA).

Rozszerzenie zakresu merytorycznego wydania z 2011 roku o treści, które wcześniej były jedynie zasygnalizowane, jest efektem doświadczeń zdobytych przy realizacji licznych projektów z zastosowaniem betonu architektonicznego. Przykłady takich realizacji to m.in. Muzeum Wojska Polskiego, Muzeum Historii Polski, Plac Pięciu Rogów (projekty pracowni WXCA), Muzeum Sztuki Nowoczesnej (Thomas Phifer and Partners), Sąd Okręgowy w Częstochowie i Małopolskie Centrum Nauki Cogiteon (Heinle, Wisner und Partner), a także Park Akcji „Burza” pod Kopcem Powstania Warszawskiego (Archigrest i topoScape). Projekty te pozwoliły na konfrontację założeń teoretycznych z ich praktycznym zastosowaniem na placach budów.

Szczególne znaczenie miały także doświadczenia związane z nadzorowaniem i odbiorami posadzek polerowanych w Muzeum Józefa Piłsudskiego, które doprowadziły do opracowania nowej kategorii – betonu architektonicznego polerowanego. Kategoria ta umożliwia precyzyjne określenie wymagań, ułatwia proces wyceny oraz znacząco usprawnia odbiory gotowych elementów. Należy jednak podkreślić, że beton polerowany to nie tylko posadzki – jego zastosowanie obejmuje również prefabrykowane elewacje, elementy małej architektury czy inne komponenty o wysokich wymaganiach estetycznych. Stąd pojawiła się konieczność stworzenia spójnego systemu klasyfikacji dla szerokiego zakresu zastosowań betonu polerowanego.

Obecnie, w związku z rosnącym zainteresowaniem architektów alternatywnymi metodami obróbki powierzchni betonu – takimi jak piaskowanie, groszkowanie czy frezowanie – niezbędne stało się również doprecyzowanie wymagań dla tego typu wykończeń. W odpowiedzi na te potrzeby wprowadzono nowe kategorie betonu architektonicznego, uwzględniające specyfikę obróbek strukturalnych.

Każdy obserwator postrzega beton inaczej – ocena jego wyglądu zależy od indywidualnej wrażliwości estetycznej. Jednak subiektywne podejście do tego materiału jest niewystarczające zarówno z punktu widzenia inżyniera, jak i architekta. Brak jednoznacznych wytycznych dotyczących wykonywania i oceny betonu architektonicznego przez długi czas prowadził do nieporozumień i konfliktów na linii projektant–wykonawca–inwestor.

Zdecydowanie łatwiej jest rozmawiać o betonie – który dla jednych stanowi kluczowy element wyrazu architektonicznego, a dla innych podstawę stabilności konstrukcji – gdy istnieją precyzyjne kryteria oceny. Takimi kryteriami są m.in. dopuszczalna liczba i średnica porów na powierzchni betonu, zakres akceptowalnych różnic kolorystycznych, a także obowiązek wykonania próbki referencyjnej (mock-upu). Znacząco ułatwia to również wycenę kosztów realizacji – od początku wiadomo, jaki typ deskowania należy zastosować, jakie uszkodzenia poszycia formy są dopuszczalne oraz jaki stopień polerowania należy osiągnąć.

W Polsce rocznie produkuje się kilkanaście milionów metrów sześciennych betonu, z czego istotna część to beton architektoniczny. Dlatego powstanie wytycznych wykonawczych dla tego typu betonu było koniecznym krokiem w kierunku standaryzacji i uporządkowania wiedzy praktycznej. Po trzynastu latach funkcjonowania dokumentu *Beton architektoniczny. Wytyczne techniczne*, można jednoznacznie stwierdzić, jak istotne było jego opracowanie. O skuteczności i przydatności zapisów świadczy fakt, że większość specyfikacji technicznych dla betonu architektonicznego powstających w Polsce opiera się na zaleceniach zawartych w tej publikacji.



Fot. 1. Muzeum Wojska Polskiego w Warszawie



Fot. 1a. Plac Pięciu Rogów w Warszawie



Fot. 2. Muzeum Sztuki Nowoczesnej w Warszawie



Fot. 2a. Sąd Okręgowy w Częstochowie



Fot. 3. Park Akcji „Burza” pod Kopcem Powstania Warszawskiego

Kategorie betonu architektonicznego

Przypisanie kategorii betonu architektonicznego zależy od szczegółowości opisu wymagań stawianych powierzchni betonu, takich jak faktura, porowatość, ocena wizualna, jednorodność kolorystyki oraz inne cechy wpływające na estetyczny odbiór wykonanej konstrukcji. Doświadczenia z realizacji pokazują, że zbyt rygorystyczne ograniczanie dopuszczalnych odchyleń — szczególnie w przypadku betonów wykonywanych bezpośrednio na placu budowy — może prowadzić do trudności z osiągnięciem założonych parametrów. W konsekwencji może to skutkować pominięciem niektórych wymagań, koniecznością wykonywania kosztownych napraw lub wręcz całkowitą zmianą sposobu wykończenia powierzchni.

W związku z powyższym najbardziej zasadne wydaje się przypisanie betonu architektonicznego do jednej z trzech kategorii, różniących się zakresem wymagań: niskim, średnim i wysokim. Szczegółowe wytyczne dotyczące dopuszczalnej porowatości, faktury, jednorodności zabarwienia, konieczności wykonania próbek referencyjnej (mock-up'u), jakości deskowania oraz szacunkowych kosztów wykonania, zestawiono w Tabeli 1 – kategorie **BA1**, **BA2** i **BA3**.

Należy podkreślić, że powyższe wymagania odnoszą się do betonów, w których końcowy efekt estetyczny jest wynikiem odbicia formy – czyli betonu kształtowanego *przed* związaniem mieszanki, bez ingerencji w jej powierzchnię po rozdeskowaniu. Nie dotyczą one natomiast betonów:

- kształtowanych *w trakcie* wbudowywania (np. przez obróbkę powierzchni w czasie wiązania, jak przy użyciu matryc, wałków, szczotek),
- ani kształtowanych *po* stwardnieniu (np. poprzez szlifowanie, groszkowanie, piaskowanie, frezowanie).

W tych dwóch przypadkach należy uwzględnić zwiększoną liczbę porów w powierzchniach pionowych, co oznacza, że parametr dopuszczalnej ilości porów traci istotność, natomiast nadal obowiązuje wymaganie dotyczące maksymalnej średnicy porów.

Kategorie betonu architektonicznego dla powierzchni obrabianych w trakcie lub po wbudowaniu zostały ujęte w Tabeli 1 w pozycjach **BA1E**, **BA2E** i **BA3E**.

Tabela 1. Kategorie betonu architektonicznego

		Faktura*	Porowatość*	Równomierność zabarwienia*,**	Ekspozycja kruszywa	Mock-up	Kategorie deskowania***	Koszty
Małe wymagania BA1	Powierzchnie betonowe o małych wymaganiach dotyczących wyglądu, np.: ściany piwnic, ściany parkingów podziemnych itp.	F1	P1	RZ1	Nie dotyczy	Dowolny wybór	KD1	niskie
Średnie wymagania BA2	Powierzchnie betonowe o typowych wymaganiach dotyczących wyglądu, np.: ściany klatek schodowych ewakuacyjnych itp.	F2	P2	RZ2	Nie dotyczy	Zalecany	KD2	średnie
Wysokie wymagania BA3	Powierzchnie betonowe z wysokimi wymaganiami dotyczącym wyglądu, np.: elewacje, reprezentacyjne elementy budowli, ściany głównych klatek schodowych, hole wejściowe itp.	F3	P3	RZ3	Nie dotyczy	Wymagany	KD3 lub KD3A	wysokie /bardzo wysokie

		Faktura*	Porowatość *	Równomierność zabarwienia*, **	Ekspozycja kruszywa	Mock-up	Kategorie deskowania ***	Koszty
Małe wymagania a BA1E****	Powierzchnie betonowe o małych wymaganiach dotyczących wyglądu, np.: ściany piwnic, ściany parkingów podziemnych itp.	Określić na podstawie próbek i/lub mock-up'u	Określić na podstawie próbek i/lub mock-up'u	RZ1	K1/K2/K3/ K4*****	Wymagany	Określić na podstawie próbek i/lub mock-up'u	niskie
Średnie wymagania a BA2E****	Powierzchnie betonowe o typowych wymaganiach dotyczących wyglądu, np.: ściany klatek schodowych ewakuacyjnych itp.	Określić na podstawie próbek i/lub mock-up'u	Określić na podstawie próbek i/lub mock-up'u	RZ2	K1/K2/K3/ K4*****	Wymagany	Określić na podstawie próbek i/lub mock-up'u	średnie
Wysokie wymagania a BA3E****	Powierzchnie betonowe z wysokimi wymaganiami dotyczącym wyglądu, np.: elewacje, reprezentacyjne elementy budowli, ściany głównych klatek schodowych, hole wejściowe itp.	Określić na podstawie próbek i/lub mock-up'u	Określić na podstawie próbek i/lub mock-up'u	RZ3	K1/K2/K3/ K4*****	Wymagana	Określić na podstawie próbek i/lub mock-up'u	wysokie /bardzo wysokie

* Zob. Tabela 2.

** Ogólny wygląd konstrukcji, istniejących różnic w odcieniu kolorystyki, który można ocenić po minimum kilku tygodniach.

*** Zob. Tabela 3.

**** Kategorie rozszerzone o dopisaną literę E dotyczą betonów z eksponowanym kruszywem w skutek obróbki powierzchni m.in. przez opóźnienie wiązania powierzchni, piaskowanie, groszkowanie, frezowanie, kwasowanie, młotkowanie.

***** Zob. Tabela 7.



Fot. 4a. BA3E z ekspozycją kruszywa K1



Fot. 4a. BA3E z ekspozycją kruszywa K2



Fot. 4c. BA3E z ekspozycją kruszywa K3



Fot. 4d. BA3E z ekspozycją kruszywa K4

Tabela 2. Wymagania dotyczące powierzchni betonowych architektonicznych uzyskiwanych w wyniku odwzorowania deskowania i obróbki powierzchni

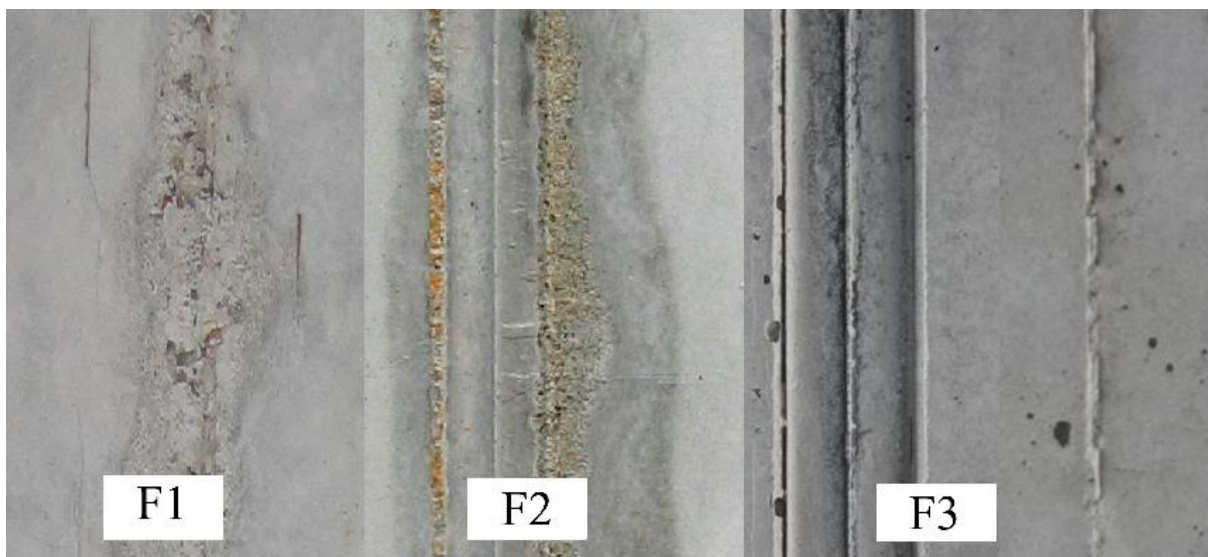
Faktura, styk elementów deskowania, Przerwy konstrukcyjne i technologiczne	F1	- w dużej mierze jednorodna powierzchnia betonowa, - zaczyn cementowy/zaprawa występujące w złączach elementów deskowania nie powinny być większe niż: szerokość do ok. 20 mm i głębokość do ok. 10 mm (fot. 4), - dozwolony odcisk ramy elementu deskowania, - przesunięcia płaszczyzn (dotyczy zarówno ram deskowania jak i poszycia deskowania) – maksymalnie do 10 mm (fot. 5 i 6).
	F2	- w dużej mierze jednorodna powierzchnia betonowa, - w dużej mierze zamknięta powierzchnia betonowa - zaczyn cementowy/zaprawa występujące w złączach elementów deskowania (dotyczy zarówno ram deskowania jak i poszycia deskowania) nie powinny być większe niż: szerokość do ok. 10 mm i głębokość ok. 5 mm (fot. 4), - dozwolony odcisk ramy elementu deskowania. Dodatkowe wymagania: - zapewnienie tego samego rodzaju deskowania i jego przygotowania, - zapewnienie czystości deskowania oraz równego nałożenia środka antyadhezyjnego, - ustalenie sposobu uszczelnienia styków deskowania, - ustalenie rodzaju wkładek dystansowych, - stosowanie deskowania o tej samej jakości powierzchni, - przygotowanie powierzchni próbnej. - przesunięcia płaszczyzn w miejscu przerwy (dotyczy zarówno ram deskowania jak i poszycia deskowania) – maksymalnie do 10 mm
	F3	- gładka, zamknięta powierzchnia betonowa, - w dużej mierze jednorodna powierzchnia betonowa, - zaczyn cementowy/zaprawa występujące w złączach elementów deskowania (dotyczy zarówno ram deskowania jak i poszycia deskowania) nie powinny być większe niż: szerokość do ok. 3 mm (fot. 4), - dalsze wymogi odnośnie np. złącz deskowania, odcisku ramy, należy szczegółowo ustalić. Dodatkowe wymagania: - jak dla F2, - konieczne szczegółowe zaprojektowanie deskowania (styki, uszczelnienia, rozmieszczenie blatów itd.), - chronienie deskowania przed wpływem warunków atmosferycznych, - ustalenie krótkiego odstępu od montażu deskowania do przeprowadzenia betonowania, - należy określić wytyczne do wykonania szczelin roboczych (listwa trapezowa, szczelina łącząca itd.), - sporządzenie Planu Zapewnienia Jakości, - zapewnienie ochrony wykonanym elementom (zabezpieczenie naroży, ochrona przed zabrudzeniem), - przesunięcia płaszczyzn w miejscu przerwy (dotyczy zarówno ram deskowania jak i poszycia deskowania) – maksymalnie do 5 mm
Porowatość*	P1	- maksymalna liczba porów - ok. 3000 mm² **, *** (fot. 7a), - niedopuszczalne są pęcherze/pory o średnicy większej niż 15mm.

	P2	- maksymalna liczba porów - ok.2350 mm² **, *** (fot. 7b), - niedopuszczalne są pęcherze/pory o średnicy większej niż 15mm. Dodatkowe wymagania: - sprawdzenie wzajemnego oddziaływania rodzaju betonu, środka antyadhezyjnego i deskowania, - zapewnienie tego samego rodzaju deskowania i jego przygotowania, - zapewnienie czystości deskowania i równomierne nałożenie środka antyadhezyjnego, - przygotowanie powierzchni próbnej.
	P3	- maksymalna liczba porów ok.1600 mm² **, *** (fot. 7c), - niedopuszczalne są pęcherze/pory o średnicy większej niż 15mm. Dodatkowe wymagania: - jak dla P2, - wykluczenie zmiany składu betonu, - wykluczenie stosowania wody i kruszywa z recydingu, - przygotowanie co najmniej 2 powierzchni próbnych w zakresie mock-up'u.
	RZ1	- zmiana zabarwienia i uzyskanie jasnej/ciemnej barwy jest dopuszczalne, - rdza i brudne zacieki są niedopuszczalne.
Równomierność zabarwienia	RZ2	- równomierne, wielkopowierzchniowe zmiany odcienia na jasny/ciemny są dopuszczalne, - rdza i brudne zacieki są niedopuszczalne, - różne rodzaje powierzchni deskowania (różne sklejk, różne rodzaje poszycia), jak również różnego rodzaju materiały wykończeniowe są niedopuszczalne. Dodatkowe wymagania: - jak dla P3, - ustalenie czasu mieszania betonu na co najmniej 60 sekund, - przewidzenie wykonania większej ilości powierzchni próbnych.
	RZ3	- wielkopowierzchniowe zmiany zabarwienia spowodowane różnego rodzaju materiałami wykończeniowymi, różnorodne rodzaje powierzchni deskowania oraz różna końcowa obróbka betonu są niedopuszczalne, - niewielkie zmiany zabarwienia są dopuszczalne, - rdza, brudne zacieki, wyraźnie widoczne poszczególne warstwy wbudowanej mieszanki są nie dopuszczalne, Dodatkowe wymagania: - jak dla RZ2, - wybór specjalnego środka antyadhezyjnego (przeznaczonego do wykonywania betonów architektonicznych). - uwzględnienie zmiany czasu rozdeskowania wynikającego z różnych warunków atmosferycznych, - zaplanowanie rozmieszczenia zbrojenia, aby uniemożliwić zetknięcie się buławy wibracyjnej z deskowaniem i zbrojeniem, - prowadzenie zrzutu mieszanki do deskowania/formy, by nie wpływało to na zmianę kolorystyki betonu, - uwzględnienie geometrii elementów konstrukcji i układu zbrojenia tak by umożliwić szybki proces betonowania, - zachowanie w/c na poziomie ± 0.02 lub zachowanie konsystencji z dokładnością do ± 20 mm (badanie każdego betonowozu).

*Liczba porów ze średnicą $\bar{d}$ w granicach $2\text{mm} < \bar{d} < 15\text{ mm}$

**ilość porów na standardowej powierzchni kontrolnej o wymiarach 500 mm x 500 mm

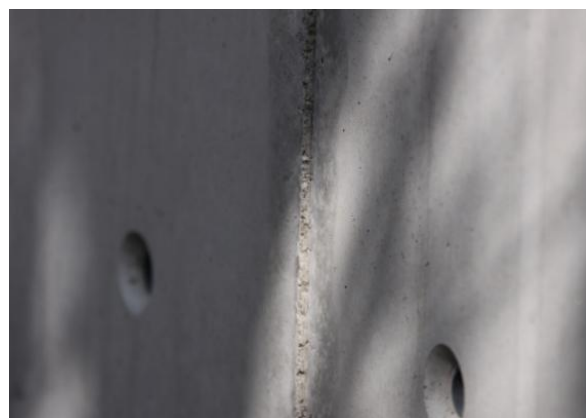
*** w przypadku stosowania deskowania chłonnego istnieje możliwość uzyskania mniejszej ilości porów na powierzchni, w takim przypadku należy przyjąć maksymalną powierzchnię porów odpowiednio na poziomie P1-3000 mm², P2-2000 mm², P3-1000 mm².



Fot. 5. Zaczyn-zaprawa występujące w złączach elementów



Fot. 6a. Przesunięcie płaszczyzny -
połączenie pionowe



Fot. 6b. Przesunięcie płaszczyzny -
połączenie poziome



Fot. 7a. Porowatość
kategoria P1



Fot. 7b. Porowatość
kategoria P2



Fot. 7c. Porowatość
kategoria P3

Tabela 3. Kategorie deskowania.

	KD1	KD2	KD3	KD3A
Otworki wiercone	dozwolone	dozwolone do napraw	niedozwolone	niedozwolone
Otworki po gwoździach i śrubach	dozwolone	dozwolone bez odprysków	dozwolone jako miejsca napraw po uzgodnieniu ze zleceniodawcą	niedozwolone
Uszkodzenie deskowania w wyniku działania wibratora pogrążalnego	dozwolone	niedozwolone/dozwolone po uzgodnieniu ze zleceniodawcą	niedozwolone	niedozwolone
Zadrapania	dozwolone	dozwolone jako miejsca napraw*	dozwolone jako miejsca napraw po uzgodnieniu ze zleceniodawcą	niedozwolone
Resztki betonu	dopuszczalne w zagłębieniach (otworki po gwoździach, kratery itd.) bez przylepionego powierzchniowo betonu	niedozwolone	niedozwolone	niedozwolone
Zabrudzenia zaczynem cementowym	dozwolone	niedozwolone	niedozwolone	niedozwolone
Małe fałdki, pomarszczenia sklejk, znajdujące się w obszarze wiercenia, gwoździowania (<i>rippings</i> ***, Fot. 8)	dozwolone	niedozwolone/dozwolone po uzgodnieniu ze zleceniodawcą	niedozwolone	niedozwolone
Falowanie sklejki wynikające z absorpcji przez nią wody zanikające przy kolejnych użyciach	dozwolone	dozwolone	dozwolone	niedozwolone**
Miejscowe naprawy	dozwolone	dozwolone	niedozwolone/dozwolone po uzgodnieniu ze zleceniodawcą	niedozwolone
Powierzchnia próbna	dowolna	zalecane wykonanie	wymagane wykonanie	wymagane wykonanie

* Wszelkie naprawy deskowania muszą być przeprowadzone przez wykwalifikowany i kompetentny personel, natomiast deskowanie musi być przed zastosowaniem sprawdzone.

** Konieczność użycia poszycia które nie wykazuje tendencji do falowania powierzchni przy pierwszym i kolejnych użyciach np. sklejki z powierzchnią plastikową lub matrycy.

*** Zjawisko *ripplingu* nie jest tożsame z falowaniem brzegów sklejki powstającego przy pierwszych jej użyciach.



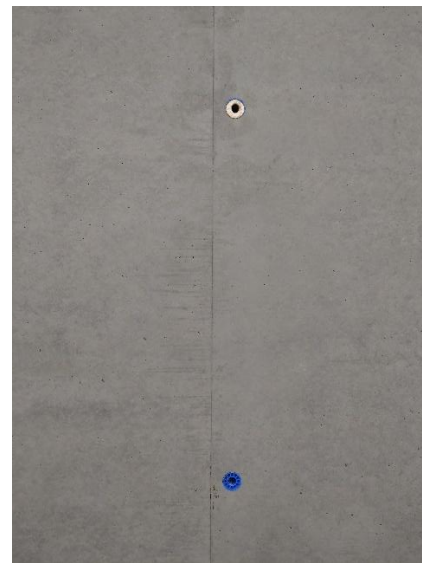
Fot. 8. Efekt gwoździowania sklejki – *rippling*



Fot. 9a. Zjawisko falewania sklejki.



Fot. 9b. Zjawisko falewania sklejki.



Fot. 9c. Zjawisko falewania sklejki na deskowaniu ramowym.

Kategorie betonu architektonicznego mostowego

Ze względu na usytuowanie obiektów mostowych oraz specyfikę procesu ich projektowania i nadzoru, konieczne jest przypisanie poszczególnych typów obiektów do odpowiednich kategorii betonu architektonicznego. Umożliwia to ujednolicenie podejścia do wymagań jakościowych, niezależnie od przyjętej formy postępowania przetargowego, i pozwala uniknąć dowolnej interpretacji standardów wykonania.

Tabela 4. Kategorie betonu architektonicznego mostowego

		Faktura*	Porowatość*	Równomierność zabarwienia***	Mock-up	Kategorie deskowania***	Koszty
Małe wymagania a BA1****	Obiekty typu PDZd i PG (bez ciągu pieszego), przepusty, ściany oporowe	F1	P1	RZ1	Dowolny wybór	KD1	niskie
Średnie wymagania a BA2****	Obiekty typu PG (z ciągiem pieszym), wiadukty, mosty	F2	P2	RZ2	Zalecana	KD2	średnie

Wysokie wymagania a BA3****	Kładki i inne obiekty inżynierskie w miejscach reprezentacyjnych (np. centra miast)	F3	P3	RZ3	Wymagania	KD3	wysokie /bardzo wysokie
--	---	----	----	-----	-----------	-----	-------------------------

* Te wymogi/cechy zostały omówione szerzej w Tabeli 2.

** Ogólny wygląd konstrukcji, istniejących lub nieistniejących różnic w odcieniu kolorystyki, można ocenić przeważnie po ustabilizowaniu się warunków wilgotnościowych (przynajmniej po kilku tygodniach).

*** Patrz Tabela 3.

**** Wymagane zabezpieczenie powierzchni środkiem anti-graffiti (w przypadku przepustów dotyczy tylko elementów czołowych).

Kategorie betonu architektonicznego polerowanego

Stopień wybliszczenia powierzchni jest jedną z kluczowych cech betonu architektonicznego polerowanego, a zarazem jednym z najczęściej błędnie interpretowanych parametrów. W praktyce wykonawczej stopień wybliszczenia bywa określany poprzez wskazanie gradacji tarczy, na której zakończono obróbkę powierzchni. Jednak uzyskany efekt zależy nie tylko od samej gradacji, lecz także od rodzaju zastosowanej tarczy, czasu obróbki, liczby etapów szlifowania oraz parametrów technicznych całego procesu.

Z tego względu, oprócz podania zalecanej gradacji końcowej oraz minimalnej liczby stopniowania tarcz szlifierskich/polerskich, dla każdej kategorii betonu architektonicznego polerowanego przypisano wartość wskaźnika odwzorowania obrazu (DOI – *Distinctness of Image*). Parametr ten umożliwia jednoznaczną, mierzalną ocenę stopnia wybliszczenia powierzchni i pozwala uniknąć nieporozumień wynikających z subiektywnej oceny efektu wizualnego.

Tabela 5. Kategorie betonu architektonicznego polerowanego

Kategoria	Gradacja tarczy	Poziom wybliszczenia	Minimalna ilość stopniowania tarcz	Wymagania	Pomiar odwzorowania obrazu* (DOI)**
BAP1	≤100	Matowy	≤4	Brak odbicia lub odbicie bardzo rozproszone	0-9
BAP2	100 do 400	Satynowy	5	Satynowe, lekko rozproszone odbicie obiektów	10-39
BAP3	800 i wyżej	Błyszczący	6	Odbijane obiekty nie są ostre, ale można je zidentyfikować	40-69
BAP4	800 i wyżej	Bardzo błyszczący	7	Odbijane obiekty są ostre, łatwe w identyfikacji	70-100

*Zgodnie z ASTM D5767-18 Standard Test Method for Instrumental Measurement of Distinctness-of-Image (DOI) Gloss of Coated Surfaces.

**** Należy wykonać minimum 3 testy w przypadku powierzchni do 100m² i po jednym teście na każde kolejne 100m².**

Tabela 6. Klasa wypełnienia nieciągłości tekstury

Klasa	Wymagania
U1	Należy uzupełnić wszelkie ubytki, pęcherze.
U2	Należy uzupełnić ubytki, pęcherze o średnicy powyżej 5mm dla elementów poziomych, zaś dla elementów pionowych dopuszcza się występowanie pęcherzy o średnicy od 2 do 15mm o łącznej powierzchni 1600mm ² na powierzchni testowej 0.5 x 0.5 m, nie dopuszcza się występowania pęcherzy powyżej 15mm.

Kolejnym ważnym wskaźnikiem wpływającym na wygląd betonu polerowanego jest stopień ekspozycji kruszywa, który wynika zarówno z technologii wykonania, wielkości użytego kruszywa jak i głębokości szlifowania.

Tabela 7. Klasy ekspozycji kruszywa na powierzchni betonu architektonicznego

Klasa ekspozycji kruszywa	Nazwa	Przewidywana głębokość szlifowania	Wymagania
K1	Cementowa (zwana <i>Kremową</i>)	Bardzo mała	brak ekspozycji ziaren piasku do 4 mm; pasta cementowa 100%* lub brak ekspozycji kruszywa lub ekspozycja ziaren piasku do 4mm; 85-95% pasta cementowa; 5-15% ziarno do 4 mm
K2	Piaskowa (zwana <i>Sól i Pieprz</i>)	>1.5mm	100% ziarna do 4 mm** lub brak ekspozycji kruszywa lub ekspozycja ziaren piasku do 4 mm; 85-95% ziarna do 4 mm; 5-15% mleczko cementowe; Pojedyncze ziarna >4 mm
K3	Średniokruszywowa	>3mm	100% ziarna do 8 mm** lub ekspozycja kruszywa do 8 mm i ekspozycja ziaren piasku do 4 mm ; 85-95% ziarna do 8 mm; 5-15% ziarna do 4 mm; pojedyncze ziarna >8 mm
K4	Grubokruszywowa	>6mm	100% ziarna do 16 mm** lub

			ekspozycja kruszywa do 16 mm i ekspozycja ziaren kruszywa do 8 mm; 85-95% ziarna do 16 mm; 5-15% ziarna do 8 mm Pojedyncze ziarna do 22.5 mm lub 31.5 mm
--	--	--	---

* Dotyczy m.in. gotowych suchych mieszanek (tzw. mikrocementów), HPC (high-performance concrete), UHPC (ultra high-performance concrete), posadzek DST.

**Dotyczy gotowych suchych mieszanek, dla których dopuszcza się również inny wymiar maksymalnego ziarna określony przez producenta.



Fot. 10. Klasy ekspozycji kruszywa na powierzchni betonu architektonicznego polerowanego

Klasa ekspozycji kruszywa odnosi się do stopnia odsłonięcia ziaren kruszywa po zakończeniu operacji szlifowania i polerowania powierzchni.

Rozmiar oraz rozmieszczenie kruszywa na powierzchni zależą od składu mieszanki betonowej, a także od sposobu jej układania, zagęszczania i wykańczania. Istotnym czynnikiem wpływającym na uzyskany efekt jest również płaskość powierzchni podczas procesu szlifowania i polerowania – parametr ten powinien być brany pod uwagę przy wyborze odpowiedniej klasy ekspozycji.

W przypadku zastosowania standardowego kruszywa do betonu, zgodnego z normą **PN-EN 12620**, należy uwzględnić, że norma dopuszcza występowanie nadziarna i podziarna w ramach danej frakcji. Oznacza to, że np. przy klasie ekspozycji **K2**, na powierzchni mogą lokalnie występować pojedyncze ziarna o średnicy do 8 mm (choć ziarna >8 mm nie powinny się pojawiać). Analogicznie, dla klas **K3** dopuszcza się ziarna do 16 mm, a dla **K4** – do 22,5 mm lub 31,5 mm, w zależności od zastosowanej frakcji.

Powyższe ograniczenia nie dotyczą posadzek polerowanych wykonywanych z gotowych suchych mieszanek, w których rozkład i wielkość kruszywa są znacznie bardziej kontrolowane.

Jeśli dla danego elementu lub powierzchni nie określono wymagań dotyczących tolerancji wykonania lub równości powierzchni poprzez odniesienie do konkretnej normy, należy przyjąć klasy równości zgodnie z **Tabelą 8**. Kategorie **R1** i **R2** nie mają zastosowania w przypadku posadzek przeznaczonych do magazynów wysokiego

składowania obsługiwanych przez systemowe wózki magazynowe. W takich przypadkach należy stosować wymagania zgodne z normą **DIN 15185**.

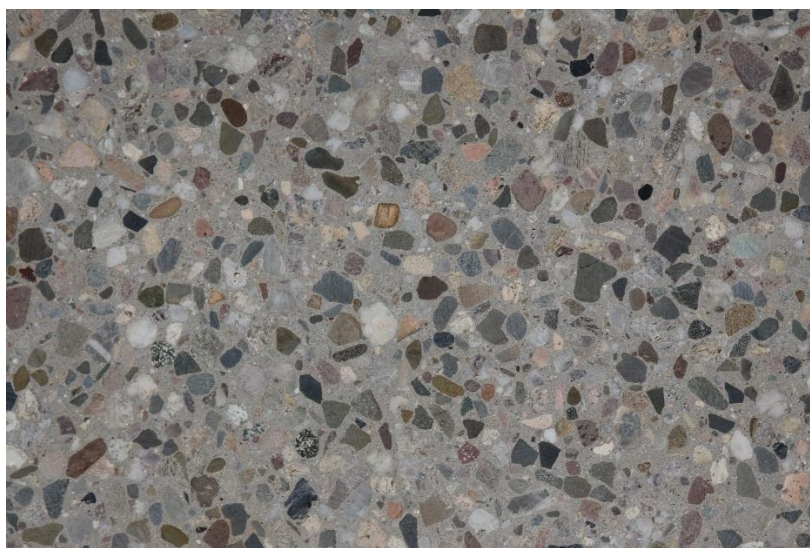
Podsumowanie

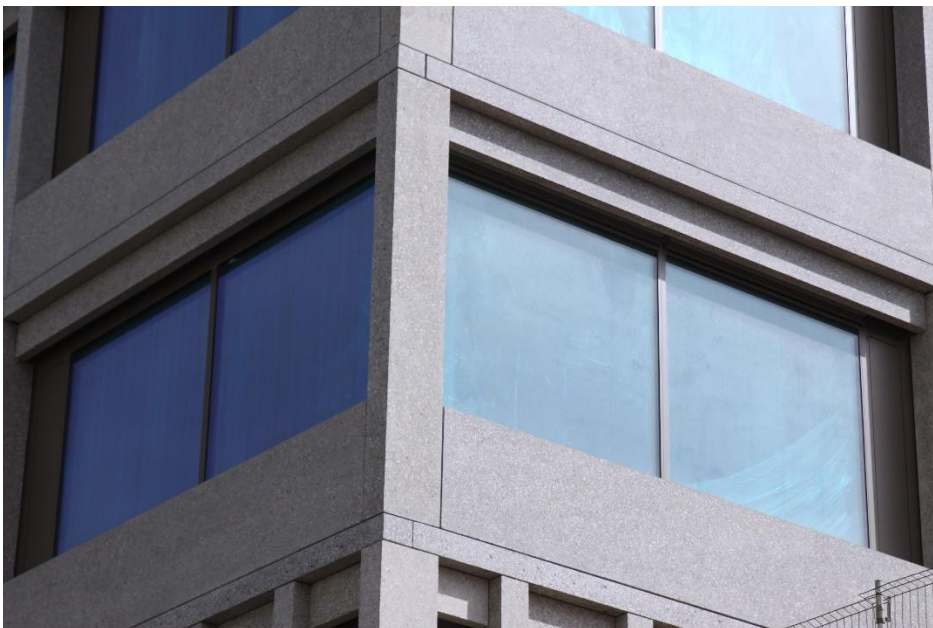
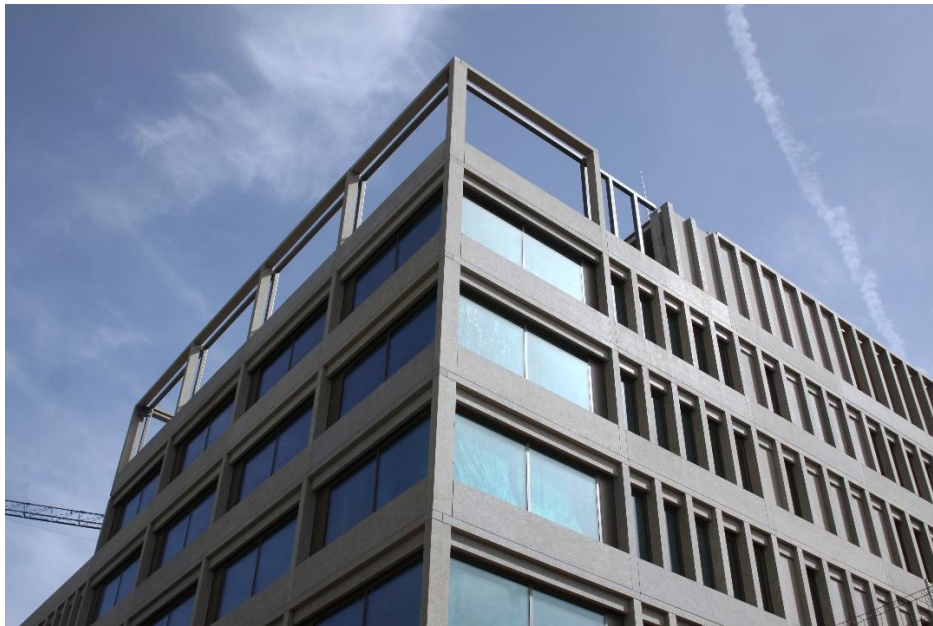
Wymagania dotyczące jakości powierzchni betonu architektonicznego są często bardzo wysokie. Jednocześnie należy pamiętać, że jego wykonanie jest procesem złożonym, zależnym od wielu czynników technologicznych, materiałowych i wykonawczych. Z tego względu niezbędne jest jednoznaczne i szczegółowe określenie wymagań stawianych wykonawcy. Pozwala to nie tylko na właściwą wycenę realizacji, ale również na odpowiednie przygotowanie wszystkich stron uczestniczących w procesie oraz zapewnienie prawidłowego przebiegu prac.

Istotne jest również uświadomienie sobie, że nawet przy zachowaniu najwyższej staranności i doświadczeniu wykonawcy, na powierzchni betonu mogą wystąpić drobne niedoskonałości. Są one naturalną cechą tego materiału, a jednocześnie – paradoksalnie – właśnie one decydują o jego autentycznym i unikalnym charakterze, który architekci często celowo eksponują w projektach.

Zawarte w niniejszych wytycznych zagadnienia nie stanowią wyczerpującego opracowania na temat technologii wykonywania betonu architektonicznego, jednak stanowią istotny krok w kierunku wypracowania bardziej inżynierskiego i usystematyzowanego podejścia do tego procesu.

Trzy podstawowe kategorie betonu architektonicznego – BA1, BA2 i BA3 – opracowane i opublikowane po raz pierwszy w 2011 roku, są dziś powszechnie znane i stosowane w praktyce projektowej oraz wykonawczej. Nowe kategorie – **BAE** (betony poddawane obróbce powierzchniowej) oraz **BAP** (betony architektoniczne polerowane) – dopiero zaczynają trafiać do świadomości architektów i projektantów. Należy spodziewać się, że ich pełne wdrożenie i upowszechnienie potrwa jeszcze kilka lat. Niemniej pierwsze kroki zostały już podjęte – obiekty, w których dokumentacji zastosowano kategorię BAP, są już w trakcie realizacji (fot. 160a–c).





Fot. 11a-c. Polerowana elewacja budynku Kampusu Ochota Uniwersytetu Warszawskiego (projekt: Projekt Praga)

Literatura

- [1] K. Kuniczuk, „Beton architektoniczny. Wytyczne techniczne“, Polski Cement, Kraków 2010.
- [2] K. Kuniczuk, „Beton architektoniczny. Wytyczne techniczne. Wydanie drugie rozszerzone“, Polski Cement, Kraków 2025.

Krzysztof Kuniczuk

Technologia Betonów Architektonicznych i Specjalistycznych

Wpływ materiałów na wygląd betonu architektonicznego

The influence of materials on the appearance of architectural concrete

Streszczenie

Projektując i wykonując betony architektoniczne, zwraca się uwagę na dwie podstawowe cechy: kolor i teksturę betonu. Dlatego konieczne jest rozpoczęcie procesu tworzenia mieszanki betonowej od starannego wyboru materiałów, z których ma być skomponowana. Proces ten różni się jednak od standardowego podejścia do projektowania, ponieważ należy uwzględnić wpływ wszystkich składników nie tylko na parametry mieszanki betonowej i trwałość betonu, ale również na jego kolor i teksturę.

Biorąc pod uwagę dostępność materiałów, technik obróbki i rodzajów form oraz wpływ różnorodnych czynników na kolorystykę betonu istnieje nieskończona ilość barw, jakie można uzyskać przy użyciu tego materiału. Stosowanie cementów o różnych odcieniach bieli i szarości, barwienie mieszanki betonowej pigmentami i ich kombinacjami, barwienie powierzchniowe, a także wykorzystanie piasków i kruszyw o różnym pochodzeniu i kolorystyce - to wszystko czynniki wpływające na ostateczny wygląd powierzchni betonu.

Artykuł jest próbą przybliżenia wpływu poszczególnych materiałów – od cementu i kruszyw, aż po poszycie deskowania – na wygląd betonu architektonicznego.

Abstract

When designing and making architectural concrete, attention is paid to two basic features: the color and texture of concrete. Therefore, it is necessary to start the process of creating a concrete mixture with a careful selection of materials from which it is to be composed. However, this process differs from the standard approach to design, because it is necessary to take into account the influence of all components not only on the parameters of the concrete mixture and the durability of concrete, but also on its color and texture.

Considering the availability of materials, processing techniques and types of forms, as well as the influence of various factors on the color of concrete, there is an infinite number of colors that can be obtained using this material. The use of cements of different shades of white and gray, coloring the concrete mixture with pigments and their combinations, surface coloring, as well as the use of sands and aggregates of different origin and colors - these are all factors that affect the final appearance of the concrete surface.

This article is an attempt to approximate the influence of individual materials - from cement and aggregates to formwork cladding - on the appearance of architectural concrete.

Wstęp

W procesie projektowania i wykonywania betonów architektonicznych kluczową rolę odgrywają dwie podstawowe cechy estetyczne: kolor i faktura powierzchni betonu. Z tego względu etap opracowania receptury mieszanki betonowej powinien rozpocząć się od starannego doboru materiałów składowych. Proces ten znacząco odbiega od standardowego projektowania betonu konstrukcyjnego, ponieważ wymaga uwzględnienia nie tylko właściwości reologicznych mieszanki betonowej i trwałości betonu, lecz także wpływu poszczególnych składników na jego kolor i fakturę.

Uwzględniając różnorodność dostępnych surowców, technik obróbki powierzchni, rodzajów deskowań oraz wpływ szeregu czynników środowiskowych i wykonawczych, można uzyskać praktycznie nieskończoną gamę barw i faktur powierzchni betonu. Na końcowy efekt wizualny wpływają m.in.: zastosowanie cementów o zróżnicowanej barwie – od jasnoszarych po białe, dozowanie pigmentów nieorganicznych i ich kombinacje, barwienie powierzchniowe (np. przez lazury lub impregnaty koloryzujące), a także wybór piasków i kruszyw o określonym pochodzeniu geologicznym i kolorystyce.

Świadome kształtowanie koloru i faktury betonu architektonicznego wymaga zatem zintegrowanego podejścia projektowego, w którym aspekty estetyczne traktowane są równorzędnie z wymaganiami technologicznymi i eksploatacyjnymi.

Cement

Cement jest materiałem, do którego wytworzenia potrzebne są nie tylko różnorodne surowce, ale także skomplikowany proces technologiczny. Duże zróżnicowanie materiałowe powoduje, że w zależności od składu cementu zmienia się zarówno barwa samego cementu, jak i kolorystyka uzyskiwanych powierzchni betonu architektonicznego.

Najczęściej do wykonania betonów architektonicznych stosuje się cementy szare, które są powszechnie dostępne na terenie kraju i wykorzystywane do betonów zwykłych, a więc są ogólnie dostępne na wytwórniach betonu. Istnieje możliwość wykonywania konstrukcji z cementu białego, jednak jest on w całości importowany.



Fot. 1. Zmiana koloru spoiwa – CEM I szary



Fot. 2. Zmiana koloru spoiwa – CEM I biały

Cement szary

Kolorystyka cementów szarych znacznie się różni w zależności od parametrów materiałów użytych do produkcji klinkieru, a tym samym od proporcji składu fazowego. Kluczowe znaczenie ma zawartość tlenku żelaza (Fe_2O_3) w klinkierze, za którą w głównej mierze odpowiada faza glinożelazianowa (C_4AF). Zwiększenie udziału tej fazy powoduje uzyskanie ciemniejszej barwy cementu. Rodzaj chłodzenia klinkieru również wpływała na kolorystykę cementu [9]. Standardowe chłodzenie powietrzem może prowadzić do zwiększonej ilości ferrytu, a tym samym do ciemniejszej szarej barwy. Natomiast chłodzenie wodą sprawia, że ferryt przyjmuje barwę od czerwonej do żółtawobrazowej, co w mniejszym stopniu wpływa na ostateczny kolor cementu [8]. Zwiększanie zawartości tlenku żelaza powoduje ciemnienie koloru cementu. Istotny wpływ na kolor cementu ma również rodzaj paliwa stosowanego do wypalania klinkieru. Zastosowanie coraz większej ilości paliw alternatywnych np. opon, prowadzi do zmiany odcieni szarości cementu. W związku z powyższym stosowanie tego samego typu cementu szarego (np. CEM I 42.5R) z dwóch różnych cementowni może prowadzić do uzyskania odmiennych odcieni szarości cementu, a tym samym betonu. Również zmiana sposobu produkcji będzie prowadziła do zmiany odcienia cementu i betonu.



Fot. 3. Cement CEM I 42.5R cementownia 1



Fot. 4. Cement CEM I 42.5R cementownia 2



Fot. 5. Cement CEM I 42.5R cementownia 3

Za kolorystykę cementu odpowiada również typ dodatków stosowanych do ich wytworzenia, dlatego należy zwrócić szczególną uwagę na rodzaj cementu.

Uwzględniając, że dodatki do cementu mogą stanowić jego znaczną część, ich kolor ma istotny wpływ na barwę samego cementu.

Spośród tzw. cementów szarych, dotychczas najjaśniejszą powierzchnię można było uzyskać, stosując cement hutniczy do produkcji którego używa się mielonego żużla wielkopiecowego. Taki cement zyskuje jaśniejszy odcień w konstrukcji w ciągu kilkunastu dni lub nawet kilku miesięcy od momentu wbudowania betonu. Jednakże, przy dłuższym utrzymaniu betonu z dodatkiem żużla wielkopiecowego w niechłonnym deskowaniu, istnieje ryzyko pojawienia się niebieskich, a rzadziej zielonych plam na powierzchni elementów. Przebarwienia te wynikają z wydzielania siarczków zawartych w żużlu podczas hydratacji i zazwyczaj zanikają po kilku dniach lub tygodniach [fot. 14].

Znaczne zmiany składników używanych do produkcji cementu, stosowanych dodatków, a także proces produkcji mogą sprawić, że uzyskany kolor betonu będzie odbiegał od oczekiwanego. W efekcie, na cementach historycznie najjaśniejszych można uzyskać barwę ciemniejszą niż na cementach powszechnie uważanych za dające ciemniejszą barwę. Dlatego niezbędne jest okresowe weryfikowanie wpływu cementu na kolor betonu.



Fot. 6. Niebieskie przebarwienia na betonie z cementem hutniczym

Cement biały

Zastosowania cementu białego pozwala na uzyskanie bardzo jasnej kolorystyki betonu. Należy jednak zwrócić uwagę na powszechne, błędne przekonanie, że samo użycie białego cementu gwarantuje uzyskanie białego betonu. W rzeczywistości, białe cementy pozwalają na osiągnięcie bardzo jasnego betonu, ale są tylko jednym z elementów niezbędnych do uzyskania białego betonu.

Podobnie jak w przypadku cementów szarych, istotny jest skład cementu białego. Biały cement produkowany jest z surowców o bardzo niskiej zawartości tlenku żelaza, który, jak wcześniej wspomniano, znacząco wpływa na kolorystykę. Ważne jest również ograniczanie zawartości tlenku manganu. Aby uniknąć zanieczyszczenia cementu popiołem z węgla podczas produkcji, jako paliwo stosuje się najczęściej olej opałowy lub gaz. Żelazo w procesie powstawania klinkieru pełni rolę topnika, a jego brak wymaga podwyższenia temperatury w piecu (aż do 1650°C), czasem jako topnik dodawany jest kriolit Na_3AlF_6 . Należy również unikać zanieczyszczenia cementu żelazem podczas mielenia. Z tego powodu, zamiast zwykłego młyna kulowego, przemiał prowadzi się w młynach z wykładzinami kamiennymi bądź ceramicznymi, stosując specjalne rodzaje kul [84].

W ostatnim czasie, ze względu na rosnące koszty emisji dwutlenek węgla (CO_2) producenci cementu białego, tradycyjnie wytwarzanego jako CEM I, rozpoczęli prace nad wprowadzeniem cementów klasy CEM II i CEM III. Obecnie dostępne są m.in. cementy CEM II/A-LL, CEM II/A-S, CEM II/B-S i CEM III/A.



Fot. 7. Cement biały CEM I 52.5N



Fot. 8. Cement biały CEM III/A 42.5R

Istotnym parametrem białego cementu jest stopień białości cementu i stopień jego wyźólcenia. Oba te parametry będą miały znaczący wpływ na postrzeganie barwy betonu (jego jasności), oraz na to czy jego kolor będzie odbierany jako „zimny” czy „ciepły”. Nawet gdy dla dwóch cementów pochodzących z dwóch cementowni deklarowany jest stopień białości na tym samym poziomie to ich barwa najprawdopodobniej będzie się różniła. Wynika to zarówno ze stosowanych do produkcji materiałów, ale również z charakterystycznego dla każdej cementowni procesu produkcji.

Dodatki do betonu/cementu

Stosowanie dodatków do betonu lub cementu jest powszechną praktyką mającą na celu ograniczenie ilości cementu, a właściwie klinkieru, w mieszance betonowej. Działanie to ma na celu m.in. minimalizację kosztów, zmniejszenie ilości wydzielania ciepła podczas hydratacji, a także poprawę innych parametrów mieszanki betonowej i samego betonu.

Każdy dodatek wpływa nie tylko na właściwości mieszanki betonowej i samego betonu, ale także na estetykę betonu architektonicznego.

Popiół lotny

Kontekście betonów architektonicznych, istotnym parametrem popiołu lotnego są straty prażenia, ponieważ wraz z ich wzrostem popiół lotny robi się coraz ciemniejszy. Duże wahania strat prażenia, nawet obrębie tej samej kategorii A, powodują, że popiół lotny jest materiałem bardziej zmiennym pod względem kolorystyki niż cement. Z tego względu nie jest zalecany do wykonywania betonu architektonicznego kategorii BA3. W przypadku innych kategorii można go stosować, jednak z dużą ostrożnością, na przykład ograniczając jego ilość w składzie mieszanki betonowej, aby zminimalizować jego wpływ na kolor betonu.



Fot. 9. Popiół lotny krzemionkowy –
strata prażenia 1.6 %



Fot. 10. Popiół lotny krzemionkowy –
strata prażenia 3.9 %

Żużel wielkopiecowy

Charakteryzuje się on niską zawartością tlenku żelaza, zazwyczaj nieprzekraczającą 1 procenta, co sprawia, że granulowany żużel ma barwę bladożółtą. Po zmieleniu staje się jaśniejszy ze względu na drobniejszy rozmiar cząstek [9].

Żużel wielkopiecowy dzięki stabilnemu składowi chemicznemu wynikającemu z precyzyjnej kontroli procesu produkcji w hutach (wielkie piece hutnicze są niezwykle wrażliwe i muszą być zasilane jednorodną mieszanką surowca) posiada stabilność koloru na poziomie podobnym do cementu [9].

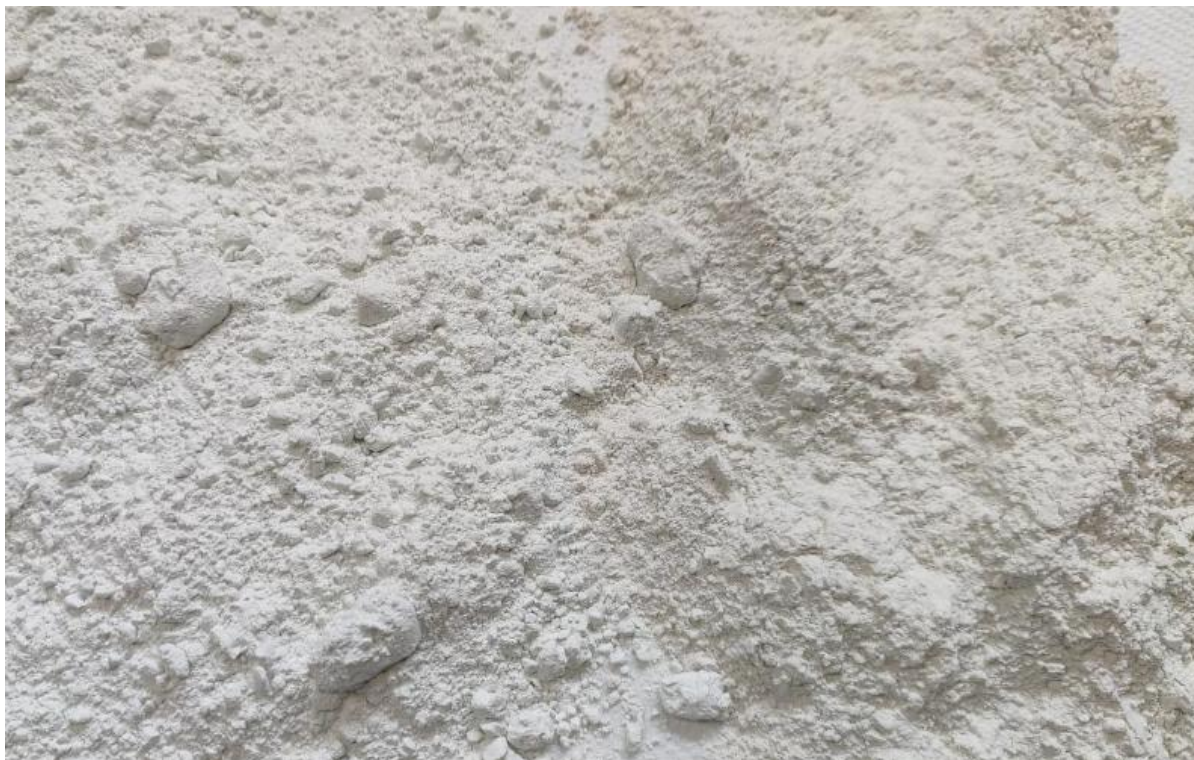
Jasna barwa żużla, wynikająca z niskiej zawartości tlenku żelaza, sprawia, że po zmieszaniu z cementem w proporcji około 50% (typowej dla cementów CEM III/A zawierających 50-55% żużla) uzyskuje się jasnoszary beton o ciepłym odcieniu, co czyni go atrakcyjnym materiałem wykorzystywanym do wykonywania betonu architektonicznego. Wahania w zawartości żużla w cemencie, wynikające z tolerancji dozowania mogą wpływać na odcień betonu, jednak różnice te są zazwyczaj niewielkie i trudne do zauważenia. Choć w Polsce żużel wielkopiecowy jest głównym składnikiem cementów, a jego bezpośrednie stosowanie jako dodatku do betonu jest rzadsze, to zmiany zawartości żużla w cemencie wpływają podobnie na kolor betonu.

Mączka wapienna

Mączka wapienna jest zaliczana do dodatków typu I, czyli prawie obojętnych, i najczęściej pełni rolę wypełniacza w mieszance betonowej. Ze względu na konieczność posiadania dodatkowego silosa w zakładzie produkcji betonu, mączka wapienna jest rzadko stosowana. Jednak przy coraz częstszym braku popiołu lotnego na rynku, jej udział w produkcji betonu może wzrastać. W ostatnim czasie obserwuje się powolny, ale zauważalny wzrost produkcji cementów zawierających mączkę wapienną.

W przypadku stosowania cementu zawierającego mączkę wapienną istnieje minimalne ryzyko zmiany koloru samej mączki a tym samym i cementu. Natomiast gdy mączka jest stosowana jako dodatek do betonu, konieczna jest weryfikacja jej pochodzenia. W betonach szarych kolor mączki wpływa na odcień betonu, powodując jego wahania między ciepłym a zimnym. Z kolei w betonach białych pochodzenie

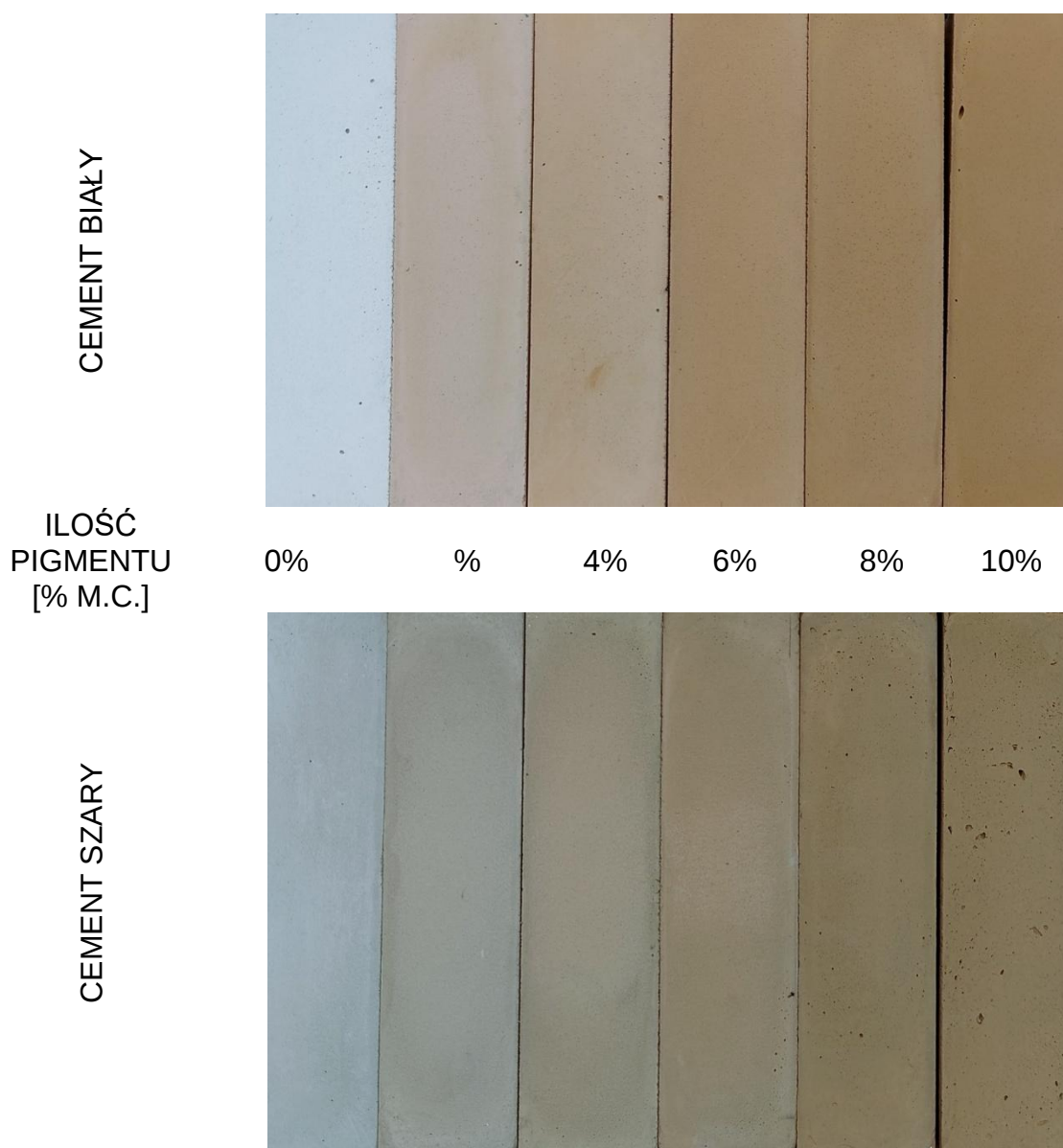
mączki może znacząco oddziaływać na barwę betonu, sprawiając, że jego odcień staje się mniej lub bardziej żółty.



Fot. 11. Porównanie koloru mączki (z lewej) i białego cementu (z prawej)

Pigmenty do betonu

Na finalne wybarwienie betonu, oprócz ilości pigmentu, wpływa również rodzaj cementu i kruszywa. Zastosowanie cementu białego pozwala uzyskać bardziej intensywne kolory, podczas gdy cement szary przygasa działanie pigmentu, nadając barwie mniej wyrazisty odcień.



Fot. 12. Zależność kolorystyki barwionego betonu od rodzaju cementu i procentowej ilości pigmentu – cement biały

Fot. 13. Zależność kolorystyki barwionego betonu od rodzaju cementu i procentowej ilości pigmentu – cement szary

Aby prawidłowo dobrać układ cement-pigment, należy wykonać zaroby próbne, a ocenę kolorystyki przeprowadzić dopiero po kilkunastu dniach lub kilku tygodniach. Termin oceny powinien być uzależniony o grubości elementu, rodzaju cementu i warunków atmosferycznych.

Rzadziej stosowaną metodą barwienia betonu dodawanie do mieszanki barwnych dodatków mineralnych o określonej kolorystyce i stopniu przemiału. Do tego

typu materiałów należy m.in. mielona ruda żelaza oraz wcześniej wspomniana mączka wapienna.

Barwniki powierzchniowe

Powierzchniowe barwienie betonu pozwala na tworzenie bardzo skomplikowanych wzorów na jego powierzchni. Obecnie najczęściej stosuje się barwniki na bazie kwasów, które wnikają na głębokość kilku-kilkunastu milimetrów i reagują ze związkami powstającymi podczas wiązania cementu, powodując zmianę kolorystyki betonu [fot. 23]. Uzyskany kolor zależy od faktury betonu, rodzaju spoiwa, głębokości penetracji oraz ilości naniesionego środka. Z tego względu nie ma możliwości uzyskania jednolitego wybarwienia.

Innym sposobem barwienia betonu jest stosowanie powierzchniowych, cienkowarstwowych powłok, tzw. lazurów, które nie zamykają fakturę betonu [fot. 24]. Ich zadaniem jest zazwyczaj ujednolicenie kolorystyki powierzchni lub zmiana jej barwy. Produkty te można stosować z różnym stopniem krycia - niektóre z nich dostępne są w określonych wartościach, najczęściej 10%, 50% i 100%, podczas gdy inne można rozcieńczać specjalnie przeznaczonymi do tego środkami, aby uzyskać pożądaną poziom przezierności.



Fot. 14. Beton pokryty kolorową powłoką

Kruszywo

W przypadku betonów szarych, w których kruszywo nie jest wyeksponowane, jego wpływ na kolorystykę powierzchni jest znikomy. Jednak im jaśniejszy beton, tym bardziej widoczne staje oddziaływanie kruszywa na jego barwę. Szczególnie istotny jest wpływ piasku - w jasnym betonie, a zwłaszcza w betonie białym, zmiana standardowego piasku rzeczno- lub kopalnianego (o odcieniach żółtych lub szaro-żółtych) na biały piasek szklarski powoduje wyraźną zmianę barwy betonu.

Wpływ kruszywa nasilają procesy eksploatacyjne (intensywne czyszczenie) i degradacyjne (erozja), szczególnie w wyniku ścierania powierzchni, co prowadzi do stopniowego odsłaniania ziaren piasku i kruszywa. W efekcie barwa betonu staje się wypadkową barwy mleczka cementowego i odsłoniętego kruszywa.

Wpływ kruszywa na kolorystykę betonu zależy także od metody kształtowania powierzchni. W betonach kształtowanych podczas wbudowywania/wiązania (eksponowana powierzchnia jest obrabiana w trakcie wiązania mieszanki) oraz w betonach kształtowanych po wbudowaniu (efekt końcowy uzyskuje się w skutek obróbki stwardniałego betonu) kluczowe znaczenie mają pochodzenie i właściwości kruszywa.

Kruszywa naturalne

Występowanie kruszyw naturalnych łamanych w Polsce jest ograniczone głównie do południowej i południowo-wschodniej części kraju. Skały metamorficzne i magmowe występują w regionie dolnośląskim, natomiast skały osadowe są dostępne w regionach podkarpackim, świętokrzyskim i małopolskim. Kolorystyka tych kruszyw jest bardzo zróżnicowana i zależy od składu mineralogicznego. Warto również pamiętać, że w Polsce dostępne są kruszywa importowane. W północnej części kraju najczęściej stosuje się surowce sprowadzane ze Skandynawii i Wysp Brytyjskich, na zachodzie - z Niemiec, a na wschodzie - z Ukrainy i Białorusi.

Tabela 1. Kruszywa naturalne i ich kolorystyka

RODZAJ KRUSZYWA	POCHODZENIE	KOLOR
GRANIT	Południe Polski	Biało-czarny
GRANIT	Szkocja	Szaro-czerwony
GRANITO-GNEJS	Norwegia	Szary
BAZALT	Południowa Polska	Czarny/szary
GABRO	Południowa Polska	Szary
MELAFIR	Południowa Polska	Brunatno-czerwony/czarny
DOLOMIT	Południowo-wschodnia Polska	Szary/Kremowy
WAPIEŃ	Południowo-wschodnia Polska	Kremowy
GNEJS	Południe Polski	Szaro-biały
SERPENTYNIT	Południowa Polska	Zielono-szary
MARMUR	Południowa Polska	Biały/kremowy/biało-zielony
ŻWIR	Cała Polska	Wielokolorowy
	Okolice Jeleniej Góry	Beżowy/kremowy
PIASEK	Cała Polska	Żółty
	Cała Polska	Szary
	Okolice Białej Góry, Osiecznicy i inne	Biały

Najczęstszym kolorem piasków występujących w Polsce jest żółty - dotyczy to zarówno piasków kopalnianych jak i morskich czy rzecznych. Rzadziej spotykane są piaski białe, zwane szklarskimi ze względu na ich najczęstsze zastosowanie. Ze względu na ograniczoną dostępność tych surowców, m.in. w okolicach Tomaszowa Mazowieckiego i Bolesławca, ich zastosowanie jest ograniczone głównie do przemysłu szklarskiego, produkcji suchych mieszanek oraz w niewielkim stopniu do prefabrykacji.

Kolorystyka grubego kruszywa nabiera szczególnego znaczenia w przypadku obróbki powierzchni, prowadzącej do uwidocznienia wewnętrznych warstw betonu. W takich przypadkach należy przewidzieć, jak dany kolor kruszywa będzie komponował się z otaczającą go matrycą cementową, oraz jaki wpływ na barwę surowca będzie miał zastosowany sposób obróbki. Piaskowanie i groszkowanie powodują przytłumienie kolorystyki kruszywa w skutek matowienia jego powierzchni. Natomiast polerowanie, wraz ze wzrostem gładkości powierzchni, intensyfikuje wybarwienie kruszywa.

Kruszywa sztuczne/lekke

Do najczęściej stosowanych kruszyw sztucznych w Polsce należą keramzyt i popiołoporyt. Oba materiały zaliczane są do kruszyw lekkich i charakteryzujących się

porowatą strukturą. Do tej grupy kruszyw można również zaliczyć kruszywo szklane spienione.



Fot. 15. Dwie frakcje popiołoporytu



Fot. 16. Trzy frakcje granulowanego szkła spienionego

Tabela 2. Kruszywa sztuczne i ich kolorystyka

RODZAJ KRUSZYWA	POCHODZENIE	KOLOR
POPIOŁOPORYT	Powstaje w wyniku spiekania popiołów ze spalania węgla kamiennego	Brązowy
KERAMZYT	Powstaje w wyniku wypalania wysoko ilastej gliny pęczniejącej	Brązowy/brązowo-czarny
SZKŁO SPIENIONE GRANULOWANE	Powstaje w wyniku spiekania szkła	Biały

Kruszywa z recyklingu

Pomimo dopuszczenia kruszyw z recyklingu betonu do stosowania w budownictwie, ich wykorzystanie w betonach architektonicznych jest ograniczone. Wynika to z niejednorodności kolorystycznej spowodowanej dużą zmiennością tego kruszywa (barwa jest wypadkową użytego cementu i kruszywa). Proces produkcji polega na rozkruszaniu różnego rodzaju konstrukcji, a co za tym idzie - betonów o zróżnicowanym składzie. Wydaje się, że jedynym przypadkiem eksponowania kruszywa z recyklingu betonu jest sytuacja, w której celem jest podkreślenie jego zastosowania ze względów ekologicznych lub historycznych.



Fot. 17. Kruszywo z recyklingu betonu



Fot. 18. Beton z wtrąceniami z betonu recyklingowego na bazie kruszywa ceglanego

Tabela 3. Kruszywa z recyklingu i ich kolorystyka

RODZAJ KRUSZYWA		POCHODZENIE	KOLOR
KRUSZYWO RECYKLIGU BETONU	Z	Powstaje w wyniku rozkruszenia betonu	Szary
KRUSZYWO SZKLANE		Powstaje w wyniku kruszenia elementów szklanych	Białe Zielonkawe lustrzane Zielonkawe Zielone Czerwone Fluorescencyjne
INNE MATERIAŁY			Kolorystyka zależna od rodzaju materiału

Deskowanie

Beton przyjmuje kształt i teksturę zastosowanego poszycia deskowania, dlatego to właśnie jego parametrów determinują ostateczny wygląd powierzchni betonowej. Istotna jest nie tylko sama faktura poszycia, ale także jego trwałość, podatność na zniszczenie oraz chłonność - czyli cechy, które wpływają na powierzchnię betonu zarówno przy pierwszym, jak i kolejnych użyciach.

Ze względu na chłonność poszycia deskowania można podzielić na:

- dużej chłonności,
- o małej chłonności,
- niechłonne.

Poszycia o dużej chłonności

- Płyty wiórowe – nadają powierzchni betonu delikatnie chropowatą teksturę. Przy pierwszym użyciu beton uzyskuje ciemniejszą barwę niemal bez porów. Możliwe jest pofalowanie powierzchni, a w przypadku niskiej jakości płyt - ich jednokrotne użycie.
- Deski heblowane – tworzą gładką powierzchnię betonu z widoczną strukturą słoików drewna. Beton początkowo ma ciemniejszą barwę, która stopniowo

jaśniej przy kolejnych użyciach. Możliwe jest opóźnienie wiązania powierzchni betonu, co może prowadzić do pylenia. W zależności od oczekiwanego efektu deski wymagają odpowiedniego przygotowania np. przez opalenie lub piaskowanie.

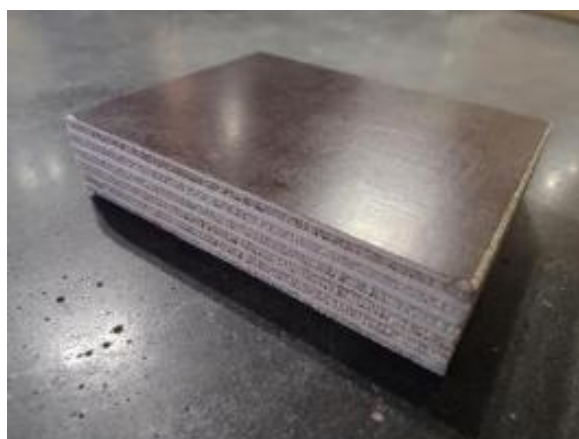
- Deski nieheblowane – nadają chropowatą powierzchnię betonu chropowatą fakturę, której charakter zależy od sposobu cięcia drewna, z widoczną strukturą słoików. Możliwe jest uzyskanie ciemnej barwy betonu, stopniowo jaśniejącej przy kolejnych użyciach. Może również występować opóźnienie wiązania, skutkując pyleniem powierzchni. W betonie mogą pozostać pojedyncze włókna drewna. W celu uzyskania pożądanej faktury powierzchnia desek może być wcześniej opalana lub piaskowana.
- Maty filtracyjne – nadają betonowi chropowatą fakturę bez porów, a jego powierzchnia uzyskuje ciemną barwę.
Poszycia o małej chłonności
- Oszlifowane powierzchnie drewniane i płyty trójwarstwowe – tworzą gładką powierzchnię betonu z wyraźną strukturą słoików drewna. Beton może miejscami przyjmować ciemniejszą barwę, a przy kolejnych użyciach staje się jaśniejszy. Możliwe jest opóźnienie wiązania powierzchni betonu, co może powodować jej pylenie. Tworzy się niewielka ilość porów.
- Szczotkowane oszlifowane powierzchnie drewniane i płyty trójwarstwowe – również nadają betonowi gładką fakturę z widocznymi słoikami drewna. Barwa betonu początkowo jest ciemna i jaśnieje z każdym kolejnym użyciem. Podobnie jak w poprzednim przypadku, możliwe jest opóźnienie wiązania powierzchni betonu i pylenia powierzchni, przy jednoczesnym niewielkim udziale ilości porów.

Poszycia niechłonne

- sklejka pokryta cienką warstwą zwykle żywicy fenolowej – zapewnia gładką powierzchnię betonu. Możliwe jest powstawanie zacieków, różnic w kolorystyce i efektu „marmurkowania”. Tworzenie się porów o średniej ilości, a brzegi sklejki mogą falować przy pierwszych użyciach. Niskiej jakości sklejka pękać już przy pierwszym użyciu.
- sklejka pokryta filmem polipropylenowym – zwykle nadaje betonowi delikatnie chropowatą fakturę, co skutkuje uzyskaniem matowej powierzchni. Normalnym zjawiskiem jest tworzenie się porów. Płyty podatne są na zarysowanie.
- Matryce z tworzywa sztucznego – mogą nadawać betonowi gładką fakturę, jak i różnorodne wzory, zależnie od rodzaju zastosowanej matrycy. Tworzenie porów uzależnione jest od jej kształtu.
- Blacha metalowa – nadaje betonowi gładką fakturę, jednak po wielokrotnym czyszczeniu (np. piaskowaniu) powierzchnia staje się chropowata. Tworzenie się porów jest bardzo intensywne, a na betonie mogą pojawiać się plamy rdzy oraz ślady powłok malarskich oddzielających się od blachy.



Fot. 19. Sklejka brzozowa
15-warstwowa powlekana warstwą
polipropylenu (560 gr na m²)



Fot. 20. Sklejka brzozowa
15-warstwowa powlekana filmem
fenolowy (120 gr na m²)

Podsumowanie

Zawarty w artykule tekst jest jedynie fragmentem informacji związanej z wpływem materiałów na kolor i teksturę betonu architektonicznego. Rozszerzenia wymagałby opis wszystkich systemów deskowań począwszy od szalunków indywidualnych, przed deskowania ramowe, aż po systemy dźwigarkowe. Każdy z tych systemów ma istotny wpływ na wygląd nie tylko kolor betonu, ale przede wszystkim teksturę betonu architektonicznego. Przedstawiony fragment związany z wyglądem betonu architektonicznego pozwala jedynie na nakreślenie kierunku w jakim powinien podążać opis wpływu zarówno materiałów takich jak cement, popiół lotny, mączka kamienna, kruszywa czy poszycia deskowania na wygląd betonu.

Literatura

- [1] K. Kuniczuk, „Beton architektoniczny. Wytyczne techniczne“, Polski Cement, Kraków 2010.
- [2] K. Kuniczuk, „Beton architektoniczny. Wytyczne techniczne. Wydanie drugie rozszerzone“, Polski Cement, Kraków 2025.

Mgr inż. Marta Mucha

Betoniarnie ODRA Sp. z o.o.

Dr inż. Magdalena Oleśków

Cementownia ODRA S.A.

Dr hab. Elżbieta Janowska-Renkas, Profesor Uczelni

Katedra Inżynierii Materiałów Budowlanych, Politechnika Opolska

Dr inż. Piotr Podkowa

Cementownia ODRA S.A.

Beton na fali – innowacyjne zastosowanie betonu

CONCRETE ON THE WAVE - INNOVATIVE APPLICATIONS OF CONCRETE

Streszczenie

W odpowiedzi na zaproszenie do udziału w ogólnopolskim konkursie Krakow Concrete Canoe Challenge 2025, grupa studentów z Koła Naukowego „Eko Mat-Bud”, działającego przy Katedrze Inżynierii Materiałów Budowlanych Wydziału Budownictwa i Architektury Politechniki Opolskiej, podjęła decyzję o realizacji ambitnego projektu – budowy kajaków z betonu. Grupa Odra Cement włączyła się w tą inicjatywę stając się partnerem technologicznym tego niezwyklego przedsięwzięcia. Artykuł przedstawia prace związane z wykonaniem form, które posłużyły do budowy betonowych kajaków, jak również badania mechaniczne betonu, które były niezbędne do opracowania receptur zastosowanych do budowy łodzi betonowych. Dzięki projektowi uczestnicy rozwinęli kompetencje w zakresie zielonych technologii, pracy zespołowej, organizacji procesów technologicznych i zarządzania projektem, co stanowi cenny wkład w kształtowanie przyszłych specjalistów świadomych wyzwań klimatycznych.

Abstract

In response to an invitation to take part in the nationwide Krakow Concrete Canoe Challenge 2025 competition, a group of students from the ‘Eko Mat-Bud’ Scientific Circle, operating at the Department of Construction Materials Engineering of the Faculty of Construction and Architecture of the Opole University of Technology, decided to implement an ambitious project - the construction of concrete canoes. The Odra Cement Group joined this initiative by becoming a technological partner in this unusual undertaking. This article presents the work involved in making the moulds that were used to build the concrete canoes, as well as the mechanical testing of the concrete that was necessary to develop the recipes used to build the concrete boats. Through the project, the participants developed competences in green technology, teamwork, process organisation and project management, making a valuable contribution to shaping future climate-conscious professionals.

1. Wprowadzenie

Beton to materiał powszechnie kojarzony z budownictwem. Z betonu wykonuje się drogi, mosty, budynki czy zbiorniki retencyjne, które są częścią naszej codziennej przestrzeni. Dzięki swojej wyjątkowej wytrzymałości i trwałości beton od lat stanowi niezastąpiony materiał konstrukcji budowlanych. Jednak czy kiedykolwiek zastanawialiśmy się, czy beton może zostać wykorzystany w sposób zupełnie niekonwencjonalny, w dziedzinie, która nie ma nic wspólnego z przemysłem budowlanym? A co, jeśli beton mógłby...pływać?

Zgodnie z przekazami historycznymi [7], już w 1848 roku Joseph-Louis Lambot jako pierwszy zastosował połączenie betonu ze zbrojeniem, konstruując barkę, którą następnie zaprezentował na wystawie światowej w Paryżu w 1855 roku. Była to prototypowa łódź wykonana z żelazobetonu (czyli betonu wzmocnionego metalowym zbrojeniem). Lambot zbudował ją, aby udowodnić, że taki materiał nadaje się również do konstrukcji narażonych na działanie wody. Co ciekawe, ta barka przetrwała do dziś a jej szczątki znajdują się w Musée du Conservatoire National des Arts et Métiers w Paryżu. To dowód na trwałość i skuteczność żelazobetonu.



Rys. 1. Żelazocementowa łódź Josepha Lambota w muzeum Brignoles [7]

W obecnych czasach odpowiedzią na pytanie jest innowacyjny projekt zrealizowany we współpracy Politechniki Opolskiej z Grupą Odra Cement, którego efektem są prototypowe kajaki wykonane z betonu. Te wyjątkowe konstrukcje nie tylko spełniają wymagania wytrzymałościowe, ale także zaskakują lekkością i funkcjonalnością.

Celem projektu było opracowanie receptury mieszanki betonowej o podwyższonych parametrach wytrzymałości na ściskanie i zginanie, przy jednoczesnym obniżeniu masy objętościowej oraz zwiększeniu szczelności. Dodatkowym, ale również istotnym, założeniem była redukcja śladu węglowego betonu poprzez wykorzystanie materiałów odpadowych. Rezultatem prac są kajaki, które nie tylko z powodzeniem utrzymują się na wodzie, lecz także dają realną szansę na osiągnięcie sukcesu w prestiżowych zawodach łodzi betonowych.

Autorami projektu są studenci z Koła Naukowego „Eko Mat-Bud”, działającego przy Katedrze Inżynierii Materiałów Budowlanych wspierani przez pracowników Wydziału Budownictwa i Architektury Politechniki Opolskiej. Zespół, pod opieką dr hab. Elżbiety Janowskiej-Renkas przygotowuje się do udziału w międzynarodowym konkursie „Krakow Concrete Canoe Challenge 2025”. Rywalizacja ta jest okazją nie tylko do sprawdzenia wytrzymałości fizycznej i kondycji, ale przede wszystkim do zaprezentowania kreatywnego podejścia do wykorzystania materiałów budowlanych w niekonwencjonalny sposób.

2. Wymagania projektowe

Projekt realizowano zgodnie z regulaminem konkursu, który określał dopuszczalne rozmiary kajaka oraz zasady doboru materiałów konstrukcyjnych.

Kajak musiał mieć długość od 4,0 do 6,0 m, a maksymalna szerokości i wysokość nie mogły przekroczyć 1,0 m.

Materiały wykorzystywane w projekcie musiały odpowiadać założeniom zrównoważonego budownictwa:

- dopuszczalne były wyłącznie betony cementowe lub niskoklinkierowe spoiwa mineralne;
- skład mieszanki mógł zawierać nie więcej niż 3% substancji organicznych (np. superplastyfikatorów);
- zastosowanie żywic lub farby dopuszczono jedynie w celach dekoracyjnych, powyżej linii wody;
- konstrukcja mogły być wzmacniana włóknami, tekstyliami lub prętami zbrojeniowymi, pod warunkiem że nie będą wpływać na szczelność kajaka.

3. Charakterystyka mieszanki betonowej

Do opracowania mieszanki wykorzystano cement portlandzki żuźlowy klasy 42,5, granulowany żużel pomiedziowy i wielkopiecowy, perlit, szkło piankowe, pył krzemionkowy, nanokrzemionkę oraz domieszkę uplastyczniającą. W celu zwiększenia odporności mechanicznej mieszanka została wzmocniona siatką podtynkową z włókna szklanego, co przyczyniło się do poprawy wytrzymałości betonu na zginanie i zwiększyło jego odporność na uszkodzenia powstałe w trakcie użytkowania.

3.1. Cement CEM II/A-S 42,5 R

W projekcie zastosowano cement portlandzki z dodatkiem granulowanego żużla wielkopiecowego, charakteryzujący się szybkim przyrostem wytrzymałości, dobrą urabialnością oraz niższym śladem węglowym w porównaniu do czystego klinkieru (Tab. 1).

Tabela 1. Właściwości cementu CEM II/A-S 42,5 R

Parametr	Wartość
Powierzchnia właściwa (wg Blaine'a)	4 660 cm ² /g
Początek wiązania	245 min
Koniec wiązania	315 min
Woda zarobowa	26,0 %
Wytrzymałość na ściskanie po 2 dniach	26,7 MPa
Wytrzymałość na ściskanie po 28 dniach	52,5 MPa
Wytrzymałość na zginanie po 2 dniach	4,6 MPa
Wytrzymałość na zginanie po 28 dniach	7,5 MPa

3.2. Granulowany żużel wielkopiecowy

Jako dodatek o właściwościach hydraulicznych zastosowano granulowany żużel wielkopiecowy z huty ArcelorMittal Krzywy Róg, o współczynnikach zasadowości i aktywności kwalifikujących go do grupy materiałów zasadowych o średniej aktywności (Tab. 2). Materiał ten poddano mieleniu w przemysłowym młynie pionowym, co jak wykazały badania, zwiększyło jego aktywność hydrauliczną i pozytywnie wpłynęło na przyrost (zwiększenie) wytrzymałość betonu. Proces hydratacji granulowanego żużla jest procesem mającym swój początek na powierzchni jego ziaren, zatem rozwinięcie powierzchni uzyskane w procesie mielenia będzie miało wpływ na jego aktywność mierzoną efektywnością tego procesu. W zależności od rodzaju zastosowanego młyna żużel posiada różny skład ziarnowy. Zaprawy wykonane w oparciu o żużel zmielony w młynie pionowym w dłuższych okresach twardnienia charakteryzują się wyższą wytrzymałością na ściskanie w porównaniu do zapraw wykonanych w oparciu o żużel zmielony w młynie kulowym. Efekt ten dotyczy każdej klasy ziarnowej. Im dłuższy czas dojrzewania próbek tym różnice pomiędzy wynikami w danej frakcji ziarnowej są większe [4].

Tabela 2. Właściwości granulowanego żużla wielkopiecowego

Parametr	Wartość
Powierzchnia właściwa (wg Blaine'a)	4 560 cm ² /g
Moduł zasadowy	1,04
Moduł aktywności	1,43
CaO+MgO+SiO ₂	88,8%
(CaO+MgO)/SiO ₂	1,24
Zawartość fazy szklistej	88%

3.3. Granulowany żużel pomiedziowy

Dodatkowo zastosowano żużel pomiedziowy pochodzący z Huty KGHM Polska Miedź S.A., charakteryzujący się dobrymi właściwościami pucolanowymi i bardzo wysokim stopniem zeszklenia (100%, Tab. 3).

Tabela 3. Właściwości granulowanego żużla pomiedziowego

Parametr	Wartość
Powierzchnia właściwa (wg Blaine'a)	3 840 cm ² /g
Wskaźnik aktywności po 28 dniach wg PN-EN 450-1	92%
Wskaźnik aktywności po 90 dniach wg PN-EN 450-1	103%
Zawartość fazy szklistej	100%

Przeprowadzone w pracy [3] badania wykazały, że stopień rozdrobnienia dodatku mineralnego istotnie wpływa na efektywność działania superplastyfikatora: w przypadku żużla wielkopiecowego wzrost udziału frakcji drobnych (<20 µm) prowadził do wyraźnego obniżenia parametrów reologicznych zaczynu. W związku z powyższym

żużel został poddany procesowi mielenia w młynie kulowym. Ze względu na jego korzystny wpływ na urabialność mieszanki betonowej oraz zdolność do poprawy wytrzymałości na ściskanie [2], zdecydowano się na jego zastosowanie jako częściowego zamiennika cementu.

3.4. Perlit

Zastosowano perlit ekspandowany EP 150, lekkie kruszywo mineralne stosowane jako wypełniacz w mieszankach budowlanych. Materiał cechuje się bardzo niskim ciężarem nasypowym, co pozwala skutecznie obniżyć gęstość betonu [5]. Wybrane parametry techniczne perlitu zestawiono w tabeli 4.

Tabela 4. Właściwości perlitu

Parametr	Wartość
Ciężar nasypowy	75 kg/m ³
Uziarnienie	0 – 1,25 mm
Wytrzymałość na ściskanie	0,14 – 0,40 MPa
Wilgotność	< 2,0%

3.5. Szkło piankowe

Zastosowano szkło piankowe powstałe z rozdrobnionej i zmielonej stłuczki szklanej, którą miesza się z środkiem spieniającym i poddaje się ogrzewaniu w specjalnym piecu. Szkło piankowe jest nieorganicznym materiałem, odpornym na działanie wszystkich substancji chemicznych oraz organicznej i nieorganicznej przyrody. Jest to materiał ekologiczny, ponieważ jest w pełni recyklingowalny i nie emituje szkodliwych substancji.

Tabela 5. Właściwości szkła piankowego

Parametr	Wartość
Zawartość SiO ₂	71,7%
Zawartość Al ₂ O ₃	2,5%
Ciężar właściwy	4,2 g/cm ³

3.6. Pył krzemionkowy

Ponadto stosowano pył krzemionkowy jako drobnoziarnisty produkt uboczny powstający przy produkcji krzemków i stopów krzemu. Charakteryzuje się on wysoką zawartością dwutlenku krzemu (SiO₂) oraz bardzo małą średnicą ziaren, nawet 100 razy mniejszą niż ziarna cementu (tab. 6). Dzięki temu efektywnie wypełnia wolne przestrzenie w mieszance, poprawiając właściwości mechaniczne betonu, w tym wyraźnie zwiększając jego wytrzymałość na zginanie [1], oraz znacząco podnosząc jego trwałość.

Tabela 6. Właściwości pyłu krzemionkowego

Parametr	Wartość
Zawartość SiO ₂	95%
Wielkość cząstek	0,1 – 0,2 μm
Ciężar nasypowy	550 – 750 kg/m ³
Wilgotność	< 2,0%

3.7. Domieszka uplastyczniająca

W projekcie użyto domieszki upłynniającej o działaniu znacznie redukującym ilość wody RemCAST M230 produkcji firmy war – Remedium Sp. z o.o.

3.8. Nanokrzemionka hydrofilowa HI

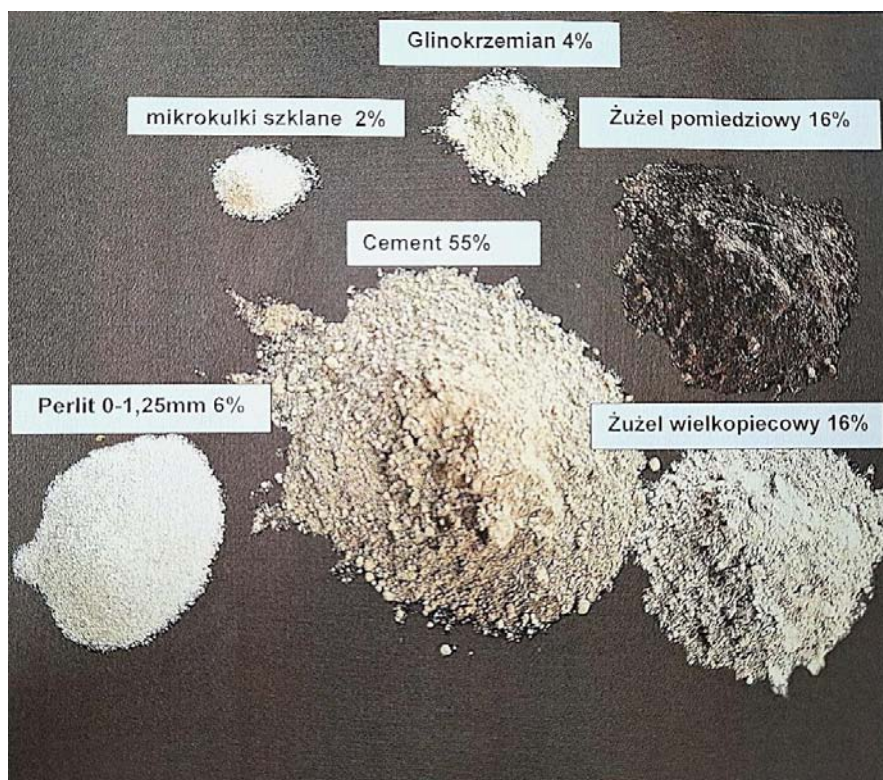
Do wykonania mieszanek betonowych stosowano wodny roztwór koloidu nanokrzemionki hydrofilowej z domieszką nanosrebra (HI) w ilości 1% w stosunku do masy cementu.

3.9. Skład mieszanki betonowej

Spośród kilkunastu zaprojektowanych i przetestowanych wariantów mieszanki betonowej, po analizie ich parametrów wytrzymałościowych (wytrzymałości na zginanie i ściszenie) oraz technologicznych, takich jak urabialność, konsystencja i jednorodność mieszanki, wybrano dwie optymalne receptury. Skład obu receptur został zoptymalizowany pod kątem wymagań konkursowych, takich jak: ekologiczność, szczelność, lekkość, oraz odporność na obciążenia mechaniczne. Zestawienie składników obu receptur przedstawiono w tabeli 7, oraz pokazano na rys. 2.

Tabela 7. Skład mieszanek betonowych wykorzystanych do wykonania konkursowych kajaków

Składnik		Receptura 1	Receptura 2
CEM II/A-S 42,5 R	kg/m ³	680	600
Granulowany żużel wielkopiecowy	kg/m ³	200	100
Granulowany żużel pomiedziowy	kg/m ³	200	100
Perlit	kg/m ³	77	106
Szkło piankowe	kg/m ³	34	30
Pył krzemionkowy	kg/m ³	50	30
Domieszka upłynniająca	kg/m ³	13,6	12
Nanokrzemionka hydrofilowa HI	kg/m ³	6,8	6,0
Woda	l/m ³	405	415



Rys. 2. Zdjęcie przedstawiające procentowy udział składników dla Receptury 1

Dobór grubości ścianek i zbrojenia

Istotnym etapem było ustalenie optymalnej grubości ścianki betonowego kajaka, która bezpośrednio wpływała na jego wytrzymałość, masę oraz trwałość. Spośród kilku rozpatrywanych wariantów wybrano powłokę o grubości około 10 mm. Decyzja ta wynikała z konieczności uzyskania odpowiedniej sztywności i wytrzymałości, przy jednoczesnym zachowaniu możliwie małej masy konstrukcji.

Ze względu na niską wytrzymałość betonu na zginanie oraz jego naturalną kruchość, zdecydowano się na wzmocnienie powłoki sześcioma warstwami siatki z włókna szklanego. Włókno szklane cechuje się wysoką wytrzymałością na rozciąganie, co znacznie poprawia odporność kompozytów betonowych na pękanie oraz uszkodzenia mechaniczne.

Wykonane zostały próbki kontrolne o wymiarach 160×40×10 mm, które zostały poddane badaniom wytrzymałości na zginanie po 7 i 28 dniach dojrzewania. Uzyskana wartość wytrzymałości po 7 dniach wyniosła 12,5 MPa, co odpowiada modułowi zginania charakterystycznemu dla betonu zbrojonego. Wynik ten potwierdza, że zastosowana mieszanka betonowa wraz ze wzmocnieniem z włókna szklanego spełnia wymagania dotyczące nośności i elastyczności, zapewniając odpowiednią trwałość oraz odporność konstrukcji na obciążenia eksploatacyjne.

4. Realizacja projektu

W ramach realizacji projektu wykonano dwa kajaki, wykorzystując odmienne metody formowania. Pierwszy kajak powstał w technologii pozytywowej, polegającej na

ręcznym uzupełnianiu wcześniej przygotowanej formy betonową mieszanką. Drugi kajak wykonano metodą negatywową, polegającą na ręcznym nakładaniu betonu na zewnętrzną powierzchnię formy wykonanej ze styroduru. Obie techniki różniły się zarówno podejściem do nakładania betonu, jak i zastosowaniem różnych receptur mieszanki, co znacząco wpłynęło na ostateczny kształt konstrukcji oraz jej parametry użytkowe, takie jak masa, zwrotność i stabilność na wodzie.

4.1. Formowanie kajaka w pozytywie

W niniejszym projekcie termin „formowanie w pozytywie” odnosi się do techniki ręcznego wypełniania uprzednio przygotowanej formy mieszanką betonową. Forma ta odwzorowuje kształt gotowego kajaka, a mieszanka betonowa nakładana do jej wnętrza tworzy od środka powłokę konstrukcyjną.

Do wykonania formy zastosowano beton konstrukcyjny klasy C30/37. Została ona zaprojektowana jako wieloczęściowa, co umożliwiło jej łatwe rozformowanie oraz bezpieczne wyjęcie modelu, nawet mimo zaokrąglonych burt i wypukłego rantu kajaka. W procesie tworzenia formy wykorzystano oryginalny kajak (Rys.3), który po wcześniejszym zabezpieczeniu folią zanurzono w świeżo przygotowanej mieszance betonowej. Po kilku dniach, gdy beton stwardniał, kajak został ostrożnie usunięty.

Wnętrze powstałej formy (Rys. 4) wyłożono następnie specjalnym systemem żywic stosowanych w budownictwie sanitarnym. Zapewniły one szczelność oraz gładką powierzchnię, co zapobiegało przywieraniu betonu podczas właściwego procesu formowania gotowego kajaka.



Rys. 3. Zdjęcie oryginalnego kajaka w formie



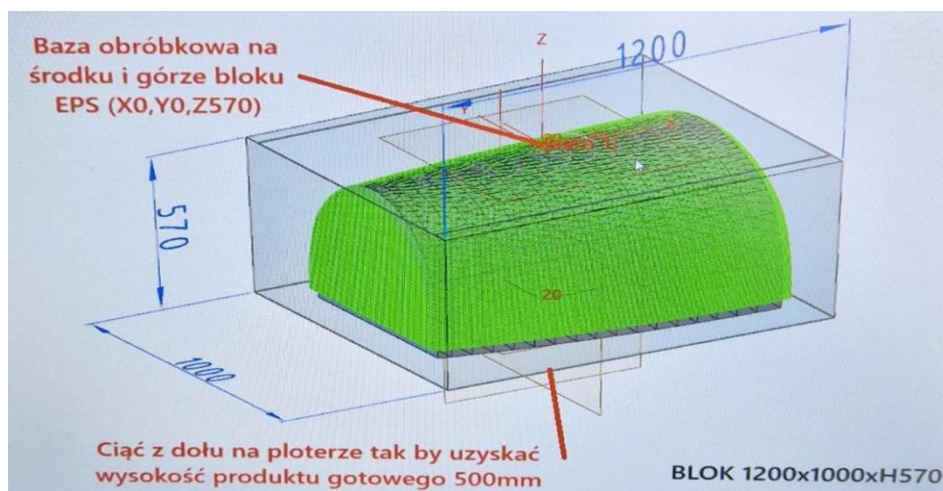
Rys. 4. Przygotowana forma

Do przygotowanej formy ręcznie nakładano mieszankę betonową przekładając każdą warstwę mieszanki, siatką z włókna szklanego. W trakcie nakładania kontrolowano grubość ścianek. Po ułożeniu 6 warstw siatki kajak został zabezpieczony folią, mającą na celu ochronę przed nadmiernym wysychaniem. Kajak dojrzewał w formie przez 7 dni, a następnie został przeniesiony w bezpieczne miejsce, gdzie kontynuowany był proces dojrzewania betonu.

4.2. Formowanie kajaka w negatywie

W przypadku „formowania w negatywie”, proces polega na nakładaniu mieszanki betonowej bezpośrednio na zewnętrzną powierzchnię formy, która odwzorowuje wewnętrzny kształt gotowego kajaka. Jest to metoda, która pozwala nie tylko na precyzyjne odtworzenie wnętrza kadłuba, ale także daje pewną swobodę w modelowaniu zewnętrznej warstwy łodzi. Dzięki temu możliwe jest nadawanie jej indywidualnych, bardziej aerodynamicznych kształtów, odbiegających od geometrii zastosowanej w formie.

Na potrzeby wykonania modelu kajaka ze styroduru przyjęto wstępne wymiary: długość 4000 mm, szerokość 890 mm oraz maksymalna wysokość burt 500 mm. Parametry te miały zapewnić odpowiednią stabilność kierunkową i boczną oraz wystarczającą wyporność. Na ich podstawie przygotowano geometryczny model 3D, który posłużył do wykonania formy negatywowej ze styroduru (Rys. 5).



Rys. 5. Geometryczny fragment modelu 3D



Rys. 6. Forma ze styroduru

Ze względu na ograniczenia wymiarowe, forma została podzielona na cztery segmenty, które następnie precyzyjnie dopasowano i połączono ze sobą, tworząc spójną całość odwzorowującą zewnętrzną powierzchnię kajaka i umożliwiającą aplikację materiału konstrukcyjnego od zewnątrz (Rys. 6). Nakładanie mieszanki betonowej przebiegało ręcznie, analogicznie jak w przypadku pierwszej jednostki. Każda warstwa była wzmocniana siatką z włókna szklanego, co zapewniało

odpowiednią wytrzymałość powłoki. Kajak dojrzewał w takich samych warunkach jak wcześniejszy prototyp. Po siedmiu dniach przystąpiono do jego rozformowania.

5. Charakterystyka gotowych kajaków

5.1. Parametry techniczne

Wymiary obu wykonanych kajaków różnią się nieznacznie, przy czym mieszczą się w przyjętych założeniach projektowych. Różnice wynikają głównie z zastosowanych technik formowania oraz sposobu nanoszenia materiału konstrukcyjnego. Pomimo tych rozbieżności, oba kadłuby zachowują proporcje zapewniające odpowiednią stateczność oraz wyporność, zgodnie z wcześniej przyjętymi wytycznymi projektowymi (Rys. 7,8).

Wymiary kajaków po rozformowaniu zestawiono w tabeli 8.

Tab. 8. Parametry techniczne kajaków betonowych.

Rodzaj kajak	Parametry techniczne				
	Długość [mm]	Szerokość [mm]	Wysokość burt [mm]	Grubość powłoki [mm]	Waga [kg]
Kajak w pozytywie	4410	760	380	8-12	89
Kajak w negatywnie	4020	890	380	8-12	48



Rys. 7. Zdjęcie przedstawiające kajak z formy-pozytyw



Rys. 8. Zdjęcie przedstawiające kajak z formy-negatyw

5.2. Badania wytrzymałościowe

W ramach projektu przeprowadzono badania mechaniczne betonu zastosowanego do budowy kadłubów kajaków. Materiał poddano analizie pod kątem dwóch podstawowych parametrów wytrzymałościowych: na ściskanie oraz na zginanie. Szczególne znaczenie miała wytrzymałość na zginanie, ponieważ to właśnie ten rodzaj obciążenia w największym stopniu oddziałuje na cienkościenną konstrukcję kadłuba podczas eksploatacji. Beton sam w sobie jest materiałem kruchym, o niskiej odporności na zginanie, dlatego kluczową rolę we wzmocnieniu konstrukcji odgrywała siatka z włókna szklanego oraz wypełniacz w postaci szkła piankowego.

Aby możliwie wiernie odwzorować właściwości rzeczywistego materiału kompozytowego, z którego wykonano kajaki, przygotowano próbki w formie beleczek o wymiarach 160 × 40 × 10 mm. Każda z beleczka zawierała sześć warstw siatki szklanej, przełożonych warstwami mieszanki betonowej – dokładnie tak, jak w rzeczywistej strukturze kadłuba. Uzyskane wyniki badań przedstawiono w tabeli 9.

Tab. 9. Wyniki badań wytrzymałości na ściskanie i na zginanie betonu użytego do budowy kajaków

Rodzaj kajak	Wytrzymałość na ściskanie [MPa]					Wytrzymałość na zginanie [MPa]	
	<i>Kostki 100 x 100 x 100 mm</i>					<i>Beleczki 160 x 40 x 10 mm</i>	
	3 dni	7 dni	14 dni	21 dni	28 dni	7 dni	28 dni
Kajak w pozytywie	14,3	18,3	20,3	23,8	31,5	11,7	27,5
Kajak w negatywnie	10,5	13,5	16,5	19,8	29,6	10,5	26,7

Beton zastosowany do budowy kajaków odpowiadał klasie C20/25. Typowa wytrzymałość na rozciąganie przy zginaniu dla tej klasy wynosi około 2,2 MPa, natomiast dzięki wzmocnieniu konstrukcji siatką z włókna szklanego uzyskano wytrzymałość na zginanie na poziomie 26,7–27,6 MPa. Oznacza to ponad 12-krotny wzrost tej właściwości w porównaniu do betonu niezbrojonego, co jednoznacznie potwierdza wysoką skuteczność zastosowanego wzmocnienia kompozytowego.

5.3. Aspekty zrównoważone

W projekcie realizacji betonowych kajaków szczególną wagę przywiązano do zrównoważonego podejścia w budownictwie, uwzględniającego trzy kluczowe filary: środowiskowy, społeczny i gospodarczy.

Jednym z nadrzędnych celów było zminimalizowanie śladu węglowego związanego z produkcją mieszanki betonowej. W tym celu zastosowano materiały odpadowe pochodzenia przemysłowego, takie jak żużel pomiedziowy czy wielkopieczowy. Ich użycie pozwoliło zastąpić część tradycyjnych kruszyw naturalnych, ale również częściowo zastąpić cement, który ze względu na obecność klinkieru cechuje się

wysokim śladem węglowym. Dzięki temu udało się obniżyć emisje związane z produkcją i przetwarzaniem materiałów oraz nadać drugie życie odpadom przemysłowym, zgodnie z ideą gospodarki o obiegu zamkniętym.

Dodatkowo, do mieszanki dodano lekkie materiały, takie jak perlit ekspandowany i szkło piankowe, które poprawiły właściwości izolacyjne i zmniejszyły masę jednostki pływającej [6]. Zmniejszenie ciężaru konstrukcji wpływa korzystnie na efektywność energetyczną w całym cyklu życia produktu. Pył krzemionkowy, jako dodatek mineralny, zwiększyła trwałość materiału, ograniczając konieczność napraw i konserwacji, co także wpływa na obniżenie kosztów środowiskowych w długim okresie.

Istotnym aspektem projektu była aktywizacja studentów i zaangażowanie lokalnego środowiska akademickiego w działania proekologiczne. Współpraca z partnerem przemysłowym Grupą Cement ODRA, umożliwiła studentom zdobycie praktycznej wiedzy na temat wdrażania zasad zrównoważonego rozwoju w realnych warunkach produkcyjnych.

Dzięki projektowi uczestnicy rozwinęli kompetencje w zakresie zielonych technologii, pracy zespołowej, organizacji procesów technologicznych i zarządzania projektem, co stanowi cenny wkład w kształtowanie przyszłych specjalistów świadomych wyzwań klimatycznych.

Projekt pokazał, że także w działaniach eksperymentalnych i edukacyjnych możliwe jest wdrażanie zasad efektywnego wykorzystania zasobów i minimalizacji odpadów. Wykorzystanie produktów ubocznych przemysłu nie tylko zmniejszyło koszty materiałowe, ale również promowało circular economy i lokalną współpracę między sektorem edukacyjnym a przemysłowym. Zastosowane rozwiązania mogą posłużyć jako wzór dla innych inicjatyw łączących innowacyjność, ekologię i edukację w praktyce.

6. Podsumowanie i wnioski

Projekt budowy betonowych kajaków w ramach Krakow Concrete Canoe Challenge 2025 stanowił znakomity przykład połączenia innowacyjnego podejścia inżynierskiego z ideą zrównoważonego rozwoju. Studentom Koła Naukowego „Eko Mat-Bud” przy wsparciu kadry dydaktycznej oraz Grupy Cement ODRA udało się stworzyć rozwiązanie, które łączyło funkcjonalność, ekologię i nowoczesne technologie materiałowe.

Projekt pozwolił uczestnikom nie tylko pogłębić wiedzę teoretyczną, ale przede wszystkim zdobyć praktyczne doświadczenie, rozwijać umiejętności pracy zespołowej, planowania, testowania i wdrażania rozwiązań w rzeczywistych warunkach. Zastosowanie materiałów odpadowych i innowacyjnych składników mieszanki betonowej dowiodło, że budownictwo może być bardziej przyjazne środowisku bez rezygnowania z wysokich parametrów technicznych.

Projekt ten nie tylko poszerzył kompetencje studentów, ale również zintegrował zespół i zainspirował do dalszego rozwoju w kierunku innowacyjnych, ekologicznych rozwiązań w inżynierii budowlanej. Pokazał, że efektywna współpraca nauki z przemysłem jest możliwa i przynosi realne korzyści edukacyjne i technologiczne.

Wnioski końcowe

1. Zrównoważony rozwój nie jest wyłącznie teorią, ale może być skutecznie wdrażany także w projektach edukacyjno-badawczych, przynosząc realne efekty.
2. Współpraca nauki z przemysłem stanowi ogromną wartość dodaną – umożliwia transfer wiedzy i rozwój praktycznych kompetencji przyszłych inżynierów.
3. Wykorzystanie odpadów przemysłowych, takich jak żużle (hutnicze i pomiedziowe), to realna alternatywa dla tradycyjnych surowców – ekonomiczna, ekologiczna i technologicznie efektywna.
4. Edukacja poprzez działanie – czyli udział w pełnym procesie projektowym – jest jedną z najskuteczniejszych metod kształcenia inżynierów gotowych na wyzwania współczesnego świata.
5. Inicjatywy takie jak KCCC pokazują, że pasja, wiedza i współpraca są kluczem do tworzenia innowacyjnych rozwiązań, które odpowiadają na globalne wyzwania.
6. Poprzez jednoczesne wprowadzenie do składu betonów żużla hutniczego i pomiedziowego w obecności mikro i nanokrzemionki oraz superplastyfikatora znacząco poprawia szczelność betonu co zwiększa jego odporność na działanie wody.
7. Zastosowanie siatki z włókna szklanego jako zbrojenia kompozytowego pozwala na ponad 12-krotny wzrost wytrzymałości na zginanie betonu klasy C20/25 (na kruszywie ze szkła piankowego), co potwierdza jego wysoką skuteczność w zastosowaniach wymagających podwyższonej trwałości i niskiej masy.

Podziękowania

Autorzy pragną serdecznie podziękować współuczestnikom projektu „KCC2025” za zaangażowanie w jego realizację na etapie projektowym i wykonawczym. Szczególne wyrazy wdzięczności kierujemy do przedstawicieli z Politechniki Opolskiej: dr. inż. P. Jakiel, dr inż. D. Fabianowski, dr inż. M. Sobol, dr inż. A. Mordak, mgr inż. K. Seewald, mgr inż. I. Klementowski, oraz studentów I roku Wydziału Budownictwa i Architektury kierunku Budownictwo, których wkład i aktywne uczestnictwo były nieocenione dla osiągnięcia celów projektu.

Literatura

- [1] G. Rutkowska, M. Sobczak (2014) Beton modyfikowany pyłami krzemionkowymi, Acta Scientiarum Polonorum, Technica Agraria, tom 13 Nr 1-2.
- [2] M. Velumani, K. Nirmal (2021) Wpływ żużla pomiedziowego na właściwości mechaniczne i wytrzymałość różnych betonów, Cement Wapno Beton, 26(2), 156-166.
- [3] S. Grzeszczyk, E. Janowska-Renkas (2012) The influence of small particle on the fluidity of blast furnace slag cement paste containing superplasticizers. Construction and Building Materials, 26, 1, 411-415.

- [4] R. Bujak (2021) Wpływ warunków mielenia na aktywność chemiczną granulowanego żużla wielkopieczowego, Konferencja *Dni Betonu*, <https://www.dnibetonu.com/wp-content/pdfs/2021/Bujak.pdf>
- [5] E. Janowska-Renkas, G. Janus, A. Kaliciak, I. Majcherczyk (2017); „Zastosowanie sztucznych kruszyw lekkich i kulek styropianowych w kształtowaniu wytrzymałości na ściskanie betonów lekkich” XIX Międzynarodowa Studencka Sesja Naukowa Materiały i Technologie XXI wieku, Katowice 18.05.2017, s. 83-93
- [6] S. Grzeszczyk, G. Janus (2021) Lightweight Reactive Powder Concrete Containing Expanded Perlite, *Materials*, vol. 14, no. 12, 2021, p. 3341. <https://doi.org/10.3390/ma14123341>
- [7] Lambot, Joseph-Louis. *Bateau en béton*. Wikipedia, https://fr.wikipedia.org/wiki/Bateau_en_b%C3%A9ton

O wpływie modułu i modularności w stosowanych technologiach betonów elewacyjnych na kompozycję i estetyczny wyraz formy budynków we współczesnej architekturze

On the influence of module and modularity in applied facade concrete technologies on the composition and aesthetic expression of building forms in contemporary architecture

Streszczenie

Moduł i modularność są istotnymi aspektami determinującymi wyraz estetyczny formy architektonicznej budynku, które towarzyszą od początku działalności budowlanej człowieka. Wynikają zazwyczaj z potrzeby okiełznania fizycznej materii dzieła i optymalizacji procesu wznoszenia budowli. Racjonalizacja stosowanych technologii wynikająca z modułu i modularności elementów jest nieodzowną częścią wielu teorii architektury wpływając na kompozycję i estetykę dzieła. Rytmy, powtarzalność form, częstotliwość ich występowania mają kluczowe znaczenie w budowaniu estetycznego ładu, powodując poczucie harmonii w odbiorze dzieła. Zjawisko to staje się szczególnie istotne w kontekście stosowania technologii betonów elewacyjnych, gdzie odwzorowanie technik budowy w charakterze estetyki dzieła wydaje się kluczowym elementem zjawiska określanym terminem „szczerowości materiałowej”. W projektowaniu architektury betonowej istotna wydaje się być umiejętność wyrażenia metody wznoszenia budynku w wybranej materii w taki sposób, który komplementarnie łączy aspekty technologiczne z kompozycją formy dzieła. Stosowanie zasad modularności, niezależnie czy mamy do czynienia z prefabrykacją betonową czy szalowaniem elementów realizowanych monolitycznie, czyni z założonego modułu kluczowy element bazy dla etapu projektowego. Celem artykułu jest wskazanie na wybranych przykładach jak twórcy architektury wykorzystują moduł i modularność betonowych elementów w komponowaniu wyrazu estetycznego formy. Niejednokrotnie oryginalność zamysłu realizacyjnego staje się tu konsekwentną zasadą kształtowania wyrazistości idei architektonicznej budynku. Beton dzięki swej podatności na kształtowanie w formach i uniwersalności zastosowań znakomicie nadaje się do wdrażania reguł projektowania opartych na module, wykorzystywanych w komponowaniu bryły budynku. Analiza wybranych przykładów pozwala nakreślić systematykę technologii betonów w kontekście wykorzystania zasad modularności jako ważnego składnika kształtującego estetykę i kompozycję formy. W przypadku technologii monolitycznych moduł i modularność koncentruje się na aspekcie szalunku. W przypadku betonowych prefabrykatów na sposobie wbudowania ich w strukturę – to jest w wyniku montażu bądź murowania betonowych elementów. Istnieją też warianty mieszane pozwalające łączyć technologie monolityczne z prefabrykacją. Tekst jest próbą nakreślenia istoty powiązania zasad

projektowych opartych na module i modularności z technologią realizacji z wykorzystaniem betonów elewacyjnych.

Abstract

Module and modularity are essential aspects that determine the aesthetic expression of a building's architectural form, which have accompanied human construction activity from its very beginning. They typically arise from the need to master the physical matter of a work and optimize the construction process. The rationalization of applied technologies resulting from the module and modularity of elements is an indispensable part of many architectural theories, influencing the composition and aesthetics of a work. Rhythms, repetition of forms, and the frequency of their occurrence are of key importance in building aesthetic order, creating a sense of harmony in the perception of a work. This phenomenon becomes particularly significant in the context of applying facade concrete technologies, where the reflection of construction techniques in the aesthetic character of a work appears to be a crucial element of the phenomenon defined by the term "material honesty." In designing concrete architecture, the ability to express the method of building construction in the chosen material in a way that complementarily combines technological aspects with the composition of the work's form seems essential. The application of modularity principles, regardless of whether we are dealing with concrete prefabrication or formwork of elements executed monolithically, makes the assumed module a key element of the base for the design stage. The aim of this article is to indicate through selected examples how architects utilize the module and modularity of concrete elements in composing the aesthetic expression of form. Often, the originality of the implementation concept becomes a consistent principle for shaping the distinctiveness of a building's architectural idea. Concrete, thanks to its malleability in forms and universality of applications, is excellently suited for implementing design rules based on the module used in composing the building's mass. Analysis of selected examples allows for outlining a systematics of concrete technologies in the context of utilizing modularity principles as an important component shaping the aesthetics and composition of form. In the case of monolithic technologies, module and modularity focuses on the formwork aspect. In the case of concrete prefabricates, on the method of their integration into the structure – that is, as a result of assembly or masonry of concrete elements. There are also mixed variants that allow combining monolithic technologies with prefabrication. The text is an attempt to outline the essence of the connection between design principles based on module and modularity and implementation technology utilizing facade concretes.

1. Wprowadzenie

Modulus z języka łacińskiego oznacza miarę. Moduł jest uważany za jednostkę miary, która odpowiada wielkości określonego elementu odniesienia. Element ten z kolei pozwala na ustalenie proporcji innych części budynku składających się na całokształt jego formy. W architekturze greckich świątyń takim modulem był w porządku doryckim tryglif, a w porządku jońskim średnica lub promień kolumny. Witruwiusz w dziele *O architekturze ksiąg dziesięć* pisał: *Kompozycja świątyń polega na symetrii, której praw architekci ściśle przestrzegać powinni. Symetria rodzi się z proporcji zwanej po grecku αναλογία – analogia. Proporcją nazywamy zastosowanie ustalonego modułu w każdym dziele zarówno do członów budowli, jak i do jej całości, z czego wynika prawo symetrii. Żadna budowla nie może mieć właściwego układu bez symetrii i dobrych proporcji, które powinny być oparte ściśle na proporcjach ciała dobrze zbudowanego człowieka* [1]. Człowiek i jego proporcje stają się wyznacznikiem dla modułu i modularności w architekturze, który w dalszym etapie znajduje przełożenie na technologię. Dzisiejsi architekci kierują uwagę w stronę corbusierowskiego *modulora* – wyznacznika nowego modułu opartego także na proporcjach człowieka, bazującego na złotym podziale. Ostatecznie Le Corbusier stworzył matematyczne odzwierciedlenie miar, stanowiących podstawę dla powtarzalnych technik budowlanych, standaryzacji i prefabrykacji, idących w kierunku uprzemysłowienia budownictwa. Nie bez powodu jest on uznawany za jednego z dwudziestowiecznych ojców architektury betonowej, gdzie wykorzystywał parametry *modulora* w projektowaniu i komponowaniu budynków. Przykładem mogą być marsylska *Unité d'habitation* (Francja, 1952), czy berlińska jednostka mieszkaniowa (Niemcy, 1957).

Z kolei modularność polega na łączeniu elementów, często niezależnych i samodzielnie istniejących, w taki sposób, aby stworzyć pewną integralność formy, ujętą w proporcjonalne ramy kompozycji. Za modularnością stoi zazwyczaj jakiś system części składający się na pewną całość, dający się modyfikować tak, że obrana zasada modułu pozwala tworzyć różne formy i warianty, bazujące głównie na grupie podobnych elementów tego systemu. Modularność w architekturze wiąże się ściśle z projektowaniem według zasad kompozycyjnych narzuconych przez moduł. Często projektowanie polega na wymyśleniu samych reguł modularności, implikowanych na konkretny wyraz plastyczny form budynków tworzących estetyczną manierę, wpływającą na sposób powtarzania środków artystycznych czy rytmów, które są ściśle powiązane z technologią realizacji obiektów. Wykorzystując prefabrykację, multiplikację modułów, dających się konfigurować i zespalać na różne sposoby, twórca zyskuje możliwość komponowania bryły obiektu w oparciu o rygorystyczną siatkę modularną, ukierunkowaną na zasady wynikające wprost z pryncypiów ram przyjętej w projekcie geometrii. Modularność to jednocześnie ograniczenie jak i pewna swoboda, która pozwala w zakresie zadanego parametru (jednostki przestrzennej) na elastyczność tworzenia zróżnicowanych – wariantowych rozwiązań. W ten sposób można realizować kompozycyjne cele oparte na rytmiczności i powtarzalności struktur przestrzennych. Niewątpliwie rozwiązania modułu i modularności znalazły zastosowanie w rozwoju myśli o uprzemysłowionym budownictwie, zwłaszcza mieszkaniowym wielorodzinnym, którego podstawą i synonimem stała się prefabrykowana technologia wykorzystująca beton i żelbet. Walter Gropius, główny twórca Bauhausu, pisząc o przemyśle mieszkaniowym twierdził, że: *Mieszkania muszą być projektowane w taki sposób, by uzasadnione wymagania jednostki, wynikające z wielkości rodziny czy profesji głowy domu, mogły zostać spełnione w zadowalający i wygodny sposób. Organizacja musi być zatem nakierowana przede wszystkim na standaryzację i masową produkcję nie całych domów, lecz ich elementów, które posłużą do*

montażu różnych typów mieszkań, podobnie jak projekty nowoczesnych maszyn uwzględniają pewne części uregulowane międzynarodowymi normami, dzięki czemu mogą być używane zamiennie w rozmaitych urządzeniach [2]. Gropius widział potrzebę zmiany projektów konstrukcyjnych i nowej organizacji schematu ekonomiczno-organizacyjnego nowego XX-wiecznego budownictwa, gdzie istnieje możliwość równoczesnego istnienia różnych modeli przestrzennych domów i mieszkań bazujące na ujednoliceniu elementów, z których te modele mogłyby powstawać. Podstawą uprzemysłowienia budownictwa jest usystematyzowanie jego produkcji w oparciu o jasne kryteria modularności. Dzisiejsza – XXI-wieczna wizja *Nowego europejskiego Bauhausu*, interdyscyplinarnego projektu zainicjowanego przez Komisję Europejską w 2020 roku, została oparta o trzy wartości: *pięknie, zrównoważeniu i wspólnocie*. Podstawowym celem tego projektu jest wspieranie Europejskiego Zielonego Ładu, w tym przyspieszenie transformacji sektora budowlanego, polegającego na zmniejszeniu emisyjności i wprowadzeniu gospodarki cyrkularnej [3]. Obrany przez Unię Europejską kierunek bazujący na wysokiej jakości projektowaniu opartym na zrównoważonym rozwoju, prowadzi do wniosku, że praca na module i zasadach modularności wydaje się podsuwać ekonomicznie i ekologicznie zasadne rozwiązania dla powstawania nowego impulsu dla rozwoju myśli o nowoczesnej architekturze. Podstawą architektury na przestrzeni epok od zawsze była umiejętność przełożenia myśli o przestrzeni za pomocą dostępnych technik. Niejednokrotnie to dostępność technologiczna wykorzystywana była do poszukiwania nowych kierunków i nurtów w architekturze, a innym razem to myśl architektoniczna determinowała powstanie nowych technologii. Beton i żelbet mają na tej drodze niekwestionowane zasługi, zwłaszcza tam gdzie projektowanie łączyło odwzorowanie kompozycji dzieła w technologii jego powstania. Dziś istnieje potrzeba rewizji i udoskonalenia rozwiązań w których to technologie betonu (żelbetu) utrzymują wciąż swoją niekwestionowaną rolę w nowoczesnym budownictwie.

2. Moduł i modularność – odwzorowanie kompozycji w technologii

Podstawą realizacyjnego sukcesu twórców architektury betonowej jest umiejętność łączenia kompozycji formy architektonicznej dzieła z technologią wznoszenia obiektu według narzuconych reguł i reżimów technologicznych. Ci spośród architektów, którzy posiadli tę wiedzę popartą doświadczeniem, zyskali świadomość rozwiązywania kluczowych detali i węzłów konstrukcyjnych istotnych z perspektywy estetyki budynku. Za technologią, niezależnie czy to monolityczną czy prefabrykowaną, najczęściej kryje się jakiś moduł implikujący zasady kompozycyjne formy. Odzwierciedlenie tych reguł poprzez technologię w realnym obiekcie budzi poczucie spójności dzieła z materią w której je zrealizowano. Elastyczność technologii jest w pewien sposób zawsze ograniczona. Wtedy poszczególne części realizowane bywają indywidualnie, często w rzemieślniczy a nie uprzemysłowiony systemowo sposób. Nie jest to cecha wyłącznie betonu (żelbetu), ale i innych materiałów. W przypadku betonu elewacyjnego istotą estetyki jest *zasada szczerości materiałowej*, która jak to wyjaśnia Wojciech Niebrzydowski: *polega na ujawnianiu prawdziwego charakteru, natury danego tworzywa budowlanego. Mówi, że architekt powinien stosować materiał w taki sposób, aby ukazać jego najważniejsze cechy, aby wydobywać z budulca wyłącznie to, czym on w istocie jest. Z kolei obserwator nie powinien doświadczać innych odczuć niż te, które dany materiał niesie dzięki swoim zasadniczym własnościom* [4].

Wspomnieć tu należy o innej właściwości betonu, to jest o jego podatności do odwzorowywania innych faktur w swoim licu, przez co staje się idealnym tworzywem do wizualnej imitacji innych materiałów. Stoi to jednak w sprzeczności z zasadą szczerości materiałowej. Jest to realizowane przy jednoczesnym nie przeszkadzaniu rynkowym oczekiwaniom, w których

beton jest powszechnie stosowany jako materiał wykorzystywany do fałszowania innych faktur (jak drewno, kamień, cegła, itp.), które powstają zazwyczaj w wyniku odcisku mat strukturalnych. Powierzchnia betonu przyjmuje tu postać struktury przestrzennej powstałej z odcisku specjalnych matryc – czyli elastycznych wkładek z tworzyw sztucznych, mocowanych na konstrukcji szalunku, którym nadano określony wzór. Ta technologia pozwala na imitowanie zarówno faktur innych materiałów, jak też tworzyć niezależnie estetycznie, oparte o geometrycznie abstrakcyjne wzory i kompozycje struktury, odcisnięte w licu betonowego elementu. Zazwyczaj dostępne są zarówno gotowe wzorniki z katalogów producentów, jak i mogą być wymyślane indywidualnie pod kątem danej realizacji. W takim przypadku powtarzalność wzoru o zadanej modularności często jest elementem kluczowym w komponowaniu elewacji, a ograniczeniem staje się wielkość modułu, pozwalająca na wizualnie neutralny sposób łączenia matryc zapewniając tym samym wizualną ciągłość elementów. Poprawność odwzorowania kompozycji wzoru i jego powtarzalność w przyjętej technologii zależy wprost od zakładanego modułu i projektu opartego na zasadach modularności.

W procesie projektowym z wykorzystaniem technologii betonu elewacyjnego kluczowa jest świadomość po stronie projektanta o złożoności technologicznych aspektów składających się na całokształt procesów dążących do realizacji dzieła na poszczególnych fazach jego powstawania. Projektowanie jest kluczowym momentem, gdzie już przy sporządzaniu koncepcji architektonicznej powinno się wykorzystywać moduł celem optymalizacji dalszych etapów powstawania budynku. Należy tu zwrócić uwagę, że moduł jak i modularność nie mają ograniczać swobody twórczej w kształtowaniu idei architektonicznej budynku, lecz tworzyć zasady ułatwiające sposób przenoszenia myśli o przestrzeni na technologię realizacyjną obiektu. Dlatego odwzorowanie formy budynku w obranej technologii betonu (żelbetu) kieruje potrzebę stworzenia systemu kompozycyjnego, którego istotą jest obrany moduł nie tyle co powtarzalnych elementów budowlanych, co architektury budynku opartej na zasadach modularności.

3. Wpływ modułu i modularności wynikającej z technologii betonów elewacyjnych na kształtowanie wyrazu estetycznego i kompozycji budynków

Z lektury dzieła Le Corbusiera pod tytułem *W stronę architektury* dowiadujemy się o gruntownej zmianie w kompozycji formy budynku, jaka zaszła na przestrzeni XX wieku za sprawą żelbetu. Twierdził on, iż: *Budowle z żelbetu zrewolucjonizowały budowlaną estetykę. Zastępując dach tarasami, żelbet prowadzi do nowej, nieznanej dotąd estetyki płaszczyzn. Umożliwia występy i uskoki, które tworzą cienie i półcienie, i to nie w porządku pionowym, z góry na dół, lecz poziomym, od lewej do prawej. To kluczowa zmiana w estetyce płaszczyzny; jeszcze jej nie odczuliśmy; warto by pomyśleć o niej teraz, projektując rozbudowę miast* [5]. To co na początku lat 20-tych XX wieku przybierało na sile i było synonimem nowoczesności, dziś wydaje się oczywistością w kształtowaniu kompozycji architektonicznej czy to domu czy budynku użyteczności publicznej. Poziome linie otworów, podcięć, pasm okiennych zmieniły wyraz dotychczasowej estetyki budynków. Corbusier dostrzegał to rewolucyjne znaczenie stali i cementu dla nowej epoki w dziejach ludzkości, której emanacją miała być architektura wyjęta z klasyfikacji historycznych stylów - pisał, że: *Podczas gdy historia architektury ewoluowała powoli przez stulecia, dostosowując się do zmian w strukturze i ornamentach, żelazo i cement w ciągu pięćdziesięciu lat dały rezultaty świadczące o potęgze budownictwa oraz o przewrocie, jaki miał miejsce w języku architektonicznym. Jeśli porównamy to z przeszłością, okaże się, że*

„style” już dla nas nie istnieją, że wypracowano jeden styl epoki; dokonała się rewolucja [6]. Ta droga ku nowoczesności realizowała się na fundamentach dwóch technologii stosowania żelbetu. Pierwsza to technologia monolityczna – realizowana *in situ*, bezpośrednio w miejscu powstania budowli, druga to technologia prefabrykowana bazująca na elementach mogących powstawać zarówno na miejscu budowy jak i w zakładach produkcyjnych, gdzie stopień prefabrykacji był zróżnicowany - od poszczególnych betonowych części, przez całe jednostki modułowe, aż po gotowe obiekty. Możliwe stały się także systemy mieszane – łączące prefabrykację z monolitycznością. Zarówno w pracach Waltra Gropiusa jak i Le Corbusiera seryjność budownictwa była podstawą kształtowania wyrazu nowych miast. Za tą seryjnością i powtarzalnością idzie nieodzownie potrzeba korzystania z modułu i tworzenia architektury według zasad modularności. W budownictwie uprzemysłowionym to właśnie wymyślenie systemu bazującego na modularności i koordynacji wymiarowej było kluczem powodzenia dla inwestycji planowanych z dużym rozmachem. Rytm, powtarzalność, budowa poczucia ładu i uporządkowania w oparciu o modularność to podstawowe elementy do komponowania architektury opartej na estetyce materialności betonu.

3.1. Moduł i modularność w monolitycznych technologiach betonów elewacyjnych

Le Corbusier pisał o domach seryjnych, *które będzie się stawiać, lejąc z góry ciekły beton, w jeden dzień, tak jakby napełniało się butelkę* [7]. Efekt monolityczności budzi w obserwatorze emocje związane z materialnością dzieła, która jednoznacznie definiuje przestrzeń i pustkę. Tu podstawową fakturą odsłoniętego betonu stał się odcisk szalunku niesystemowego z deski. Brutalistyczna struktura lica ściany posiada niedoskonałości odlewu, a nawet tworzy z nich w oczach twórców wartość plastyczną, która intensyfikuje się za sprawą światłocienia. Tego typu szalunki mają indywidualny charakter i dedykowane są zazwyczaj do wykonywania nietypowych, głównie niepowtarzalnych elementów żelbetowych o skomplikowanych kształtach. Cechuje je duże zużycie materiału i pracochłonność wykonania. Dla uzyskiwania efektu uporządkowania kompozycji wzorów, bazującego na rytmie, powtarzalności i modularności, sięgnięto po ujednolicenie gabarytu stosowanej deski szalunkowej czy tworzenia z nich całych sekcji szalunku. Przykładem takiego działania może być budynek krakowskiego kościoła św. Jadwigi (projekt: Romuald Leoegler, Jacek Czekaj, Polska, 1979-1988), gdzie poszczególne poziome sekcje betonowych pasów, noszą rysunek odcisku pionowych, niewielkich desek, który jest uwydatniany poprzez światło. W ten sposób pewne uporządkowanie deskowania, choć nadal znacząco rzemieślnicze w wykonawstwie, budowało podstawy modułu i modularności uprzemysłowionych systemów szalunkowych. Wszystko zmieniło się za sprawą deskowań systemowych, nazywanych też uniwersalnymi, które stosowano do realizacji powtarzalnych części budynków. Jak wyjaśnia to Zygmunt Orłowski: *Deskowania uniwersalne są to systemy deskowań inwentaryzowanych, wielokrotnego użycia, składające się z elementów tworzących typoszeręg wymiarowy, przewidzianych do formowania powierzchni płaskich i krzywoliniowych w różnych rodzajach budownictwa* [8].

Jedną z cech powierzchni monolitycznego betonu elewacyjnego jest widoczny podział uzyskiwany z szalunków systemowych (ramowych, dźwigarów). Determinuje go powtarzalność modułowa wynikająca z przyjętego systemu deskowania. Zostaje to odwzorowane w licu betonowego elementu przez odcisnięty rysunek styków poszycia i innych elementów konstrukcyjnych, takich jak otwory po ściągach, łączniki mocujące elementy poszycia, czy listwy w przerwach technologicznych. Rytmiczność i równomierne rozplanowanie wynika z gabarytów prefabrykowanych elementów systemu szalunkowego, czy

zaplanowania przebiegu procesu betonowania poszczególnych sekcji. Ma to w przypadku monolitycznie realizowanej architektury betonowej znaczący wpływ na poczucie harmonii w percepcji powierzchni betonu. Dlatego zastosowanie określonej modularności deskowania systemowego, określenie charakteru styków, rozmieszczenia otworów po ściągach i przerw technologicznych powinno być brane pod uwagę już na etapie projektowania estetyki elewacji w budynku, a nawet wcześniej na etapie koncepcji, tak aby wychwycić wizualnie problematyczne fragmenty odbiegające od zasady kompozycyjnej elewacji. Krzysztof Kuniczuk podkreśla, iż: *z praktyki wynika, że najbardziej właściwe jest planowanie wyglądu z uwzględnieniem możliwości technicznych producentów deskowań* [9]. W książce *Beton architektoniczny – wytyczne techniczne* pisze o potrzebie określenia przez architekta takich informacji w projekcie jak: kategoria betonu architektonicznego; dodatkowe wytyczne w przypadku istotnego wpływu na końcowy efekt wizualny (np. składu betonu, obróbki, pielęgnacji). Tu w odniesieniu do uzyskania odpowiedniej modularności rytmów i podziałów na elewacjach istotne jest podanie rodzaju deskowania z podaniem wielkości paneli, sposobu ich ułożenia celem nadania określonej wizualnie kompozycji, łącznie z takimi elementami jak rytm rozstawienia otworów po ściągach i sposób ich wykończenia, charakter połączeń płyt deskowania, rodzaj powłoki deskowania, itp. Ważnym elementem jest wyznaczenie miejsc przerw technologicznych i sposób ich wykonania, co też może być elementem modularności poszczególnych sekcji betonowania, które dalej znajdą przełożenie na konkretne linie na elewacjach budynku [10]. Wszystkie te elementy sztuki budowania z betonu monolitycznego mają kluczowy wpływ na poczucie jedności estetyki formy z technologicznymi prawidłami. Projektanci i architekci wykorzystują moduł i modularność technologii monolitycznych betonów, aby uzyskać poczucie harmonii, rytmów, powtórzeń, nadając formie ład i uporządkowanie wpisane w reżim technologii. Wypracowanie metody projektowej opartej o moduł i modularność pozwala na łączenie zasad budowania kompozycji architektonicznej budynku z technologicznymi możliwościami realizacyjnymi, dzięki czemu zachodzi efekt spójności formy z materiałem, tak istotny z punktu widzenia zasady szczerowości materiałowej. Wielu spośród architektów realizujących swoje idee w monolitycznej technologii betonów elewacyjnych sięga po modularność odcisku szalunku jako istotnego elementu wyrazu formy architektonicznej budynku.

Oprócz samego Le Corbusiera, jednym z twórców architektury stosującym beton (żelbet), który w nieco bardziej powściągliwy sposób niż czynili to brutalści był Louis I. Kahn. Architekt był jednym z prekursorów stosowania betonu o gładkich powierzchniach. Do najbardziej znanych jego dzieł można zaliczyć budynek *Jonas Salk Research Institute* w La Jolla (USA), zrealizowany z użyciem metalowych szalunków w latach 1959-65; dom akademicki *Bryn Mawr College Dormitory* w Pensylwanii (1960-1965, USA) gdzie użyto odcisku paneli sklejk mocowanych prętami. Do wybitnych dzieł Kahna zaliczyć należy także budynek Zgromadzenia Narodowego w Dhace (1962-1974, Bangladesz), gdzie moduł i modularność białych poziomych i pionowych linii z białego marmuru rozdzielają pola betonowych sekcji tworząc architekturę z corbusierskiej definicji, mówiącej, że: *Architektura jest mistrzowską, poprawną wspianą grą brył w świetle (...)* [11]. To co wyróżnia architekturę Louisa Kahna, jak to określił Charles Jencks, to: *Miłość do wyrażenia metody*, pisząc: *W jego architekturze charakterystyczne jest wyrażenie owej metody nie tylko poprzez ideę ukształtowania formy obiektu, ale także przez jej główny nośnik – materiał, dzięki któremu został pokazany technologiczny proces realizacji budynku. Jak stwierdził sam Kahn: „Jeśli nauczylibyśmy się rysować tak jak budujemy, od dołu do góry, zatrzymując ołówek, aby oznaczyć miejsca połączeń kolejnych faz wylewania konstrukcji, ornament wyrastałby z miłości do wyrażenia metody”* [12].

Niewątpliwym twórcą architektury, który potrafi wyrazić metodę w betonowej materii jest Japończyk Tadao Ando. Jego powściągliwa architektura utrzymana w konwencji japońskiego minimalizmu, przepełniona purystyczną estetyką betonowego odlewu, stała się dla wielu współczesnych twórców wzorem do naśladowania. Moduł odcisku sklejki zazwyczaj o wymiarach 180x90 cm z sześcioma otworami wskazującymi miejsca po ściągach, to ikoniczny wyznacznik powściągliwej estetyki Ando, który sam w sobie tworzy detal wynikający wprost z technologii szalowania betonowego elementu. Dariusz Kozłowski tak charakteryzuje betonową twórczość Ando i jej ścisły związek z technologią: *Rygor prostych, geometrycznych kompozycji jest budowany zmysłową jakością żelbetowych konstrukcji. Jak zawsze, beton Tadao Ando odlewany w gładkościennych formach nie kryje swojego technologicznego pochodzenia. Szalunki pozostawiają po sobie na żelbecie zapis pozwalający odkryć ich wielkość, kształt i ułożenie otworów po ściągach, łączących ściany deskowań. Ów relief odciska się na powierzchni betonu, gładkiej i delikatnej równocześnie, skłaniającej do zbliżenia ręki i dotknięcia, które nie rozczarowuje – beton ma naturę gładkiej i delikatnej tkaniny, której sprzeciwia się jednak chłód i twardość innego, kamiennego powinowactwa materiału. Ślady form, "ryty" na betonowych ścianach, ta jedyna "ozdoba" architektury, tworzy delikatny rysunek, precyzyjnie przemyślany i zaprojektowany, i nie mający nic wspólnego z architektoniczną nonszalancją przedstawiającą technologię budowania, ani też z rzemieślniczą szczerością odlewów ze śladami deskowań* [13]. Niewątpliwie architektura Ando, uznawanego za jednego z najbardziej ortodoksyjnych architektów realizujących swoje idee w większości z monolitycznego betonu. Modularność tej architektury jest w przeważającej części oparta na wymiarach tradycyjnych mat „tatami”, które mają standardowe wymiary 90×180 cm i jednocześnie służą jako jednostka miary powierzchni wewnątrz. Spośród bardzo licznych realizacji Ando, można wymienić zaledwie kilka, które obrazują jego powściągliwy i purystyczny styl: *Row House* (Sumiyoshi, Osaka, Japonia, 1976), *Koshino House* (Ashiya, Hyogo, Japonia, 1981 i rozbudowa 1984), *Nakayama House* (Nara, Japonia, 1985), *Church of the Light* (Ibaraki, Osaka, Japonia, 1989), *Vitra Seminar House* (Weil-am-Rhein, Niemcy, 1989), *Meditation Space*, Unesco (Paryż, Francja, 1995), czy *4x4 House* (Kobe, Hyogo, Japonia, 2003).

Wśród licznych współczesnych twórców realizujących projekty z użyciem monolitycznego betonu (żelbetu) są zarówno tacy, którzy korzystają z modularności gotowych systemów szalunkowych, jak i tacy, którzy poszukują indywidualnych rozwiązań. Każdy z nich stara się jednak uczynić z modułu i modularności geometryczną i kompozycyjną zasadę, którą da się przenieść dalej na technologię budowy.

3.2. Moduł i modularność w prefabrykowanych technologiach betonów elewacyjnych

Prefabrykacja to sposób budowania odmienny od tradycyjnych technik wznoszenia obiektów, który na przestrzeni wieków rozwijał się w różnym stopniu. To jednak od lat 30. XX wieku wielu architektów rozpoczęło zakrojone na szerszą skalę prace nad upowszechnianiem przemysłu masowego budownictwa, głównie domów jednorodzinnych, który pozwalał na montaż na placu budowy. Jak pisze Philip Wilkinson: *Termin budownictwo systemowe jest dzisiaj używany do określenia metody, gdzie albo całe budynki, albo ich wielkowymiarowe elementy są produkowane w fabrykach i w całości dostarczane na plac budowy. Budynki lub ich elementy są częściowo fabrycznie wykończone i wymagają jedynie podłączenia do mediów. Wiele domów mieszkalnych, fabryk i szkół zbudowano w ten sposób, szczególnie w latach 60. i 70. XX wieku, kiedy nastąpił szczyt popularności tego systemu* [14]. Współcześnie można zauważyć wznowiającą się popularność budownictwa systemowego, głównie modułowego,

także z wykorzystaniem betonowej prefabrykacji. Nie byłoby to możliwe bez dokonań twórców stylu międzynarodowego z Le Corbusierem i jego pięcioma punktami nowoczesnej architektury, które wdrożył przy realizacji *Willi Savoye* w pobliżu Paryża w 1928-1931 r. Podobny wpływ miała szkoła Bauhausu założona przez Waltera Gropiusa, która wykorzystywała możliwości masowo wykonywanych elementów konstrukcji czy wyposażenia budynków. Jej studenci uczyli się projektowania przedmiotów i części budynków do wykonywania masowego w fabrykach i zakładach produkcji, przez to rzeczy te mogły być produkowane w oderwaniu od lokalnego rzemiosła, materiałów czy technologii umiędzynarodowiając ich wartość użytkową, konstrukcyjną i estetyczną. Podstawą takiego projektowania stało się posługiwanie modułem i stworzenie podstaw planowania na bazie siatki, stanowiącej istotę do rozwoju modularności dla przyjętych rozwiązań. Wilkinson tak pisze o planowaniu na bazie siatki: *Architekci pracujący zgodnie z zasadą pięciu punktów rozstawiają pilotis w regularnych odstępach, tworząc w ten sposób siatkę strukturalną. Jest to jeden z przykładów projektowania na bazie siatki, systemu szeroko używanego przez dwudziestowiecznych architektów. Ten typ planowania może być narzędziem strukturalnym – sposobem umożliwiającym architektom użycie standardowych komponentów, takich jak panele ściennie tego samego rozmiaru – lub po prostu narzędziem dyscypliny motywującej do stworzenia uporządkowanego planu. Planowanie na bazie siatki było często używane przy budowie obiektów przemysłowych, tak więc betonowe szkielety i podobne elementy mogły być produkowane w standardowych rozmiarach, a budowa stawała się procesem montowania gotowych prefabrykatów* [15].

Stosowanie technologii prefabrykowanych z wykorzystaniem betonów elewacyjnych opiera się zazwyczaj na jakimś systemie modularności, niezależnie czy mamy do czynienia z powtarzalnym elementem czy wykorzystujemy jednostkę modułową w różnych wariantach projektowych. Prefabrykacja jest procesem wytwarzania elementów budowlanych najczęściej zakładzie produkcyjnym, rzadziej bezpośrednio na placu budowy, które następnie transportuje się i montuje w docelowym miejscu. Proces prefabrykacji nastawiony jest zazwyczaj na seryjną produkcję elementów takich jak ściany, stropy, belki, słupy, a nawet kompletne moduły budynków, które po złożeniu tworzą gotowy obiekt budowlany lub jego istotną część także tę istotną z punktu widzenia estetyki formy budynku jak np. sama elewacja. Podstawą tego działania jest kompozycja bryły budynku a następnie próba zamienienia jej na język składowych form-części – prefabrykatów. Stąd tak istotne jest planowanie na z góry założonym module, będącym częścią całego zintegrowanego systemu projektowania i wytwarzania elementów.

Prefabrykacja ze względu na swoją zdolność do budowania formy w oparciu o replikację elementów jest w ideowy sposób determinowana do tworzenia systemu przestrzennego opartego na zasadach modularności. W rozprawie doktorskiej pod tytułem *Wpływ prefabrykowanych, betonowych rozwiązań fasadowych na estetykę obiektów architektonicznych* Paweł Mika dokonuje klasyfikacji elewacyjnych prefabrykatów betonowych w oparciu o:

- cechy konstrukcyjne (prefabrykaty nienośne tj. okładzinowe, osłonowe; samonośne; nośne tj. elementy ściennie, ściany konstrukcyjne, szkielety fasadowe - egzoszkielety);
- wymiary (prefabrykaty drobnowymiarowe; średniowymiarowe; wielkowymiarowe);
- strukturę (prefabrykaty jednorodne lub warstwowe);
- geometrię (prefabrykaty płaskie lub przestrzenne) [16].

Daje to obraz w jak wielu aspektach prefabrykacja może być rozpatrywana w oparciu o różne cechy, parametry czy przeznaczenie betonowych elementów, a co za tym idzie jak odmiennie należy rozróżniać pod kątem estetyki modularność konstrukcyjną z modularnością

kompozycyjną. Modularność w ujęciu inżynierskim np. osi konstrukcyjnych nie musi być tym samym co moduł architektoniczny służący tworzeniu zasady kompozycyjnej budującej wyraz i charakter formy budynku. W rozprawie Pawła Miki szczególnie istotny dla zagadnienia modułu i modularności jest rozdział: *Wpływ betonowych prefabrykatów elewacyjnych na architekturę obiektu i współczesne tendencje w kształtowaniu wyrazu estetycznego fasad przy ich zastosowaniu* [17]. Pojawia się tu zagadnienie rytmu jako podstawy kompozycji w architekturze oraz wynikająca z tego rytmu rozbudowana klasyfikacja fasad z prefabrykatów betonowych prowadząca do opisanie tendencji w kształtowaniu wyrazu architektonicznego. Miki wyróżnia tu trzy podstawowe grupy kompozycji, jakimi posługują się architekci w pracy nad specyfiką charakteru estetycznego obiektu. Określił je jako: *miarowe fasady z powtarzalnych elementów, niemirowe fasady z powtarzalnych elementów, niemirowe fasady z nietypowych elementów*, obrazując te zagadnienia tablicami [18]. Rytm w architekturze stał się także przedmiotem badań Grzegorza Twardowskiego, które opisał w rozprawie doktorskiej pod tytułem: *Rytm jako element kreacji formy architektonicznej. Klasyczne i współczesne piękno w architekturze*. Wymienia tu: *rytmy proste, miarowe; rytmy akcentowane, toniczne; rytmy zróżnicowane*, rozbudowując tę systematykę o dalsze podgrupy i przywołując także twórców wykorzystujących beton i żelbet do tworzenia rytmicznych kompozycji architektonicznych [19].

Historycznie jak i współcześnie rytm stanowił podstawowy element kompozycji formy architektonicznej. Uporządkowanie formy poprzez rytm wydaje się cechą architektury pochodzącej z różnych okresów i stylów, a także występuje niezależnie od stosowanych materiałów. Temu procesowi towarzyszy praca projektowa pozwalająca wymyślić pewien system modułarny, bądź wykorzystać czy też przetworzyć modularność zastosowaną w istniejących budynkach, celem osiągnięcia stosownego uporządkowania i ładu, składając się tym samym na zjawisko i poczucie piękna w architekturze. Prefabrykowane elementy z betonu czy żelbetu wydają się być predestynowane do tworzenia architektury opartej o modularność, bazując na rytmach i powtarzalności form. Betonowa prefabrykacja pomimo wielu współcześnie udanych realizacji, wciąż niesie za sobą krytyczny obraz blokowisk stawianych w systemach wielkopłytych. Ta negatywna tendencja się zmienia. Współczesne budownictwo mieszkaniowe oparte na prefabrykacji posiada nowy wyraz, który w połączeniu z funkcjonalnością, szybkością realizacji budynku i zwiększeniem dostępności nie odbiega, a nawet w wielu aspektach przewyższa realizacje wykonywane w technologiach tradycyjnych czy monolitycznych. Podstawą jest wykorzystanie w odpowiedni sposób modułu i modularności, tak aby stworzyć atrakcyjną wizualnie kompozycję formy budynku.

Jeżeli rozważać betonowe prefabrykaty pod kątem realizacyjnym i technologicznym to można dokonać ogólnego podziału ze względu na sposób wbudowania ich w strukturę obiektu – to jest w wyniku montażu bądź murowania betonowych elementów. To również ma przełożenie na charakter architektury obiektu, kierując uwagę czy to na betonową osłonę – „kostium” dla konstrukcji, czy prefabrykaty pełnią jednocześnie funkcję konstrukcyjną i estetyczną.

Sięgając do konkretnych przykładów wykorzystania modułu i modularności w prefabrykowanej architekturze z betonowych elementów można wskazać dorobek kilku twórców obrazujący to zjawisko.

Frank Lloyd Wright, jedna z ikon amerykańskiej i światowej architektury we wczesnych latach 20. XX wieku eksperymentował z technologią zastosowania betonowych bloczków z charakterystyczną ornamentyką. Stworzony przez Wrighta prekursorski system wznoszenia budynków z prefabrykowanych elementów nazwany *textile block system*, choć zastosowany zaledwie w kilku rezydencjach, był jedną z najbardziej wyrazistych i oryginalnych w swej idei architektonicznej technologii, opartej na zasadach standaryzacji i modularności. Do dziś dzieła

te stanowią scenografię dla futurystycznych produkcji filmowych i na stałe wpisały się do podręczników o architekturze. Specyfika przyjętej technologii wykonania bloków pozwoliła przy użyciu metalowych form na ich wielokrotne wykorzystanie podczas wykonywania powtarzalnych elementów, a stosowana ornamentyka o zróżnicowanym wzorze geometrycznym była tworzona indywidualnie dla każdego z budynków. System pozwalał uzyskać geometryczne, przestrzenne uformowane wzory na specjalnie wyprofilowanych blokach z betonu. Łączono je później na miejscu budowy zbrojeniem w postaci stalowych prętów, a następnie zalewano betonem. Zaowocowało to powstaniem kilku domów na terenie Kalifornii. Do najbardziej rozpoznawalnych realizacji wykorzystujących tę technologię należą cztery domy wzniesione w okolicach Los Angeles w USA. Są to: *Alice Millard House* (rezydencja żony George'a Madisona Millarda) wzniesiony w Pasadenie (1923), nazywany też *La Miniatura*; rezydencja Johna Storer'a powstała w 1923 r. (*Storer House*); *Freeman House* (1924) oraz rezydencja Charlesa Ennisa (1923-1924), która jest najbardziej okazałym ze wszystkich budynków mieszkalnych F. L. Wrighta zrealizowanych w systemie *textile block* zarówno pod kątem gabarytów jak i zdobnictwa elementów. E. R. Ford w tekście *The Pioneering Age of Concrete Blocks - Frank Lloyd Wright's Textile - Block Houses* tak opisał znaczenie tego systemu na tle rodzących się innych systemów prefabrykacji: *Zawsze trudno jest oddzielić pierwotne myślenie Wrighta od jego późniejszych wyjaśnień, ale w 1927 roku ogłosił, że system budowy z prefabrykowanych bloków jest właściwą odpowiedzią na „standaryzację” – w przeciwieństwie do wielko-członowych systemów Le Corbusier'a i Gropius'a. System Wrighta zakładał podniesienie poziomu lokalnego, nieprecyzyjnego budownictwa opartego o technologię z miejscowych materiałów - betonowych bloków – w celu utworzenia masowo wytwarzanego produktu o ogromnej wytrzymałości, ujednoliconego w jego częściach, precyzyjnego w swojej produkcji i wykonaniu, a wszystko to osiągnięte przy minimalnym nakładzie wykwalifikowanej pracy na miejscu* [20]. To co łączy te realizacje to charakterystyczna modułarna siatka tworząca pionowe i poziome linie styku bloków, niezależnie od stosowanej ornamentyki. Moduł prefabrykatu wytyczał granice kształtowania i kompozycji architektury ograniczonego siatką systemu i połączeń.

Mario Botta, szwajcarski architekt z Ticino, wielokrotnie sięgał, głównie w latach 70. i 80. XX wieku po inny rodzaj prefabrykowanego elementu. Był nim betonowy bloczek, który stosował przy wielu realizacjach domów z tamtego okresu twórczości. Charles Jencks zwraca uwagę na pieczołowitość i spójność w sposobie użycia przez Bottę betonowych bloków już na etapie projektowania budynku: *Równie istotny jest porządek geometryczny nie tylko planu, lecz także elementów konstrukcyjnych, zazwyczaj betonowych bloków. Botta nadaje im niemal świętą jakość, jak gdyby były z marmuru, a nie przemysłowego materiału. Poza tym rysuje, czyli kontroluje, ustawienie każdego z nich. W ten sposób przyjmują one dekoracyjną, hierarchiczną rolę, przypominającą trochę używanie murarki przez cystersów* [21]. Botta wykorzystuje modularność betonowego boczka na różne sposoby. Przede wszystkim ważny staje się układ kompozycyjny elementów w płaszczyźnie zbudowanych z nich ścian stosując różne wątki naprzemiennego wiązania betonowych elementów, traktując je jak ustandaryzowany gabarytowo blok kamienny. Architekt często wprowadza trójwymiarowy układ elementów w strukturze murów czyniąc z niego przestrzenny ornament i detal tworzący lapidarne gzymsy, fryzy, czy rustyki. Innym rodzajem zabawy z modularnością wymurowanych sekcji z boczka jest wprowadzenie zróżnicowania kolorystycznego, głównie w formie poziomych, naprzemiennych pasów. Spośród wielu szwajcarskich realizacji Botty wykorzystujących na w różny sposób moduł betonowego boczka można wymienić: dom o formie „odwróconej wieży” z charakterystycznym stalowym mostem w San Riva Vitale (1973); Prostopadłościenny dom w Ligornetto (1976) z charakterystycznymi dwubarwnymi pasami na elewacji; dom w Massagno

(1981), z charakterystyczną fasadą z dwubarwnych bloczków i z formą okręgu; dom w Viganello (1981) z przestrzennie uformowanymi fragmentami powstałymi z obrócenia modułu bloczków, czy przestrzenną wklęsłą fasadą dom w Morbio Superiore (1983). Na uwagę zasługują także cylindryczne formy domów: *Casa Rotonda* w Stabio (1982) jak i dom w Losone (1989), gdzie w różnorodny sposób architekt wykorzystał moduł na walcu, zarówno w tworzeniu ściany jak i uzupełnienia jej detalami powstałymi z geometrii bloczka. Nie tylko Mario Botta sięga po modularność betonowych bloczków czy pustaków. Taka estetyka betonu towarzyszy wielu realizacjom innych twórców. Wystarczy tu tylko wspomnieć o budynku *Cube House* projektu Simona Ungersa (Ithaca, USA, 2000) czy polską realizację z ostatniego okresu tj. dom w Będzinie pracowni jojko+nawrocki (Polska, 2017).

Prefabrykacja betonowa znacznie częściej jest kojarzona z wielorodzinnym budownictwem wykonywanym w technologii wielkiej płyty, która od lat 60. do 90. XX wieku dominowała w Polsce. Choć ideowo miało zaspokoić rosnące potrzeby mieszkaniowe, to do dziś tego typu budownictwo nie cieszy się uznaniem, głównie ze względu na jakość wykonawstwa i monotoność estetyczną. Niektóre z realizacji zyskiwały jednak ikoniczny charakter jak np. wrocławski zespół mieszkalno-handlowy projektu Jadwigi Grabowskiej-Hawrylak (Polska, 1968-1978). Ze światowych ikonicznych przykładów prefabrykowanych budynków wielorodzinnych można wskazać założenie przestrzenne *Habitat 67* z Montrealu (Kanada, 1967) autorstwa Moshe Saffiego, o skomplikowanej formie nakładających się brył, które wykonane było z konstrukcyjnych prefabrykatów przestrzennych. Założenie to zyskało już swoje należne miejsce w podręcznikach do historii współczesnej architektury. Inną ikoniczną strukturą był bez wątpienia *Nakagin Capsule Tower*, budynek mieszkalno-biurowy, zaprojektowany przez Kisho Kurokawę w Shimbashi w Tokio (Japonia, 1972). Jako przykład architektury metabolicznej jest uznawany za pierwszy budynek zaprojektowany z wymiennymi modułami. Na jego formę składały się żelbetonowy szkielet wypełniony sto czterdziestoma modułami / kapsułami o konstrukcji stalowej. Moduł był ustandaryzowany i miał jednakowe wymiary 2,5x4 m. Każda z kapsuł miała samodzielną funkcję dedykowaną jednej osobie. Charakterystycznym elementem każdego modułu było okrągłe okno. Co istotne moduły, choć zrealizowane ze stali były wykonywane i wyposażone przed zamocowaniem ich do żelbetowego rdzenia. Ich niezależność powodowała, że mogły być wymienialne. *Nakagin Capsule Tower* był ikonicznym przykładem zastosowania modułu i modularności w kształtowaniu nowatorskiego charakteru architektury i eksperymentalnej formy z wykorzystaniem betonowego rdzenia, który pomimo śmiałej koncepcji nie przetrwał próby czasu i został rozebrany w 2022 roku.

Współcześnie budownictwo i prefabrykacja betonowa realizuje zupełnie nieporównywalną jakość wykonawstwa do tej z okresu lat 60. do 90. XX wieku. Świadczą o tym zarówno zagraniczne realizacje jak również te powstałe w Polsce. Może nim być warszawski budynek *Sprzeczną 4*, autorstwa BBGK Architekci (Jan Belina-Brzozowski, Konrad Grabowiecki, Wojciech Kotecki, Polska, 2004).

Prefabrykacja betonowa dobrze się sprawdza także w historycznych centrach miejskich, gdzie istnieje potrzeba odwzorowania bogatego detalu, jak ma to miejsce w przypadku paryskiego budynku *Fouquet's Barrière Hotel* (Maison Edouard François, Paryż, Francja, 2006). Tu modularność sprzyja ornamentalnej powtarzalności. Za inną, oryginalną i monumentalną strukturą wykorzystującą prefabrykowaną modularność i bogaty detal nawiązujący do klasycznych form jest także znacznie wcześniejszy budynek, to jest powstały w 1982 roku budynek mieszkalny *Les Espaces d'Abraxas* projektu Ricarda Bofilla, *Teller de Arquitectura* zlokalizowany w Marne La Vallée we Francji. Postmodernistyczne założenie czerpie i nawiązuje wprost do porządków i dorobku starożytnej architektury greckiej i rzymskiej, której

modularność i osiowość były podstawą kompozycji architektonicznej. Do realizacji bogatych w detal elewacji wykorzystano prefabrykowane okładziny z betonu. Dariusz Kozłowski tak pisze o „prefabrykowanym klasycyzmie” Bofila: *W Marne La Vallée pod Paryżem architekturę mieszkaniową zbudowano (1978-1982) z elementów prefabrykowanych, tzw. wielkich płyt, które znamy aż nadto dobrze z najbliższej położonych osiedli. Z pewną różnicą – Bofill wyprodukował elementy żelbetowe jako części historycznych porządków, gzymsów, nadproży, kanelurowanych kolumn i cokołów; jego żelbet jest biały lub szary – jak cement – bywa także barwiony, ale zawsze pozostaje gładki, nie dotknięty ludzką ręką, precyzyjnie odbijający kształt stalowej formy, co nie przeszkadza mu marzyć, że jest kamieniem [22].*

Prefabrykacja betonowa jest stosowana powszechnie nie tylko w architekturze mieszkaniowej. Ma ona zastosowanie w wielu obiektach użyteczności publicznej, jak też typowo przemysłowo-magazynowych czy inżynierskich. To za sprawą modułu i modularności projektowanych elementów architektki są w stanie optymalizować prace budowlane, jak i dbać o budżet inwestycji przy jednoczesnym uzyskaniu zadawalających efektów estetycznych.

Richard Meier zaprojektował z użyciem samonośnych prefabrykatów elewacyjnych, wykorzystujących biały, samooczyszczający się beton, bryłę obiektu sakralnego *Jubille Church* (Rzym, Włochy, 2003) z charakterystycznymi formami łukowatych żagli, podzielonych na nietypowe sekcje modularne.

Prefabrykacja ze względu na zachowanie modularności i powtarzalności dobrze sprawdza się w budynkach biurowych, czego dowodem mogą być realizacje: londyński biurowiec *One Coleman Street*, autorstwa Swanke Hayden Connell, Dawid Walker (Wielka Brytania, 2007); biurowiec *Zana House* pracowni Stelmach i Partnerzy Biuro Architektoniczne Sp. z o.o. (Lublin, Polska, 2008); czy zespół budynków publicznych o funkcji biurowej znany pod nazwą *City of Justice* pracowni David Chipperfield Architects + b720 Arquitectos z Barcelony (Hiszpania, 2004-2009), które wykonano z elementów konstrukcyjnych – ściennych. Interesującym przykładem może być budynek biurowy *Diagonal 197* autorstwa tego samego zespołu Davida Chipperfielda w Barcelonie z 2008 roku, gdzie zastosowano okładziny z barwionych elementów fasadowych zbrojonych włóknami szklanymi (GFRC). Tu zróżnicowana modularność płyt elewacyjnych posłużyła do uzyskania pozornie swobodnej kompozycji, ukierunkowanej na atrakcyjność pochodzącą z przypadkowości i złożoności rozplanowania składowych elementów fasady. Przestrzenna okładzina nienośna z betonu posłużyła także do stworzenia elewacji biurowca i centrum logistycznego w miejscowości Nola we Włoszech (Modostudio, 2011). Racjonalność prefabrykowanej elewacji z płyt betonowych możemy dostrzec z kolei w warszawskiej siedzibie *Reprografu* (Polska, 2003) – biurowcu firmy poligraficznej, której projekt powstał w Autorskiej Pracowni Architektury Kuryłowicz & Associates. Regularnie rozmieszczone na siatce modułu płyty nie kryją elementów mocowania prefabrykatów trzema kotwami. Prefabrykowane fasady z betonu mogą też zawierać reliefy, elementy modularnych i prefabrykowanych ażurów czy innych zdobień. W budynku biurowym *Silver Park Quay* z pracowni René van Zuuk Architekten (Lelystad, Holandia, 2006) wykorzystano okładzinę ażurową o abstrakcyjnym i zgeometryzowanym rysunku gałęzi, który tworzy kompozycyjną zasadę fasady. Podobny efekt gałęzi znajdziemy w domu jednorodzinnym *Project X* tej samej pracowni (Almere, Holandia, 2009), gdzie stanowią relief odlany w prefabrykowanej okładzinie z betonu.

Prefabrykacja i jej modularność kompozycyjna wykorzystywana jest też w budynkach uniwersyteckich. Przykładem może być laboratorium uniwersyteckie *Atlas Building* powstałe w Wageningen w Holandii w 2006 r (Rafael Viñoly Architects), gdzie zastosowano prefabrykowaną strukturę szkieletu fasadowego z betonu samozagęszczalnego, przesłaniającego szklaną elewację. Innym Przykładem może być budynek kampusu

uniwersyteckiego *ROC Mondriaan Laak II*, zaprojektowany przez LIGA Architekten en Bouwadviseurs w Hadze (Holandia, 2010), gdzie charakterystyczny moduł kraty elewacyjnej (z różnobarwnymi otworami) wykonano z białego betonu jako elementy ścienne nośne konstrukcji. Pracownia Foster + Partners w Zjednoczonych Emiratach Arabskich zaprojektowała z kolei *Masdar Institute* (Masdar, 2010) z barwionych prefabrykatów osłonowych, zbrojonych włóknem szklanym. Oprócz budynków uniwersyteckich prefabrykacja sprawdza się także przy projektowaniu szkół. Interesującym przykładem jest *Flor del Campo* wzniesiona w Kolumbii (architekci: Giancarlo Mazzanti, Filipe Mesa, Catagena, 2009), gdzie zastosowano osłony ażur zacierniające z linii przypominające na myśl gęstą kompozycję gałęzi ujętą w modularne sekcje.

Prefabrykacja znalazła także swoje zastosowanie w budynkach ambasad. Wystarczy wspomnieć tu budynek ambasady Meksyku w Berlinie (architekci: Teodoro González de León, Francisco Serrano, Niemcy, 2000) z samonośnych prefabrykatów o młotkowanej fakturze czy znajdujący się w Polsce budynek ambasady Niemiec w Warszawie (Holger Kleine, Polska, 2008), o nieregularnej modularności zielonej elewacji z reliefem liści bluszczu.

Przytoczone przykłady wykorzystania przez architektów modularności prefabrykatów pozwalają stwierdzić, że dzięki podatności do kształtowania elewacji jak i struktury konstrukcyjnej budynków beton jest materiałem dającym wszechstronne możliwości plastyczne do kształtowania estetycznego wyrazu architektury. Niezależnie od obranej konwencji plastycznej, architekt odnajduje w tym materiale swobodę twórczą, opartą zarówno na rygorze modularności, jak i pozwala uzyskać efekt zamierzonej nieregularności fasady. Możliwe są zarówno płaszczyzny gładkie, bogato fakturowane, posiadające przestrzenne reliefy, jak i pozwalają tworzyć ażury osłaniające główną elewację. Szczególne z punktu widzenia kompozycji elementów są styki, węzły i miejsca połączeń prefabrykowanych elementów, które rzutują znacząco na wyraz estetyczny budynków, często dominując jego obraz, zwłaszcza przy dużych i modularnie powtarzalnych gładkich elementach czy sekcjach. Technologie prefabrykowane pozwalają zdecydowanie na większą swobodę, dokładność i uniwersalność zastosowań estetycznych w stosunku do technologii monolitycznych *in situ*, wykonywanych na placu budowy, dzięki przeniesieniu procesu odlewania elementów do zakładów produkcyjnych.

3.3. Moduł i modularność betonów elewacyjnych w technologiach mieszanych (monolityczno-prefabrykowanych)

O technologiach mieszanych mówimy w przypadku realizacji obiektów w oparciu o dwie, omówione wcześniej technologie wykorzystujące beton (żelbet), tj. monolityczną i prefabrykowaną, z czego zazwyczaj jedna z nich jest bardziej eksponowana i estetycznie dominująca. Z taką sytuacją mamy do czynienia na przykład, gdy konstrukcja budynku jest wykonywana w technologii monolitycznej, natomiast okładzina elewacyjna, głównie ze względu na potrzebę wprowadzenia pośredniej warstwy izolacji termicznej, jest wykonana jako prefabrykowana i kotwiona lub w montowana za pomocą systemów pośrednich czy rusztów do warstwy nośnej. Tu modularność prefabrykatów, ich kształt i gabaryty, oraz styki poszczególnych elementów odgrywają kluczową rolę kompozycyjną w kształtowaniu estetyki budynku. Spośród licznych przykładów obrazujących taki sposób mieszania technologii jest budynek biurowy centrum autobusowego *RATP* w Thiais (Francja, 2007), zaprojektowane przez Pracownię ECDM (Emmanuel Combarel, Dominique Marrec), gdzie prefabrykowane płyty elewacyjne zbrojone włóknami z charakterystycznymi elementami „punktowej” struktury zostały systemowo zakotwione do monolitycznej ściany nośnej. Na uwagę zasługują tu sprefabrykowane elementy wyoblen nie tylko w strefie narożników, ale i attyki oraz fragmentu

styku z terenem. Warstwa elewacyjna może być także wykonywana w technologii murowanej z pokazaniem modularności betonowych bloczków, która jest samonośna lub kotwiona do monolitycznej warstwy nośnej z żelbetu. Dość rzadkim przypadkiem bywa wykonanie warstwy elewacyjnej jako monolitycznej natomiast konstrukcja jest wykonywana w technologii murowanej z bloczków betonowych. W takim przypadku ciężar kompozycyjny przesuwa się na odcisk i podział modularności płyt systemów szalunkowych, którego rysunek odwzorowywany jest na powierzchni betonowego lica elementu.

Interesującym przypadkiem technologii mieszanych może być także technologia wykorzystująca pustaki szalunkowe, które następnie zbroi się między warstwami, i dalej zalewa betonem. Uzyskuje się wtedy efekt zbliżony do ściany wykonywanej w tradycyjny murowany sposób z wykorzystaniem betonowych elementów, jednakże bez widocznej grubości spoiny murarskiej. Przykładem takiego wykorzystania technologii mieszanej może być budynek domu jednorodzinnego pod nazwą *Silent House* pracowni Takao Shiotsuka Atelier (Saki City, Japonia, 2008).

Za technologie mieszane należy uznać różne warianty łączące monolityczność i prefabrykację betonu (żelbetu), a wynikająca z nich modularność i przyjęty moduł powinien odzwierciedlać zasadę estetyczną realizacji budynku i wynikający z tej zasady detal. Technologie mieszane pozwalają na znalezienie proporcji między ograniczeniami konstrukcyjnymi, zazwyczaj monolitycznymi nadwieszeniami, wspornikami czy podcięciami, odnoszącymi się do elementów nośnych ścian i stropów, a potrzebą uzyskania konkretnej estetyki elewacji, uzyskanej zazwyczaj poprzez prefabrykację betonowego „kostiumu-stroju”, którym przyodziewa się konstrukcję. Wpływa to też na ekonomiczny aspekt przyjmowanych rozwiązań.

4. Podsumowanie

Architekci mający do dyspozycji tak uniwersalne tworzywo jakim jest beton i żelbet, które daje się kształtować i projektować zarówno pod kątem konstrukcyjnym jak i estetycznym, zyskali materię zdolną do prawdziwej rewolucji w architekturze, zmieniającej jakość zbudowanego środowiska życia człowieka. O tej cywilizacyjnej roli betonu i żelbetu świadczy niespotykany dotąd w historii ludzkości rozwój, którego dowody widoczne są na przestrzeni XX i pierwszego ćwierćwiecza XXI wieku. Jedną z kluczowych metod projektowego okiełznania tej materii stało się wykorzystanie modułu i systemu modularności, które to miały kluczowy wpływ na rozwój stosowanych technologii betonów elewacyjnych, a co za tym podąża na kompozycję i estetyczny wyraz formy budynków we współczesnej architekturze. Zazwyczaj to wartości kompozycyjne kształtowania elewacji i ich modularność determinowały technologiczne i konstrukcyjne wyzwania dla procesu realizacji konkretnych idei, które rodziły się w procesie projektowania.

Analiza wybranych przykładów pozwoliła nakreślić systematykę głównych technologii betonów w kontekście wykorzystania zasad modularności jako ważnego składnika kształtującego estetykę i kompozycję formy. Technologie betonów elewacyjnych możemy ogólnie podzielić na monolityczne, prefabrykowane oraz mieszane, które w różnych konfiguracjach i stopniu mogą łączyć monolityczność z prefabrykacją. Dobór odpowiedniej technologii determinuje nie tylko proces projektowy, ale i ma wpływ na percepcję wymyślonej formy obiektu. Technologie monolityczne ukierunkowują estetyczny obraz formy na materialność bryły o jednorodnie i homogenicznie spójnym wyrazie plastycznym, który dzięki procesowi odlewania upodobnia ją do rzeźby. Technologie prefabrykowane z kolei nadają

estetyczny efekt budynkowi postrzegany jako rzecz stworzoną z elementów, rozumianą jako układ wzniesiony z części, przypominający rodzaj formy instalacji, niezależnie czy mamy na myśli budynki murowane z betonowych bloczków, czy te powstałe w wyniku montażu prefabrykowanych elementów. Jest to fundamentalna różnica w postrzeganiu estetyki budynku wynikająca wprost z technologii. Odbiór między jednorodnością monolitu a strukturą złożoną z form-części jest podświadomie oczywista i wyczuwalna przez odbiorcę pozostającego w interakcji z obiektem wzniesionym z betonu.

Niezależnie od zastosowanych technologii betonów elewacyjnych, kluczowym elementem estetyki i kompozycji budynku staje się aspekt przyjętego modułu i wynikająca z niego modularność. Pozwala on odzwierciedlić w formie obiektu prawdę o procesie i zasadzie realizacji budynku.

Modularność technologii monolitycznych koncentruje się przede wszystkim na szalunku i jego gabarytach, którego ostateczny obraz znajdzie swoje odzwierciedlenie w betonowym licu jako odcisk elementów systemu deskowania, jego geometrii i faktur pochodzących z płyt poszycia. Może on dawać przypadkowe efekty jak np. brutalistyczny, indywidualny szalunek z desek, albo dokładnie zaprojektowany, o gładkiej powierzchni, z wykorzystaniem bardzo restrykcyjnej zasady systemu szalunku jak w przypadku deskowań ramowych. Znacznie większą swobodą projektowania rysunku odcisku elementów szalunku niż deskowania ramowe, dają twórcy deskowania dźwigarowe, dzięki którym może dostosować technologię i przyjętą kompozycję modularności do procesu wznoszenia budynku.

Projektowanie na module pozwala racjonalnie przenieść zarówno całą bryłę, jak i samą elewację do uprzedysponowanego procesu prefabrykacji. Wybór technologii prefabrykowanej powinien być konsekwencją decyzji kompozycyjnych stojących za estetyką obiektu, a zastosowana modularność powinna być tak użyta, aby wyraz plastyczny stanowił odzwierciedlenie w technologii, a nie technologia tworzyła nadrzędną wartość wizualną dla obiektu. Uniwersalność betonowej materii zapewnia realizację tych postulatów estetycznych dzięki możliwości projektowania nie tylko cech samego materiału pod kątem wizualnym i konstrukcyjnym, ale i pozwala na stosowanie rozwiązań opartych o moduł i modularność, łącząc technologię realizacji z kompozycją i budową formy architektonicznej budynku. Świadomie faworyzując projektowanie ograniczone zasadami modularności, możemy projektować i realizować budynki oparte na ładzie, porządku, podlegające czytelnej zasadzie kompozycyjnej, którą to następnie można przenieść w procesie wznoszenia obiektu na realnie istniejące elementy współtworzące strukturę dzieła architektury. Rozwiązania prefabrykowane wykorzystujące beton elewacyjny dają uniwersalność, dzięki której twórca-architekt zyskuje swobodę wyrazu i może wykazać się kreatywnością oraz przekazać indywidualny sposób patrzenia na formę w przestrzeni, składając się tym samym na dorobek cywilizacyjny materialnej kultury ludzkości. W książce *Odczuwanie architektury* Steen Eiler Rasmussen przytacza radę jaką dawał studentom duński architekt P. V. Jensen-Klint w 1919 r.: *Jeśli kiedykolwiek przyjdzie wam zbudować dom z granitu, pamiętajcie, że to cenny kamień, a jeśli żelazobeton stanie się materiałem budowlanym, nie spocznijcie, póki nie znajdziecie dla niego stylu. Styl bowiem tworzą: materiały, przedmiot, czas i człowiek* [23].

Literatura

- [1] Witruwiusz, *O architekturze ksiąg dziesięć*, Pruszyński i S-ka, Warszawa 2004, s. 71-72.
- [2] W. Gropius, *Pełnia architektury*, Karakter, Kraków 2014, s. 197.
- [3] <https://www.gov.pl/web/kultura/nowy-europejski-bauhaus> (data dostępu: 14.07.2025).

- [4] W. Niebrzydowski, *Nieszczera szczerłość materiału*, [w:] D. Kozłowski (red serii), Czasopismo Techniczne – Architektura Z. 9-A/2006 rok – numer specjalny, Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej, Kraków 2006, s. 317.
- [5] Le Corbusier, *W stronę architektury*, Fundacja Centrum Architektury, Warszawa 2012, s. 111.
- [6] *Ibidem*, s. 291.
- [7] *Ibidem*, s. 257.
- [8] Z. Orłowski, *Podstawy technologii betonowego budownictwa monolitycznego*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2010, s. 20.
- [9] K. Kuniczuk, *Beton architektoniczny – wytyczne techniczne*, wydanie drugie rozszerzone, Stowarzyszenie Producentów Cementu, Kraków 2025, s. 95.
- [10] *Ibidem*, s. 74.
- [11] Ch. Jencks, *Le Corbusier – tragizm współczesnej architektury*, Wydawnictwa Artystyczne i Filmowe, Warszawa 1982, s. 15-16.
- [12] Ch. Jencks, *Ruch nowoczesny w architekturze*, Wydawnictwa Artystyczne i Filmowe, Warszawa 1987, s. 256.
- [13] D. Kozłowski, *O naturze betonu – czyli idee, metafory i abstrakcje*, [w:] D. Kozłowski (red.), *Architektura Betonowa 2001*, Polski Cement, Kraków 2001, s. 10.
- [14] P. Wilkinson, *50 teorii architektury, które powinieneś znać*, PWN, Warszawa 2011, s. 83.
- [15] *Ibidem*, s. 135.
- [16] P. Mika, *Wpływ prefabrykowanych, betonowych rozwiązań fasadowych na estetykę obiektów architektonicznych*, rozprawa doktorska, promotor: prof. dr hab. inż. arch. W. Celadyn, Politechnika Krakowska, Kraków 2016, s. 83–105.
- [17] *Ibidem*, s. 107–127.
- [18] *Ibidem*, s. 118–126.
- [19] G. Twardowski, *Rytm jako element kreacji formy architektonicznej. Klasyczne i współczesne piękno w architekturze*, rozprawa doktorska, promotor: prof. dr hab. inż. arch. T. Kozłowski, Politechnika Krakowska, Kraków 2023.
- [20] E.R. Ford, *The Pioneering Age of Concrete Blocks - Frank Lloyd Wright's Textile – Block Houses*; [w:] Detail, Serie 2003/4 - Bauen mit Beton, s. 314.
- [21] Ch. Jencks, *Architektura postmodernistyczna*, Arkady, Warszawa 1987, s. 151.
- [22] D. Kozłowski, *O naturze betonu – czyli idee, metafory i abstrakcje*, [w:] D. Kozłowski (red.), *Architektura...*, op. cit., s. 7-8.
- [23] S. E. Rasmussen, *Odczuwanie architektury*, Wydawnictwo Murator, Warszawa 1999, s. 169.

Marcin Charciarek

Czy beton istnieje, czyli o roli idei i materii w architekturze/

Does concrete exist, or the role of ideas and matter in architecture?

Streszczenie

Beton nie istnieje. W przeciwieństwie do kamienia, drewna, cegły i metalu beton nie istnieje, ponieważ jest tylko zbiorem składników: piasku, cementu, wody, żwiru. Kamień musi być wydobywany, rzeźbiony, przekształcany, noszony; beton jest wykonywany na miejscu. Po prostu możesz dostarczyć podstawowe składowe, aby zbudować, gdziekolwiek, cokolwiek...wszystko. Ponieważ beton może być wszystkim.

Beton jako materia nie istnieje samodzielnie. Frank Lloyd Wright uważał, że beton to kamień stworzony w formie, zatem to forma szalunku, a przede wszystkim nadrzędnie obrana forma w umyśle twórcy, nadaje sens estetyczny i techniczny architekturze. Tak samo status betonu określa Cyrille Simonnet: jako stan materii bez początkowego obrazu, który pośród innych materiałów – dzięki swojej „płynnej” naturze – nie ma żadnego wyznaczalnego modelu, formy początkowej zdolnej do przekazania przez jakieś odwzorowanie. Produkowane jako wynik myśli chemicznej, matematycznej czy estetycznej, beton i żelbet są zawsze związane z odniesieniem do pewnego stanu, którego obraz nigdy nie wydaje się ukończony i zamknięty.

Abstract

Concrete does not exist. Unlike stone, wood, brick and metal, concrete does not exist because it is just a collection of ingredients: sand, cement, water, gravel. Stone has to be quarried, carved, transformed, carried; concrete is made on site. You can simply provide the basic ingredients to build, anywhere, anything...anything. Because concrete can be anything.

Concrete as a matter does not exist on its own. Frank Lloyd Wright believed that concrete is stone created in a form, therefore it is the form of formwork, and above all the primary form chosen in the mind of the creator, that gives aesthetic and technical meaning to architecture. Cyrille Simonnet defines the status of concrete in the same way: as a state of matter without an initial image, which among other materials - thanks to its "liquid" nature - has no determinate model, an initial form capable of being transmitted through some kind of representation. Produced as a result of chemical, mathematical or aesthetic thought, concrete and reinforced concrete are always linked to a reference to a certain state, the image of which never seems finished and closed.

Budynek jest swojego rodzaju ciałem, złożonym, jak wszystkie inne ciała, z kształtu i materii; z tych pierwszy jest tworzony pomysłowością człowieka, a materia jest brana z natury. Temu potrzebny jest rozum i myśl, drugim przygotowanie i wybór [1, s.16].

Wstęp. Estetyka architektury jako autonomicznej sztuki polega na właściwościach tworzywa tej sztuki – takie stanowisko dotyczące znaczenia formy reprezentuje większość znawców opisujących sens pochodzenia formy w sztuce. Forma architektoniczna jako ukształtowana *materia* jest jednak pochodną *idei*, bez której *materia* staje się zjawiskiem bez żadnych właściwości. Umysł twórczy (architekta, konstruktora, technologa) w procesie jednoczenia tworzywa z niematerialną ideą nadaje tej relacji wymiar estetyczny.

W architekturze to idee wyznaczają wzór rzeczom fizycznym, i na odwrót – postrzeganie zmysłowe rzeczy fizycznych powoduje poszukiwanie w nich odwzorowania idei jako wzorców. Rzeczy uczestniczą w ideach, tak jak idee są obecne w rzeczach. Intencja formalna architekta i *materia* sztuki są sobie tak bliskie, że właściwie rodzą się razem, a niemożność ich rozdzielenia stanowi zapowiedź jedności i niepodzielności dzieła. Dzieło architektury, które może wyłaniać się w tym procesie, ustanawia fenomen estetyczny, polegający na tym, że oba podstawowe elementy dają łączny rezultat. Nie wystarczy, by był to rezultat samej formy, i nie wystarczy, by był to wynik określenia jedynie tworzywa betonowego dla tego kształtu. Sztuka architektury polega na skutecznej syntezie tych dwóch elementów – i na podstawie tych dwóch elementów powstaje architektura jako dzieło skończone. Kształtowanie idei architektury i formowanie jej materii stanowi jeden nierozdzielny proces, a „natężenie”, jakie wytwarza się między ideą a jej materią, jest podstawą zinterpretowania tej współzależności – jej identyfikację.

Należy jednak pamiętać, że architektura, jak inne sztuki, nigdy nie była i nie jest wyrażeniem określonego ideału czy jakiejś idei – była i jest wyrażeniem każdego ideału lub idei, któremu twórca potrafi nadać odpowiednią formę [2, s.11]. Dzieje się tak ze względu na wielowątkową specyfikę sztuki architektonicznej, a także z racji indywidualnej woli zinterpretowania rzeczywistości przez architekta. Doskonałość i piękno architektury nie mogą się zatem obyć bez jasnych intencji przeobrażenia materii i deformacji idei tzw. fikcji sztuki, realizującej sens dzieł sztuki architektonicznej.

Beton nie istnieje. W przeciwieństwie do kamienia, drewna, cegły, metalu i szkła beton nie istnieje, ponieważ nie istnieje w naturalnej postaci – jest tylko zbiorem składników: cementu, wody, kruszywa. Po prostu można dostarczyć podstawowe składowe, aby zbudować gdziekolwiek i cokolwiek. Ponieważ beton może być wszystkim – uniwersalnym tworzywem dla budowy rzeczy dowolnej. Dodatkowo – beton może być wykonywany na miejscu. Kamień – można wskazać gdzie są jego gotowe do wydobycia złoża, po czym należy go wyciąć by następnie przekształcić w produkt. Podobnie jest z drewnem, gliną czy rudami metali – wszystkie tworzą zbiór opisany konkretnym występowaniem, ich potencjalnym wykorzystaniem i późniejszą zamianą w materiał budowlany. Podobnym do betonu materiałem jest szkło – będące substancją tworzoną z wielu, różnie występujących surowców, które w procesie topienia zamieniają się jednak w rzecz o nietrwalej (póki co) charakterystyce i będące – od wieków – poza strukturalnymi rozważaniami.

Beton jako *materia* nie istnieje samodzielnie. Frank Lloyd Wright uznawał, że beton to kamień stworzony w matrycy, zatem to kształt szalunku, a przede wszystkim nadrzędnie obrana forma w umyśle twórcy, nadaje sens estetyczny i techniczny architekturze [3, s.111]. Podobnie status betonu określa Cyrille Simonnet: jako stan

materii *bez początkowego obrazu*, który pośród innych materiałów – dzięki swojej „płynnej” naturze – nie ma żadnego wyznaczalnego modelu, początkowej idei zdolnej do przekazania przez jakieś odwzorowanie [4, s. 55-75]. Produkowane jako wynik myśli chemicznej, matematycznej czy estetycznej – beton i żelbet są zawsze związane z odniesieniem do pewnego stanu, którego obraz nigdy nie wydaje się ukończony i zamknięty.

Beton kojarzy się z jednolitością, sztywnością, szarym kolorem – ale jest dokładnie odwrotnie: beton nie ma koloru, nie ma jednoznacznej tekstury, nie ma z góry określonego kształtu. Wręcz – nie ma określonego wyglądu, który byłby nudny, szorstki, przytłaczający. Beton ma nieskończoność możliwych przejawów. Na tym polega rewolucja architektoniczna wywołana betonem: jest materia plastyczną, ciastem do wyrobienia – a nie konwencjonalnym materiałem. Beton jest substancją wlewaną do formy, heterogeniczną pastą, która może dzięki temu przybierać wszystkie możliwe kształty, a w szczególności zakrzywione, bardzo trudne do osiągnięcia np. w kamieniu. Najważniejsi osiemnastowieczni proto-moderniści: Étienne-Louis Boullée i Claude-Nicolas Ledoux i inni, których wyobrażenia wykraczały daleko poza konwencjonalne materiały – „potknęli” się o ten materiał. „Gdyby mieli beton, mogliby zrobić wszystko” — mówi architekt Paul Andreu [5].

Dzięki tej „bezpostaciowej” charakterystyce możliwości przeobrażenia beton wydają się „matrycą” każdej idei architektonicznych – jest najbardziej „podatnym na wyobrażenie” materialnym śladem i odciskiem wyrażanych w nim ekspresji formalnych. Jako substancja niezwiązana i kompozytowa stanowi synonim arystotelesowskiej „materii pierwszej” (materia prima – *πρώτη ύλη* [6, s. 142-143]), która w sensie właściwości jest „potencjalnością”, metafizycznym „substratem zmian” architektonicznych. Jest tylko nazwą, wielkością, cechą, która ma zdolność przyjmowania kształtu – jest ciałem uniwersalnym. W sensie gotowej substancji, gotowego materiału zastępy beton staje się „materia drugą” – kształtem, którego właściwości fizyczne stają się budulcem dla wyznaczonej przez twórcę idei/metafory.

Obie kategorie materii stanowią właściwy przedmiot pracy architekta – jako rzecz traktowana fizycznie, jako „substrat” – podłoże dla wszelakich form architektonicznych, ale także jako „abstrakt” – ukazujący jego cechy i naddane przez architekta znaczenia.

Metafora. W obu „stanach skupienia” beton „uzyskuje przywilej” bycia metaforą – przeniesieniem cech tworzących nowe i неповtarzalne znaczenia architektury. Widać i czuć to od razu po zdjęciu szalunków – kiedy odczuwamy ciepło stygnącego betonu – i nawet wtedy nie wiemy, czy mamy do czynienia z gotową materią czy raczej podlegającą transformacji organiczną, chemiczną czy ...„alchemiczną” substancją.

Beton wraz ze swoją „nieuchwytną”, półpłynną naturą zdaje się bardziej żywiołem niż ciałem czy substancją, w takim sensie, w jakim nazywamy ogień, wodę, powietrze i ziemię – jako coś, co jest wcieloną w formę regułą, która wykazuje podobną właściwość tam, gdzie występuje choćby jej fragment [7, s.144]. Na aspekt podkreślający właściwości betonu – zwrócił uwagę Louis Kahn:

„Musicie poznać naturę betonu, to, czym naprawdę chce być. Beton chce być granitem, ale nigdy do końca się nim nie stanie. Pręty zbrojeniowe grają rolę sekretnego twórcy, który sprawia, że ten tzw.

lany kamień jawi się jako wspianąły wytwór ludzkiego umysłu. [...] Czym chce być beton: wytworem umysłu [8, s. 26-33]”.

Beton jako metafora jest pierwszą poetycką figurą (lub znaczeniem), która w przenośnej grze upodabnia się do innych materii, zapożycza ich cechy. Takie rozumienie – jako podobieństwo bądź porównanie, z którego wynika wieloznaczność, domniemanie, relacja czy analogia – stanowi w architekturze podstawową, choć zawężoną definicję metafory. W szerszym rozumieniu jego sensowną interpretację uzyskuje się przez całościowe zrozumienie zaistniałych związków przestrzennych, formalnych i kontekstowych, zestawiających odległe sensory w jedno. Środkiem dla stworzenia takiego tropu jest ten ideowy i materialny język architektury, w którym treść dzieła pozostawia nas w przestrzeni poza logiką i funkcją struktury, a przenosi w fikcję sztuki.

Wydaje się zatem, że materia betonu to nic innego jak zawartość, treść, zasada dzieła. Stanowi nawiązanie do litej ściany platońskiej jaskini, w której odbija się „poetyckim cieniem” nierzeczywistość całego realnego świata. Rozbite i rozproszone światło tworzy fantazyjne wzory i kształty, których odczytanie zależy od perspektywy, wiedzy i wrażliwości oglądającego. Zrozumienie idei natomiast zależy od kształtu obrazu rzutowanego „na” materię i „w” niej przeobrażonego. A jeżeli to prawda, że najpierw zaczynamy widzieć, a potem dopiero myśleć, bo „świat zmysłowy jest starszy od świata myślowego” [9, s. 205], to zdziwienie wobec materii i kształtów w niej uporządkowanych jest prapoczątkiem odkrywania architektury. Metafora takiej budowli służy temu, aby odkryć rzeczywistą fundamentalną podbudowę dla całej architektury, ponieważ sens „fundamentalności” polega na poszukiwaniu realnego i metaforycznego wzorca architektury.

Dziś beton, który na początku masowo zapożyczał formy i cechy z innych materiałów, istnieje jako autonomiczny budulec, wspierany własną składnią i mitologią zgromadzoną przez ostatnie stulecie. Przypomina to sytuację z powieści Umberta Eco *Wyspa dnia poprzedniego*, w której jeden z bohaterów stworzył arystotelesowską maszynę – konstrukcję do tworzenia metafor. Autor wynalazku uważał, że dzięki kolekcjonowaniu substancji i atomów pojęć tworzy nieskończoną głębię nowych i oryginalnych znaczeń dla nowo powstających rzeczy. Przenikliwość sposobu odkrywania relacji między substancjami bohater nazwał zdolnością metaforyczną [10, s. 71-79]. W taki sposób beton wraz z właściwą proporcją składników i znaczeń, nadmiarem dodatków lub ich brakiem implikuje paradygmat obrazu abstrakcyjnego, siły, masy, struktury, ciężaru lub lekkości, sztywności, ale także piękna lub brzydoty – kategorii estetycznej bezpośrednio z nim związanej (bo przecież, jak twierdził Ficino, materia jest z natury brzydka: „[...] pięknem nie mogą być ciała, bo są dziś piękne, a jutro [...] będą niepiękne” [11, s. 104]).

Beton wydaje się bytem niejako „ukrytym” w umysłach twórców, materią zawierającą w sobie zagadkę zróżnicowania formy i ukrytego znaczenia. Zgodnie z tą tezą beton staje się synonimem tego pojęcia materii, przy którym nie można postawić znaku równości między materią składającą się na jakieś ciało a samym ciałem, lecz raczej w jaki sposób ciało trzeba będzie uznać za pewną fazę – trwanie, w jakie wchodzi materia na pewien czas. Znana prezentacja Louisa Kahna pojedynczej cegły, ukazująca przemianę materii z nieokreślonej gliny w uformowany materiał stający się zaczątkiem łuku lub katedry, stanowi przykład obrazujący ten typ transformacji. Materia jest zatem tym, co ulega przemianom, a mimo to zachowuje swoją tożsamość. Dlatego beton – jako „materia” i „materiał” – jawi się jako podbudowa wszelakiej poetyki

opartej na regułach podobieństwa, będących zarówno stwierdzeniem nadania formie przenośni-metafory, jak i dowodem na „pęknięcie” i „zakłócenie” znaczenia pierwotnego.

Ten moment, kiedy „możliwość” materii (potencja) urzeczywistnia się (łączy się z formą), Arystoteles nazywa a k t e m – odnalezieniem celu. Dla ojca włoskiej hermeneutyki Luigiego Pareysona relacja między formowaniem a materią jest także aktem, nazwanym samookreśleniem intencji formalnej (formatywnej), która bierze na siebie materię. Filozof określa tę relację jako adopcję (*adozione*) – przysposobienie materii do intencji formalnych; brak materii w formie oznacza sterylne marzenie i bezpłodny cel, a sama materia, która nie jest predysponowana do wypełniania powołania formalnego, nie jest materią sztuki, lecz nieforemną masą, pozbawioną wymagań i możliwości [12, s. 56-57].

Materia i materiał. Wobec trudności w definiowaniu terminów „materia” i „materiał”, ich różnorodnych ujęć w filozofii, estetyce, fizyce oraz w naukach przyrodniczych możemy jedynie intuicyjnie badać, jaką rolę pełnią oba pojęcia w tych dziedzinach, w których funkcjonują nie jako pojęcie podstawowe, lecz jako element wyjaśniający i teoretyczny.

„Materia” jest pojęciem otwartym, za każdym razem przedstawia się nam inaczej, jej istota „nie poddaje się nam”, jednakże owa trudność w zdefiniowaniu stanowi właśnie o sposobie jej istnienia. Znaczenie słowa „materia” z biegiem czasu ulegało przeobrażeniu (a nawet w tym samym czasie nie dla wszystkich oznaczało to samo). Należy zatem uznać, że „materia” w swoim podstawowym znaczeniu jest pojęciem bazowym – oznaczającym, w szerokim zakresie, tworzywo, budulec lub substancję do budowy świata, dzieł, rzeczy – ich fizycznego wymiaru mającego swoje podstawy w analizie i nazewnictwie cech. Kazimierz Ajdukiewicz, choć pisze o utrwalonej niejednoznaczności definiowania materii, proponuje jednak zupełnie jasną i oczywistą definicję:

[...] i nie będziemy się wahać, gdy przyjdzie nam o jakimś przedmiocie rozstrzygnąć, czy mamy go nazwać materią, czy też mamy mu tej nazwy odmówić. [...] Materia – to tyle, co ciało jakiegokolwiek [13, s. 61].

W ten sposób możemy mówić o rzeczy fizycznej – obiekcie powstałym z substancji określonej cechą fizyczną – poznawczą i wyznaczalną racjonalnym badaniem.

Kształt dzieła sztuki osadzony jest zatem na materii, której w odpowiednich aktach twórczych nadane zostało znaczenie artystyczne, aby następnie, za pomocą materiału, przeistoczyć się w konkretny, fizyczny obiekt. Kształt materialny jest zatem ustanowiony z materii wraz z intencją artystyczną. Dlatego można powiedzieć, że estetyka architektury jako osobnej sztuki polega na estetyce tworzywa tej sztuki – drewna, kamienia, stali, betonu; i w charakterze tych tworzyw musimy szukać jakiejś zasady, stosowności środków, które służą celowi – formie i funkcji.

O utożsamieniu pojęcia „treści” dzieła sztuki z pojęciem „materii”, a tegoż z pojęciem „materiału” pisze Roman Ingarden. Filozof określa termin „materii” jako całość rzeczywistości fizycznej, a „materiał” jako jej wycinek, który konstytuuje poszczególne rzeczy. Materia zatem to rzecz istniejąca przed dziełem – surowiec, (np. stal, kamień, beton w stanie płynnym itp.), który trzeba inaczej „ukształtować” ideą, treścią,

znaczeniem, żeby w nim „wyrobić” pewne dzieło. Materiał zaś określa jako coś, co w samym dziele się znajduje i nie tylko dostarcza mu pewnego szczególnego doboru własności (materiałowych, budowlanych), ale dodatkowo użycza dziełu specyfiki przez swoją konkretność i przeznaczenie techniczne [14, s. 432-433].

Dla Marii Gołaszewskiej szczególnie ważne jest dwojake rozumienie tego słowa: *materia na coś* – a zatem surowiec, z którego powstało dzieło sztuki (kamień, płótno, farby, słowa, dźwięki, itp.) i *materiał czegoś* – to, co pozostaje w dziele, co jest w nim mniej lub bardziej widoczne, spełniając rolę czynnika artystycznie aktywnego i będąc podłożem jakości fizycznych dzieła sztuki (np. rodzaj marmuru, zastygły beton). Materia stanowi ten element dzieła sztuki, który pozwala je zakwalifikować do przedmiotów realnych – rzeczy, procesów, wytworów kulturowych czy też takich zjawisk [15, s. 215].

Zatem uznajmy – w architekturze materiał można nazwać to, co tworzy dzieło, jest tworzywem określonym znaczeniem; natomiast materiałem jest to, co w nim pozostaje. Materia w architekturze poprzedza materiał (jest odwzorowaniem idei, koncepcji zawartej domyślnie np. w rysunku, szkicu), ponieważ jest podbudową dzieła – a więc wszystkim, co go kreuje przed jego powstaniem. Materiał w takim kontekście jest konkretnie sprecyzowanym, mającym kształt, wymiary i specyfikę budulcem. Jako fizyczna realizacja – materia i materiał mogą być w zasadzie takie same w rozmaitych dziełach – można stworzyć wiele dzieł architektury z tego samego drewna, kamienia, betonu o takim samym składzie chemicznym. Jednak to kształt idei stanowi tę przyczynę, dzięki której architektura wkracza w świat znaczeniowego wyrazu.

Idea betonu. W tym kontekście, odniesienie do fragmentów platońskiego dialogu *Timaios* jest pewnym hipotecznym przyrównaniem znaczenia betonu w przemianach architektury początku XX wieku. Bohater opisuje świat jako chaos pozbawiony jednorodności i harmonii, gdzie podstawowym aktem twórcy stało się wprowadzenie porządku w materię świata za pomocą idei [16]. Podobnie świat przed modernizmem, wypełniony materiałami niepowiązanymi z ideami, wyczekiwał na demiurga, który uwolniłby architektoniczną substancję z jej bezkształtu i nadał formie idealność. Obraz istniejącej, lecz niezdefiniowanej materii należało ukazać na nowo, według wzorców, jakie stanowią doskonałe idee. Uznano nawet, że im więcej idei w materii, tym kształt staje się piękniejszy, doskonalszy i prawdziwszy, natomiast świat materii, ze względu na swoją zmienność i nietrwałość, jest jedynie przedmiotem osądów i wrażeń. Także w architekturze idee i rzeczy, byty i zjawiska, aczkolwiek nierównej realności i doskonałości, są ze sobą związane i do dziś decydują o stopniu idealności świata architektury. Architekt-kreator stał się twórcą definiującym w nowy sposób pojęcie doskonałego związku między zasadą formalną a tworzywem architektonicznym. Nowe materiały miały stworzyć nowe rzeczy widzialne. To, co niewidzialne, zostało określone słowem i obrazem – tradycyjnymi narzędziami tłumaczącymi współczesny umysł.

Techniczne i estetyczne wykorzystanie betonu, stali i szkła legło u podstaw mitu rozwoju ruchu nowoczesnego w architekturze. Uwierzono, że zastosowanie nowych materiałów spowoduje zrewidowanie klasycznego rozumienia formy, podobnie jak obarczenie materiałów niespotykaną wcześniej rolą – nośnika wartości – pociągnie za sobą zmiany w samym procesie definiowania przestrzeni architektonicznej. Doskonałość takiego wzorca miała oznaczać idealność przestrzeni architektonicznej. Rewolucja, jaka dokonała się w architekturze, nie zmieniła tego, co stanowi podstawową zasadę trwania wszelakich przejawów sztuki – potwierdzenia, że umysł

ludzki ma przyrodzoną skłonność do wznoszenia się ponad materię w abstrakcyjną sferę pojęć wraz z wolą wytwarzania oryginalnych idei.

Myśl ta, stanowiąca zasadę poszukiwania nowej sztuki, nie jest jedynie źródłem mitu o posągu Pigmaliona, lecz tworzy obraz całej historii architektury. Wydaje się wręcz, że cechą każdej materii jest jej określenie przez historyczną ewolucję, która stanowi bezustanny powrót do źródeł i szukanie początków, poszukiwanie związków z pierwszymi ideami lub określaniem tożsamości materii przez idee. W historii przemiany te miały dla architektury swoje konsekwencje: pozwoliły dać jej wyraz w metaforycznym lub transcendentnym nastroju. W świątynnej starożytności piękno było syntezą idei i materii, a gmachy na Partenonie – aktem petryfikacji idealności zaprezentowanej w białym marmurze pentelickim. Przez następne wieki budowle „traciły ciężar”, mury zdawały się dematerializować, dawały wyraz pędowi człowieka ku absolutowi – otrzymały ten rodzaj sublimacji, która była synonimem piękna. Nabierały wyglądu i uduchowienia odległych od wzorców klasycznych gmachów.

Także na początku XX wieku architekci próbowali odszukać nowe wzorce, korzystając z materiałów znanych i opisywanych od dziesięcioleci. Po czasach zbytku i zatracenia się w sztukach zdobniczych architektura – sztuka rozumu i zmysłów – zaczęła przewyżczać „twardą” materię dzieła, by tchnąć w nią nowego ducha epoki. Jednak, aby stworzyć nowy związek między „duchem czasu” a materią, moderna musiała dokonać radykalnej destrukcji i rozpadu starego świata widzialnego, w którym „stare” architektoniczne mimesis niepasujące do treści obrazu ekspresyjnej twórczości zostały rozdzielone i podporządkowane nowej syntezie idei i materii. Świadectwo porządku i harmonii między obiema rzeczami wciąż zaświadczało o duchowej sile i po raz kolejny stało się przykładem nieustannej budowy świata.

„Mit założycielski” współczesności został określony datą (1915), kiedy Le Corbusier, wynajdując kształt przestrzenny systemu *Dom-ino*, odwzorował go finalnie w betonie. Prosty, racjonalny system kreujący nowatorską przestrzeń i nową jakość architektury wyznaczył granicę jej tożsamości; jej obiektywizację formalną oraz nową trwałość i ekonomiczność. Architekt pisał o tym w *Vers une architecture*, wyrażając swoją akceptację nie tylko dla nowych możliwości technicznych, lecz także dla zależności między nieustrasakowanymi ideami:

[...] Moje oczy widzą coś, co przenosi waszą ideę. Ideę wyrażoną nie w słowach czy dźwiękach, ale wyłącznie przez graniaste formy, kształty jasno zdefiniowane przez światło, które są ze sobą powiązane. [...] Te relacje nie mają nic wspólnego z praktycznymi działaniami lub opisowymi efektami. Są matematycznym tworem umysłu. Są językiem architektury. Nie tylko przystosowaliście martwe materiały do wymagań funkcjonalnych projektu, ale także, przekraczając te wymagania, ustaliliście związki, które poruszają emocje. To jest architektura [17, s. 165].

Relacje, o których pisał Le Corbusier, nie były niczym innym jak próbą poszukiwania doskonałości nowych budulców w celu odnalezienia uniwersalnego wzorca dla wielości architektonicznych idei. Opisywanie ich stało się nowym językiem architektury – matematycznym, poetyckim i plastycznym tworem umysłu jego współwyznawców – tych, którzy przez dostosowanie „martwych materiałów” do wymogów architektury ustalili związki poruszające wyobraźnię odbiorcy i użytkownika.

„Gdy powstają odpowiednie relacje, dzieło obejmuje nas w posiadanie. Architektura to «relacje», to «czysty wytwór ludzkiego umysłu»” [18, s. 73] – konkludował Le Corbusier, diagnozując racjonalne pragnienia i podświadome intencje twórców.

W istocie – to dzięki betonowi i żelbetowi świat odrzucił ręczne formowanie kamiennych form na rzecz utrwalanych na lata technicznych i technologicznych idei. Świat nie potrzebował już kamienia, potrzebował „superkamienia”, którego dostępność będzie niewyczerpana, a jego konstrukcyjne i estetyczne możliwości – nieograniczone. Dzięki wprowadzeniu zbrojonego betonu relacje między nowymi estetykami a technologią w budownictwie zyskały niespotykane wcześniej bogactwo i różnorodność. Jan Rowan, krytyk „Progressive Architecture” opisywał ten stan witalności projektowej jako przebudzenie profesji, w czasie, kiedy niemal każdy architekt miał na swojej desce kreślarskiej projekt, który zamierza zrealizować z wykorzystaniem surowego betonu [19, s. 46]. Architektura stała się w nowy sposób „materialna”. Nie zmieniło się jednak jej źródło. Pozbawiona na pewien czas ideału form i stosownych im treści, odnalazła swoje miejsce wśród idei – ożywczych inwencji, konceptów, wątków stylistycznych i pomysłów ekspresji. Wizja nowego świata w swojej demokratycznej estetyce była na tyle silna i atrakcyjna w bezstronnym wyrazie, że żelbet stał się nagle wzorcową materią spekulatywnego myślenia o architekturze. Krytyk Paul Damaz potwierdzał to pełne, fizyczne urzeczywistnienie idei jako trwałego stanu nowoczesności:

[...] Materializm naszej cywilizacji tłumaczy materializm naszej architektury, jednak nie możemy jej osądzać. Jeżeli istnieje cokolwiek, co ma wpływ na ruch współczesny, to są to przede wszystkim ożywcze idee. [...] Dzieło sztuki jest symbolem. Jest ekspresją niematerialności przez materialność [20, s. 32].

W optymistycznym oglądzie betonowej rzeczywistości nie przeszkadzał wciąż towarzyszący mu dystans oraz brak akceptacji oceny budowy „świata z betonu”. Z pewnością zrozumienie i wykorzystanie potencjału nowego materiału wymagało czasu: wynalezienie żelbetu pod koniec XIX wieku stopniowo doprowadzało do jego racjonalnego wykorzystania i dopiero po II wojnie światowej materiał ten nabierał wszystkich jego znaczeń technicznych i ekonomicznych. Z drugiej strony to w Europie beton zajmuje hegemoniczne miejsce w budownictwie: podczas gdy w okresie międzywojennym w Stanach Zjednoczonych większość budynków budowana jest ze stali (ponieważ stal była tania w produkcji), beton staje się powszechny bardzo szybko – co jest zjawiskiem niespodziewanym, ponieważ w XIX wieku wydawało się, że architektura tworzona w stali powinna być naturalnym wytworem cywilizacji przemysłowej. Wielu oponentów traktowało betonowe budowle jako nieciekawe obiekty tkwiące pośród naturalnego krajobrazu, należące do tej samej kategorii co autostrady, silosy czy inne dzieła inżynierskie. Uważano, że są pozbawionymi ekspresji obiektami zbudowanymi z marnego materiału, jakim był cement. Symboliczny dla tych czasów był głos Franka Lloyd Wrighta, nieukrywającego potrzeby dekorowania betonu dla polepszenia jego amorficznego, pozbawionego charakteru wyrazu. Nawet pod koniec lat trzydziestych XX wieku ceniony krytyk Adrian Stokes twierdził, że pomimo tego, iż zachodnia tradycja architektury zawsze opierała się na uniwersalnie pojętej idei rzeźbienia w materiale (*carving*), to jednak nowy materiał – żelbet, pomimo niespotykanej wcześniej nienaturalnej plastyczności, nie jest zdolny, ze względu na sztuczne pochodzenie, do oddania jakiejkolwiek fantazji. Krytyk

pisał wręcz o „śmierci architektury” tworzonej z kamienia – materiału, który dzięki swojemu naturalnemu bogactwu odnawiał siłę formalną i znaczeniową architektury. Wieszczyl, że obiekt architektoniczny nie będzie już służyć za źródło, w którym rzeźbienie konceptu przestrzennego odnawiało zawsze swoją siłę.

Nawet dziś, w podobnym tonie sceptycyzmu, Rem Koolhaas uznaje te „traumatyczne” poczynania pionierów modernizmu za podobne do działań budowniczych arki Noego (lub jej niezliczonych wersji), symbolizujących niepowtarzalną szansę ratowania przed kataklizmem starej architektury (il. 1.1). Według holenderskiego architekta stosowanie żelbetu stało się sposobem na obiektywizację każdej niedojrzałej decyzji w jej bezkrytycznym podejściu do materii. Powszechność i zwyczajność wykorzystania żelbetu ukrywały w sobie te cechy, które absorbowały wszystkie, wcześniejsze i aktualne, szalone sensory. Koolhaas daje temu wyraz we współczesnym (ironicznym) przepisie na architekturę, której wynikiem jest pełna dowolność formowania. Takie formowanie odbywa się, jak następuje. Najpierw należy wznieść konstrukcję z desek szalunkowych. Następnie trzeba w niej zamocować pręty zbrojeniowe, których wymiary wynikają bezpośrednio z racjonalnych wyliczeń konstruktora i emocji architekta. Później szarą ciec wlewa się w puste, spekulatywne antyformy, by pozwolić im zaistnieć w postaci absolutnie realnych obiektów¹ [21, s. 282]. Taki obraz współczesnej architektury to obraz budulca najpierw dającego się dowolnie kształtować, aby niespodziewanie stać się twardym jak skała i trwałym na dziesięciolecia. „Płynny kamień” potrafi uwznioślić pustkę idei architekta równie skutecznie, jak najbardziej oryginalne znaczenia architektury.

¹ R. Koolhaas pisze: „[...] To nie przypadek, że każdy plac budowy, na którym używa się zbrojonego betonu, z powodu wszechobecnych desek szalunkowych wygląda tak, jakby konstruowano tam arkę Noego – zamienia się w odcieętą od morza stocznię. Noemu przydałby się żelbet. Modernistycznej architekturze przydałby się potop”, [w:] R. Koolhaas, *Deliryczny Nowy Jork. Retroaktywny manifest dla Manhattanu*, Kraków 2013, s. 282.



il. 1. O.Niemeyer, Zgromadzenie Narodowe, Brasilia_1950

Apologie betonu. Idealizacja. Na początku XX wieku beton był tylko „szlamem” – „błotem” zalewanym na wyrafinowaną konstrukcję prętów zbrojeniowych. Cyrille Simonnet określa ten brak zainteresowania betonem „niedostatkiem w jego ikoniczności” [22, s. 94]. Beton wydawał się sztuczną substancją bez właściwości, która może tworzyć wszystko i pasuje do wszystkiego – wyglądało na to, że główną cechą betonu będzie poszukiwanie własnej tożsamości. Dla przykładu Adolf Loos nie wyobrażał sobie zastosowania betonu do tych uformowań, które były zarezerwowane dla innych materiałów – co było zgodne z jego tezą o odrzuceniu zafałszowań w formie i treści architektury. Podobnie Frank Lloyd Wright w 1928 roku w eseju pt. *The Meaning of Materials – Concrete* pisał, że pod względem estetycznym beton nie jest ani *melodią*, ani *fabułą*, jego forma jest jedynie wynikiem procesu odlewania, bez możliwości ukazania własnej natury [8, s. 26-33] Wright uważał, że beton nie ma własnego charakteru, jako medium jest „kundlem” w kształtowaniu znaczeń, odpornym na zrozumienie głównie ze względu na jego specyfikę przejmowania tożsamości innych materiałów. Co zatem jest właściwie estetyką betonu? – pytał:

[...] Czy jest kamieniem? Tak i nie. Czy jest gipsem? Tak i nie. Czy jest jak cegła lub dachówka? Tak i nie. Czy jest żeliwem? Tak i nie. Biedny beton! Wciąż szuka swoich właściwości przez działanie ludzkich rąk [24, s. 301].

Od zawsze snuto rozważania o tym, co zrobić, aby uczynić beton bez wad i niedoskonałości; jak sprawić, by był trwalszy, mocniejszy i odporniejszy na wpływy zewnętrzne. Ale okazało się, że beton wykorzystany do budowy budynków nie jest „odporny” na znaczenie, że ma swoją różnorodną treść i symbolikę – „głębię materii”. Odmienne niż materiały tradycyjne, których znaczenie często traktuje się jako przyrodzone, znaczenie betonu jest „płynne” i podlega przekształceniom. Odpowiada to ogólnemu przekonaniu, że wszelkie materiały budowlane przypominają pojedyncze słowa, które same w sobie nie mają żadnego znaczenia. Mogą zatem być użyte w sposób trywialny czy wulgarny, lecz zastosowane w odpowiedni sposób zdolne są do wyrażania wspaniałych idei. W XX i XXI wieku beton umożliwił poszerzenie symboliki, metafory i indywidualnej formy. Stał się również synonimem czegoś bardzo trwałego i niezniszczalnego, ale także niepozbawionego wad i brzydoty nudnego budulca.

Wydaje się, że idealizacja tworzywa jest w pewnym sensie racjonalną próbą „dokończenia świata” architektury – począwszy od koncepcyjnych prób materializowania idei architektonicznej aż po końcową fazę prezentacji materiału w budowlach. Andrew Benjamin wyjaśnia pojęcie idealizacji materii, dotychczas traktowanej jako wizualna jakość materiałów w podstawowym rozumieniu struktury i tektoniki, jako pole dla gry w pojęcia podstawowe, wgląd w istotę architektury, elementarną esencję znaczenia formy i treści materiału. Nadana przez twórcę rola ścian, stropów, przegród, otworów wyznacza sens traktowania tworzywa architektury jako sztuki wywyższającej nie tylko jej fizyczne elementy, ale także jej przestrzeń, która, choć stworzona z elementów najbardziej podstawowych, może ujawnić się nam jako ponadczasowa materialność. Idealizacja elementów architektury, a także jej narzędzi prowadzi do uznania „potencjalności” tworzywa architektury [25, s. 23].

Ważną cechą prób idealizacji materii jest nadanie ciągłości znaczeń przez podobieństwa formalne i strukturalne. Takie przejście od idealizacji do ideacji materiału powoduje przededefiniowanie zarówno charakteru, jak i wzorców architektonicznej teorii. Ideacja w takim kontekście jest czymś nowym dla betonu – jest próbą nazywania rzeczy poznanej przez wgląd w spójną jedność materii wraz z ideą, ich wspólną istotę i charakter – jak twórca je wyraża i co nimi przedstawia. Interpretacja „jak” zależy jednak od zrozumienia charakteru „co”. „Co” należy do domeny opisywania świata architektury, „jak” stanowi próbę jego interpretacji.

W architekturze, która polega na poszukiwaniu stosunków stałych oraz przekazywaniu ich w dynamicznej równowadze obrazu, zbliżenie się do materii sztuki jest adekwatne do poszukiwań „nowego” i „ponadczasowego”, lecz opartego na jakimś wspólnym prawzorze.

Wnioski. Beton jest materią, która powstaje w procesie technologicznym – stąd rodzą się pytania o jego specyfikę i szczegółowe rozwiązania. Architekt powinien ten proces przewidzieć, wręcz go zaprojektować, tak aby beton, który zobaczy po zdjęciu szalunków, był tym, co powstało jako początek myślenia o budynku jako wytworze idei.

Płynny beton wlany w szalunek-matrycę z przygotowanym zbrojeniem nie od razu jest rzeczą gotową. Rzecz wymyślona przez twórcę musi „dojrzeć” w zamknięciu aż do zastygnięcia płynnej masy i ukazania swojej końcowej i... ostatecznej formy. W ten sposób przemawia do nas kształt nazwany architekturą materii – tworzący obraz w umyśle twórcy, określany wyobrażeniem przestrzennym. Tu pojawia się podstawowa trudność – monolit betonu odda końcowy kształt rzeczy wymyślonej, jeżeli odnajdziemy negatyw formy w wybranym szalunku.

Beton nie należy do materiałów naturalnych – jest kompozytem stworzonym w głowach, w laboratoriach i na budowie, przez technologa, konstruktora lub architekta. Mimo to, uznawany za materiał sztuczny albo półsztuczny, jest doceniany jako *medium*, w którym architekci próbują doszukać się jego najbardziej naturalnej-stosownej formy i najbardziej naturalnego-wyrazistego charakteru. Beton „udający coś” i beton „ukazujący coś” to jednak dwa różne obrazy budulca odpowiadającego za podwójny sens odczytania architektury. Beton obdarzony przez twórców „własnym charakterem” ma oczywiste cechy wynikające z możliwości strukturalnych, lecz ma też „drugą naturę”, z której czerpie formalną i zmysłową jakość.

Beton wydaje się nie wybaczać błędów projektowych i wykonawczych. Bywa nierzadko trwałym obrazem ludzkiej niedoskonałości i pomyłek. Zbliża to nas do potwierdzenia ważności tezy Louisa Kahna o tym, że beton jest materiałem wyjątkowo wyrafinowanym i że należy uszanować jego specyfikę – ponieważ piękno jest częścią tego materiału, który wykorzystujesz [26, s. 277]. Architekt jednoznacznie określa rolę każdego twórcy stosującego beton:

„Jeśli masz do czynienia z betonem, musisz znać porządek natury, musisz znać naturę betonu – czym beton stara się być [27, s. 288]”.

Stosowne wydają się słowa Adama M. Neville’a, który cierpliwie powtarza sentencję, mówiącą, że beton jest materiałem znakomitym, lecz zależy od sumy różnych działań mu towarzyszących, które nie zawsze są wystarczające do uzyskania docelowego efektu:

„Zadziwiające, że składniki dobrego i złego betonu są dokładnie takie same, a jedynie umiejętności, poparte przez zrozumienie wykonywanych czynności i zachodzących procesów, są odpowiedzialne za zachodzące różnice”.

I zawsze dodawał: „Beton nie jest odporny na głupotę” [8, s. 15].

Literatura:

- [1] Alberti L.B., *Ksiąg dziesięć o sztuce budowania*, Warszawa 1960
- [2] Read H., *Sens sztuki*, Warszawa 1965
- [3] Salminen P., *Piękno betonu*, [w:] *I Biennale Architektury*. Kraków 1985
- [4] Simonnet C., *Le Béton en représentation – La Mémoire photographique de l’entreprise Hennebique 1890–1930*, Paris 1993
- [5] Marrey B. & Hammoutène F., *Le béton à Paris*, Pavillon de l’Arsenal / Picard Éditeur, 1999 (catalogue de l’exposition *Histoire d’un matériau: le béton à Paris*, Pavillon de l’Arsenal, printemps 1999).
- [6] Arystoteles, *Metafizyka*, Księga Z (VII), Warszawa 2009
- [7] Merleau-Ponty M., *Widzialne i niewidzialne*, Warszawa 1996

- [8] McCarter R., *Louis Kahn and Nature of Concrete*, Concrete International (32) 12, Farmington Hills, 2009, (tłum. M.Ch.).
- [9] Merleau-Ponty M., *Oko i umysł. Szkice o malarstwie*, Gdańsk 1996
- [10] Eco U., *Wyspa dnia poprzedniego*, Warszawa 1995
- [11] Tatarkiewicz W., *Historia estetyki*, t. 3, Warszawa 1991
- [12] Pareyson L., *Estetyka. Teoria formatywności*, cz. 1. *Styl, treść i materia w sztuce*, Kraków 2009
- [13] Ajdukiewicz K., *Język i poznanie*, t. 2, *Wybór pism z lat 1945–1963*, Warszawa 1965
- [14] Ingarden R., *Esencjalne zagadnienie formy i treści*, [w:] *Studia z estetyki*, t. 2, Warszawa 1958
- [15] Gołaszewska M., *Zarys estetyki*, Warszawa 1983
- [16] Platon, *Timaios, Kritias*, Kęty 2002.
- [17] Le Corbusier, *Vers une architecture*, Paris 1923, (tłum. M.Ch.).
- [18] Le Corbusier, *W stronę architektury*, Warszawa 2012
- [19] Legault R., *The Semantic of Exposed Concrete*, [w:] J.L. Cohen, *Liquide Stone: New Architecture in Concrete*, New York 2006
- [20] Damaz P., *Art in European Architecture/Synthèse des arts*, New York 1956, (tłum. M.Ch.).
- [21] Koolhaas R., *Deliryczny Nowy Jork. Retroaktywny manifest dla Manhattanu*, Kraków 2013
- [22] Simonnet C., *Le béton, histoire d'un matériau*, Paris 2005
- [23] Wright F. L., *In the Cause of Architecture VII: The Meaning of Materials – Concrete*, „Architectural Record” (August 1928)
- [24] Benjamin A., *Plans to Matter: Toward a History of Material Possibility*, London–New York
- [25] Twombly R., *Louis Kahn: Essentials Texts*, op. cit., przedruk wykładu L. Kahna pt. *Lecture at Pratt Institute* (1973), New York–London 2003, (tłum. M.Ch.).
- [26] Kahn L., *I Love Beginnings* (1972), [w:] A. Latour (red.), *Louis I. Kahn: Writings, Lectures, Interviews*, New York 1991, (tłum. M.Ch.).
- [27] Neville A. M., *Właściwości betonu*, wstęp do wyd. IV, Kraków 2000

Ilustracja:

Il. 1. Zgromadzenie Narodowe, Oscar Niemeyer, Brasilia, 1950; źródło: *Building Brasilia. Photographs by Marcel Gautherot*, „Thames and Hudson” 2010.

Agata Stawiszyńska
BEKO Betondesign

Architektura betonowa i kosmetyka betonu – budowanie piękna powierzchni

Concrete Architecture and Concrete aesthetic treatment
– Creating the Beauty of Surfaces

Streszczenie

Architektura, czyli umiejętność kształtowania przestrzeni, od zawsze uznawana jest za jedną z trzech sztuk plastycznych. Od XIX wieku beton należy do najczęściej wykorzystywanych materiałów budowlanych. Tendencja ta utrzymywała się przez cały XX wiek i na początku XXI wieku. Beton to materiał o jednoczesnym znaczeniu konstrukcyjnym, odpowiadający za statykę budowli, oraz estetycznym, wpływającym na odbiór obiektu przez użytkowników i obserwatorów. Jego ostateczne właściwości i wygląd (struktura, kolor, tekstura) zależą od wielu czynników, m.in. składu mieszanki, techniki wykonania, rodzaju szalunku oraz warunków atmosferycznych. Referat analizuje zastosowanie kosmetyki betonu w kontekście estetyki i trwałości powierzchni betonowych w architekturze nowoczesnej i zabytkowej. Omówiono znaczenie i funkcję betonu architektonicznego oraz metody i przeznaczenie kosmetyki betonu jako techniki pozwalającej na uzyskanie pożądanego efektu wizualnego i zwiększenie odporności powierzchni betonowej. Przedstawiono również praktyczne zastosowanie kosmetyki betonu na przykładach prac przeprowadzonych na obiektach architektonicznych w Europie i na świecie. W podsumowaniu podkreślono kluczowe znaczenie omawianej techniki obróbki powierzchni betonu dla jego trwałości i estetyki, co jednocześnie wpływa na odbiór i zrozumienie współczesnej architektury. Wskazano także na utrzymujący się dynamiczny rozwój wykorzystywania nowoczesnej kosmetyki betonu w obiektach współczesnych oraz jej przyszłość wykorzystania w odniesieniu do budowli zabytkowych.

Abstract

Architecture, the art of shaping space, has always been recognized as one of the three fine arts. Since the 19th century, concrete has been one of the most used building materials. This trend persisted throughout the 20th century and into the early 21st century. Concrete is a material with both structural significances, ensuring the stability of buildings, and aesthetic importance, influencing how structures are perceived by users and observers. Its final properties and aesthetic (structure, color, texture) depend on many factors, including the composition of the mix, construction techniques, formwork type, and environmental conditions. This paper analyzes the application of concrete cosmetics in the context of surface durability and aesthetics in both modern and historical architecture. The significance and function of architectural concrete, as well as the methods and purpose of concrete cosmetics as a technique for achieving the desired visual effect and enhancing surface durability, are discussed. Practical applications of concrete cosmetics are also presented through examples of cosmetic treatment carried out on architectural structures in Europe and worldwide. In

conclusion, the key role of this surface treatment technique in improving both the durability and aesthetics of concrete is emphasized, as it significantly influences the perception of contemporary architecture. Additionally, the ongoing trend of using concrete aesthetics in modern buildings is highlighted, along with its potential future applications in the preservation and restoration of historical structures.

1. Beton w architekturze i jego znaczenie.

„Każda rzecz stworzona przez człowieka powinna być funkcjonalna, trwała i estetyczna”

- Sokrates,

Architektura, czyli umiejętność kształtowania przestrzeni, od wieków uznawana jest za jedną z trzech głównych sztuk plastycznych. Od tysiącleci posługuje się różnorodnymi materiałami, by połączyć swoje podstawowe przeznaczenie – funkcjonalność, z wymiarem społecznym, stając się zarazem świadectwem rozwoju i przemian cywilizacyjnych. Jednym z kluczowych materiałów w historii budownictwa i architektury jest beton – surowiec, który z czasem przekształcił się z funkcjonalnego tworzywa konstrukcyjnego w nośnik ekspresji artystycznej. Jego historia to opowieść o geniuszu inżynierskim, który potrafił przemienić surowość w trwałe dzieło sztuki. Rola betonu w architekturze ewoluowała przez wieki i pozostaje symbolem nieustannego dążenia człowieka do doskonałości oraz autentyczności w kreowaniu przestrzeni. Beton to materiał trwały, odporny i elastyczny. Początkowo postrzegany był wyłącznie jako tworzywo elementów konstrukcyjnych – fundamentów, słupów, belek czy stropów. Jego wytrzymałość i odporność na obciążenia umożliwiły budowę silosów czy magazynów. Z czasem jednak jego funkcja zaczęła wykraczać poza konstrukcję – zaczął pełnić również rolę estetyczną.

Dziś beton traktowany jest jako pełnoprawne medium artystyczne – tworzywo o wyjątkowych właściwościach ekspresyjnych. Powstaje beton architektoniczny, materiał o specjalnych parametrach estetycznych, wykorzystywany m.in. do wykańczania elewacji, ścian, podłóg, schodów. Dzięki jego plastyczności, trwałości i możliwościom formowania, architekci łączą go z rzeźbą, instalacjami artystycznymi czy założeniami wnętrzarskimi.

1.1 Historia betonu – od starożytności do modernizmu

Moda na beton nie jest nowa. W Starożytnym Egipcie wykorzystywano go jako zaprawę. Przełom nastąpił w starożytnym Rzymie, gdzie architekci zaczęli stosować beton jako materiał konstrukcyjny o niespotykanych wcześniej właściwościach. Już w 125 roku n.e. powstała największa zachowana do dziś kopuła z nieuzbrojonego betonu – zwieńczenie Panteonu, jednego z najważniejszych zabytków Rzymu. Po upadku Cesarstwa Rzymskiego wiedza o betonie zanikła na wiele stuleci. Dopiero w XIX wieku, dzięki wynalezieniu cementu portlandzkiego w Anglii, beton wrócił do łask i stał się podstawą nowoczesnego budownictwa. XX wiek przyniósł rozwój technologiczny – pojawił się żelbet, beton sprężony, prefabrykaty, co umożliwiło realizację coraz większych i bardziej złożonych struktur. Druga połowa XX wieku to złoty okres betonu

jako środka artystycznego wyrazu. Artyści i architekci awangardowi dostrzegli w jego surowości potencjał estetyczny. W tym kontekście narodził się brutalizm, styl architektoniczny, który rozwinął się w latach 50. i 60. XX wieku. Jego nazwa pochodzi od francuskiego określenia *béton brut* – „surowy beton”.

Brutalizm charakteryzuje się masywnymi, monolitycznymi strukturami pozbawionymi ozdób. Surowa faktura betonu staje się głównym elementem estetycznym – szczerym, nieupiększonym, monumentalnym. Styl ten miał również wymiar ekonomiczny – beton był tani i łatwy w użyciu.

Le Corbusier, jeden z twórców brutalizmu, przyznawał, że używał betonu nie tylko z uwagi na jego wygląd, ale też z powodów praktycznych. Zaprojektowana przez niego w 1952 roku Jednostka Mieszkaniowa w Marsylii (Unité d’Habitation) stała się ikoną stylu. Nawet układ desek szalunkowych zaplanowano tam w taki sposób, by tworzyły kompozycję rysunku na elewacji – funkcja konstrukcyjna została połączona z rzeźbiarską ekspresją materiału.

Od połowy XX wieku beton stał się najczęściej wykorzystywanym materiałem w budownictwie. W ostatnich dwóch dekadach obserwujemy renesans fascynacji surową estetyką, „architekturą przemysłową”, a także nowoczesnym designem z elementami betonu w przestrzeniach mieszkalnych, komercyjnych i publicznych.

Wielu współczesnych artystów i architektów, takich jak Anish Kapoor, Louis Kahn, Zaha Hadid czy Tadao Ando, pokazuje, że za pomocą betonu można tworzyć przestrzenie monumentalne, brutalne, ale również pełne emocji, refleksji i delikatności.

1.2 Beton w Polsce – między funkcją a ekspresją

W Polsce beton architektoniczny pojawił się szerzej po II wojnie światowej. Niestety, ze względu na ograniczenia wynikające z realiów socjalizmu, był wykorzystywany głównie funkcjonalnie – jako tanie i dostępne tworzywo prefabrykowane. W efekcie wartości artystyczne były często marginalizowane. Mimo to powstało kilka wybitnych przykładów nowoczesnej architektury betonowej: Osiedle Plac Grunwaldzki (Manhattan) we Wrocławiu – proj. *Jadwigi Grabowska-Hawrylak*, Stadion Dziesięciolecia Manifestu Lipcowego – proj. *Jerzego Hryniewieckiego*, *Zbigniewa Ihnatowicza*, Dworzec Warszawa Śródmieście – proj. *Jerzego Sołtana*, uczenia samego Le Corbusiera.

Po 1989 roku polska architektura zafascynowała się zachodnimi trendami, barwami i mnogością materiałów, co doprowadziło do spadku zainteresowania betonem. Tymczasem w ostatnich latach obserwujemy przenikanie do rodzimej architektury zachodnich nowoczesnych trendów osadzonych w idei brutalizmu. Polscy twórcy coraz częściej odważają się wykorzystywać beton w sposób kreatywny i innowacyjny, jednocześnie osadzając go w kontekście pełnionej funkcji i otoczenia, dołączając do międzynarodowego grona twórców nowoczesnej i unikatowej architektury.

2. Kosmetyka betonu

Na przestrzeni ostatnich dekad architekci i artyści dostrzegli urok surowego piękna betonu – jego fakturę, kolorystykę oraz niezwykle charakterystyczną powierzchnię. Coraz częściej stosuje się beton jako nowoczesny i awangardowy detal estetyczny, a nie tylko element konstrukcyjny. W odpowiedzi na potrzeby nowoczesnej architektury, w której beton staje się elementem dekoracyjnym, rozwinięto liczne odmiany tzw. betonu architektonicznego.

Wygląd powierzchni betonu architektonicznego zależy od wielu czynników, w tym: składu mieszanki, miejsca i warunków produkcji, jakości wykonania, a także sposobu pielęgnacji i zabezpieczenia końcowego produktu. Poprawnie wykonany beton powinien charakteryzować się niską porowatością, co bezpośrednio wpływa na jego trwałość i odporność na warunki zewnętrzne. Jednak, jak każdy materiał, także beton ulega defektom i degradacji – zarówno fizycznej, jak i estetycznej.

W wielu krajach istnieją normy czy też instrukcje określające cechy jakościowe i kategorie powierzchni betonu architektonicznego. Dotyczą one faktury, porowatości, oceny wizualnej czy równomiernego zabarwienia. W Niemczech rozróżnia się 4 kategorie, klasy betonu architektonicznego – *Sichtbetonklassen*, zdefiniowane zgodnie z wytycznymi Niemieckiego Stowarzyszenia Betonu, DBV, biorących pod uwagę także funkcje przestrzeni, w których stosuje się beton architektoniczny.

Dzięki współczesnym osiągnięciom naukowym i konserwatorskim dysponujemy dziś skutecznymi metodami umożliwiającymi naprawę oraz renowację powierzchni betonowych. Jedną z najsukuteczniejszych technik jest kosmetyka betonu, zwana „Betonkosmetik”, którą szczegółowo omówię w dalszej części tego opracowania.

2.1 Wady powierzchni betonowych i ich przyczyny

Wady wizualne i strukturalne betonu mogą mieć różnorodne przyczyny.

Mieszanka betonowa składa się zasadniczo z trzech głównych komponentów: cementu, kruszywa, oraz wody. Proporcje tych składników wpływają bezpośrednio na właściwości końcowego produktu – jego wytrzymałość, twardość, nasiąkliwość oraz odporność na działanie czynników atmosferycznych i mechanicznych. Oprócz tego do mieszanki mogą być dodawane różnego rodzaju domieszki chemiczne i dodatki mineralne, które modyfikują cechy betonu w zależności od wymagań technicznych i estetycznych.

Właściwości betonu kształtują również: sposób układania mieszanki, technika zagęszczania i wibrowania, czas betonowania i przerwy technologiczne, jakość i szczelność zastosowanego szalunku, technika jego montażu i rozszalowywania, a także warunki atmosferyczne panujące w czasie betonowania. Szczególne znaczenie ma także pielęgnacja świeżego betonu, czyli tzw. sezonowanie – okres, w którym beton dojrzewa. W tym czasie należy go chronić przed gwałtownymi zmianami temperatury oraz nadmiernym parowaniem wody.

Wszystkie wymienione czynniki mogą prowadzić do powstania defektów estetycznych, takich jak: przebarwienia – np. w formie „chmur” lub „pasów”, pęcherze powietrza, raki i wżery, gniazda żwirowe, spękania, odpryski i odłupania powierzchni. Nieprawidłowo wykonany beton może też wykazywać brak ciągłości kolorystycznej lica, a beton wykonany w nieprawidłowo przygotowanym szalunku charakteryzuje się powierzchnią pokrytą zabrudzeniami takimi jak rdzawe lub wapienne zacieki czy plamy oleiste. Zwykle większość skaz i nieprawidłowości diagnozuje się po zdjęciu szalunku, czasem jednak są one widoczne dopiero po całkowitym wyschnięciu betonu. Istotnym i bardzo trudnym zadaniem jest zabezpieczenie powierzchni betonu architektonicznego przed niszczeniem i zabrudzeniem, w okresie od zdjęcia szalunku po zakończenie projektu.

2.2 Definicja i znaczenie kosmetyki betonu

Kosmetyka betonu, niem. *Betonkosmetik*, to metoda opracowania powierzchni betonu, wypracowana na przełomie XX i XXI wieku w zachodniej Europie. Jest rezultatem połączenia idei i założeń oraz zobyczy technologicznych środowisk

architektonicznych, konserwatorskich i artystycznych, w dążeniu do jak najlepszego zachowania i utrwalenia unikatowego charakteru każdej powierzchni betonowej. Zabieg ten ma charakter powierzchniowy i jego celem jest poprawa estetyki betonu poprzez eliminację nieprawidłowości kolorystycznych oraz fakturalnych, przy jednoczesnym zachowaniu jego właściwości fizycznych, chemicznych i haptycznych. Wymaga on indywidualnego i dopasowanego podejścia do problematyki powierzchni betonu. W ramach kosmetyki betonu wyróżniamy dwa istotne elementy: rekonstrukcję faktury oraz scalanie kolorystyczne. Oba procesy mogą być modyfikowane oraz powtarzane w zależności od charakteru i stopnia uszkodzeń. Uzupełniającym działaniem końcowym jest impregnacja lub hydrofobizacja betonu. Jej wykonanie zależy od usytuowania elementów betonowych i zaleca się jej uwzględnienie w procesie kosmetycznym w przypadku fragmentów narażonych na działanie wody i/lub warunków atmosferycznych. Zakres prac w ramach kosmetyki betonu zależy od stanu materiału oryginalnego oraz oczekiwanego efektu końcowego. Przed przystąpieniem do prac zalecane jest wykonanie dokumentacji zdjęciowo-projektowej stanu zachowania poszczególnych elementów betonu architektonicznego.

Starannie i profesjonalnie wykonana kosmetyka betonu nie tylko poprawia walory estetyczne, ale również wzmacnia i zabezpiecza powierzchnię przed działaniem czynników zewnętrznych, takich jak: zmiany temperatury, wilgoć i opady, zabrudzenia atmosferyczne, agresywne związki chemiczne. A co za tym idzie poprawia trwałość opracowanego materiału.

Zapotrzebowanie na tego rodzaju zabiegi wynika z wciąż występujących problemów technologicznych i wykonawczych w procesie produkcji elementów betonowych. Takie problemy skutkują powstawaniem istotnych wad powierzchni, które zaburzają ostateczny, zamierzony efekt wizualny, jednocześnie zaburzając wartość artystyczną oraz renomę dzieła i jego twórcy. Ponadto defekty powierzchni betonu mają istotny wpływ na percepcję odbiorcy – mogą zakłócać czytelność przestrzeni architektonicznej, utrudniać interpretację formy oraz osłabiać przekaz estetyczny i emocjonalny budynku czy instalacji artystycznych.

2.3 Etapy zabiegów z zakresu kosmetyki betonu

2.3.1 Kosmetyka betonu (Betonkosmetik)

Proces kosmetyki betonu składa się z kilku etapów, których zakres, kolejność oraz konieczność powtórzenia zależą od stanu pierwotnego betonu, rodzaju występujących wad i uszkodzeń oraz ich rozległości.

Pierwszym etapem zabiegu jest oczyszczenie powierzchni betonu, polegające na usunięciu: zabrudzeń mineralnych (kurz, pył, piasek), zabrudzeń mechanicznych (otarcia, ślady markerów, ołówków), zacieków (rdzawych, wapiennych, cementowych), luźnych, odspojonych fragmentów betonu, pozostałości po formach szalunkowych. Etap ten ma na celu przygotowanie podłoża do dalszych zabiegów rekonstrukcyjnych. Po oczyszczeniu następuje etap rekonstrukcji powierzchni, obejmujący uzupełnienie ubytków oraz naprawę: spękań, zarysowań, rys, odprysków, ukruszeń, odłamań i brakujących fragmentów, narożników, krawędzi, fug, połączeń płyt, odsadzonych stref szalunkowych, raków. Rekonstrukcje przeprowadza się przy użyciu materiałów o właściwościach fizykochemicznych i mechanicznych zbliżonych do oryginalnego betonu. Najczęściej stosuje się zaprawy wapienno-cementowe z dodatkiem piasku o różnej granulacji. Zaprawy te można przygotować samodzielnie lub wykorzystać

gotowe mieszanki dostępne na rynku – z możliwością modyfikacji, również kolorystycznej. Po całkowitym związaniu i wyschnięciu zapraw, przeprowadza się ich mechaniczną obróbkę w celu nadania odpowiedniej faktury, zbliżonej do oryginalnej powierzchni betonu.

W kolejnym etapie dokonuje się scalania kolorystycznego, polegającego na optycznym zharmonizowaniu powierzchni. W tym celu: koryguje się odchylenia barwne, ujednolica się rekonstrukcje, usuwa się plamy i przebarwienia. Zabieg ten przeprowadza się techniką profesjonalnego retuszu miejscowego, dzięki temu możliwe jest: subtelne wyrównanie koloru, eliminacja niepożądanych kontrastów, uzyskanie ciągłości estetycznej i fakturalnej. Scalenia można wykonywać punktowo lub całościowo. Produkty stosowane do tego celu powinny być chemicznie obojętne lub wykazywać powinowactwo fizykochemiczne z betonem, nie wpływając przy tym na jego właściwości takie jak porowatość, kapilarność czy dyfuzja pary wodnej. Niewłaściwe preparaty mogą powodować zmiany w mikrostrukturze betonu i prowadzić do jego wewnętrznej deterioracji.

2.3.2. Impregnacja i hydrofobizacja

W przypadku powierzchni narażonych na działanie czynników zewnętrznych – takich jak: woda i wilgoć, zmienne warunki atmosferyczne, zanieczyszczenia przemysłowe i komunikacyjne, promieniowanie UV czy organizmy biologiczne (mchy, porosty, algi, grzyby, pleśnie itd.) – ostatnim etapem kosmetyki betonu powinno być jego zabezpieczenie poprzez impregnację oraz hydrofobizację. Celem tych zabiegów jest: ochrona powierzchni przed wnikaniem wilgoci i zabrudzeń, zwiększenie trwałości estetycznej i technicznej, zapobieganie degradacji strukturalnej. Zaleca się stosowanie preparatów przezroczystych, bezbarwnych i niewidocznych, które nadadzą powierzchni betonu właściwości hydrofobowe, nie zmieniając jego wyglądu. Tak jak w praktyce konserwatorskiej – podobnie jak w przypadku zabytków – rekomendowane są środki na bazie związków krzemooorganicznych, które nie zamykają porów ani nie ograniczają zdolności materiału do dyfuzji par.

3. Przykłady kosmetyki betonu w architekturze nowoczesnej

3.1 Gallery Wrightwood 659, Tadao Ando Architect & Associates (Chicago, USA)

Wrightwood 659 to prywatna, niekomercyjna przestrzeń wystawiennicza, stworzona z myślą o prezentacji ekspozycji z zakresu architektury oraz sztuki zaangażowanej społecznie. Została zaprojektowana przez Tadao Ando, laureata Nagrody Pritzкера, który przekształcił budynek z lat 20. XX wieku, nadając mu charakterystyczną dla siebie formę poprzez wprowadzenie elementów betonowych oraz subtelne operowanie naturalnym światłem.

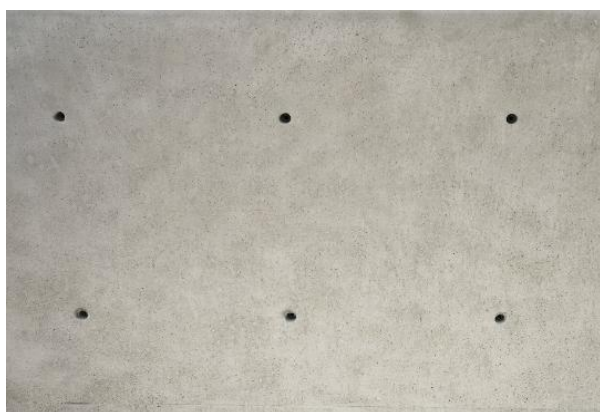
Beton w projektach Tadao Ando odgrywa kluczową rolę – stanowi zarówno medium artystyczne, jak i tło dla gry światła i cienia, współtworząc atmosferę refleksji i



Fot. 1 Powierzchnia betonu przed Betonkosmetik, BEKO Betondesign (S. Wieczorek)



Fot. 2 Dokumentacja ubytków powierzchni, BEKO Betondesign (S. Wieczorek)



Fot. 3 Powierzchnia betonu po Betonkosmetik, BEKO Betondesign (S. Wieczorek)

kontemplacji. Z tego względu elementy betonowe powstające na potrzeby jego realizacji muszą cechować się doskonałą jakością wizualną – ich powierzchnia powinna być homogeniczna, wolna od wad strukturalnych i zanieczyszczeń.

Jak już wspomniano w niniejszej pracy, uzyskanie betonu o nieskazitelnych walorach estetycznych stanowi duże wyzwanie. W związku z tym powierzchnie betonowe często wymagają dodatkowej korekty i opracowania – tak było również w przypadku elementów zastosowanych w omawianej realizacji w Chicago.

Głównym problemem była obecność licznych miniubytków, występujących punktowo lub w skupiskach na powierzchni wykonanych *in situ* konstrukcji betonowych. Ich powstanie wynikało z nadmiernej ilości pęcherzyków powietrza w mieszance, co mogło być efektem niewłaściwego przygotowania zaprawy (np. zbyt mała ilość drobnych frakcji kruszywa) oraz niedostatecznego lub nieprawidłowego zagęszczenia mieszanki.

Po konsultacjach z inwestorem i analizie skali uszkodzeń, przystąpiono do zabiegów kosmetyki betonu. Zdecydowano, że obróbce podlegać będą wyłącznie miniubytki o wcześniej określonej przez klienta wielkości. Ubytki

te zostały oznakowane i udokumentowane, a następnie rozpoczęto prace przygotowawcze i rekonstrukcyjne.

Celem zabiegów było wypełnienie wybranych ubytków masą szpachlową, która po związaniu i wyschnięciu została opracowana mechanicznie oraz scalona kolorystycznie z wykorzystaniem farb żelazo-krzemianowych. Dzięki temu uzyskano jednolitą, estetyczną powierzchnię, zgodną z wysokimi wymaganiami projektanta i standardami estetyki betonu architektonicznego klasy najwyższej.

3.2 New Lidl Head Office, M Mosers Associates (Londyn, Wielka Brytania)



Fot. 4 Powierzchnia betonu przed Betonkosmetik, BEKO Betondesign (A.Huhn)

New Lidl Head Office to siedziba główna firmy Lidl w Wielkiej Brytanii. Jej budowa trwała trzy lata i została zakończona w 2022 roku. Nowoczesny budynek o powierzchni 250 000 stóp kwadratowych składa się z pięciu kondygnacji.

Oprócz stref biurowych, wewnątrz obiektu obejmuje m.in. kuchnię, stołówkę, sale konferencyjne oraz centrum dobrostanu pracowników, w którego skład wchodzi siłownia i sala ćwiczeń. Centralną część budynku zajmuje atrium pełniące rolę przestrzeni wielofunkcyjnej, w której znajdują się: kawiarnia, strefy współpracy oraz miejsce do organizacji wydarzeń dla pracowników.

W projekcie wykorzystano beton jako element dekoracyjny sufitów i podłóg. Ich powierzchnie charakteryzowały się jednak niejednorodną kolorystyką oraz zróżnicowaniem odcieni – od jasnych po ciemne tony.

W ramach programu prac z zakresu profesjonalnej kosmetyki betonu określono potrzebę zredukowania wad kolorystycznych oraz zabezpieczenia powierzchni betonu przed zabrudzeniami za pomocą metody hydrofobizacji. W zależności o problematyki

powierzchni wykonano scalenia kolorystyczne metodą miejscową lub całościową. Zabiegi te pozwoliły na ujednolicenie estetyczne betonu oraz wzmocnienie jego odporności eksploatacyjnej, zgodnie z wymaganiami inwestora i charakterem nowoczesnej przestrzeni biurowej.

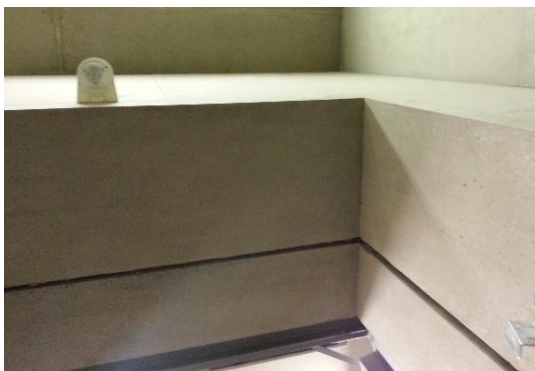


Fot. 5 Powierzchnia betonu po Betonkosmetik, BEKO Betondesign (A. Huhn)

3.3 Kolumba, Muzeum Sztuki, Athelior Zumthor (Kolonja Niemcy)

Budynek Kolumba Art Museum w Kolonii, zaprojektowany przez szwajcarskiego architekta Petera Zumthora, to nie tylko dzieło architektoniczne, lecz również „żyjące muzeum” – uczestnik i świadek historii miasta oraz jego społeczności. Nowa, ponadczasowa bryła została wzniesiona na ruinach gotyckiego kościoła św. Kolumby, zniszczonego podczas II wojny światowej, i współistnieje z powojenną kaplicą z lat 50. XX wieku. Obiekt mieści 16 sal wystawienniczych o zróżnicowanej powierzchni, proporcjach, warunkach oświetlenia i atmosferze, w których prezentowana jest sztuka – od

czasów starożytnych po współczesność. Istotnym elementem koncepcji muzeum jest celowy brak oznakowania i chronologii, co pozwala dziełom sztuki oraz przestrzeni architektonicznej na swobodny dialog z odbiorcą.



Fot. 6 Element przed Betonkosmetik, BEKO Betondesign (S. Wieczorek)



Fot. 7 Element po kosmetyce betonu, BEKO Betondesign (S. Wieczorek)

Bardzo ważną rolę w projekcie odgrywa zastosowanie i współistnienie wielu różnych materiałów, takich jak: tekstylia, drewno, tynki, kamień naturalny i sztuczny, a także beton. Materiał ten został użyty m.in. w konstrukcji ścian, filarów i stropów, pełniąc funkcję materiału narracyjnego, który spaja wszystkie warstwy historyczne budynku w jednolity, współczesny organizm architektoniczny.

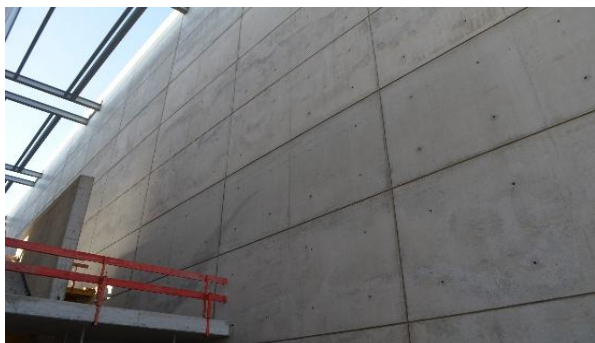
Zaprojektowany beton miał spełniać wizualne wymagania klasy SB4 (Sichtbetonklasse 4) zgodnie z niemieckimi standardami betonu architektonicznego. Oznacza to, że jego powierzchnie powinny charakteryzować się: niską porowatością, wysoką jednorodnością kolorystyczną, idealną równością powierzchni, nieskazitelnymi fugami, narożnikami i spoinami.

Proces profesjonalnej kosmetyki betonu obejmował: oczyszczenie ubytków, zwilżenie wodą powierzchni betonowej, uzupełnienie odpowiednio dobraną masą szpachlową, mechaniczną obróbkę uzupełnień, mającą na celu odtworzenie ostrości krawędzi i gładkości powierzchni, scalanie kolorystyczne, umożliwiających subtelne wyrównanie odcienia. Dzięki przeprowadzonym działaniom uzyskano estetyczną i spójną

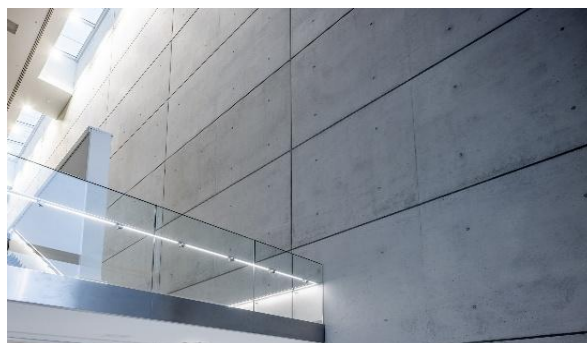
powierzchnię betonową, zgodną z pierwotną wizją architekta oraz wymaganiami najwyższej klasy ekspozycyjnej.

3.4 Wejście południowe Targów Düsseldorf *Messe Düsseldorf SÜD* (Düsseldorf, Niemcy)

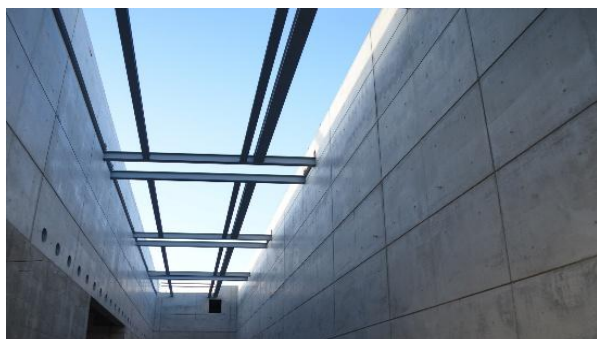
Południowe wejście Targów w Düsseldorfie jest jednym z najnowocześniejszych i wielofunkcyjnych miejsc wystawienniczych pod względem architektonicznym i funkcjonalnym na skalę światową. Usytuowany tuż nad brzegiem Renu jest symbolem architektury nowoczesnej, która przenika się z naturą dzięki półprzeźroczystemu zadaszeniu i przeszklonej w całości fasadzie.



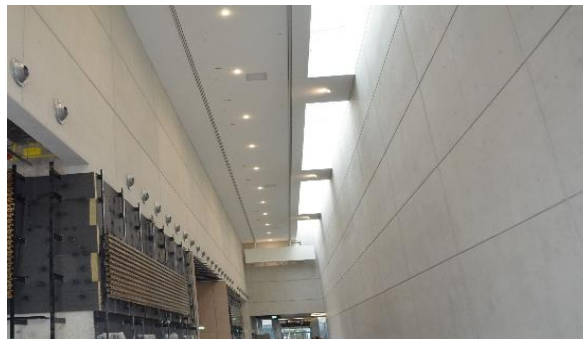
Fot. 8 Beton przed Betonkosmetik, BEKO Betondesign (S. Wieczorek)



Fot. 9 Beton po zabiegu Betonkosmetik, BEKO Betondesign (S. Wieczorek)



Fot. 9 Ściany betonowe przed Betonkosmetik, BEKO Betondesign (S. Wieczorek)



Fot. 8 Ściany betonowe po Betonkosmetik, BEKO Betondesign (S. Wieczorek)

Zapewnia to też dostęp światła dziennego, które pięknie eksponuje zastosowany w Foyer beton, podkreślając kontrast między surowością betonu, a przyrodą.

W związku z reprezentacyjnym charakterem obiektu, ściany w foyer wymagały miejscowej korekty kolorystycznej i strukturalnej, której celem było zachowanie harmonijnego charakteru całej powierzchni. Na betonie zdiagnozowano lokalne przebarwienia i ubytki powierzchni w postaci skupisk pęcherzyków powietrza, gniazd żwirowych, a także ubytków w krawędziach, fugach oraz otworach kotwicznych. Ponadto powierzchnia płyt betonowych nie była jednolita pod względem haptycznym, dlatego też prace z zakresu kosmetyki betonu rozpoczęto od profesjonalnego oczyszczania mechanicznego. W następnej kolejności uzupełniono wszystkie ubytki, zrekonstruowano krawędzie i fugi, wyrównano ich powierzchnię i przystąpiono do retuszu kolorystycznego i korekty barwnej. Wykonano je w technice scalenia punktowego oraz całościowego. Kosmetykę betonu zakończono hydrofobizacją wszystkich betonów, w celu ich zabezpieczenia.

3.5 Pierwsza fabryka POSCO International Poland E-Mobility, (Brzeg Polska)

Pierwsza w Polsce fabryka koreańskiej firmy POSCO ma mieć docelowo powierzchnię 21 000 m², a w części produkcyjnej wytwarzane będą rdzenie do silników samochodów



Fot. 12 Beton przed Betonkosmetik BEKO Betondesign (M.Bryl)



Fot. 13 Beton po Betonkosmetik BEKO Betondesign (M.Bryl)

elektrycznych, hybrydowych i wodorowych. W związku z charakterem obiektu i tempem budowy, w realizacji zastosowano beton konstrukcyjny prefabrykowany, czyli wytworzony w zakładzie przemysłowym i montowany na placu budowy. Prefabrykaty betonowe zdobywają coraz większą popularność w budownictwie ze względu na ich uniwersalność, koszty produkcji i gwarancję jakości. Dzięki produkcji w kontrolowanych warunkach ich właściwości fizyczne i mechaniczne oraz walory estetyczne określone są jako doskonałe. Niestety w rzeczywistości nie są one wolne od błędów, a podczas ich transportu i montażu niejednokrotnie dochodzi do ich uszkodzeń. Tak było również w tym przypadku. Elementy betonowe klatek schodowych obiektu cechowały liczne wady strukturalne i barwne o różnym stopniu intensywności. Na ich powierzchni można było zdiagnozować przebarwienia ciągłe horyzontalne i wertykalne (zacieki) oraz ubytki lica w formie ukruszeń, ułamań krawędzi oraz miniubytków (pęcherzyków powietrza) i gnizad żwirowych. Po analizie stanu zachowania powierzchni betonowych i koncepcji wizualnej poddano zabiegom z zakresu kosmetyki betonu wykonano rekonstrukcję struktury powierzchni oraz barwnej betonu, nadając jej charakter dekoracyjny. Po wykonaniu szczegółowej dokumentacji fotograficznej przystąpiono do wstępnego oczyszczania mechanicznego betonów z luźnych i powierzchniowych zabrudzeń. W następnej kolejności dokonano rekonstrukcji strukturalnej powierzchni, fug, krawędzi. W etapie końcowym ujednolicono wcześniej opracowane mechanicznie uzupełnienia i zunifikowano je kolorystycznie metodą retuszy lokalnych.

3.6 Kościół pw. św. Alberta Wielkiego, Rzeźba Matki Boskiej z Dzieciątkiem, Hanns Breitenbach (Gliwice Polska)

Rzeźba Matki Boskiej z Dzieciątkiem Jezus znajduje się na elewacji południowo-zachodniej wieńczącej jego wejście główne. Została wykonana w okresie międzywojennym w technice odlewu betonowego z wykorzystaniem masy o różnorodnym uziarnieniu oraz wzmocniona wewnętrzną konstrukcją zbrojeniową i mocowaniem w jej tylnej części. Składa się z prawie pełnoplastycznej figury Matki Boskiej trzymającej Dzieciątko Jezus stojące na postumencie z półplastycznym herbem papieskim oraz tylnej części – ściany kościelnej będącej tłem obiektu. Ze względu na



Fot. 14 Figura przed renowacją BEKO Betondesign, (S. Wieczorek)

historyczną wartość obiektu, poddano go zabiegom renowacyjno-restauratorskim z wykorzystaniem kosmetyki betonu. Dokonano analizy stanu zachowania i techniki wykonania, określając przyczyny zniszczeń. Powierzchnia obiektu była pokryta wtórną warstwą barwną, częściowo wypłukaną. Odsłonięte fragmenty oryginalnego betonu odznaczały się korozją, licznymi spękaniem i odspojeniami, a także nawarstwieniami biologicznymi i sztuczną patyną. Zdiagnozowano także proces korozji zbrojenia i mocowania. Celem zabiegów renowacyjnych i kosmetycznych było ustabilizowanie i zabezpieczenie substancji zabytkowej oraz przywrócenie czytelności pod względem formalnym. W związku z tym figurę i jej tło poddano procesom oczyszczania, wzmacniania i rekonstrukcji rzeźbiarskiej i rekonstrukcji złoczeń oraz kosmetyki powierzchni betonu. W końcowym etapie figura została poddana hydrofobizacji w celu ochrony przed niszczącymi czynnikami zewnętrznymi.



Fot. 15 Figura po renowacji BEKO Betondesign (A. Stawiszyńska)

4. Podsumowanie

Beton – niegdyś wyłącznie materiał techniczny i konstrukcyjny, którego walory artystyczne i estetyczne przez stulecia były ignorowane – dziś staje się symbolem autentyczności, prostoty, a nawet luksusu. Surowy w swej formie, pierwotnie kojarzony z inżynierią i funkcjonalnością, obecnie znajduje się w centrum współczesnych poszukiwań estetycznych w architekturze i sztuce.

Dzięki swojej plastycznej naturze beton oferuje niemal nieograniczone możliwości ekspresji. W rękach architektów, artystów i projektantów staje się uniwersalnym medium, łączącym funkcję konstrukcyjną z wymiarem estetycznym, emocjonalnym i symbolicznym. Coraz częściej to właśnie jakość oraz wygląd powierzchni betonowych decydują o odbiorze całego dzieła architektonicznego, a ich forma staje się kluczowym środkiem wyrazu.

Pomimo dynamicznego rozwoju technologii oraz rosnącego doświadczenia w pracy z betonem, proces jego wytwarzania wciąż pozostaje niedoskonały. Zarówno mieszanki betonowe wykonywane in situ, jak i te produkowane przemysłowo, często nie są wolne od wad i defektów wizualnych – takich jak przebarwienia, pory, ubytki czy spęknięcia. Co istotne, diagnoza tych nieprawidłowości możliwa jest dopiero po całkowitym wysezonowaniu betonu, co sprawia, że nie da się ich w pełni kontrolować na etapie produkcji.

W odpowiedzi na te wyzwania powstała potrzeba korekty powierzchni betonowych – jako końcowego etapu ich formowania, mającego na celu uzyskanie oczekiwanych efektów wizualnych, a także poprawę ich trwałości i funkcjonalności. Na te potrzeby odpowiada technika kosmetyki betonu (Betonkosmetik), która – prawidłowo wykonana

– nie tylko poprawia estetykę materiału, lecz także chroni jego powierzchnię przed wpływem czynników atmosferycznych, chemicznych i mechanicznych.

Ponad wszystko jednak, zabiegi kosmetyczne umożliwiają właściwe przeżywanie i odbiór architektury jako dzieła sztuki – zgodnie z intencją autora. Dlatego wykonanie Betonkosmetik wymaga najwyższej staranności, głębokiego zrozumienia zarówno problematyki technicznej, jak i estetycznych założeń projektu oraz świadomego doboru materiałów. Z tych względów zabiegi te powinny być realizowane przez profesjonalne firmy specjalizujące się w tej dziedzinie, mające wieloletnie doświadczenie i dysponujące kadrą ekspercką.

5. Bibliografia

- [1] Botton A. de, *The Architecture of Happiness*, Penguin Books, London 2014.
- [2] *Beton w architekturze – od brutalizmu po nowoczesne formy*, Architekt.net.pl, [online], online: <https://architekt.net.pl/beton-w-architekturze-od-brutalizmu-po-nowoczesne-formy/>.
- [3] *Beton w architekturze – od Le Corbusiera do płyt elewacyjnych*, Infoarchitekta.pl, online: <https://www.infoarchitekta.pl/artykuly:3-nowosci-firmowe:10965-beton-w-architekturze-od-le-corbusiera-do-plyt-elewacyjnych.html>.
- [4] *Beton w budownictwie przemysłowym – zalety i zastosowanie*, betoniarniagorki.pl, online: <https://betoniarniagorki.pl/2023/06/14/beton-w-budownictwie-przemyslowym-zalety-i-zastosowanie/>
- [5] *Beton w nowoczesnym budownictwie – rodzaje, właściwości i zastosowania*, Biuroekspertyz.com.pl, online: <https://biuroekspertyz.com.pl/beton-w-nowoczesnym-budownictwie-rodzaje-wlasciwosci-i-zastosowania/>.
- [6] *Cement portlandzki*, Encyklopedia PWN, online: <https://encyklopedia.pwn.pl/haslo/cement-portlandzki;3885033.html>.
- [7] Gonçalves A. R., Andrade D. da S., Pereira P. H. M., Silva Neto E. A. da, *Tectonic expression in contemporary architecture: The use of compacted concrete in Peter Zumthor's Bruder Klaus Chapel*, „ARACE – Architecture, Arts and Environment”, Vol. 2, No. 5 (2023), s. 1–14, online: <https://periodicos.newsciencepubl.com/arace/article/download/2530/3277/10139>
- [8] Gralińska-Grubecka A., *Procesy korozyjne i konserwacja profilaktyczna rzeźb z betonu*, ResearchGate.net, online: https://www.researchgate.net/publication/351736122_Procesy_korozyjne_i_konserwacja_profilaktyczna_rzezb_z_betonu.
- [9] Gralińska-Grubecka A., *Problematyka badawczo-konserwatorska kolekcji żelbetowych popiersi autorstwa Jerzego Sobocińskiego*, ResearchGate.net, online: https://www.researchgate.net/publication/351735951_Problematyka_badawczo-konserwatorska_kolekcji_zelbetowych_popiersi_autorstwa_Jerzego_Sobocinskiego_z_Muzeum_Narodowego_Rolnictwa_i_Przemyslu_Rolno_Spozywczego_w_Szrenia_wie.
- [10] Gropius W., *Pełnia architektury*, Karakter, Kraków.

- [11] Jamroży Z., *Beton i jego technologie*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa Kraków 2000.
- [12] Jasiński W., Mazurkiewicz E., Gracysz- -Rybka M., Laska W., 2020, Badania półprzezroczystych farb żelazo-krzemianowych stosowanych na betonowych i żelbetowych obiektach inżynierskich, „Builder” 08 (277). DOI: 10.5604/01.3001.0014.3018.
- [13] Kozłowski T., *Współczesna architektura potrzebuje betonu*, publikacja ekspercka, Dni Betonu 2016.
- [14] Kuniczuk K., *Beton architektoniczny. Wytyczne techniczne*, Stowarzyszenie Producentów Cementu, Kraków 2011.
- [15] Macdonald S. (red.), *Concrete: Case Studies in Conservation Practice*, Getty Conservation Institute, Los Angeles 2019.
- [16] Małachowicz E., *Konserwacja i rewaloryzacja architektury w środowisku kulturowym*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław.
- [17] Peck M., Bosold D., Bose T., *Technik des Sichtbetons. Planung und Ausführung von Sichtbetonflächen*, Verlag Bau+Technik GmbH, Düsseldorf 2016.
- [18] Rasmussen S. E., *Odczuwanie architektury, Karakter*, Kraków.
- [19] Schulz J., *Handbuch Sichtbeton – Beurteilung und Abnahme*, Verlag Bau+Technik GmbH, Düsseldorf 2016.
- [20] *Słownik terminologiczny sztuk pięknych*, red. S. Kozakiewicz, PWN, Warszawa 1976.
- [21] Zabytki kamienne i metalowe, ich niszczenie i konserwacja profilaktyczna, red. W. Domasłowski, Wydawnictwo Naukowe UMK, Toruń 2011.

dr inż. arch. Anna Mielnik, Prof. PK, dr inż. arch. Marek Początko
Katedra Projektowania Architektonicznego, Wydział Architektury Politechniki
Krakowskiej

Casa del Portuale – opuszczone arcydzieło brutalizmu

Casa del Portuale - Abandoned Masterpiece of Brutalism

Streszczenie

W niniejszym esej zagadnienie betonu architektonicznego zostaje analizowane poprzez „studium przypadku” ważnego dla włoskiej architektury brutalistycznej *Casa del Portuale* w Neapolu. Dom Portowy autorstwa Aldo Loris Rossi’ego, budynek przeznaczony dla pracowników portu, wzniesiony został w latach 1968-1980. Ta megastruktura stanowiąca punkt orientacyjny widoczny od strony morza, od strony lądu jest fizycznie odizolowana, niewidoczna i niedostępna, ukryta wśród portowych budowli. Monumentalna bryła z surowego betonu i szkła o bardzo skomplikowanej, rozbudowanej, rzeźbiarskiej formie, łączy w sobie cechy organiczne, ekspresjonistyczne, futurystyczne i konstruktywistyczne. Ze względu na wręcz eksplozję płaszczyzn i brył zyskał określenie „neobarokowego”. Budynek jest niezwykłym przykładem badania w owym czasie, możliwości żelbetu.

Tylko dzięki elastyczności materii betonowej możliwe stało się stworzenie tej niezwyklej, nawet dziś, budowli. To dzieło o dużym znaczeniu historyczno-krytycznym niestety popada w ruinę. Tekst bada relacje między formą architektoniczną a technologią (tu betonową) jako pojęciami nierozłącznymi. Odwołując się do tego przykładu esej stawia pytania dotyczące dziedzictwa brutalistycznej architektury betonowej.

Abstract

In this essay, the concept of architectural concrete is explored through a case study of the Casa del Portuale in Naples, a landmark in Italian Brutalist architecture. Designed for port workers by Aldo Loris Rossi, the Port House was built between 1968 and 1980. This megastructure, a landmark visible from the sea, is physically isolated, invisible, and inaccessible from the land, hidden among the port buildings. A monumental mass of raw concrete and glass, with a highly complex, expansive, sculptural form, it combines organic, expressionist, futuristic, and constructivist

features. Due to the sheer explosion of planes and volumes, it was called "neo-baroque". The building is an extraordinary example of the exploration of the possibilities of reinforced concrete at the time.

Only thanks to the flexibility of concrete was the creation of this extraordinary structure, even today, possible. This work of great historical and critical significance is unfortunately falling into disrepair. The text explores the relationship between architectural form and technology (in this case, concrete) as inseparable concepts. Drawing on this example, the essay raises questions about the legacy of Brutalist concrete architecture.

1. Wstęp

W latach powojennych zaczęła być widoczna nowa tendencja w architekturze, będąca wyrazem buntu wobec sztywności zasad i języka stylistycznego ruchu modernistycznego. Charakteryzowała się ciężkimi, tektonicznymi bryłami o dużej skali, przyjmującymi niezwykle, rozbudowane, ekspresyjne formy, wyrazistymi powierzchniami elewacji oraz eksponowaniem materiałów w stanie surowym. Ich istota miała być ukazana w sposób obiektywny: beton, szkło, cegła, stal musiały zostać użyte bez formalnego pośrednictwa. Tendencję, która zaczęto określać mianem brutalizmu¹, wzięła nazwę od dominującego materiału budowlanego w języku francuskim *béton brut*. "Brutalizm nie zajmuje się materiałem jako takim, ale raczej jego jakością... widzeniem ich takimi, jakimi są: drewnianością drewna, piaskowością piasku"² – tak charakteryzował dążenie do uczciwości materiałów Peter Smithson brytyjski prekursor nurtu brutalistycznego. Wraz z rozprzestrzenieniem się tego pojęcia na skalę globalną, słowo brutalizm zaczęto coraz częściej kojarzyć właśnie z wykorzystaniem surowego betonu, który stał się idealnym materiałem do definiowania brył zmierzających w kierunku rzeźbiarskiej monumentalności. Beton – otwarty na przekształcania, zawsze na tyle niejednoznaczny, że można za jego pomocą projektować nowe treści – stał się ważnym medium do tworzenia eksperymentów architektonicznych³. Architekturę brutalizmu zdominowało użycie niewykończonego betonu z kontrastowymi, wyraźnie teksturowanymi powierzchniami, z widocznym deskowaniem lub obrobionego mechanicznie. Beton stał się wyrazem dążenia do tworzenia poczucia masy, ciężaru, skali i mocnego, dramatycznego wyrazu budowli. Modernistyczne gładkie, białe pudełka i ściany kurtynowe zastąpił surowy beton. Twórcy różnych szerokości geograficznych (od Europy po Afrykę i Indie) w umiejętny sposób wykorzystali szorstką poezję tej materii.

Brutalizm, który narodził się w Wielkiej Brytanii, rozprzestrzenił się w Europie i poza nią, adaptując się do różnych kontekstów regionalnych i kulturowych. We

¹ Uważa się, że brytyjski krytyk architektoniczny Reyner Banham wymyślił tę grę słów, gdy opublikował w grudniu 1955 r. artykuł zatytułowany: *The New Brutalism*. Jego kolejna książka *The New Brutalism: Ethic or Aesthetic*, opublikowana w 1966 r., jedynie wzmocniła kulturowe znaczenie architektury brutalistycznej i sprawiła, że termin ten wkroczył do języka potocznego.

² "Brutalism is not concerned with the material as such but rather the quality of material...the seeing of materials for what they were: the woodness of the wood; the sandiness of sand"
[w:] <https://magazine.artland.com/brutalist-architecture-the-defining-style-of-the-20th-century/> (data dostępu: 10.05.25)

³ A. Sharr, *Modern Architecture. A very Short Introduction*. Oxford 2018, s.73.

Włoszech ruch ten znalazł swój unikalny wyraz, łącząc surową estetykę z bogatym dziedzictwem architektonicznym tego kraju.



Fot. 1. BBPR, Torre Valasca, Mediolan, 1955-1957 (foto. A. Mielnik)

2. Brutalizm włoski

Po II wojnie światowej włoscy architekci chcieli zdystansować się od monumentalnej architektury reżimu faszystowskiego, zachowując jednocześnie modernistyczne ideały. Zaowocowało to powstaniem unikalnej wersji brutalizmu, która szanowała lokalne tradycje, a jednocześnie eksplorowała nowe formy. Architekci włoscy opracowali formę nowoczesnej architektury, która angażowała tradycyjne metody i materiały, czerpiąc z nieskażonych odniesień historycznych (Fot. 1, 2). To właśnie mnogość odwołań do przeszłości wchłoniętych w nowoczesne konstrukcje jest powtarzającą się cechą brutalistycznych budynków włoskich, nadając im unikalną tożsamość⁴.

⁴ <https://www.domusweb.it/en/architecture/2022/03/18/the-signs-of-neglect-on-aldo-loris-rossis-architecture.html> (data dostępu: 15.04.25)

Włoskie podejście do brutalizmu różni się od podejścia twórców z innych regionów ze względu na bogatą historię architektoniczną tego kraju. Włoskie budynki brutalistyczne zachowują funkcjonalną surowość tego nurtu, jednocześnie nawiązując do historii i symboliki kulturowej.



Fot. 2. Carlo Aymonino, Aldo Rossi, Monte Amiata, Mediolan, 1987-1974 (foto. A. Mielnik)

Adrian Forty we wprowadzeniu do książki *Brutalist Italy*⁵ pisze, że włoscy architekci rozwinęli swój własny, osobliwy sposób pracy z materiałem betonowym. Badając struktury betonowe we Włoszech odkrył ze zdziwieniem, że beton jest tam używany w sposób semantycznie bardziej złożony. W XX wieku beton był traktowany jako medium zorientowane na przyszłość. Bardziej niż jakikolwiek inny materiał, był postrzegany jako „zachęcający”, a nawet „zobowiązujący” do wynalazczości i eksperymentowania, a budowanie z betonu stanowiło dowód niezwykłych umiejętności architektów i konstruktorów⁶.

Podczas gdy brutalizm w innych miejscach często koncentrował się na futurystycznych wizjach, architekci włoscy podkreślali, że beton może równocześnie reprezentować przeszłość (beton zdaje się być we Włoszech bardziej osadzony w kulturze) i przyszłość. Mieszali tradycję i porządki, podważali zasady konstrukcyjne. W budowlach klasyfikowanych jako brutalistyczne krzyżowali różne historyczne i badawcze ścieżki – racjonalne, postmodernistyczne, organiczne, wykorzystując do tego surowy beton. Beton we Włoszech stanowił sprzeciw wobec czystej technologii. Forty wskazuje, że być może właśnie większa chęć uchwycenia niejednoznaczności

⁵ A. Forty, *Introduction*, [in:] R. Conte, S. Perego, *Brutalist Italy*, Fuel Publishing, 2023, s. 5

⁶ Ibidem, s. 7-8

tej materii i rozpoznania jego pluralizmu zapewniła przetrwanie heroicznej ery betonu we Włoszech dłużej niż w innych krajach⁷.

Jednym z niezwyklej dzieł architektonicznych włoskiego brutalizmu, świadczącym o wybitnym kunszcie technicznym i artystycznym w projektowaniu z użyciem betonu jest *Casa del Portuale* w Neapolu (fot. 3.)⁸. Budynek, który do dziś wyraża wizjonerską moc i rękę „budowniczego utopii” Aldo Loris Rossiego.⁹



Fot. 3. Aldo Loris Rossi, Casa del Portuale, Neapol, 1968-1980 (foto. A. Mielnik)

⁷ Ibidem, s. 8

⁸ Drugim brutalistycznym obiektem autorstwa A.L. Rossiego w Neapolu jest kompleks mieszkaniowy *Piazza Grande* (1989)

⁹ D. Vargas, Aldo Loris Rossi – *Casa del Portuale*(1978), *Piazza Grande* (1989), *Naples Italy* [w:] DOMUS 03.2022, s. 12

3. Casa del Portuale

Casa del Portuale autorstwa Aldo Loris Rossiego, budynek przeznaczony dla pracowników portu, wzniesiony został w latach 1968-1980 we wschodniej części portu w Neapolu. Pomimo, iż nosi dzisiaj ślady zaniedbania, nadal widoczne są w tym niezwykłym dziele determinacja autora by przełamać schematy i jego techniczne mistrzostwo w obchodzeniu się z materią betonową.

Budynek został zlecony Aldo Loris Rossiemu (1933-2018) przez C.U.L.P (Campagna Unica Lavoratori Portuali), spółdzielnię świadczącą usługi portowe w regionie Neapolu. Budynek ukończony w 1980 roku mieścił biura administracyjne, pomieszczenia socjalne, usługowe, techniczne, archiwum, restaurację (na najwyższym poziomie), parking, miał także służyć jako ośrodek szkoleniowy dla pracowników portu.



Fot. 4. Aldo Loris Rossi, Casa del Portuale, Neapol, 1968-1980 (foto. A. Mielnik)

Fot. 5. Aldo Loris Rossi, Casa del Portuale, Neapol, 1968-1980 (foto. M. Początko)

Budynek stanowi punkt orientacyjny widoczny z morza. Jego charakterystyczna sylwetka wznosi się ponad kontenery i obiekty portowe. Jest monumentalną bryłą ze zbrojonego betonu, skomponowaną z ogromnej ilości form. To architektoniczna erupcja obłych kształtów, ostrych krawędzi i odważnych wsporników. Składa się z dwóch wyraźnych części, wydłużonej horyzontalnej podstawy i dziesięciopiętrowej wieży. Dwanaście pionowych, pustych cylindrów (Fot. 6) tworzy strukturalne jądro *Casa del Portuale*, do którego przymocowane są wspornikowo na różnych poziomach kolejne platformy, bryły o zróżnicowanych kształtach i wielkościach, w artykulacji poziomej i pionowej, organicznych i prostokreślnych, wypukłych i wklęsłych, przeszklonych i pełnych, mieszczących różne funkcje. Cylindry wykorzystywane są jako przestrzenie mieszczące infrastrukturę pionową (np. klatki schodowe, windy i linie

energetyczne), co było rozwiązaniem technicznym wyjątkowo eksperymentalnym jak na tamte czasy¹⁰. Dynamika kompozycja polega na odepchnięciu odśrodkowo, eksplozji brył skoncentrowanych wokół centralnego jądra. Formę charakteryzuje niezwykle „wybuchowa energia” płaszczyzn i objętości rozszerzających się w przestrzeń.



Fot. 6. Aldo Loris Rossi, Casa del Portuale, Neapol, 1968-1980 (foto. M. Początko)

Struktura pozbawiona oczywistego frontu i tyłu, bez centrum i bez hierarchii. Jej styl architektoniczny łączy w sobie organiczne morfologie, wpływy ekspresjonistyczne, futurystyczne i konstruktywistyczne. Można dopatrzeć się inspiracji rzeźbami Umberto Boccioniego. Jak w rzeźbach futurystycznych, prawda ruchu była przekazywana za pomocą abstrakcyjnych środków, *Casa del Portuale* przypomina zastygłą w ruchu maszynę.

Wydłużony blok, osłaniający parking przywodzi na myśl wzniesioną nad ziemią rufę statku (Fot. 5), jest od drugiej frontowej strony formalnie mocno osadzony w terenie tu z kolei nawiązując do muskularnego wzmocnienia brzegu, rafy, skały lub elementu fortyfikacji i równoważą wznoszącą się z podstawy bryłę wieży. Tam znajduje

¹⁰ https://www.docomomoitalia.it/wp-content/uploads/2024/03/MF_52.pdf (data dostępu: 16.04.2025)

się rampa wejściowa do budynku (Fot. 4). Dynamika zewnętrzna jest również obecna we wnętrzach.

Ta niezwykle ekspresjonistyczna budowla z jednej strony kontrastuje z otoczeniem (wysokością i formą) nawiązując jednak wizualnie do bliższych lub dalszych elementów miasta – portowych dźwigów, gazometrów, silosów, sklepienia modernistycznego Targu Rybnego¹¹ (proj. Luigi Cosenza, 1929) i dzwonnicy kościoła Santa Maria del Carmine. W 1981 roku, na łamach magazynu DOMUS nr 617, włoski krytyk Gillo Dorfles opisał architekturę Rossiego jako neobarokową podkreślając swobodę kompozycyjną i strukturalną oraz figuratywną intensywność.¹²

Dzieło skupia w sobie brutalizm formy i materii. Użycie zbrojonego betonu wylewanego na miejscu, nie tylko dało swobodę stworzenia tak wymagającej strukturalnie formy, nie ograniczonej tradycyjnym układem kolumn i belek. Surowy beton, o podkreślonej fakturze (odbicia szalunków, deskowań (Fot. 7,8)), stanowiącej jedyny detal, stanowi tu wyraz dążenia do szczerości i naturalności materii. Wzmacnia też grę brył w świetle. Taki użyty materiał miał być nie tylko nośnikiem wartości estetycznych lecz etycznych. „Beton surowy i niewykończony ukazuje się jako synonim myślenia o powrocie do humanizmu przestrzeni architektonicznej”.¹³ Wyraża zaangażowanie w transformację społeczną. Napis „C.U.L.P.” na fasadzie odzwierciedla genezę wywodzącą się ze związków zawodowych, czyniąc go ważnym świadectwem upodmiotowienia pracowników. Arcydzieło architektonicznej innowacji dla pracowników portowych, ucieleśnia eksperymentalną, społecznie świadomą architekturę epoki.



III. 7. Aldo Loris Rossi, Casa del Portuale, Neapol, 1968-1980 (foto. M. Początko)

¹¹ Budynek oddalony o kilkaset metrów, również odizolowany i zaniedbany.

¹² D. Vargas, *Aldo Loris Rossi – Casa del Portuale*(1978), *Piazza Grande* (1989), *Naples Italy* [w:] DOMUS 03.2022, s. 14-15

¹³ M. Charciarek, *Związki idei i materii w architekturze betonowej*, Politechnika Krakowska, Kraków 2015, s. 138.

Brutalistyczna poetyka tej budowli sprawiają że nadal uważana jest ona za jedną z najważniejszych dzieł drugiej połowy XX wieku w Neapolu. Budynek został ujęty w wystawie „History and Counter-History of Italian Architecture 1944-2000”, która odbyła się w muzeum MAXXI (25.04-15.09.2018r.), poświęconej wielkiemu historykowi, wykładowcy, krytykowi, politykowi i projektantowi Bruno Zevi, a także nowoczesnej i współczesnej architekturze włoskiej, którą wspierał i promował swoją pracą. To dzieło o dużym znaczeniu historyczno-krytycznym, cytowane i dyskutowane, dziś boryka się z dwoma poważnymi problemami: opuszczeniem i zaniedbaniem (Fot. 9). Obecnie w budynku częściowo mieszczą się biura C.U.L.P. Większa część budynku jest nieużytkowana. Jest pusta i opuszczona. Stan techniczny budynku jest bardzo zły. Kondycja elewacji wskazuje na ogólny brak konserwacji budynku, z oznakami uszkodzeń spowodowanych użytkowaniem i czynnikami klimatycznymi.

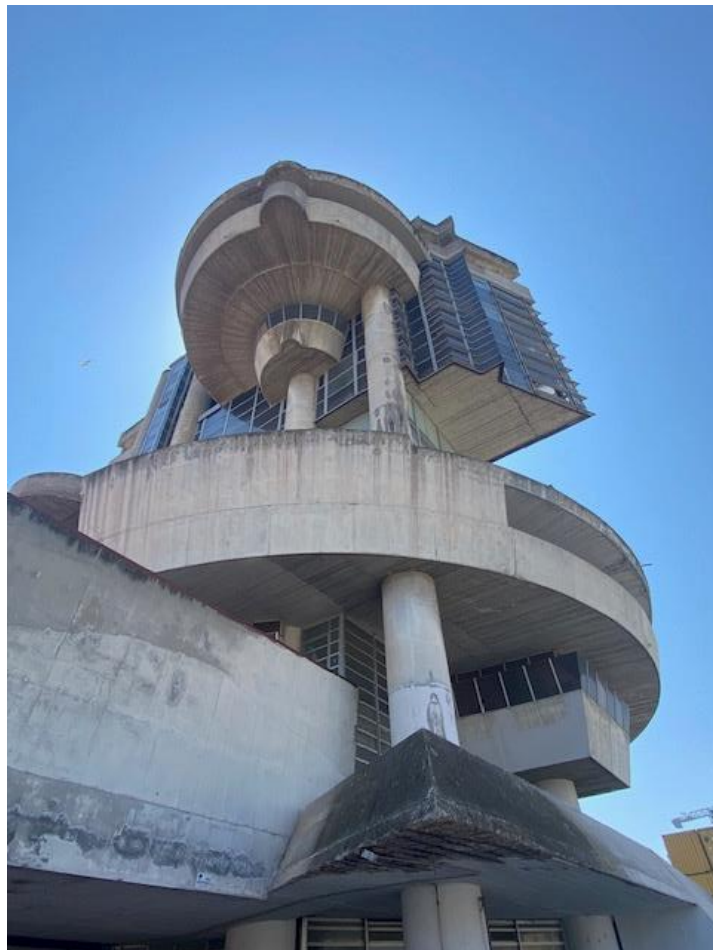


III. 8. Aldo Loris Rossi, Casa del Portuale, Neapol, 1968-1980 (foto. M. Początko)

Tylko dwa z dziewięciu pięter są nadal wykorzystywane przez C.U.L.P., której liczba członków na przestrzeni dziesięcioleci spadła z 1200 w latach 90. do 65 członków; kolejne cztery piętra zajmują firmy działające w porcie; dwa są niewykorzystane, podobnie jak kilka dużych pomieszczeń w przyziemiu¹⁴.

Drugi to problem konstrukcyjny: użycie surowego betonu wymaga stałej i kosztownej konserwacji, która nigdy nie miała miejsca w ciągu ponad czterdziestu lat istnienia budynku. Niezbędne wydają się być dwie inicjatywy, projekt waloryzacji obiektu, mający na celu pełne wykorzystanie przestrzeni i funkcji zgodnych z wartością i rodzajem budynku. Ze względu na trudne usytuowanie budynku, oczywistym i najbardziej odpowiednim jest kontynuowanie podobnych funkcji. Jednocześnie konieczne jest przygotowanie projektu renowacji, także aktualizacja systemów technicznych. Obiekt niewątpliwie zasługuje na inną przyszłość niż popadanie w ruinę.

Akceptacja a wręcz celebrowanie niedoskonałości jako ważnej cechy surowego betonu jest ważną częścią „architektury betonowej”, jednak *Casa del Portuale* przekroczyła już granicę akceptacji degradacji.



Fot. 9. Aldo Loris Rossi, Casa del Portuale, Neapol, 1968-1980 (foto. A. Mielnik)

¹⁴ P. Belfiore, *La solitudine degli edifici del moderno. La Casa del Portuale*, 2022, [w:] <https://www.nagora.org/la-solitudine-degli-edifici-del-moderno-la-casa-del-portuale> (data dostępu: 23.04.2025)

4. Podsumowanie – architektura a czas

Czas i grawitacja to dwie siły, z którymi musi się mierzyć architektura. Architektura jest ciągłą próbą panowania nad grawitacją. Czasu nie da się kontrolować, można mu towarzyszyć i próbować znosić nieustanne jego ataki i zmiany przez niego przynoszone. Jak pisze Jean Nouvel "architektura próbuje zaprzyjaźnić się z tym nieodłącznym towarzyszem, który może zacząć ją głaskać i polerować, nadawać mu patynę lub obwieszać mchem i winoroślą, a nawet ujawniać faktury jego ścian i dachów".¹⁵ Jest to pozytywne podejście akceptujące a nawet afirmujące znaki czasu. Le Corbusier porównywał skazy i pęknięcia twardej, betonowej skorupy do zmarszczek i blizn na skórze starego człowieka.¹⁶

Jednym ze sposobów opanowania czasu jest próba zrozumienia historii. Jednak pomimo naszych wysiłków historia jest tylko uchwyconą pamięcią rzeczy. Mamy również do dyspozycji rozwiązanie w zakresie przebudowy, renowacji, pomysłowej transformacji i recyklingu, jednak nie zatrzymują one czasu. Inną tendencją dominującą w naszej kulturze współcześnie jest zatrzymywanie czasu, przyszłego i przeszłego, poprzez „sprowadzanie budynków do najniższych, wspólnych mianowników estetycznych”.¹⁷ Powstają budynki bezczasowe estetycznie, które jednak również podlegające jego wpływowi.

Wiele włoskich budowli brutalistycznych jak *Casa del Portuale* ucierpiało z powodu zaniedbania, inne zostały zniekształcone, a niektóre całkowicie porzucone. Jak mawiał Ernesto Nathan Rogers, trupy architektury pozostają nieopogrzebane. I tak jest w przypadku licznych dzieł brutalistycznych rozsianych po świecie, niezdolnych do nadążania za zmiennym biegiem potrzeb ekonomicznych, funkcjonalnych, ekologicznych. Naturalna fizyczna korozja materii betonowej, która charakteryzuje wiele dzieł tego nurtu, przyczyniła się właśnie do ukonkretnienia w zbiorowej wyobraźni ikonografii brutalistycznej architektury jako „niepochowanych zwłok”¹⁸. Niezrozumiane, były wskazywane jako ostrzeżenie przed przeszłością. Choć brutalizm na jakiś czas stracił uznanie, dziś jego architektoniczne dziedzictwo i jego kulturowe znaczenie jest na nowo odkrywane. Budynki niegdyś uważane za surowe i nieatrakcyjne są obecnie doceniane ze względu na swoją wartość historyczną i architektoniczną. Stanowi przykład tendencji, o nieprzemijającej sile estetycznej i wartości etycznej, polegającej próbie zmiany świata za pomocą architektury.

Co jednak począć, gdy żelbetowy monument traci swoją funkcjonalność, ulega technicznemu zużyciu, a idee, którym niegdyś służył, już dawno przebrzmiały¹⁹? Oczywiście można go zburzyć, jednak nie wspominając o aspektach straty kulturowej, rozbiórka i wznoszenie nowego budynku nie stanowi rozwiązania odpowiadającego na wyzwania klimatyczne i środowiskowe. Niewątpliwie betonowe dziedzictwo jest warte walki. „By architektura trwała musi być utrzymywana przy życiu, tak by mogła się przystosować do nowych warunków danych czasów”.²⁰

¹⁵ J. Nouvel, *Architecture and the (in)justice of time*, DOMUS, 03.2022, s. 1

¹⁶ B. Ciarkowski, *Dobry, zły i szczyry. O estetyce, etyce oraz ukrytych znaczeniach betonu*, „Herito” nr 53, s. 102.

¹⁷ <https://www.archdaily.com/1009576/why-time-is-a-problem-for-architects> (data dostępu: 16.06.2024)

¹⁸ Ch. Testoni, *Brutalism in Italy, 20 architectures you should know*, [in:] <https://www.domusweb.it/en/architecture/gallery/2023/05/18/20-brutalist-works-in-italy.html> (data dostępu: 15.04.25)

¹⁹ B. Ciarkowski, *Op. Cit.*, s. 109.

²⁰ J. Nouvel, *Op. Cit.*, s. 1

5. Literatura

- [1] P. Belfiore, *La solitudine degli edifici del moderno. La Casa del Portuale*, 2022, [w:] <https://www.nagora.org/la-solitudine-degli-edifici-del-moderno-la-casa-del-portuale> (data dostępu: 23.04.2025)
- [2] B. Ciarkowski, *Dobry, zły i szczery. O estetyce, etyce oraz ukrytych znaczeniach betonu*, „Herito” nr 53.
- [3] M. Charciarek, *Związki idei i materii w architekturze betonowej*, Politechnika Krakowska, Kraków 2015.
- [4] R. Conte, S. Perego, *Brutalist Italy*, Fuel Publishing, 2023.
- [5] J. Nouvel, *Architecture and the (in)justice of time*, “DOMUS”, 03.2022.
- [6] A. Sharr, *Modern Architecture. A very Short Introduction*. Oxford 2018.
- [7] Ch. Testoni, *Brutalism in Italy, 20 architectures you should know*, [in:] <https://www.domusweb.it/en/architecture/gallery/2023/05/18/20-brutalist-works-in-italy.html> (data dostępu: 15.04.25)
- [8] D. Vargas, *Aldo Loris Rossi – Casa del Portuale(1978), Piazza Grande (1989), Naples Italy* [w:] “DOMUS”, 03.2022.
- [9] <https://www.archdaily.com/1009576/why-time-is-a-problem-for-architects> (data dostępu: 16.06.2024)
- [10] https://www.docomomoitalia.it/wp-content/uploads/2024/03/MF_52.pdf (data dostępu: 16.04.2025)
- [11] <https://www.domusweb.it/en/architecture/2022/03/18/the-signs-of-neglect-on-aldo-loris-rossis-architecture.html> (data dostępu: 15.04.25)
- [12] <https://magazine.artland.com/brutalist-architecture-the-defining-style-of-the-20th-century/> (data dostępu: 10.05.25)

dr inż. arch. Grzegorz Twardowski
Politechnika Krakowska im. Tadeusza Kościuszki

Zagłuszanie estetyki.

Jamming Aesthetics.

Streszczenie

Tekst analizuje zmiany w postrzeganiu sztuki, estetyki i architektury w kontekście współczesnych przemian kulturowych, politycznych i ideologicznych. Współczesna estetyka, szczególnie w architekturze, odchodzi od tradycyjnych kryteriów oceny na rzecz teorii instytucjonalnej, która podkreśla rolę instytucji i rynku w definiowaniu sztuki. Witruwiańska triada określająca architekturę: piękno formy, dobro użyteczności i prawda konstrukcji odeszła w zapomnienie, ustępując miejsca powierzchownemu połyskowi i ekonomicznym interesom. Estetyka zostaje zagłuszona, wyparta, zredukowana do funkcji opakowania dla nowych „rozwiązań”, „systemów” i „koncepcji”. Współczesna sztuka odwraca się od kategorii piękna, podporządkowując się narracjom instytucjonalnym, rynkowym i ideologicznym. Dzieło przestaje być nośnikiem transcendencji – staje się produktem dyskursu. Należy zaznaczyć, że tworzenie nietrwałego świata architektury, kształtowanego przez manipulacyjne i ideologiczne techniki, przestała być wyrazem artystycznym, a stała się narzędziem wdrażania politycznych i społecznych dogmatów. Sztuka stała się narzędziem ideologicznym – zdominowana przez narracje ekologiczne, ekonomiczne, socjologiczne, a jej komercjalizacja obniżyła poziom kultury i gust odbiorców, promując masowy konsumpcjonizm i powierzchowność. Zamiast dążyć do ponadczasowej estetyki i trwałości, współczesna architektura podąża za modami i trendami, które mają wręcz dogmatyczny charakter. Narzucanie wręcz koncepcji takich jak „zrównoważony rozwój” czy „architektura społeczna” służą jako narzędzia w uzasadnianiu „pomysłów” nowej kultury i formowaniu „nowego człowieka”.

Abstract

This text analyzes the shifting perceptions of art, aesthetics, and architecture in the context of contemporary cultural, political, and ideological transformations. Contemporary aesthetics, particularly in architecture, is abandoning traditional criteria of evaluation in favor of institutional theory, which emphasizes the role of institutions and the market in defining art. The Vitruvian triad defining architecture: beauty of form, good utility, and truth of construction, has fallen into oblivion, giving way to superficial gloss and economic interests. Aesthetics is being stifled, repressed, reduced to a packaging function for new "solutions," "systems," and "concepts." Contemporary art is turning away from the category of beauty, subordinating itself to institutional, market, and ideological narratives. The work is no longer a vehicle for transcendence—it becomes a product of discourse. It is important to note that the creation of an unstable architectural world, shaped by manipulative and ideological techniques, has ceased to be an artistic expression and has become a tool for implementing political and social dogmas. Art has become an ideological tool – dominated by ecological, economic, and sociological narratives, and its commercialization has lowered the level of culture and consumer taste, promoting mass consumerism and superficiality. Instead of striving for timeless aesthetics and durability, contemporary architecture follows fashions and trends that are almost dogmatic in nature. The imposition of concepts such as "sustainable development" and "social architecture" serve as tools for justifying the "ideas" of a new culture and shaping a "new human."

1. Wprowadzenie

Prowadzenie przez amerykańskich estetyków analitycznych, takich jak Timothy Binkley, dyskusji na temat zasadności oceniania dzieł współczesnej sztuki według tradycyjnych kryteriów estetycznych, znanego jako „spór o estetyczną naturę sztuki”, zaowocowało powstaniem tzw. *instytucjonalnej teorii sztuki*. Teoria ta sugerowała rezygnację z oceniania dzieł sztuki według kryteriów estetycznych, na rzecz podejścia opisowego i klasyfikacyjnego, które uwzględnia przynależność dzieła do instytucji sztuki, czyli „świata sztuki”. Według tej teorii, decyzję o tym, co jest uznawane za sztukę, podejmują głównie artyści, instytucje artystyczne oraz różne osoby związane ze sztuką, takie jak krytycy, historycy sztuki czy kolekcjonerzy¹.

Nowa narracja estetyki (sztuki) wprowadza odbiorcę, w tym również „nabywcę” w zupełnie nowe otoczenie, ale pozbawione już źródeł kultury, w tym również m. in. Witruwiańskiej zasady. Porównując dziedzictwo architektoniczne minionych epok z współczesnymi realizacjami, można dostrzec wyraźny spadek zarówno wartości estetycznej, jak i trwałości budowli. Tam, gdzie dawniej wznoszono majestatyczne, monumentalne i trwałe dzieła, tam dziś, w epoce technologicznej wszechmocy, sztucznej inteligencji, cyfrowego komfortu i dobrobytu, człowiek proponuje architekturę, która, zamiast wyrażać duchową głębię czy kulturową ciągłość, lśni pustym splendorem i mierzy swoją wartość wysokością i połyskiem. Bowiem, jak

¹Zaimportowana z Nowego Jorku sztuka, nacechowana filuterną, naiwną, ironiczną, albo żartobliwą nieszczerością, wypełnia tak wiele galerii i sprzedaje się za tak wielkie sumy pieniędzy. [w:] M. Douglas, *Przedziwna śmierć Europy*, Zys i S-ka, Poznań 2017, s. 357.

pisał Douglasem Murray, *jeżeli za najlepszy miernik wartości danej cywilizacji uznamy pozostawione przez nią budowle, to nasi potomkowie nie będą o nas mieli najlepszego zdania. [...] Z kolei nasze elity intelektualne w najlepszym razie twierdzą, że świat jest skomplikowany, a my musimy się z tym pogodzić i nie szukać odpowiedzi*².

2. Zagłuszanie estetyki.

Maria Misiągiewicz podczas pierwszych „Dni betonu” w 2000 roku pisała, że *zdobywanie wiedzy i umiejętności pozwalających na poruszanie się w tak określonym świecie, presja elementarnych potrzeb, uwikłanie w konieczności narzucane poprzez coraz to nowe propozycje techniczno-materiałowe jakby zagłusza bezinteresowną kontemplację w sferze estetyki. Pojmowanie architektury w kategoriach sztuki zobowiązuje do symultanicznego myślenia i akceptowania techniki poprzez artystyczny pryzmat*³. Współcześnie sztuka, w kontekście estetyki, została zdominowana przez współczesną narrację m. in. ekologię, ekonomię, socjologię czy psychologię. Ten natłok, przesył i mnogość nowych pomysłów, dodatkowo nieustanna gonitwa za czymś nowym, życie w ciągłym biegu bez możliwości zatrzymania, ma na celu zamazanie realnej celowości życia człowieka. Nie ma on czasu, aby zastanowić się nad sensem tych poczynąń, ponieważ każda wolna chwila zostaje wypełniona przez atrakcyjne obrazy i rozrywki. Innymi słowy, serwuje nam się ideologię przesyłu, nieustannego dążenia do nowości, w której refleksja nad sensem ludzkiej egzystencji została zastąpiona przez natłok bodźców i obrazów.

Literatura, w tym literatura dotycząca architektury, znała Arystotelesowski *topos*⁴ nowości: *przynoszę rzeczy dotąd nieznane*⁵. Problem polega na tym, że rządzący światem sztuki w XIX w., system Salonów i Akademii, nadawał problematyce nowatorstwa szczególną ostrość⁶. Poglądy na rolę starego i nowego w doktrynach artystycznych, użytkowych, czy prawd konstrukcji dodatkowo zostało zagmatwane w momencie, gdy do myśli o sztuce przeniknęły też wpływy ze sfery dążeń społecznych, politycznych i ideologicznych, zmierzających do radykalnych przekształceń klasycznego pojmowania sztuki, estetyki i piękna. James Ackerman zwracał na to krytycznie uwagę podkreślając, iż zasadniczo tendencja do wprowadzenia przekształceń nie wiąże się z twórczością artystyczną, wynikającą przecież z potrzeby wytwarzania przedmiotów o specyficznych wartościach. Jednak przesycone dążeniem do zmiany i nowości inne dziedziny działania życia ludzkiego wywarły wpływ na myśl o sztuce, determinując jej zainteresowanie nowatorstwem⁷.

2.1. Wiedza – paradygmat epoki.

²D. Murray, *Przedziwna śmierć Europy*, T. Bieroń (przeł.), ZYSK I S-KA, wyd. 1, Poznań 2017, s. 342.

³M. Misiągiewicz, *Władanie betonową materią*, [w:] „Beton na progu nowego milenium”, Kraków 9–10 listopada 2000, Polski Cement, Kraków 2000, <https://www.dnibetonu.com/wp-content/pdfs/2000/02/misiagiewicz.pdf> (dostęp: 05.02.2025).

⁴Topos/komunał – twierdzenie bez dowodu, będące podstawą argumentacji. To pewna przesłanka argumentu, uznana za oczywistą, której nie trzeba udowadniać, lecz jedynie wyciągać z niej wnioski.

⁵E. R. Curtins, *European Literature and Latin Middle Ages*, New Yourk 1953, s. 85-86.

⁶J. Białostocki, *Refleksje i syntezy ze świata sztuki*, PWN, Warszawa 1987, s. 268.

⁷*Ibidem.*, s. 268-269.

Jeszcze w 2. połowie XX w Jan Białostocki pisał: *do zakresu zainteresowań nauki należy, oczywiście, zarówno to, co nowe i zmienne, jak to, co trwałe i prastare. Nauka może badać to, co ujawnia się w upływie czasu, ale i to, co stanowi pozaczasowe podłoże ludzkiej cywilizacji. Z drugiej strony nauka jako racjonalnie budowany zespół prawdziwych i sprawdzalnych orzeczeń o rzeczywistości, winna wypowiadać tylko zdania nowe, te tylko, które pomnażają istniejący stan wiedzy lub przedstawiają jego niezmienną dotychczas interpretację. Nauka jest procesem poznawczym; każdy jej krok musi prowadzić na teren dotychczas nierozpoznawalny. Ale poza nauką sięgającą wciąż szerzej i dalej, istnieje przecież refleksja sięgająca wciąż głębiej, nieodkrywająca nowego, lecz rozbudowująca stare. Oprócz nauki istnieje mądrość, która nie opiera się na nowych obserwacjach i na nowych odkryciach*⁸. Problem pojawia się, gdy na naszych oczach, w podstawowym rozumieniu kartezjańskim, nauka, mądrość czy racjonalizm nabierają zupełnie innego znaczenia i stają się obowiązującym, rewolucyjnym paradygmatem – drogowskazem »Drang nach Absoluten« (dążenie do absolutów), od jakobinów (dziś nazwalibyśmy ich lewicą), poprzez najbardziej wyrafinowaną niemiecką kulturę artystyczno-naukową, George’a B. Shawa, Jeana-Paula Sartre’a, Foucoult’a, Derridę, tzw. *szkołę frankfurcką*, „Nowy Babilon” etc., którzy doprowadzili społeczeństwo do najbardziej nierozumnych i nieracjonalnych czynów, jak i najstraszniejszych ustrojów swoich/naszych czasów i ludzkich cierpień.

W 1937 roku Max Horkheimer⁹ opublikował w USA „Teorię tradycyjną i krytyczną”¹⁰, w której przedstawił założenia *teorii krytycznej*¹¹ wprost: produktem „nowej wizji świata” ma być „nowy człowiek” o potrzebach zredukowanych do biologicznego minimum, pozbawiony wiedzy, która umożliwia mu racjonalną ocenę rzeczywistości. Podstawowym celem tej teorii jest radykalna zmiana całego systemu, „przewrócenie wszystkiego do góry nogami”. To przekonanie o patologicznym charakterze tradycyjnej kultury Zachodu i całkowita krytyka jej elementów: chrześcijaństwa, rodziny, moralności, kapitalizmu, tradycji, patriotyzmu etc. Kolejna książka, będąca wykładnią teorii krytycznej, była napisana, tuż po II Wojnie Światowej, autorstwa Theodora W. Adorno i Maxa Horkheimera „Dialektyka oświecenia”. Pojęcie kultury zostało utożsamione z oświeceniem. *Oświecenie w ujęciu marksistów ze szkoły frankfurckiej było symbolem abstrakcyjnego rozumu, który w dodatku miał podlegać instrumentalizacji*¹². Autorzy uznali, że to kultura europejska jest odpowiedzialna za zbrodnie holocaustu. W 1967 roku w USA Richard Rorty opublikował książkę „Zwrot lingwistyczny”¹³, w której głosił pogląd, że nie ma obiektywnej wiedzy o rzeczywistości, zatem obiektem badań może być jedynie językowy opis. Pogląd ten głosił również oczywistą odmowę obiektywizmu instytucji

⁸J. Białostocki, *Refleksje i syntezy ze świata sztuki*, PWN, Warszawa 1987, s. 279.

⁹Niemiecki filozof i socjolog, członek *Instytutu Badań Społecznych* czyli tzw. *Szkoły frankfurckiej*, przy Uniwersytecie we Frankfurcie w 1923 roku, powołanej do rozwijania ideologii marksistowskiej, budowy nowego człowieka – *człowieka krytycznego* oraz likwidacji kultury – przyczyny społecznego zła.

¹⁰M. Horkheimer, *Critical Theory. Selected Essays*, M. J. O’Connell (tłum.), Continuum, New York 1982.

¹¹Teorię tradycyjną uznaje za dzieło rozsądku, natomiast teorię krytyczną projektuje jako poznanie rozumowe, dzięki której wywracamy wszystko do góry nogami.

¹²D. Rozwadowski, *Marksizm kulturowy. 50 lat walki z cywilizacją Zachodu*, Prohibita, Warszawa 2018, s. 92.

¹³R. Rorty, *The Linguistic turn: essays in philosophical method*, University of Chicago Press, Chicago 1967.

społecznych, uznając je wyłącznie za twór języka i kultury. W 1973 roku Jürgen Habermas w „konsensualnej koncepcji prawdy”¹⁴ stworzył *nową, jednomyślną teorię prawdy*¹⁵ – prawdziwa opinia zaakceptowana w wyniku konsensusu. Za prawdę uznaje się twierdzenie, które wszyscy uczestnicy dyskursu uznało za prawdę. W tym miejscu należy zadać podstawowe pytanie: jak odróżnić prawdziwy consensus od pozornego? Oczywiście Habermas wymienia cechy jakie musi mieć dyskurs, m. in. wyrównanie szans spełnienia aktów mowy czy symetryczność relacji pomiędzy uczestnikami dyskursu. Należy jeszcze raz zaznaczyć, jak pisał Foucault, że proces tworzenia wiedzy ściśle związany jest z mechanizmami władzy i dominujących dogmatów, które zyskały popularność. W 1997 roku, już bez żadnych ograniczeń, Luther Blissett wprowadził „Podręcznik komunikacyjnej partyzantki” („Kommunikation Guerrilla Handbook”¹⁶), techniki nazywane *culture jamming*¹⁷, czyli zagłuszanie kulturowe w komunikacji, wywracanie znaczeń, niszczenie symboli kultury. Zagłuszanie kultury o charakterze wystąpienia publicznego stanowi m. in. kwestionowanie działań społecznych instytucji i wszelkich norm. Communication Guerilla to również zagłuszanie tradycyjnego punktu widzenia społeczeństwa, poprzez prezentowanie krytycznej opinii, jak również nadidentyfikacja, czyli publiczne prezentowanie¹⁸ i świadome ignorowanie tabu np. religii, moralności w ramach kultury europejskiej, bo oczywiste jest, że bezkarne naruszanie świętości, czyni religię społecznie bezskuteczną.

Niewątpliwie to szeroko pojęte *mass-media* zaangażowane są w przekazywanie faktów i manipulowanie nimi. Skutek – *ludzie pozbawieni podstawowych rozpoznań ogólnych nie tworzą samodzielnych sądów, ponieważ brak im możliwości osądzenia rozpatrywanego przypadku na tle prawidłowości generalnych*¹⁹. Manipulowanie opinią publiczną, np. poprzez kreowanie negatywnych skojarzeń z materiałami budowlanymi, jak w przypadku "betonozy" (beton kojarzony z chorobą), świadomie modyfikując konotacje tego materiału, w kontrze do natury, jest jednym z przykładów, w których kontrolowanie narracji poprzez symbole staje się narzędziem wywierania wpływu na społeczeństwo.

2.3. Ekologia.

Zawadzki celnie zauważa: *Wojna to bezwzględne narzędzie realizacji interesów grup wpływu, dla których populacja jest albo przeszkodą, albo środkiem do osiągnięcia zamierzonego celu. Uważam, że od dłuższego czasu pozostaje w objęciach niewidzialnej wojny, konfliktu, który rozgrywa się na wszystkich płaszczyznach naszego życia, obejmując nie tylko wszystkie pięć wymiarów pola bitwy, czyli ląd, morze, powietrze, cyberprzestrzeń i kosmos. Głównym narzędziem*

¹⁴J. Habermas, *Rzeczywistość i refleksja*, 1973.

¹⁵J. Habermas, *Theory and Practice*, J. Viertel (tłum.), Beacon Press, Boston 1974.

¹⁶B. Whaley, *Guerrilla Communications*, C/67-4, Center for International Studies Massachusetts Institute of Technology Cambridge, Massachusetts 1967.

¹⁷Wojna komunikacyjna wywodzi się z teorii Sytuacjonizmu, opartej na subwencji – czyli wywracaniu i przekierowywaniu znaczeń (pojęć).

¹⁸Głębokiego fundamentalnego kulturowego zakazu, odbieranego jako zamach na całą strukturę tej kultury i jej integralność.

¹⁹J. Szczepkowski, *Katechizm antykultury*, Prohibita, Warszawa 2003, s. 78.

tego bezprecedensowego w dziejach aktu agresji jest energetyka. Kto kontroluje tę dziedzinę, jest w stanie narzucić całemu globowi swoją wolę²⁰.

Zmiany klimatyczne stają się narzędziem w ideologicznych sporach, w których ekopolityka coraz częściej przyjmuje charakter quasi-religijny. Pojęcia takie jak „zielony socjalizm” odnoszą się do idei podporządkowania polityki i gospodarki ekologicznym dogmatom, przy czym postulaty ochrony środowiska często wykorzystywane są jako narzędzie do sprawowania kontroli nad społeczeństwem. Jest to proces „wtórny”, bo tak naprawdę, przypominając, trwa walka na śmierć i życie o prymat energetyczny: czy Europa jest jednych z tych „graczy”? To pytanie autor tekstu pozostawia pytaniem otwartym, biorąc pod uwagę politykę energetyczną Unii Europejskiej jak i naukę w ramach UE, które zamiast stanowić obiektywny instrument badawczy, staje się narzędziem legitymizacji określonych założeń politycznych, a „naukowa” prawda jest reinterpretowana zgodnie z obowiązującym paradygmatem ideologicznym, obowiązującym w UE.

3. Firmitas , Venustas, Utilitas współcześnie.

3.1. Trwałość.

Każde działanie, w tym również aktywność ludzka, posiada określoną przyczynę i cel, niezależnie od tego czy jesteśmy w stanie je precyzyjnie zidentyfikować. Współczesne trendy w przemyśle budowlanym i projektowaniu często są wynikiem skomplikowanych mechanizmów rynkowych, w których kluczową rolę odgrywają interesy ekonomiczne. Jednym z przykładów tego zjawiska jest promowanie nietrwałych materiałów budowlanych, co nie wynika z ich rzekomej funkcjonalności czy innowacyjności, lecz przede wszystkim z dążenia producentów do maksymalizacji zysków. Produkcja materiałów o ograniczonej trwałości prowadzi do ich szybszego zużycia, a tym samym konieczności częstszej wymiany, co w praktyce oznacza wielokrotną sprzedaż tego samego produktu i stałe generowanie popytu. W konsekwencji konsumenci zmuszeni są do systematycznych remontów i modernizacji, co wpisuje się w szerszy schemat gospodarki nadmiernej konsumpcji, w której użytkownik uzależniony jest od określonych produktów i usług. Podobny mechanizm można zaobserwować w kontekście narzucania określonych rozwiązań materiałowych, takich jak drewno, które jest promowane jako surowiec ekologiczny i odnawialny. Chociaż drewno faktycznie wykazuje korzystne właściwości, zarówno pod względem ekologicznym, jak i użytkowym, jego forsowane stosowanie często wynika z czynników o podłożu ekonomicznym, a nie rzeczywistej troski o zrównoważony rozwój. Wiele regulacji narzucających obligatoryjne stosowanie określonych materiałów bądź eliminujących alternatywne rozwiązania stanowi rezultat działań lobbingsowych, ukierunkowanych na zabezpieczenie interesów wybranych sektorów gospodarki, a nie obiektywnej analizy ich wpływu na środowisko czy efektywności technologicznej. Tym samym pod pozorem troski o ekologię, poprawy jakości życia czy zrównoważony rozwój, wprowadzane są regulacje i rozwiązania, które w rzeczywistości prowadzą do kreowania nowych potrzeb rynkowych i stopniowego podporządkowywania użytkowników dominującym

²⁰R. Zawadzki, *Odnawialne źródła władzy. Polityka klimatyczna jako oręż podboju świata*, Frouda 2023, s. 7-8.

modelom konsumpcyjnym. W efekcie konsumpcjonizm przestaje być wyłącznie mechanizmem gospodarczym, lecz staje się także narzędziem kontroli nad społeczeństwem, determinującym zarówno sposób użytkowania przestrzeni, jak i wzorce funkcjonowania jednostek w strukturze ekonomicznej.

3.2. Użyteczność.

Kryterium użyteczności w architekturze koreluje z bieżącymi trendami i zmianami w preferencjach społecznych. Przykłady takie jak otwarte kuchnie, niewielkie działki budowlane, przestrzenie typu open space czy szerokie zastosowanie przeszkleń są powszechnie uznawane za funkcjonalne rozwiązania. Niemniej jednak ich rosnąca popularność nie wynika jedynie z właściwości ergonomicznych czy aspektów użytkowych, lecz w dużej mierze z determinant ekonomicznych i finansowych, które odgrywają kluczową rolę w procesie projektowania i realizacji inwestycji. W przypadku budownictwa wielorodzinnego optymalizacja wskaźnika powierzchni użytkowej netto (PUM) prowadzi do minimalizacji liczby ścian działowych, co zwiększa powierzchnię przeznaczoną na sprzedaż i pozwala na maksymalizację zysków deweloperów. Analogiczne mechanizmy obserwuje się w kształtowaniu rynku gruntów budowlanych, gdzie podział większych parceli na mniejsze działki skutkuje wzrostem intensyfikacji zabudowy oraz zwiększeniem wartości ekonomicznej inwestycji. Fenomen otwartych kuchni nie wynika wyłącznie z postulowanej integracji przestrzeni mieszkalnej, lecz z przemian w modelu konsumpcji. Współczesne gospodarstwa domowe w coraz większym stopniu rezygnują z tradycyjnego przygotowywania posiłków na rzecz korzystania z gotowych rozwiązań gastronomicznych, co skutkuje zmniejszonym zapotrzebowaniem na wydzieloną przestrzeń kuchenną. Historycznie kuchnia stanowiła odrębne pomieszczenie, co było podyktowane względami higienicznymi i funkcjonalnymi, takimi jak ograniczenie rozprzestrzeniania się zapachów czy hałasu powstających podczas gotowania. Warto również zwrócić uwagę na historyczne koncepcje aranżacji przestrzeni mieszkalnej. Tradycyjnie centralnym elementem pokoju dziennego był kominek, który pełnił zarówno funkcję użytkową, jak i społeczną. Współcześnie, rolę kominków, w wyniku regulacji prawnych ograniczających ich stosowanie (z rzekomej troski o środowisko), przejął telewizor – medium, które w coraz większym stopniu kształtuje sposób organizacji przestrzeni mieszkalnej oraz wzorce spędzania czasu wolnego. W sferze projektowania przestrzeni publicznej i mieszkalnej istotnym zagadnieniem jest kwestia dostępności dla osób o szczególnych potrzebach oraz innych grup wykluczonych. Zamiast wprowadzanie rozwiązań, sprzyjającym takim osobom funkcjonowanie we wspólnocie, postulowane jest podejście uniwersalne, zakładające projektowanie przestrzeni w sposób, który od początku uwzględnia potrzeby wszystkich użytkowników, niezależnie od ich ograniczeń fizycznych czy sensorycznych, co często jest wykorzystywane do usprawiedliwiania obniżania jakości przestrzeni miejskich.

Podsumowując współczesna twórczość architektoniczna w znacznej mierze podporządkowana jest wymogom regulacyjnym oraz dominującej narracji, co prowadzi do marginalizacji aspektów estetycznych. Proces projektowy koncentruje się na dostosowywaniu form i funkcji do zmieniających się przepisów oraz do całego szeregu innych wytycznych, rezultatów działań lobbingowych, co niejednokrotnie

skutkuje zanikiem wartości estetycznych i redukcją architektury do wymiaru czysto użytkowego.

3.3. Piękno.

Grecy dostrzegli, że harmonia stanowi fundamentalny warunek piękna, co legło u podstaw estetyki, jako dyscypliny bazującej na poznaniu zmysłowym. Niestety wiedza ta została już dawno zapomniana. Jednakże współczesna sztuka w dużej mierze odchodzi od tych założeń, koncentrując się na wywoływaniu silnych emocji oraz zaskoczeniu odbiorcy, co wpisuje się w szerszy proces ideologizacji kultury i nauki (tworzenie nowego człowieka z jego bezwarunkową wolnością).

Komercjalizacja kultury i podporządkowanie jej zasadom rynkowym, obniżyły gust i wymagania odbiorców. Techniczna reprodukcja rozpowszechniła sztukę, ale jednocześnie przyczyniła się do likwidacji zjawiska dzieła sztuki, w zamian obdarowując ludzi *czystą komercją – ma zadowolić nowego masowego odbiorcę, niewykształconego, ale nie mniej wyrafinowanego w swych oczekiwaniach*²¹.

Współczesne rozumienie „poprawności politycznej”, często postrzeganej jako neutralna zmiana w zakresie języka i pojęć, w rzeczywistości stanowi głęboko zakorzeniony mechanizm ideologiczny, który wprowadza fundamentalne przekształcenia w postrzeganiu kategorii dobra i zła, piękna i brzydoty oraz prawdy i fałszu. *Jeśli bowiem nie ma już prawdy i fałszu, to nie ma też poznania, jeśli nie ma piękna i brzydoty, to nie ma też sztuki, a jeśli ludzkie postępowanie nie podlega ocenom w kategoriach dobra i zła, to człowiek jest tylko zwierzęciem dysponującym rozumem, który już nie służy do analizy rzeczywistości, a jedynie do zaspokajania najprostszych potrzeb*²². Jednym z kluczowych rezultatów poprawności politycznej jest eliminacja istotnych zagadnień z debaty publicznej oraz celowa reinterpretacja pojęć w taki sposób, by zmienić ich konotacje i wpłynąć na sposób postrzegania rzeczywistości (np. pejoratywne określenie „betonoza” jako element stygmatyzacji wykorzystania betonu w przestrzeni miejskiej). Ostatecznym skutkiem tego zjawiska jest systemowe ograniczanie wolności słowa oraz podporządkowanie dyskursu publicznego ideologicznym narracjom.

4. Podsumowanie.

Percepcja zmysłowa polega na odbiorze bodźców, które wywołują estetyczne wrażenia (przyjemne lub nieprzyjemne). Psychika ludzka jest elastyczna i może adaptować się do nowych warunków, lecz ma swoje granice. Bowiem zbyt silne bodźce mogą uszkodzić narządy zmysłów i system percepcji, a ciągła ekspozycja na brutalność i brzydotę może prowadzić do trwałego uszkodzenia psychiki, nie do nowej równowagi. *Te trzy nurty współczesnej sztuki — pasożytniczy, wiecznie schyłkowy i z premedytacją nieszczery — nie są w naszej kulturze aberracjami, lecz bardzo dobrze ilustrują jej charakter. Pierwszy nie może samodzielnie istnieć, drugi dźwiga przytłaczające brzemie, które ktoś w końcu może zechcieć z siebie zrzucić,*

²¹T. Kozłowski, *Architektura i technika* – Tezy XXIII Międzynarodowej Konferencji Naukowej „Definiowanie Przestrzeni Architektonicznej” WA PK, www.dpa.arch.pk.edu.pl (dostęp: 20.02.2025).

²²M. Kacprzak, *Pałapki poprawności politycznej*, Radzymin 2012, s. 398.

*trzeci nie ma żadnego celu. Skutki tego obserwujemy wszędzie wokół siebie*²³. Współczesna sztuka, eliminując jakikolwiek warsztat, rzemiosło, wypracowaną setki lat symboliką i wreszcie sferą sacrum, która od wieków była czymś, co odróżniało człowieka od zwierząt, została całkowicie zniszczona. Z powodów opłacalności wykonywania tego zawodu, wielu artystów, którzy nie popierają tej krytycznej postawy, zmuszone są (aby nie umrzeć z głodu) ją uprawiać. Wynikiem takiego stanu rzeczy jest nieodwracalne zniszczenie psychiki ludzkiej, którą generuje sukces finansowy. Jest to pokłosie ideologów, czyli polityków, „filozofów”, psychoanalityków i socjologów. Dlatego nasuwa się pytanie, po co wysiłek intelektualny, warsztat pracy, talent rzemiosła czy jakiegokolwiek predyspozycje do uprawiania sztuki, skoro instytucje, które sponsorują te branże nie są tym zainteresowane. Tworzenie nietrwałego świata architektury, kształtowanego przez manipulacyjne i ideologiczne techniki, przestaje być wyrazem artystycznym, skupionym na walorach estetycznych (w podstawowym tego słowa znaczeniu), a staje się narzędziem wdrażania ideologicznych dogmatów.

Reasumując, współczesna architektura została zdominowana przez ciągle zmieniające się, nadmiernie rozbudowane regulacje, przepisy i wytyczne, kreowane przez dominującą narrację i działania lobbingowe, promując nietrwałe materiały budowlane i krótkoterminowe rozwiązania. Budynki są projektowane na kilka dekad, a nie na wieki, co stoi w sprzeczności z klasycznymi zasadami trwałości, użyteczności i piękna sformułowanymi przez Witruwiusza. Bieżące rozwiązania architektoniczne, choć często uznawane za funkcjonalne, są w dużej mierze determinowane względami ekonomicznymi i regulacyjnymi, co prowadzi do marginalizacji wartości estetycznych oraz podporządkowania procesów projektowych zmieniającym się normom i trendom rynkowym. Witruwiańska triada, piękno formy, dobro użyteczności i prawda konstrukcji, odeszło w zapomnienie. Obecne trendy w architekturze i projektowaniu przestrzeni są częściej wynikiem interesów rynkowych niż rzeczywistej troski o trwałość i jakość budowanych obiektów. Zjawisko to manifestuje się w promowaniu nietrwałych materiałów budowlanych, co prowadzi do konieczności częstych modernizacji, a tym samym do wzrostu konsumpcji.

Proces dekonstruowania tradycyjnych, wspólnotowych fundamentów kultury, opartych na historii, języku, religii i etosie twórczej pracy, prowadzi do tworzenia nowego modelu człowieka opartego jedynie na abstrakcyjnych wyobrażeniach, co w efekcie przekształca naukę i sztukę w narzędzia wdrażania ideologicznych i politycznych dogmatów. Współczesna ideologia, w tym nauka, sztuka, ekologia i technologia, w oczach autora, mają na celu nie tylko kształtowanie ludzkiej tożsamości, ale także wykorzystywanie tych obszarów do utrzymywania władzy, manipulowania opinią publiczną oraz generowania nieustannych, specyficznych potrzeb konsumpcyjnych, które na dłuższą metę i tak nie rozwiązują problemu konsumentów. Finalnie, nauka, sztuka i technologia nie służą już rozwojowi, lecz kształtowaniu człowieka według abstrakcyjnych, ideologicznych wyobrażeń.

Zakwestionowanie tradycyjnych wartości estetycznych i epistemologicznych nie odbyło się w próżni – było częścią większego procesu²⁴ (na którego rozwinięcie nie ma tutaj miejsca), w którym demontaż przeszłości stał się narzędziem inżynierii społecznej. W imię postępu zburzono katedry myśli i sztuki, zastępując je

²³D. Murray, *Przedziwna śmierć Europy*, T. Bieroń (przeł.), ZYSK I S-KA, wyd. 1, Poznań 2017, s. 338.

²⁴Zob. Z. Herbert, *Co myśli Pan Cogito o piekle*, [w:] Z. Herbert, *Pan Cogito*, a5, 2008.

tymczasowymi, nietrwałymi konstrukcjami, które mają służyć wyłącznie doraźnym interesom. Sztuka, kiedyś wyraz dążenia do piękna i harmonii, stała się domeną dekonstrukcji, prowokacji i ideologicznej agitacji. Architektura, która przez wieki była świadectwem ludzkiej wielkości, dziś świadczy raczej o jego rezygnacji i podporządkowaniu ideologiczno-ekonomicznym dogmatom. Wiedza, zamiast oświecać, coraz częściej przybiera formę nowej ortodoksji, gdzie odstępstwo od dominującego dyskursu oznacza wykluczenie. Współczesna sztuka coraz częściej nie pełni funkcji inspiracyjnej, lecz prowokacyjnej. Nauka, zamiast służyć obiektywnemu poznaniu, bywa wykorzystywana jako narzędzie ideologicznej indoktrynacji. Wiedza, zamiast być narzędziem poszukiwania prawdy, staje się mechanizmem kontroli. Straciliśmy zdolność do refleksji, a głos rozumu tonie w kakofonii propagandowych sloganów. Czy naszym celem jest twórcze budowanie, czy jedynie pasywna konsumpcja? Czy dążymy do konstruktywnego rozwoju, czy pozwalamy na destrukcję wartości kulturowych? Odpowiedź jest oczywista – powinniśmy zarówno tworzyć, jak i konsumować, lecz w harmonii i z uwzględnieniem wartości takich jak celowość, jakość, piękno i odpowiedzialność. Społeczeństwo, które nie opiera się na pracy i wyrzeczeniu, lecz na roszczeniowości, skazane jest na upadek. Niekontrolowana redystrybucja zasobów i brak odpowiedzialności jednostek za wspólne dobro, prowadzą do marginalizacji tego społeczeństwa, co skutkuje ich degradacją społeczną i kulturową. Dziś widzimy tego skutki – blokowiska, w krajach zachodniej Europy czy w USA, opanowane przez tych, którzy nie tworzą – lecz pasożytują, nie budują – lecz niszczą, które zamiast być przestrzenią do życia, stają się enklawami chaosu, którym ideologiczny obłęd zapewnił wszystko, nie wymagając niczego w zamian. W końcu, jak pisał Lewis Carroll, *jeżeli nie wiesz, dokąd chcesz iść, nie ma znaczenia, którą drogą pójdziesz*. Tylko że w tym przypadku każda droga prowadzi do tego samego celu – do błędnych wskazań kierunkowskazów.

6. Literatura

- [1] Kacprzak, M., *Pułapki poprawności politycznej*, Radzymin 2012.
- [2] Karoń, K., *Historia antykultury 1.0*, Warszawa 2021.
- [3] Murray, D., *Przedziwna śmierć Europy*, T. Bieroń (przeł.), ZYSK I S-KA, wyd. 1, Poznań 2017.
- [4] Rozwadowski, D., *Marksizm kulturowy. 50 lat walki z cywilizacją Zachodu*, Prohibita, Warszawa 2018.
- [5] Stelmach, A., *Zrównoważony rozwój. Zakłęcie globalistów, instrument totalnego zniewolenia*, Stowarzyszenie Kultury Chrześcijańskiej, Kraków 2023.
- [6] Szczepkowski, J., *Katechizm antykultury*, Prohibita, Warszawa 2003.

Prof. dr hab. inż. Józef Jasiczak

Politechnika Poznańska

Mgr inż. Włodzimierz Czajka

SPB TORKRET LTD. Siekierki Wielkie

Mgr inż. Włodzimierz Majchrzak

SPB TORKRET LTD. Siekierki Wielkie

Odtworzona historyczna elewacja w budynku przemysłowym uzyskana technologią betonu natryskowego – architektonicznego

Recreated historical facade in an industrial building obtained with architectural sprayed concrete technology

Streszczenie

W artykule przedstawiono skomplikowaną modernizację dwóch budynków żelbetonowych szkieletowych ze ścianami zewnętrznymi monolitycznymi w Stacji Uzdatniania Wody w Poznaniu. Budynki wznoszono w okresie poprzedzającym II Wojnę Światową oraz w czasie jej trwania, w okupowanym wówczas Poznaniu. Według dostępnych danych historycznych budynki odżelaziacza i filtrów pośpiesznych oddano do użytku w 1943r. Problemem okazało się odtworzenie modernistycznych betonowych elewacji z odcisniętym rysunkiem naturalnego ówczesnego deskowania. Ostatecznie zrealizowany projekt obejmował wykonanie ocieplonej i wentylowanej elewacji z zewnętrzną powłoką z betonu natryskowego z imitacją odcisniętego naturalnego deskowania na pięciocentymetrowej warstwie torkretu.

Abstract

The article presents a complicated modernization of two reinforced concrete frame buildings with monolithic external walls in the Water Treatment Plant in Poznań. The buildings were erected in the period preceding World War II and during its duration, in occupied Poznań at that time. According to available historical data, the buildings of the iron removal plant and rapid filters were put into use in 1943. The problem turned out to be the reconstruction of modernist concrete facades with an imprinted drawing of the natural formwork of that time. The finally implemented project included the construction of an insulated and ventilated facade with an external coating of shotcrete with an imitation of the imprinted natural formwork on a five-centimeter layer of shotcrete.

1. Wstęp

Torkret jest definiowany jako zaprawa lub beton dynamicznie umieszczany w miejscu wbudowania. Wynalazcą torkretu jest Amerykanin Carl Ethan Akeley, który w 1910 r. zastosował urządzenie „Cement Gun” (armatkę ciśnieniową) umożliwiające natryśnięcie mieszanki cementu i piasku o nazwie „Gunit” na przegrody budowlane. W ciągu stu lat stosowania tej technologii zmieniały się obszary zastosowań betonu natryskowego od funkcji wzmacniającej i reprofilującej przy naprawach uszkodzonych konstrukcji żelbetowych, poprzez funkcje ochronne i zabezpieczające konstrukcje stalowe i żelbetowe [1,2], a w ostatnich latach po funkcje architektoniczne [3,4]. Elementy architektoniczne budowli z betonu natryskowego są stosunkowo rzadko wykonywane ze względu na skomplikowane wymagania technologiczne, łącznie z określoną barwą powłok, stąd za unikalne w skali światowej uznaje się dwie wcześniejsze realizacje wykonane w Polsce przez firmę TORKRET Sp. z o.o. z Poznania, działającej przy wsparciu środowiska naukowego Politechniki Poznańskiej oraz kolejną omówioną w niniejszym referacie.

Realizacje wcześniejsze, będące swego rodzaju poligonem doświadczalnym dla nowej realizacji, to Muzeum Historii Żydów Polskich na Placu Anielewicza w Warszawie oddane do użytku w 2013 roku i Wzmocnienie przęseł i odbudowa warstw elewacyjnych zabytkowej estakady kolejowej betonowo-ceglanej o długości 2116 m w Gorzowie Wielkopolskim wykonane w 2016 roku.

W Muzeum Historii Żydów Polskich wg projektu architekta prof. Rainera Mahlamakiego z pracowni Lahdelma & Mahlamäki Architects w Helsinkach, częścią centralną jest hall przez całą długość i wysokość budynku (67,3 x 26 m), mający symbolizować rozstąpienie się Morza Czerwonego podczas wyjścia Izraelitów z Egiptu (Exodus, XII w pne.). W hallu najważniejszym elementem kształtującym estetykę pomieszczeń były dwie ściany boczne o krzywoliniowym kształcie. Obie ściany obejmują całą wysokość budynku od fundamentu po dach a tylko na fragmentach od poziomu parteru. Powłokę ściany krzywoliniowej stanowi cienkościenna konstrukcja żelbetowa z betonu natryskowego o grubości 5 cm, ze zbrojeniem prętami ze stali nierdzewnej o grubości 4,5 mm umieszczonymi w jej środku, nakładanego na 5 mm sklejkę wodoodporną. Całość zawieszona jest na prętach stalowych gwintowanych Ø22 mm w rozstawie co 80 cm przymocowanych do podkonstrukcji stalowej. Wykonanie ściany krzywoliniowej wymagało geodezyjnego rozlokowania w przestrzeni 35 000 punktów pomiarowych, których rzędne wyznaczyły powierzchnie krzywoliniowe ścian.

Historyczna estakada w Gorzowie, z lat 1905-1914, składa się z kilku odcinków murów oporowych, przęseł ceglanych, wiaduktów stalowych, estakady dworcowej wraz z tunelami i peronami oraz z przejścia pod torami znajdującego się na terenie wagonowni. Konstrukcję obiektu stanowi 51 otwartych arkad, sklepionych łukiem odcinkowym wspartym na filarach wzmocnionych w dolnej części niskimi przyporami (pozostałości dawnych pylonów różnej wysokości) z licem z kilku poziomych boni, zabezpieczonymi od góry spadzistą czapką. W ramach naprawy obiektu, zgodnie z opinią konserwatora zabytków, należało odtworzyć wszystkie oryginalne formy i powierzchnie (ryflowania) ścian bocznych i podpór (wraz z boniowaniem) zaprawą cementową z wypełniaczem z kruszonego kamienia wapiennego o składzie jak w oryginale. Odpowiedni kolor torkretu dobierano po oczyszczeniu oryginalnego lica, w razie potrzeby podbarwiając beton natryskowy pigmentami mineralnymi.

2. Odżelaziacz, stan techniczny, projekt naprawy

2.1. Opis obiektu

Historia budowy obiektów dla uzdatniania wody do spożycia w Poznaniu ma ponad 120 letnią tradycję. Już latach 1908-1909 wybudowano nową stację uzdatniania wody do picia dla miasta Poznania, które liczyło wówczas 196 tys. mieszkańców. Wodę pobierano bezpośrednio z płynącej obok rzeki Warty (ale w dolnym jej biegu). Wymiary obiektu w rzucie wynosiły $65,5 \times 21,5$ m, wysokość powyżej terenu 9,0 m, a poniżej 5,0 m. W części podziemnej na całym rzucie wykonano wielkogabarytowy zbiornik żelbetowy ze stropem żebrowym podpartym pośrodku żelbetowymi słupami. Jest to perła architektury przemysłowej końca XIX i początku XX wieku, posiadająca najnowocześniejsze wówczas na świecie wyposażenie technologiczne [5].

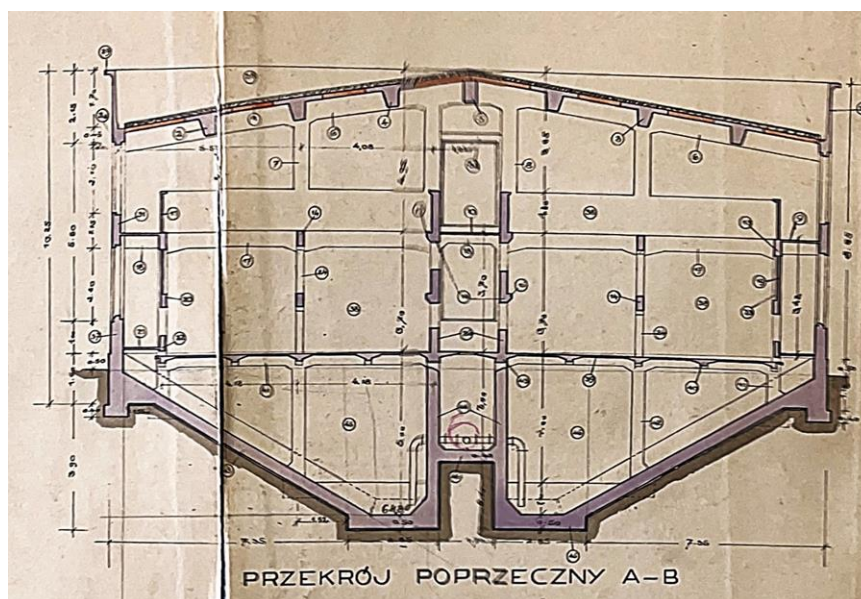
Praktyka następnych lat pokazała jednak, że ujęcie wody należałoby przenieść w górę rzeki i stąd, począwszy od lat 30. XX wieku, zaczęto wykonywać nowe obiekty przy ujęciu Warta - Dębina (przed Poznaniem).

W referacie przedstawiono skomplikowaną modernizację dwóch budynków żelbetowych szkieletowych ze ścianami zewnętrznymi betonowymi - monolitycznymi w Stacji Uzdatniania Wody w Poznaniu.

Budynki wzniesiono w okresie poprzedzającym II Wojnę Światową oraz w czasie jej trwania, w okupowanym wówczas Poznaniu. Według dostępnych danych historycznych budynki odżelaziacza i filtrów pośpiesznych oddano do użytku w 1943r. Widok pierwotnej elewacji odżelaziacza pokazano na fot.1, a układ konstrukcyjny wg źródłowej dokumentacji na rys.1.



Fot.1. Elewacja szczytowa odżelaziacza. Ściana żelbetowa, wykonana w deskowaniu tradycyjnym, z wyraźnie odcisniętymi pojedynczymi deskami, ułożonymi równolegle do poziomu



Rys.1. Ramowy układ konstrukcyjny budynku. Widoczne prostokątne rygle podłużne, rygle w kształcie litery T w poziomie połaci dachowej i żelbetowe ściany zewnętrzne o grubości 40 cm

2.2. Projekt naprawy elewacji

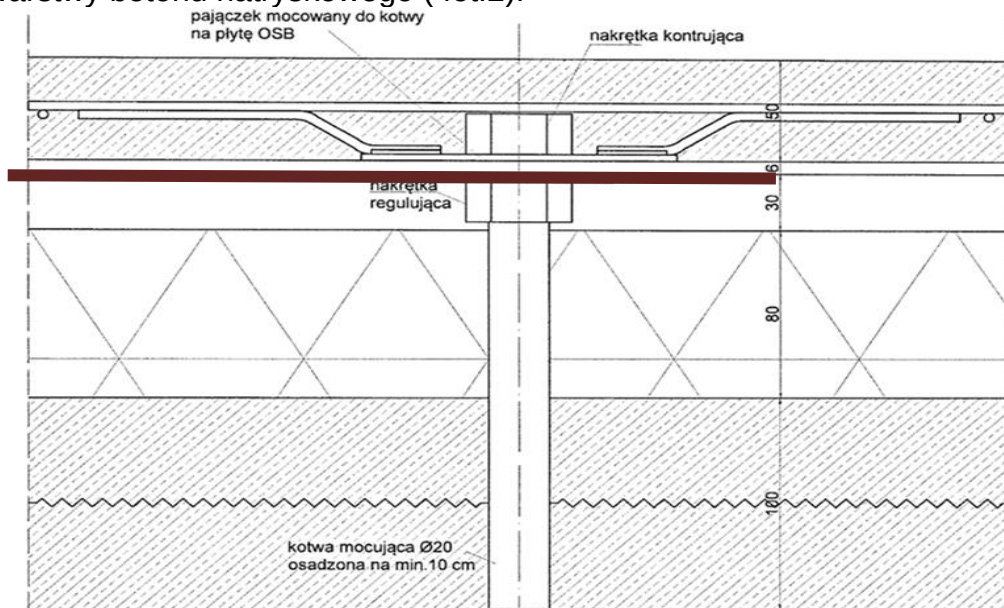
Umowa na roboty remontowe wykonane w 2023 roku obejmowała naprawę ścian zewnętrznych budynków i części konstrukcyjnej belek i podciągów stropu ostatniej kondygnacji odżelaziacza. Konstrukcja belek po wzmocnieniu wklejanymi dodatkowymi prętami i strzemionami została natryśnięta torkretem. Na ściany zewnętrzne, po odkuciu i przygotowaniu podłoża, montażu zgrzewanych siatek z prętów zbrojeniowych, nałożono warstwę torkretu grubości 5cm odpowiadającemu betonowi C30/37.

Problemem okazało się odtworzenie modernistycznych betonowych elewacji z odcisniętym rysunkiem pierwotnego deskowania. Początkowo Inwestor z Projektantem przedłożyli do akceptacji Konserwatora Zabytków projekt i mockup ocieplonej wełną mineralną wentylowanej elewacji obłożonej z zewnątrz płytami włókno-cementowymi z nadrukiem imitującym deski szalunkowe. Na tego typu rozwiązanie nie zgodził się Konserwator Zabytków. Zaprojektowanie elewacji w technologii fasady wentylowanej z wykończeniem imitującym pierwotne deskowanie miało połączyć przemysłową architekturę z okresu, w którym powstały budynki ze współczesnymi trendami wykonywania elewacji z betonu architektonicznego.

Nowy i ostatecznie zrealizowany projekt (opisany w referacie) obejmował wykonanie ocieplonej i wentylowanej elewacji z zewnętrzną powłoką z betonu natryskowego z imitacją odcisniętego naturalnego deskowania. Udało się to osiągnąć stosując podobne rozwiązanie jak w przypadku ścian krzywoliniowych w zrealizowanym Muzeum Historii Żydów Polskich POLIN w 2012r. w Warszawie [3]. Przyjęte rozwiązanie pokazano na rys. 2 i fot.2.

W pierwszej kolejności dokonano naprawy starych, uszkodzonych betonowych ścian zewnętrznych kilkucentymetrową warstwą betonu natryskowego zbrojonego siatką stalową. Po uzyskaniu jednolitej powierzchni tych ścian w nawierconych w nich otworach o głębokości 10-12 cm wklejano na klej epoksydowy kotwy stalowe,

ocynkowane, nagwintowane, $\varnothing 20$ mm w rozstawie 80x80 cm. Kotwienie w nowym i starym betonie, jak to pokazano na rys.2. Po ociepleniu ścian wełną mineralną o grubości 80 mm na zamocowanych wcześniej prętach stalowych wyznaczono punkty określające miejsca położenia deskowania traconego (płyta OSB o grubości 6 mm) stabilizując je po obu stronach nakrętkami centrującymi z podkładkami stalowymi . Pod górną nakrętką podkładkę stanowi blacha prostokątna z promieniowo umieszczonymi odgiętymi prętami stalowymi (tzw. „pajączki”) do których przymocowana zostanie siatka ze stali żebrowanej $\varnothing 4$ mm, ułożona w środku grubości 5 cm warstwy betonu natryskowego (fot.2).

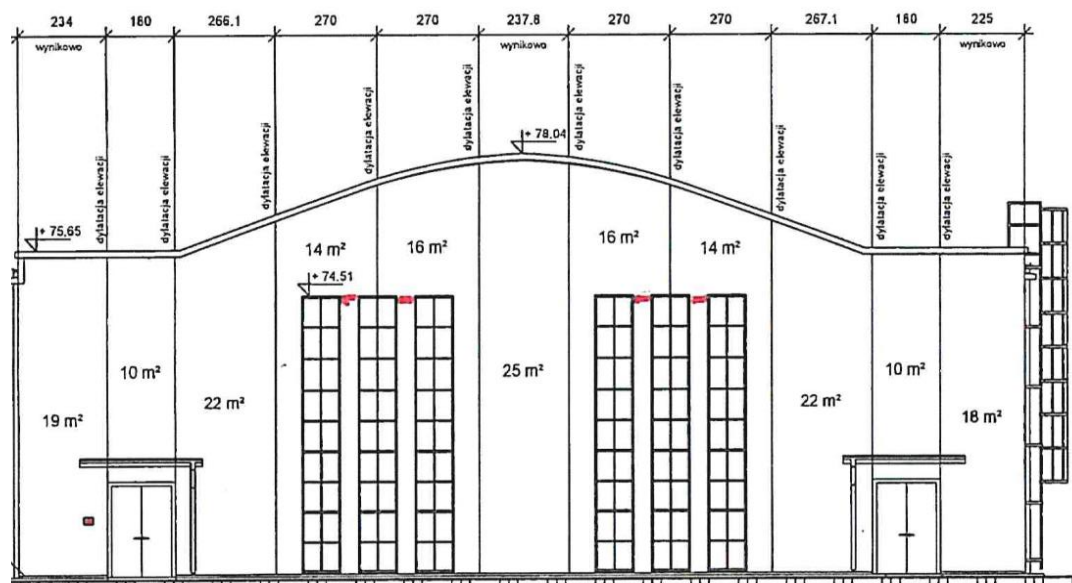


Rys.2. Projekt cienkościennej tarczy elewacji o grubości 5 cm nanoszonej techniką betonu natryskowego



Fot.2 Sposób zawieszenia deskowania traconego i siatki stalowej z „pajączkami” i elementami dystansowymi

W ramach projektu założono torkretowanie pasmami o zmiennej szerokości 1,8 m do 2,7 m, na całą wysokość elewacji wydzielając tym samym działki robocze o powierzchni od 10 do 27 m². Zasadę podziału przedstawiono na rys.3. Między działkami wyznaczono przerwy dylatacyjne, w których osadzono opatentowane listwy dylatacyjne o wysokości nanoszonej warstwy torkretu (tj. 5 cm) i szerokości 1 cm (fot 3.). Listwy dylatacyjne (zamknięte nakładką w trakcie betonowania i otwarte w trakcie eksploatacji) były zarówno wyznacznikami grubości betonowania jak i elementami pionowymi umożliwiającymi mocowanie folii na czas pielęgnacji torkretu.



Rys. 3 Podział elewacji na pionowe działki robocze wyznaczające pola torkretowania



Fot. 3 Rzeczywisty podział na działki torkretowania

3. Realizacja elewacji na placu budowy

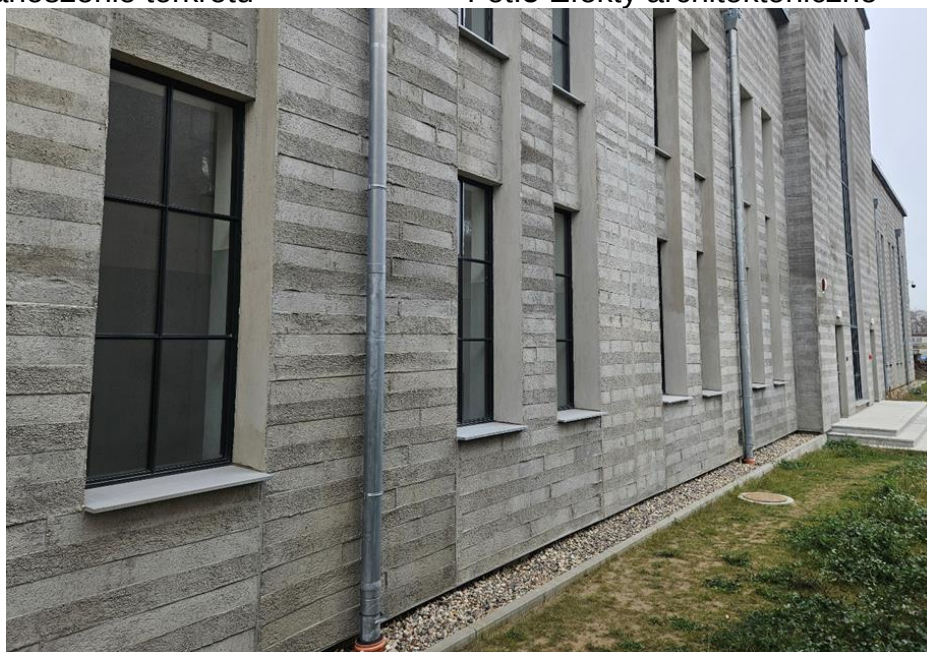
Po wykonaniu robót przygotowawczych związanych zamocowaniem deskowania traconego, zbrojeniem warstwy torkretu i zamocowaniu listew dylatacyjnych (w sposób pokazany na rys.3 i fot.3) przystąpiono do naniesienia pierwszej warstwy, tzw. konstrukcyjnej, betonu natryskowego o grubości 35 mm a następnie 15 mm warstwy z betonu architektonicznego. Powierzchnia została wykończona w technice „cut”, a na wyznaczonych powierzchniach w postaci odcisnięcia odwzorowania szalunku wykonanego z desek. Proces nanoszenia betonu natryskowego i odwzorowania deskowania pokazano na fot. 4, 5 i 6.



Fot.4 . Nanoszenie torkretu



Fot.5 Efekty architektoniczne



Fot.6 Widok gotowej elewacji

Torkret był wykonany w technologii suchej a konfekcjonowany materiał był przywożony z odległości 20 km z wytwórni suchych mieszanek Firmy. Wykorzystano cement portlandzki CEM i 42,5 i kruszywo o uziarnieniu 0 – 4 mm. Beton wykonany z tej mieszanki odpowiadał klasie wytrzymałościowej C30/37, spełniał wymagania wytrzymałościowe i odporności mrozowej a jednocześnie był plastyczny by umożliwić wykonanie imitacji deskowania techniką odcisku. Technicznym problemem była duża liczba okien, która zdecydowanie spowalniała przebieg naprawy. Inną cechą tego projektu było odwzorowanie pierwotnego rysunku deskowania na nowej elewacji odsuniętej od pierwotnej ściany budynku o ok. 11 cm.

4. Podsumowanie

Beton natryskowy to beton, który ma wiele zalet w porównaniu z innymi metodami układania, bez konieczności stosowania rozległego deskowania strukturalnego i skomplikowanego systemu produkcji i transportu mieszanki betonowej.

Bogata literatura techniczna opisuje wiele tradycyjnych zastosowań związanych z renowacją betonu, ale wskazuje również na nowe trendy, jak np. natryskowe warstwy ogniochronne w tunelach drogowych. Beton natryskowy może być również używany do kształtowania przestrzeni architektonicznej, np. w North Burlington Skatepark Project, a także wielkopowierzchniowych elementów z betonu architektonicznego [3,4,7]. Nowym wyzwaniem towarzyszy rozwój technologii betonu drobnopiękistego z pyłem krzemionkowym, domieszkami chemicznymi i innymi dodatkami mineralnymi, z krótkimi włóknami stalowymi i polipropylenowymi, o bardzo wysokich właściwościach mechanicznych. Ta nowa generacja betonu z drobnopiękistym kruszywem, jest odpowiednia do stosowania w technologii betonu natryskowego.

5. Literatura

- [1] Kusterle W.: Sprayable fire-protective layers in traffic tunnels. In: Proc. of the third International Conference on Engineering Developments in Shotcrete, Queenstown, 15-17 March, 2010, Bernard, E.S. (ed.) Shotcrete: Elements of a System. CRC Press/ Balkema, Taylor & Francis, London 2010, p.159-172.
- [2] Lukas W., Kusterle W., Pichler W.: Neue Tendenzen in der Spritzbeton-Technologie - Probleme, Grenzen und Möglichkeiten. In: IBK-Bau-Fachtagung 186: Tunnel- und Stollenbauwerke - Neubau und Sanierung, Hannover, 26.+27. 9.94, Institut für das Bauen mit Kunststoffen, Darmstadt, 1994.
- [3] J. Jasiczak, W. Majchrzak, W. Czajka : Construction of Undulating Walls Using Dry-Mix Shotcrete, Concrete International, June 2015, V.37, No.6, pp.31-35.
- [4] J. Jasiczak, W. Majchrzak, W. Czajka: Main problems of repairing architectural elements of a railway flyover built in 1905-1914 within the city of Gorzów using dry-mix shotcrete technology. SPRITZBETON – Tagung Conference, Alpbach, Austria, 2021
- [5] J. Jasiczak: Concrete degradation in an over 100-year-old drinking water treatment plant, a case of lime leaching from the water retaining tanks. Archives of Civil Engineering, Vol.71, No.3, 2025
- [6] Dokumentacja na elewację ścian budynków odżelaziacza i filtrów pospiesznych na terenie stacji uzdatniania wody ul. Dolna Wilda 126 w Poznaniu. Autorzy : J. Graczyk, W. Czajka, 2023
- [7] W. Czajka : Modernization of the Water Treatment Plant in Poznań. Shotcrete Magazine, Vol. 27, No 1/2025, pp.12-15.

Dr inż. arch. Wojciech Cieplucha

Wydział Architektury Politechniki Krakowskiej im. Tadeusza Kościuszki
wojciech.cieplucha@pk.edu.pl

Mgr inż. arch. Kamila Cieplucha

NDI S.A.

Mgr inż. Marcin Majta

NDI S.A.

Integracja BIM z drukiem 3D betonu

Integration of BIM with 3D concrete printing

Streszczenie

Artykuł omawia integrację systemów BIM z technologią druku 3D betonu w budownictwie. Modelowanie parametryczne w BIM umożliwia automatyczną optymalizację form konstrukcyjnych dla technologii addytywnej. Przedstawiono programy CAD/BIM (Revit, ArchiCAD, Grasshopper) oraz slicery do obsługi drukarek 3D. Analizowano cztery grupy materiałów: mieszanki betonowe (25% oszczędności materiału), ekologiczne geopolimery (80% redukcja CO₂), ceramikę z węgla krzemu i polimery prototypowe. Dziesięć realizacji - od domów po mosty - wykazało redukcję czasu budowy z miesięcy do dni oraz kosztów o 50% przy zachowaniu funkcjonalności architektonicznej.

Abstract

The article discusses the integration of BIM systems with 3D concrete printing technology in construction. Parametric modeling in BIM enables automatic optimization of structural forms for additive technology. CAD/BIM software (Revit, ArchiCAD, Grasshopper) and slicers for 3D printer operation are presented. Four material groups were analyzed: concrete mixtures (25% material savings), eco-friendly geopolymers (80% CO₂ reduction), silicon carbide ceramics, and prototype polymers. Ten implementations - from houses to bridges - demonstrated construction time reduction from months to days and 50% cost reduction while maintaining architectural functionality.

1. Wstęp

Technologia BIM (Building Information Modeling) otwiera przed projektantami i konstruktorami niespotykane wcześniej możliwości w kształtowaniu form przeznaczonych do druku 3D w budownictwie. Dzięki integracji zaawansowanych narzędzi modelowania informacji o budynku z technologiami druku przestrzennego, powstaje nowy paradygmat projektowy, który rewolucjonizuje sposób myślenia o architekturze i konstrukcji.

2. BIM - Inteligentne modelowanie parametryczne

BIM umożliwia tworzenie inteligentnych obiektów 3D, które „rozumieją” kontekst całego budynku i mogą automatycznie adaptować się do zmieniających się warunków projektowych [1]. W kontekście druku 3D oznacza to możliwość projektowania elementów, które automatycznie optymalizują się pod kątem specyficznych wymagań technologii addytywnej. Każdy element w modelu BIM posiada nie tylko geometrię, ale także bogaty zestaw parametrów - od właściwości materiałowych po informacje o procesie produkcji, co pozwala na precyzyjne dostosowanie projektu do ograniczeń i możliwości konkretnej drukarki 3D. Parametryczne projektowanie w środowisku BIM pozwala na tworzenie form, które mogą być dynamicznie modyfikowane poprzez zmianę kilku kluczowych parametrów. Architekt może na przykład zdefiniować algorytm generujący strukturę nośną budynku, która automatycznie dostosowuje się do zmieniających się obciążeń, warunków gruntowych czy wymagań estetycznych, a jednocześnie uwzględnia ograniczenia technologiczne druku 3D, takie jak maksymalne zwisy czy konieczność stosowania podpór.

2.1 Projektowanie generatywne i optymalizacja form

Możliwością, jaką oferuje połączenie BIM z drukiem 3D, jest projektowanie generatywne - proces, w którym projektant definiuje cele i ograniczenia, a algorytm komputerowy generuje setki lub tysiące wariantów rozwiązań. W budownictwie 3D oznacza to możliwość automatycznego generowania optymalnych form konstrukcyjnych, które wykorzystują minimalne ilości materiału przy zachowaniu wymaganej wytrzymałości [2].

Systemy generatywne mogą uwzględniać nie tylko kryteria strukturalne, ale także aspekty środowiskowe - od optymalizacji przepływu powietrza po maksymalizację wykorzystania światła naturalnego. Druk 3D pozwala na realizację skomplikowanych, organicznych form, które byłyby niemożliwe do wykonania tradycyjnymi metodami budowlanymi. Algorytmy mogą generować struktury przypominające wzorce występujące w naturze - kości, struktury komórkowe czy wzory wzrostu roślin - które charakteryzują się optymalną relacją wytrzymałości do masy.

2.2 Projektowanie generatywne i optymalizacja form

BIM tworzy płynne połączenie między fazą projektową a procesem produkcji, eliminując tradycyjne bariery między projektem conceptualnym a realizacją techniczną. Model BIM może bezpośrednio generować instrukcje dla drukarki 3D, uwzględniając wszystkie parametry procesu - od prędkości drukowania po temperaturę ekstruzji materiału. Taka integracja eliminuje błędy translacji między różnymi formatami danych i zapewnia, że projekt rzeczywiście może być zrealizowany zgodnie z zamierzeniem architekta. Szczególnie rewolucyjne jest to w

kontekście projektowania elementów o zmiennych przekrojach czy nieregularnych geometriach. Tradycyjne metody wymagałyby skomplikowanych szalunków lub form, których koszt często przekraczałby opłacalność projektu. Druk 3D, sterowany bezpośrednio z modelu BIM, pozwala na ekonomiczne wytwarzanie nawet najbardziej skomplikowanych form architektonicznych.

Tab. 1. Programy do modelowania i obsługi modeli do druku 3D.

Kategoria	Program	Główne zastosowanie	Zalety dla druku 3D	Ograniczenia	Darmowy
Modelowanie 3D - BIM	Autodesk Revit	Projekty budowlane, parametryzacja	Bezpośrednia integracja z drukarkami, inteligentne obiekty 3D, automatyczna optymalizacja	Wysokie koszty licencji, wymaga specjalistycznej wiedzy	NIE
	ArchiCAD	Architektura, modelowanie parametryczne	Zaawansowane narzędzia parametryczne, dobra integracja z systemami produkcji	Ograniczona dostępność w Polsce, wysokie koszty	NIE
	Bentley MicroStation	Infrastruktura, projekty inżynierskie	Dośkonały do mostów i infrastruktury, precyzyjne modelowanie	Skomplikowany interfejs, wysokie wymagania sprzętowe	NIE
	Tekla Structures	Konstrukcje stalowe i betonowe	Specjalizacja w konstrukcjach, dokładne detale zbrojenia	Ograniczony do konstrukcji, bardzo specjalistyczny	NIE
Modelowanie 3D - ogólne	3ds Max	Modelowanie dowolnych form	Dowolność w modelowaniu, bogata biblioteka materiałów	Brak natywnego wsparcia BIM, ograniczona parametryzacja	NIE
	Maya	Modelowanie dowolnych form	Zaawansowane narzędzia rzeźbienia, modelowanie organicznych form	Nie jest dedykowany budownictwu, wymaga konwersji do CAD	NIE
	Blender	Modelowanie dowolnych form	Bezpłatny i open source, bardzo zaawansowane możliwości	Integracja BlenderBIM	TAK
	SketchUp	Szybkie prototypowanie	Intuicyjny interfejs, szybkie modelowanie koncepcyjne	Ograniczona precyzja, brak zaawansowanej parametryzacji	CZĘŚĆ
	Rhino 3D	Modelowanie NURBS	Precyzyjne modelowanie krzywych, dobra integracja z Grasshopper	Wymaga wtyczek do BIM	NIE
	Grasshopper (Rhino)	Algorytmiczne projektowanie	Pełna kontrola nad algorytmami, integracja z Rhino 3D	Wymaga znajomości programowania	NIE
	Autodesk Fusion 360	Projektowanie + generatywne	Łączy tradycyjne i generatywne,	Subskrypcja miesięczna,	CZĘŚĆ

			symulacje wytrzymałościowe	ograniczenia w wersji darmowej	
	ParaCloud GEM	Algorytmiczne modelowanie	Specjalizacja w formach organicznych, integracja z CAD	Niszowy program, ograniczona społeczność	TAK
	Dynamo (Revit)	Programowanie wizualne BIM	Natywna integracja z Revit, automatyzacja projektowania	Tylko w ekosystemie Autodesk	TAK
Slicery - eksport	Cura	Przygotowanie modeli FDM	Darmowy i open source, szerokie wsparcie drukarek	Głównie do małych drukarek, ograniczone funkcje budowlane	TAK
	Slic3r	Zaawansowany slicing	Bardzo konfigurowalne, obsługa skomplikowanych geometrii	Skomplikowany w użyciu, wymaga doświadczenia	TAK
	PrusaSlicer	Profesjonalny slicing	Zaawansowane funkcje wsparcia, regularne aktualizacje	Głównie dla drukarek Prusa, nie dla wielkoskalowego druku	TAK
	Simplify3D	Komercyjny slicer	Profesjonalne funkcje, dobra obsługa wsparć	Płatny, rzadkie aktualizacje	NIE
	ICON Control Software	Dedykowany druk betonowy	Specjalizacja w betonie, kontrola przepływu materiału	Tylko dla drukarek ICON, bardzo specjalistyczny	NIE
	APIs Cor Suite	Robotyczny druk budowlany	Kontrola robotów budowlanych, optymalizacja ścieżek	Zamknięty ekosystem, bardzo drogie	NIE

2.3 Symulacje i walidacja projektów

Zaawansowane możliwości analityczne BIM pozwalają na przeprowadzanie symulacji, które weryfikują nie tylko aspekty strukturalne projektu, ale także jego wykonalność w technologii druku 3D. Systemy mogą symulować proces drukowania, wykrywając potencjalne problemy takie jak deformacje termiczne, konieczność stosowania podpór czy ryzyko delaminacji warstw. Te analizy prowadzone są w czasie rzeczywistym podczas projektowania, pozwalając architektowi na bieżące modyfikowanie projektu w celu optymalizacji procesu produkcji. Szczególnie cenne są symulacje 4D, które integrują wymiar czasu z modelem przestrzennym. W kontekście druku 3D oznacza to możliwość wizualizacji sekwencji drukowania, optymalizacji kolejności wykonywania elementów czy planowania logistyki na placu budowy. Projektant może zobaczyć, jak budynek będzie „rosł” warstwa po warstwie, i odpowiednio zaplanować infrastrukturę budowlaną.

2.4 Personalizacja i adaptacyjność

BIM w połączeniu z drukiem 3D otwiera nowe możliwości w zakresie personalizacji architektury. Każdy element może być łatwo dostosowany do indywidualnych potrzeb użytkownika bez znaczącego wzrostu kosztów produkcji. Od ergonomicznych uchwytów po elementy dekoracyjne - wszystko może być parametrycznie

dostosowane i wyprodukowane jako unikalne komponenty. Ta elastyczność wykracza poza estetykę. Elementy konstrukcyjne mogą być dostosowane do specyficznych warunków lokalnych - od obciążeń sejsmicznych po warunki klimatyczne. BIM pozwala na automatyczne generowanie wariantów projektu optymalizowanych pod kątem lokalnych wymagań budowlanych, norm technicznych czy dostępności materiałów, a druk 3D umożliwia ekonomiczną realizację tych dostosowań bez konieczności modyfikacji linii produkcyjnych czy przygotowywania nowych form. Te możliwości technologiczne sygnalizują początek nowej ery w architekturze - ery, w której ograniczenia technologiczne przestają determinować formy architektoniczne, a architekt otrzymuje niemalże nieograniczoną swobodę kształtowania przestrzeni zgodnie z funkcjonalnymi i estetycznymi wymaganiami projektu.

3. Materiały

W druku 3D budowlanym dominują obecnie mieszanki betonowe oferowane przez firmy takie jak Sika i ATLAS, które umożliwiają redukcję zużycia materiału o 25% przy kosztach realizacji domów 300-450 tys. PLN za 100-200 m². Przyszłość należy do geopolimerów – „zielonego cementu” redukującego emisję CO₂ o 80% poprzez wykorzystanie odpadów przemysłowych, choć ich wysoka cena obecnie ogranicza zastosowanie [3]. Materiałem o ekstremalnych właściwościach jest ceramika z węgla krzemu opracowana przez HRL Laboratories, charakteryzująca się odpornością termiczną powyżej 1400°C i dziesięciokrotnie większą wytrzymałością od standardowych rozwiązań, jednak jej koszt i złożoność procesu ograniczają zastosowanie do specjalistycznych projektów. Polimery jak PLA, ABS i PETG pełnią rolę wspomagającą w prototypowaniu i tworzeniu form, umożliwiając szybkie testowanie rozwiązań przed przejściem do materiałów docelowych. Rozwój materiałów do druku 3D otwiera możliwości realizacji skomplikowanych, organicznych form architektonicznych niemożliwych do wykonania tradycyjnymi metodami, a integracja z systemami BIM pozwala na automatyczną optymalizację właściwości materiałowych pod konkretne wymagania projektowe [4] [5].

Tab. 2. Porównanie wybranych materiałów do druku 3D.

Kryterium	Beton/Mieszanki cementowe	Geopolimery	Ceramika (węgiel krzemu)
Popularność	Bardzo wysoka	Rosnąca	Niszowa
Koszt	Niski-średni	Wysoki (na razie)	Bardzo wysoki
Cena materiału	~300,000-450,000 PLN za dom 100-200 m ²	Droższa od tradycyjnego betonu	System ~3000 USD + materiały
Dostępność	Bardzo wysoka	Ograniczona	Bardzo ograniczona
Główni dostawcy	Sika (Sikacrete® 3D), ATLAS	Laboratoria badawcze	HRL Laboratories
Skład	Cement + piasek + dodatki (geopolimery, włókna)	Glinokrzemiany + krzemian sodu/potasu + wodorotlenek	Proszek węgla krzemu + żywica
Czas wiązania	Standardowy (godziny)	Bardzo szybki (kilka godzin)	UV + wypalanie 1000°C
Wytrzymałość termiczna	Standardowa (~100-200°C)	Wysoka	Ekstremalna (>1400°C)
Zastosowania	Domy, biura, infrastruktura	Zielone budownictwo, projekty eco	Przemysł kosmiczny, hipersoniczny
Główne zalety	- Sprawdzona technologia - Niskie koszty	- Ekologiczny - Szybkie wiązanie	Ekstremalna odporność termiczna

	• Dostępność • Oszczędność materiału 25%	• Wykorzystanie odpadów • Ogniotrwałość	• Lekkość • Nieprzewodność elektryczna • 10x mocniejszy
Główne wady	• Brak materiału podporowego • Ręczne zbrojenie	• Wysoka cena • Ograniczona dostępność	• Bardzo wysokie koszty • Skomplikowany proces
Perspektywy rozwoju	Stabilny rozwój, doskonalenie procesu	Duży potencjał przy obniżeniu kosztów	Specjalistyczne zastosowania
Ocena ogólna	OPTYMALNY dla większości projektów	PRZYSZŁOŚCIOWY dla eco-budownictwa	NISZOWY dla ekstremalnych warunków

3.1 Mieszanki betonowe - dominujący materiał

Beton pozostaje najpopularniejszym materiałem w druku 3D budowlanym ze względu na swoją praktyczność i dostępność. Firmy takie jak Sika oferują specjalne mieszanki jak Sikacrete® 3D, które są dostosowane do precyzyjnego drukowania elementów betonowych. Polska firma ATLAS również dostarcza zaprawy do druku 3D na bazie cementu, które pozwalają na personalizację kolorów mieszanki. Technologia druku betonu umożliwia znaczne oszczędności - można zredukować ilość potrzebnego materiału nawet o 25%, co przekłada się na koszty budowy domów w granicach 300,000-450,000 PLN za powierzchnię 100-200 m². Główną zaletą jest automatyzacja procesu i redukcja czasu realizacji, choć nadal istnieją wyzwania techniczne jak brak odpowiedniego materiału podporowego dla poziomych elementów i konieczność ręcznego układania zbrojenia.

3.2 Ceramika z węgla krzemu - materiał przyszłości

Firma HRL Laboratories z Kalifornii opracowała przełomowy „monomer preceramiczny” wykonany z proszku węgla krzemu, który drukuje się jak standardowy filament polimerowy. Pod wpływem promieniowania UV żywica utwardza się, tworząc ceramikę o wyjątkowych właściwościach - stabilną termicznie nawet w temperaturze ponad 1400 stopni Celsjusza, co przewyższa temperaturę topnienia większości metali. Ten materiał charakteryzuje się nie tylko wysoką odpornością termiczną, ale także nietypową właściwością przewodności cieplnej - jeden koniec elementu może być podgrzewany do 1000 stopni, podczas gdy drugi pozostaje na tyle chłodny, że można go trzymać gołą ręką. Zawartość składników organicznych w filamencie ceramicznym wynosi około 21,5% wagi, a sam materiał okazuje się dziesięciokrotnie mocniejszy od podobnych rozwiązań. Koszt technologii jest jednak znaczny - wymaga systemu stereolitograficznego za około 3000 USD.

3.3 Polimery - różnorodność zastosowań

Materiały polimerowe w druku 3D budownictwa pełnią głównie rolę prototypową i pomocniczą. PLA, jako najtańszy materiał kosztujący 60-140 zł za kilogram, sprawdza się w tworzeniu modeli architektonicznych i elementów dekoracyjnych, ale jego niska odporność na temperatury ogranicza zastosowania budowlane. ABS oferuje wyższą wytrzymałość mechaniczną w podobnym przedziale cenowym, podczas gdy PETG za 80-90 zł/kg łączy zalety obu materiałów - jest prosty w drukowaniu jak PLA, ale wytrzymały jak ABS. Polimery znajdują zastosowanie w tworzeniu form do odlewania betonu, elementów prototypowych oraz małej

architektury. Ich główną zaletą jest możliwość szybkiego prototypowania i testowania rozwiązań przed przejściem do produkcji w materiałach docelowych [5].

3.4 Geopolimery - ekologiczna rewolucja

Geopolimery reprezentują nowe podejście do materiałów budowlanych, powstając z reakcji chemicznej między surowcem bogatym w tlenki glinu i krzemu a silnie zasadowymi związkami. Te materiały, nazywane „zielonym cementem”, mogą zredukować emisję CO₂ nawet o 80% w porównaniu do tradycyjnego betonu. Podczas gdy produkcja jednej tony klasycznego cementu generuje tonę dwutlenku węgla, geopolimery wydzielają 4-8 razy mniej tego gazu przy zużyciu 2-3 razy mniejszej energii. Szczególną zaletą geopolimerów jest możliwość wykorzystania odpadów przemysłowych takich jak popiół lotny, żużel wielkopiecowy czy nawet toksyczny czerwony szlam z produkcji aluminium. Materiały te charakteryzują się szybkim wiązaniem w ciągu kilku godzin, wysoką ogniotrwałością i odpornością na agresywne środowiska chemiczne. Głównym ograniczeniem pozostaje obecnie wysoka cena w stosunku do tradycyjnych betonów, co hamuje ich powszechne zastosowanie [6].

3.5 Geopolimery - ekologiczna rewolucja

W praktyce przemysłowej dominują mieszanki betonowe ze względu na sprawdzoną technologię i akceptowalne koszty. Ceramika z węgla krzemu znajduje zastosowanie w specjalistycznych projektach wymagających ekstremalnej odporności termicznej. Polimery pełnią rolę wspomagającą w procesach projektowych i prototypowych. Geopolimery, mimo obiecujących właściwości ekologicznych, czekają na obniżenie kosztów produkcji, które umożliwi ich masowe wdrożenie w budownictwie 3D.

4. Realizacje

Technologia druku 3D rewolucjonizuje współczesne budownictwo, oferując nowe możliwości projektowania i realizacji obiektów architektonicznych. Drukarki 3D w budownictwie wykorzystują różnorodne materiały, od tradycyjnych mieszanek betonowych po innowacyjne rozwiązania jak glina czy lavacrete. Dzięki tej technologii możliwe jest znaczne skrócenie czasu budowy - od kilku godzin do kilku dni zamiast miesięcy czy lat [7]. Koszty realizacji projektów mogą zostać obniżone nawet o 50% w porównaniu do tradycyjnych metod budowlanych. Integracja technologii BIM (Building Information Modeling) z drukiem 3D umożliwia precyzyjne projektowanie i optymalizację procesów budowlanych. BIM pozwala na tworzenie cyfrowych modeli budynków, które bezpośrednio przekładają się na instrukcje dla drukarek 3D. Druk 3D w budownictwie przyczynia się także do redukcji odpadów budowlanych i minimalizacji wpływu na środowisko. Automatyzacja procesu budowlanego zmniejsza zapotrzebowanie na wykwalifikowaną siłę roboczą, co jest szczególnie istotne w obliczu niedoborów kadrowych w branży [8]. Technologia znajdzie zastosowanie w budownictwie mieszkaniowym, obiektach użyteczności publicznej oraz infrastrukturze miejskiej. Przyszłość budownictwa 3D obiecuje jeszcze większą precyzję, szybkość i możliwości architektoniczne, które były dotychczas nieosiągalne tradycyjnymi metodami.

Tab. 2. Zestawienie przykładowych realizacji z druku 3D.

Lp	Nazwa	Kategoria	Użyty materiał	Wysokość (m)	Pow. (m ²)	Czas realizacji (dni)	Koszt (PLN)	Koszt budowy za m ² (PLN)	Orientacyjna kwota sprzedaży za m ² (PLN)
1	TECLA	Dom	Gлина	4	60	8.3 (200 godz.)	140 000	2 333	4 000
2	Beckum	Dom	Beton	8	160	4	1 500 000	9 375	12 000
3	Office of the Future	Biurowiec	Beton	6	250	17	1 900 000	7 600	15 000
4	Mediolan	Dom	Beton	3	100	10	300 000	3 000	6 000
5	Biurowiec w Dubaju	Biurowiec	Beton	9,5	640	60	2 300 000	3 594	8 000
6	Dom w Chinach	Dom	Beton	6	200	45	450 000	2 250	5 000
7	Lewis Grand Hotel	Hotel	Beton	3	130	5 (100 godz.)	350 000	2 692	4 500
8	Osiedle w Tabasco	Dom	Beton	3	48	1 dom/dzień	80 000	1 667	2 500
9	MX3D Bridge	Most	Stal	2,1	76,86	3 lata (2018-2021)	3 000 000	39 028	50 000
10	Nijmegen Bridge	Most	Beton	1,5	30	3 miesiące	500	16 667	25 000

4.1 Dom jednorodzinny w Massa Lombarda (Włochy)

Zrównoważone domy TECLA włoskich architektów powstające przy użyciu drukarek 3D są wykonane z gliny. Domy te, zbudowane w Massa Lombarda niedaleko Bolonii, zostały zaprojektowane przez włoską firmę WASP (World's Advanced Saving Project) i Mario Cucinella Architects (MCA). TECLA, skrótowiec-grupowiec od słów technologia i glina (z ang. technology; clay) – to struktury zbudowane praktycznie w całości z miejscowej, surowej ziemi. Według deklaracji projekt inspirowany powieścią Italo Calvino z 1972 roku *Niewidzialne miasta*, która jest serią rozmów między Marco Polo a mongolskim cesarzem. TECLA odnosi się do słowa „Thekla”, którego Calvino używa w swojej powieści, aby opisać miasto, które jest zawsze w budowie. WASP wyjaśnia, że domy są odpowiedzią na zagrożenia klimatyczne i środowiskowe, z jakimi mamy coraz częściej do czynienia. Okrągłe konstrukcje o powierzchni 60 metrów kwadratowych zostały stworzone w wyniku badań nad lokalnymi praktykami budowlanymi, zasadami bioklimatycznymi oraz wykorzystaniem naturalnych i lokalnych materiałów. Co ciekawe jest to projekt niemal bezodpadowy, a nawet wyposażenie zostało zaprojektowane w taki sposób, aby można je było poddać recyklingowi lub ponownie wykorzystać. Czas realizacji? Zawrotny, bo według TECLA wystarczy 200 godzin.

4.2 Dom jednorodzinny w Beckum (Niemcy)

Waldemar Korte przewiduje, że przy obecnym szybkim rozwoju technologii w ciągu najbliższych pięciu lat budowanie domów 3D może stać się tańsze od tradycyjnych metod budowlanych. „Budujemy znacznie szybciej” – mówi architekt, któremu budowa domu w Beckum zajęła zaledwie cztery dni. „Potrzebujemy mniej ludzi, a to

pomaga, gdy w branży budowlanej brakuje wykwalifikowanych pracowników”. Pomagają naprawdę duże drukarki 3D i innowacyjne mieszanki betonowe. Mieszanki betonowe są, mieszanką cementu i piasku, ale wielu budowniczych dodaje do nich geopolimery i włókna w celu wzmocnienia. Wyjątkowo ciekawy materiał przyszłości do druku 3D to odporny na ekstremalne warunki pogodowe lavacrete – opracowany przez amerykańskiego architekta Paula Schwama, jest mieszanką sproszkowanej czerwonej skały wulkanicznej, cementu i wody.

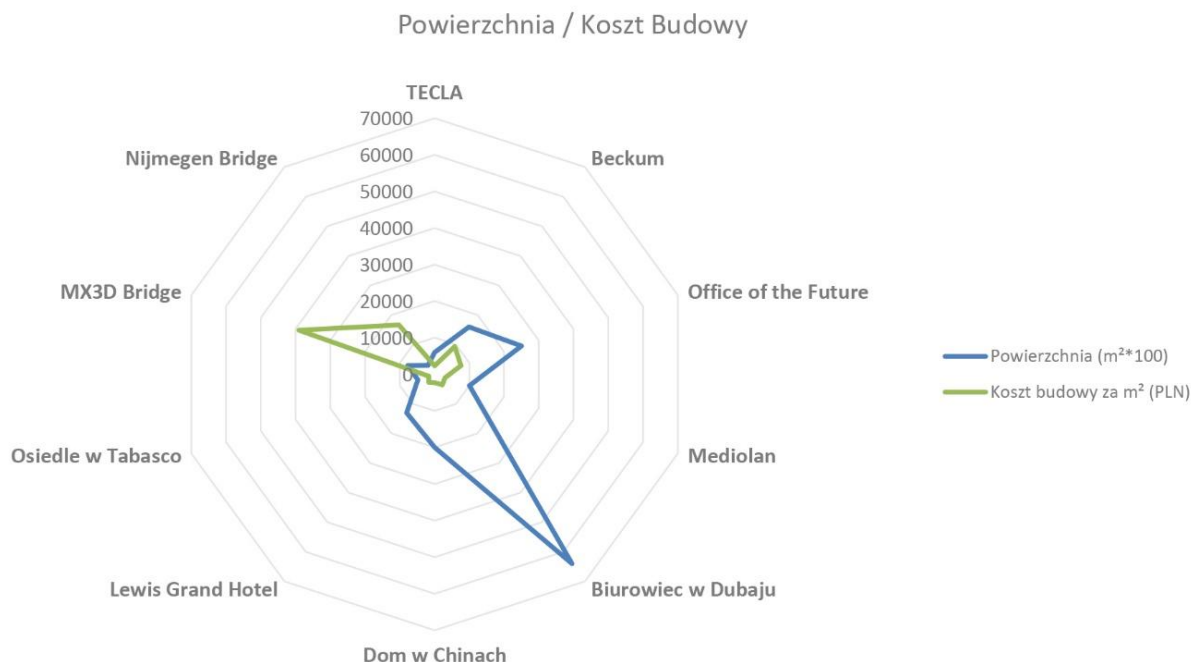
4.3 Biuro przyszłości w Dubaju (Zjednoczone Emiraty Arabskie)

Biuro Przyszłości to pierwsze w pełni funkcjonalne i stale użytkowane biuro wydrukowane w technologii 3D. Zajmuje powierzchnię 250 m² i zostało zbudowane w 17 dni przy użyciu drukarki 3D o wymiarach 6x37x12 metrów. Projekt został zrealizowany przez Killa Design jako część strategii Dubaju mającej na celu promowanie technologii druku 3D. Koszt budowy został zredukowany o 50% w porównaniu do tradycyjnych metod budowlanych, co pozwoliło na oszacowanie całkowitego kosztu na 1,9 miliona PLN.

4.4 Dom jednorodzinny w Mediolanie (Włochy), 2018

Dom jednorodzinny w Mediolanie, zbudowany w 2018 roku, ma powierzchnię około 100 m². Budowa tego domu zajęła 10 dni przy użyciu nowoczesnych technik druku 3D z mieszanką betonową. Koszt budowy został oszacowany na 300,000 PLN na podstawie dostępnych danych dotyczących technologii i kosztów materiałów budowlanych używanych w projektach druku 3D.

Rys. 1. Wykres przedstawiający powierzchnie w odniesieniu do kosztów budowy.



4.5 Biurowiec w Dubaju (Zjednoczone Emiraty Arabskie)

Biurowiec w Dubaju, znany również jako największy na świecie drukowany w 3D budynek, został zrealizowany przez firmę Apis Cor. Biurowiec ma wysokość 9,5 metra i powierzchnię 640 m². Proces druku trwał 60 dni, a koszt budowy wyniósł 2.300.000 PLN. Budynek wykorzystuje nowoczesne technologie zarządzania energią oraz systemy IT, które minimalizują zużycie energii i odpady budowlane.

4.6 Dom jednorodzinny (Chiny)

Dom jednorodzinny w Chinach, zbudowany przez firmę WinSun, ma powierzchnię około 200 m². Budowa trwała 45 dni, a koszt wyniósł 450,000 PLN. Wykorzystano mieszankę betonu oraz innowacyjne technologie druku 3D, co pozwoliło na szybkie i efektywne wykonanie budynku.

4.7 Pokój hotelu Lewis Grand na Filipinach

Pokój hotelowy w Lewis Grand Hotel w Angeles City, Pampanga, jest pierwszym na świecie w pełni funkcjonalnym, wydrukowanym w technologii 3D pokojem hotelowym. Powierzchnia pokoju wynosi 130 m², a jego budowa trwała około 100 godzin. Projekt obejmuje dwie sypialnie, salon, spa i jacuzzi, które również zostało wydrukowane w technologii 3D. Koszt budowy szacuje się na 350.000 PLN.

4.8 Osiedle domów jednorodzinnych w Tabasco (Meksyk)

Osiedle domów jednorodzinnych w Tabasco w Meksyku zostało zrealizowane przez firmę ICON. Każdy dom ma powierzchnię 48 m² i jego budowa trwa jeden dzień. Osiedle składa się z wielu domów, które są częścią projektu mającego na celu zapewnienie taniego i szybkiego budownictwa dla społeczności potrzebujących. Koszt budowy jednego domu wynosi 80.000 PLN.

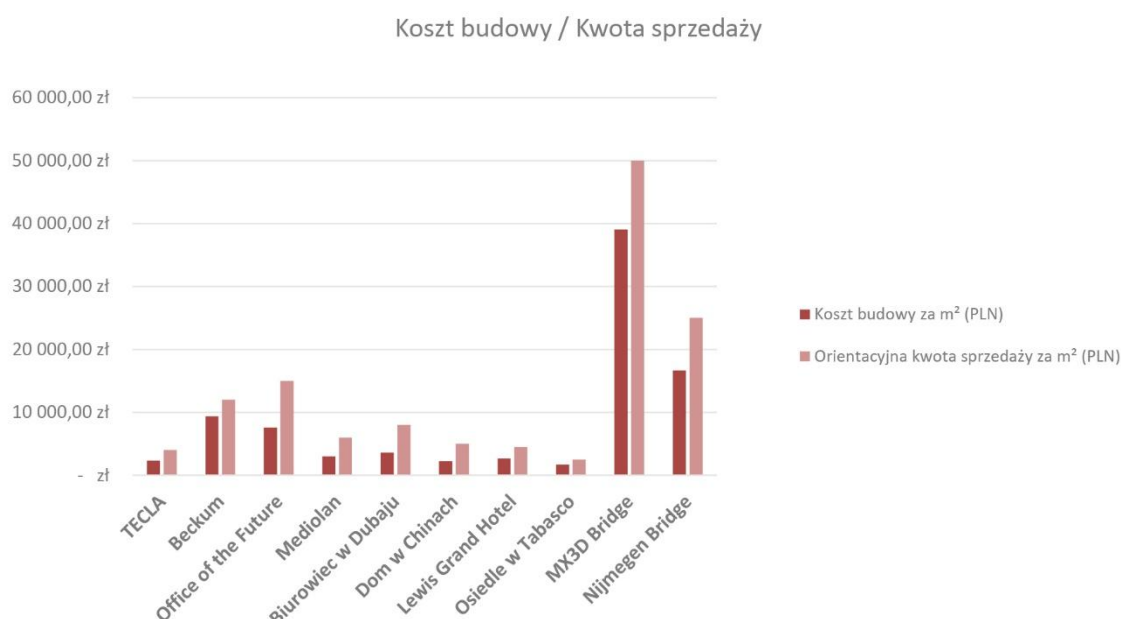
4.9 Kładka dla pieszych w Amsterdamie (Holandia)

MX3D Bridge to pierwsza na świecie stalowa kładka dla pieszych wydrukowana w technologii 3D. Projekt został zrealizowany przez firmę MX3D we współpracy z Joris Laarman Lab oraz Arup i zainstalowany nad kanałem w Amsterdamie. Kładka ma długość 12,2 metra, szerokość 6,3 metra i wysokość 2,1 metra. Budowa mostu trwała od 2018 do 2021 roku i kosztowała około 3 milionów PLN. Most wyposażony jest w inteligentne czujniki monitorujące jego stan w czasie rzeczywistym.

4.10 Nijmegen Bridge - kładka dla pieszych (Holandia)

Kładka dla pieszych w Nijmegen to innowacyjny projekt zrealizowany jako część większej inicjatywy badawczej. Most został zbudowany z wykorzystaniem technologii druku 3D i ma na celu poprawę infrastruktury miejskiej oraz monitorowanie ruchu pieszych. Most ma długość 10 metrów, szerokość 3 metry i wysokość 1,5 metra. Budowa trwała około 3 miesięcy, a koszt oszacowano na 500,000 PLN.

Rys. 2. Wykres przedstawiający koszt budowy w odniesieniu do kwoty sprzedaży.



5. Podsumowanie

Technologia druku 3D w połączeniu z systemami BIM stanowi przełom we współczesnym budownictwie, otwierając nowe możliwości projektowania i realizacji obiektów architektonicznych [9] [10]. Integracja modelowania parametrycznego z technologiami addytywnymi pozwala na tworzenie skomplikowanych, zoptymalizowanych form konstrukcyjnych, które byłyby niemożliwe do wykonania tradycyjnymi metodami. W zakresie materiałów dominują obecnie mieszanki betonowe, umożliwiające redukcję zużycia surowca o 25% przy zachowaniu odpowiednich parametrów wytrzymałościowych. Perspektywiczne są ekologiczne geopolimery redukujące emisję CO₂ o 80%, choć ich wysoki koszt ogranicza obecnie powszechne zastosowanie. Dla zastosowań specjalistycznych dostępna jest wysokotemperaturowa ceramika z węgla krzemu, podczas gdy polimery służą głównie do prototypowania. Analizowane realizacje – od domów jednorodzinnych po mosty – dowodzą praktycznej użyteczności technologii. Czas budowy skraca się z miesięcy do dni (np. dom w Beckum zbudowano w 4 dni), a koszty mogą być niższe nawet o 50% w porównaniu do metod tradycyjnych. Szczególnie imponujące są projekty TECLA wykorzystujące lokalną glinę (200 godzin realizacji) czy osiedle w Tabasco, gdzie jeden dom powstaje w ciągu doby za około 80 000 PLN.

Technologia druku 3D nie tylko rewolucjonizuje proces budowlany poprzez automatyzację i redukcję kosztów, ale także przyczynia się do zrównoważonego rozwoju poprzez minimalizację odpadów i możliwość wykorzystania materiałów pochodzących z recyklingu. Połączenie z systemami BIM umożliwia pełną kontrolę nad procesem projektowym i wykonawczym, od koncepcji po realizację, otwierając drogę do architektury przyszłości – spersonalizowanej, ekologicznej i ekonomicznej.

6. Literatura

- [1] Prem, P. R., Ambily, P. S., Kumar, S., & Ghodke, S. B. (2024). A theoretical model to predict the structural buildability of 3D printable concrete. *Mechanics of Time-Dependent Materials*. <https://doi.org/10.1007/s11043-024-09666-8>
- [2] Borkowski, A. (2024). *Propedeutyka BIM – filozofia modelowania informacji o obiekcie budowlanym*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej.
- [3] Kuznetsov, D. v., Klyuev, S. v., Ryazanov, A. N., Sinitsin, D. A., Pudovkin, A. N., Kobeleva, E. v., & Nedoseko, I. v. (2023). Dry mixes on gypsum and mixed bases in the construction of low-rise residential buildings using 3D printing technology. *Construction Materials and Products*, 6(6). <https://doi.org/10.58224/2618-7183-2023-6-6-5>
- [4] Ambily, P. S., Kaliyavaradhan, S. K., & Rajendran, N. (2024). Top challenges to widespread 3D concrete printing (3DCP) adoption. In *European Journal of Environmental and Civil Engineering* (Vol. 28, Issue 2, pp. 300–328). Taylor and Francis Ltd. <https://doi.org/10.1080/19648189.2023.2213294>
- [5] Elistratkin, M., Alfimova, N., Podgornyi, D., Olisov, A., Promakhov, V., & Kozhukhova, N. (2022). Influence of Equipment Operation Parameters on the Characteristics of a Track Produced with Construction 3D Printing. *Buildings* 2022, 12. <https://doi.org/10.3390/xxxxx>
- [6] Bondarev, B., Bayazov, V., Korneev, O., Vostrikov, I., Meshcheryakov, A., & Korneeva, A. (2021). Selection of mixtures for 3D printing. *The Eurasian Scientific Journal*, 13(3). <https://doi.org/10.15862/29savn321>
- [7] Iqbal, A. R., & Muhammad, K. F. (2022). Analysis and Design of Control System for Desktop Size Concrete 3D Printer. *MEKATRONIKA*, 4(1), 80–87. <https://doi.org/10.15282/mekatronika.v4i1.8624>
- [8] Ivanov-Kostetskyi, S., Gumennyk, I., & Voronkova, I. (2021). Innovative Trends in Architecture – Creating Full-Scape Buildings with the 3D Print Technology. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1203(2), 022099. <https://doi.org/10.1088/1757-899x/1203/2/022099>
- [9] Perz, R. (2020). Betonowy dom z drukarki 3D. *Materiały Budowlane*, 1, 64–65. www.materiaלבudowlane.info.pl
- [10] Cross, N. (2023). *Design Thinking. Understanding How Designers Think and Work*. Bloomsbury.

dr inż. arch. Marek Początko; dr inż. arch. Anna Mielnik, prof. PK
Katedra Projektowania Architektonicznego; Wydział Architektury Politechniki
Krakowskiej

Perforowane ściany betonowe. Wybrane aspekty technologiczne, użytkowe i estetyczne we współczesnej architekturze.

Perforated concrete walls. Selected technological, utility and aesthetic aspects in contemporary architecture.

Streszczenie

Artykuł skoncentrowany jest na analizie perforowanych elementów betonowych ścian zewnętrznych we współczesnej architekturze. Rozważania oparto o wybrane przykłady realizacji fasad, w których zrezygnowano z tradycyjnej stolarki i zastosowano liczne małe otwory wypełniane przeźroczystymi materiałami. Podjęto próbę określenia ich znaczenia użytkowego i technologicznego, ale przede wszystkim wymiaru estetycznego. Pomimo trudności projektowych i wykonawczych takie rozwiązania są wykorzystywane we współczesnej architekturze dając ciekawe indywidualne formy o oryginalnym wyrazie architektonicznym budynków.

Abstract

This article focuses on the analysis of perforated concrete exterior wall elements in contemporary architecture. The discussion is based on selected examples of facade designs that forgo traditional joinery and incorporate numerous small openings filled with transparent materials. An attempt is made to determine their functional and technological significance, but above all, their aesthetic aspect. Despite design and implementation challenges, such solutions are used in contemporary architecture, creating interesting, individual forms with original architectural expression.

1. Perforowane ściany fasadowe jako element architektoniczny.

Architektura betonowa jako istotny nurt współczesności nadal potwierdza powszechność stosowania betonu jako niezastąpionego materiału we współczesnym budownictwie. Poszukiwania nowych rozwiązań, nie tylko w zakresie samej architektury ale przede wszystkim w recepturze i sposobie wytwarzania i zużywania betonu prowokuje stosowanie i osiąganie coraz lepszych parametrów związanych z ekologią, ochroną klimatu Ziemi. Ten rozwój przynosi kolejne nowe możliwości używania betonu – a zatem również nowe możliwości estetyczne i technologiczne. Nie tylko w jego jakości, sposobie wykończenia płaszczyzn, ale również uzyskiwania nowych kształtów w różnej skali obiektu i jego elementów.

Pośród tych zmian ciekawą wydaje się być m.in. wykonywanie perforacji w elementach betonowych. Nie oznacza ona przełomu ale zdecydowanie istotne wpływa na możliwości estetyczne i formalne stosowania tej technologii. Dzięki niej beton prezentuje inne oblicze, zdecydowanie bardziej dekoracyjne, przełamując monumentalność i surowość dużych płaszczyzn. Technika ta wydaje się być istotna również ze względu na klimat naturalny, w niektórych rejonach świata stanowić może ważny element ochrony przed przegrzewaniem budynków.

Dlatego więc beton, tak plastyczny i wszechobecny, będzie nadal odgrywał znaczącą rolę we współczesnej architekturze w przewidywalnej przyszłości. Nowe, bardziej technicznie zorientowane formy betonu służą jedynie do rozszerzenia i wzmocnienia tej obecności. Tak, beton może być brzydki, ale może być też miękki w dotyku, zmysłowy i ciężki, zakorzeniony w ziemi, z której pochodzi. [4, s. 16]

W artykule analizowane są aspekty estetyczne i techniczne perforowanych przegród betonowych, które należy odróżnić od elementów ażurowych.

W tym rozgraniczeniu ażurowość oznacza większą otwartą przestrzeń w elemencie natomiast perforacja ma bardziej czytelne poszczególne otwory w dużej masywnej płaszczyźnie betonowej. Poza tym ażurowe elementy zazwyczaj są powtarzalne, wytwarzane w procesie prefabrykacji i montowane w obiekcie podczas gdy perforację najczęściej uzyskuje swój indywidualny charakter w trakcie wylewania betonu na miejscu. Zatem rozstrzyga o tym skala, sposób wytwarzania i stosunek otworów do płaszczyzny.

Dla dobrego zobrazowania tej klasyfikacji można porównać budynek 3M House zbudowany w San Paulo według projektu Studio MK27 (fot. 1) z elewacją wykonaną z ażurowych paneli betonowych oraz Mediatekę w Lons-le-Saunier wykonaną w technologii monolitycznej a licznymi sześciobocznymi otworami doświetlającymi w ścianie zewnętrzne (fot. 2).

Dla objaśnienia przyjętej systematyki perforacji należy wyszczególnić otwory w zewnętrznej ścianie wypełniane stolarką i elementami przeziernymi oraz ściany osłonowe z otworami, które nie muszą spełniać warunków izolacyjnych. Stanowią zatem dekoracyjny perforowany parawan nadając odpowiedni wyraz architektoniczny fasadom budynku. Najciekawsze i najtrudniejsze technologicznie zdają się być te z wypełnionymi otworami, stanowiącymi zewnętrzne przegrody budynków.

Pomimo, że *prefabrykacja elementów betonowych, obejmująca formy wielokrotnego użytku i przygotowanie poza placem budowy, jest jedną z głównych metod stosowanych w budownictwie* [4, s. 11] często monolityczne kształty wylewane *in situ* nadają indywidualny i nieopatrny charakter budowli.



Fot. 1. M3- House, San Paulo, Brazylia, 2020, Studio MK27.

Fot. 2. Mediateka, Lons-le-Saunier, Francja 2012, du Besset-Lyon Architectes

2. Analiza wybranych realizacji perforowanych ścian fasadowych.

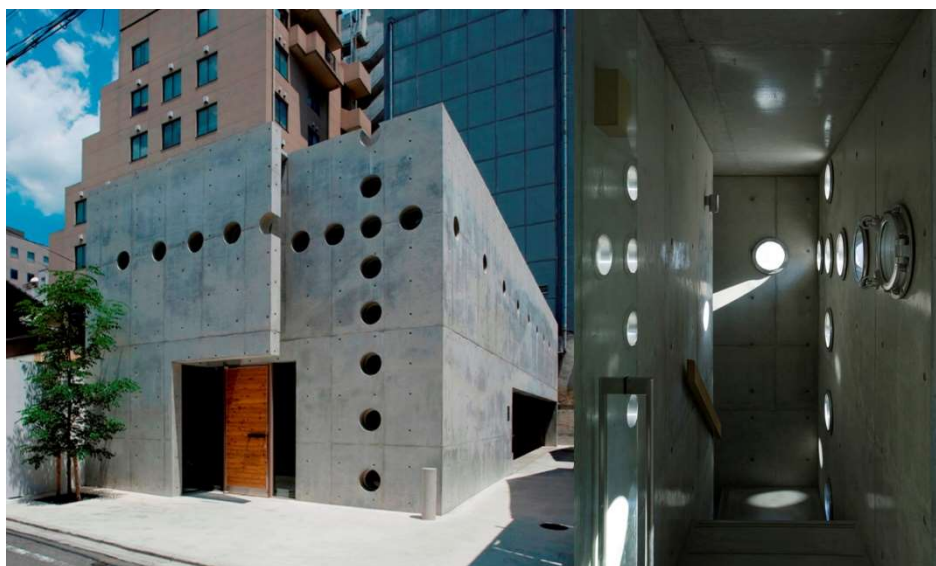
Podążając za tradycją stosowania technologii betonu należy podkreślić, że *beton był istotnym elementem wielu innych pionierskich dzieł nowoczesnej architektury. Wśród nich oczywiście jest Muzeum Solomona R. Guggenheima Franka Lloyd Wrighta (Nowy Jork, USA, 1959; strona 29), w którym architekt po prostu sprawił, że beton tworzył rzeczy, których nigdy wcześniej nie tworzył, nadając mu wymiary wykraczające poza geometrię. Wright wyjaśnił: „Te geometryczne farmy sugerują pewne ludzkie idee, nastroje, uczucia — na przykład: koło, nieskończoność, trójkąt, jedność strukturalna, spirala, postęp organiczny, kwadrat, integralność. [4, s.24]*

Pośród wielu interesujących współczesnych przykładów realizacji przegrod z widoczną i estetyczną perforacją należy wymienić choćby Walnut Factory powstałe w Portugalii według projektu ARC Arquitectos w 2022 roku gdzie otwory w fasadach pozwoliły na zachowanie dobrej cyrkulacji powietrza w budynkach.

Innym przykładem jest Krematorium w Kėdainiai na Litwie, Architektu Biuras G.Natkevicius ir Partneriai z 2011 roku o różnoformatowych kwadratowych otworach w elewacjach, częściowo spełniające funkcję niewielkich okien. Podobnie rozwiązano bryły gmachu biblioteki w Hradec Králové w Czechach wypełnione okrągłymi oknami odlowanymi w zewnętrznych ścianach z betonu architektonicznego.

Spektakularny w tym zakresie obiekt Waseda University Honjo Senior High School Gymnasium powstał w Japonii z 2020 roku, gdzie surowe płaszczyzny odlane w tradycyjnym szalunku z ciemnego niejednorodnego w swej naturalnej cementowej barwie betonu, dają brutalistyczny wyraz architektury.

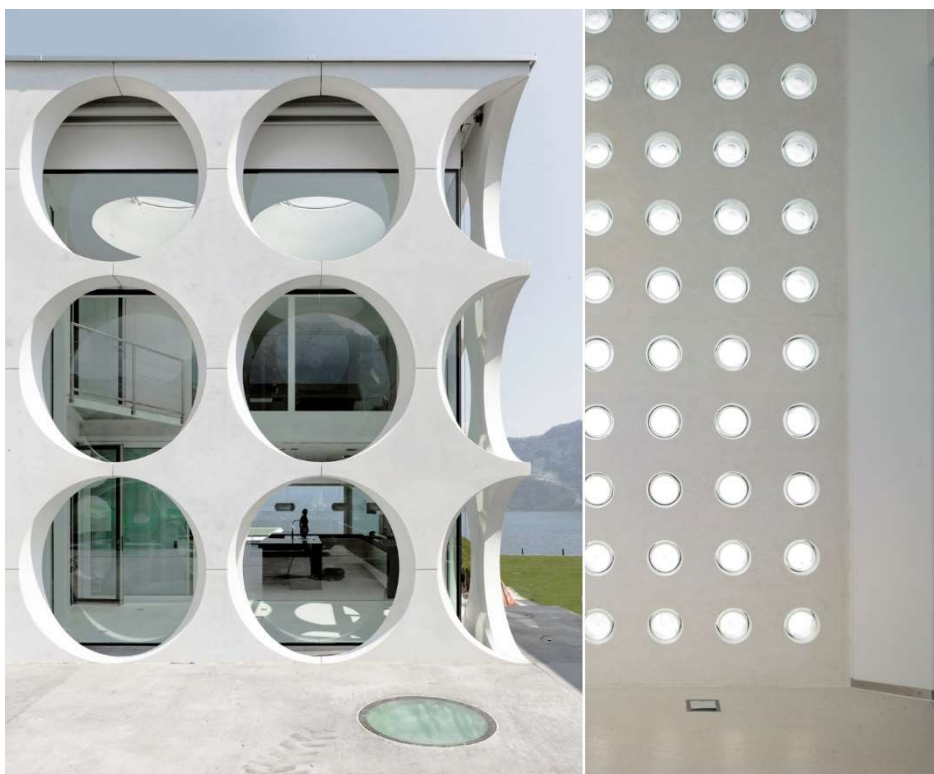
Poniżej przedstawiono kilka różnorodnych obiektów obrazujących wybrane techniczne i estetyczne możliwości kształtowania perforacji w betonowych elementach zewnętrznych.



Fot. 3,4. MON Factory House, Kyoto, Japonia, 2007, Eastern Design Office

2.1. MON Factory House, Kyoto, Japonia, 2007, Eastern Design Office

Prostopadłościenny dwukondygnacyjny budynek został zaprojektowany przez Eastern Design Office z Japonii w intensywnie zabudowanej dzielnicy mieszkaniowej. Dom zaplanowano jako dwukondygnacyjny- w parterze znajduje się sklep oraz otwarta przestrzeń parkingowa. Na pierwszym piętrze umieszczono część mieszkalną. *Rezydencja została zaprojektowana dla rzemieślnika zajmującego się wytwarzaniem herbów do ubrań. Składa się z warsztatu, salonu i sypialni, a pomiędzy nimi znajdują się dwa dziedzińce [1, s. 149].* Betonowe fasady domu od strony ulicy zostały perforowane 26 okrągłymi otworami w regularnym rytmicznym układzie (fot.3). Część z nich została zamknięta okrągłymi stałymi i otwieranymi oknami. Zwraca uwagę wysoka dbałość o precyzję wykonania i dopracowany detal. Jakość betonowych elementów widoczna jest również we wnętrzach obiektu. *Wyeksponowany beton jest obecny wszędzie, ale przedmioty i życie w domu akceptują te wyraźnie wyodrębnione powierzchnie, aby zrobić miejsce aktywnemu życiu wewnątrz jego ścian [1, str. 149].* Okna wpasowano w otwory, a ich kształt i sposób otwierania przywodzi na myśl obiekt przemysłowy lub wnętrze okrętu. Wpuszczają światło dzienne w niewielkiej ilości, co daje efekt zmiennego sposobu oświetlenia wnętrza w ciągu dnia (fot. 4). Zdecydowany nacisk na perfekcję wykonania elementów betonowych pozwala przypuszczać, że niewielkie okrągłe otwory nie stanowią tylko dekoracji fasad ale są precyzyjnymi elementami kompozycji niczym herby i sygnety produkowane przez właścicieli domu.



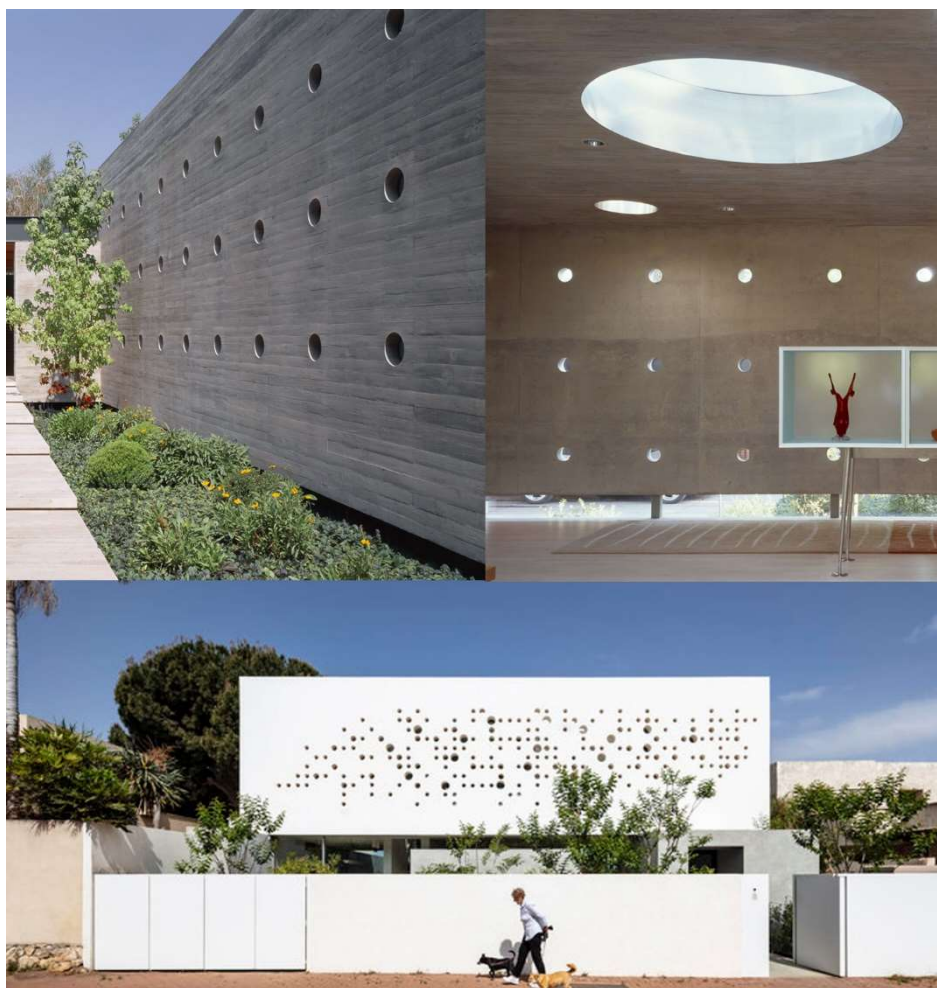
Fot. 5,6. O House, Lucerna, Szwajcaria, 2007, Philippe

2.2. O House, Lucerna, Szwajcaria, 2007, Philippe Stuebi

Dom O House położony nad jeziorem, wpisuje się w opadający teren oraz nieregularny kształt działki. Jego wyraz architektoniczny kształtuje motyw koła, który powtarzany jest w postaci dużych otworów w ażurowej fasadzie osłonowej (fot. 5), niewielkich zwiokrotnionych otworach w pełnej betonowej ścianie zewnętrznej, okrągłych części w stropie a nawet w wyposażeniu otoczenia budynku.

Duże prefabrykowane betonowe elementy zewnętrznej ściany osłonowej oddzielonej od głównej fasady budynku poprzez wielkie okrągłe otwory budują ażur struktury. Zapewniają niezakłócone wglądy z wnętrza domu w otaczający krajobraz, kształtując jednocześnie delikatny element oddzielający je od zewnętrznego świata. Ozdobne fasady nadają oryginalny wyraz architekturze, do budowy których użyto białego betonu. Liczne małe otwory na drugiej elewacji zostały wypełnione ceramicznymi pustakami szklanymi, które niczym soczewki łączą część wewnętrzną budynku z zewnętrzną (fot.6). Te rozwiązania powodują, że przestrzeń domu nie wymaga dodatkowych ozdób – jego minimalistyczne wyposażenie i wykończenie doskonale urozmaicają promienie światła słonecznego wpadające poprzez niewielkie otwory. Podobny wzór okrągłych szklanych otworów zastosowano w części stropowej. Jednak ze względów konstrukcyjnych wykonano je jako elementy rusztu stalowego z wypełnieniem. Pozostałe fasady domu są typowe, gładkie z prostokątnymi oknami.

Dwie, odmiennie perforowane elewacje należy uznać jako dekorację i urozmaicenie formy budynku. Nie stanowią podstawowej struktury obiektu. Niemniej w interesujący sposób pokazują możliwości stosowania takich rozwiązań również w skali domów jednorodzinnych.



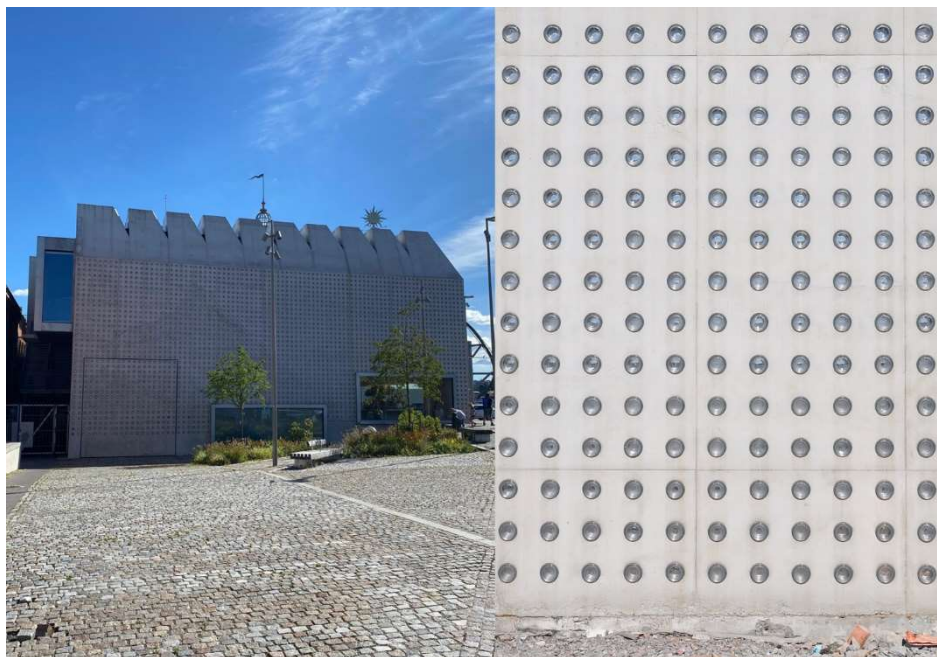
Fot. 7,8. Viejo House, Santiago de Chile, Chile, 2002, Mathias Klotz
Fot. 9. Dom Round edge, Izrael, 2012, Anderman Architects

2.3. Viejo House, Santiago de Chile, Chile, 2002, Mathias Klotz

Betonowy Viejo House również został zbudowany z powtarzalnym motywem koła. Autor Mathias Klotz opisuje dom jako *stonowany projekt*, w którym *zastosowano proste rozwiązania konstrukcyjne i programowe, wykorzystujące różne faktury betonu i różne wysokości pomieszczeń w zależności od ich przeznaczenia i proporcji* [3, s.192]. Ten prostokątny 12m x 40m parterowy dom posiada monolityczne fasady z niewielkimi okrągłymi otworami wypełnionymi szybami. Beton układany warstwowo w szalunku z desek naturalnych prezentuje ciekawe i charakterystyczne wartości klasycznego betonowania ściany (fot. 7). Nowoczesne techniki budowy pozwoliły zastosować perforację nadającą zdecydowanie domowy charakter monolitycznym płaszczyznom (fot. 8). Ściany zewnętrzne nie stanowią jednolitej i brutalnej granicy pomiędzy wnętrzem domu a jego otoczeniem, nie posługując się przy tym typową stolarką okienną lub wielkimi przeszklonymi płaszczyznami. Takie rozwiązanie daje możliwość innego, bardziej dekoracyjnego i plastycznego a nawet zabawnego traktowania architektonicznej betonowej przegrody. Dla porównania należy przywołać inny budynek mieszkalny jednorodzinny Round Edge zrealizowany w Izraelu (fot. 9), w którym zastosowano białą betonową kurtynową fasadę chroniącą wnętrze przed intensywnym słońcem. Perforacja ma

plastyczny, swobodny układ okrągłych niewielkich otworów o niewielkich zróżnicowanych średnicach.

Oba obiekty ukazują możliwości szerokiego stosowania tej techniki dla osiągnięcia interesujących efektów plastycznych i percepcyjnych architektury.



Fot. 10,11. Liljevalchs+ Konsthall, Sztokholm, Szwecja, 2021, Wingårdh Arkitektkontor

2.4. Liljevalchs+ Konsthall, Sztokholm, Szwecja, 2021, Wingårdh Arkitektkontor

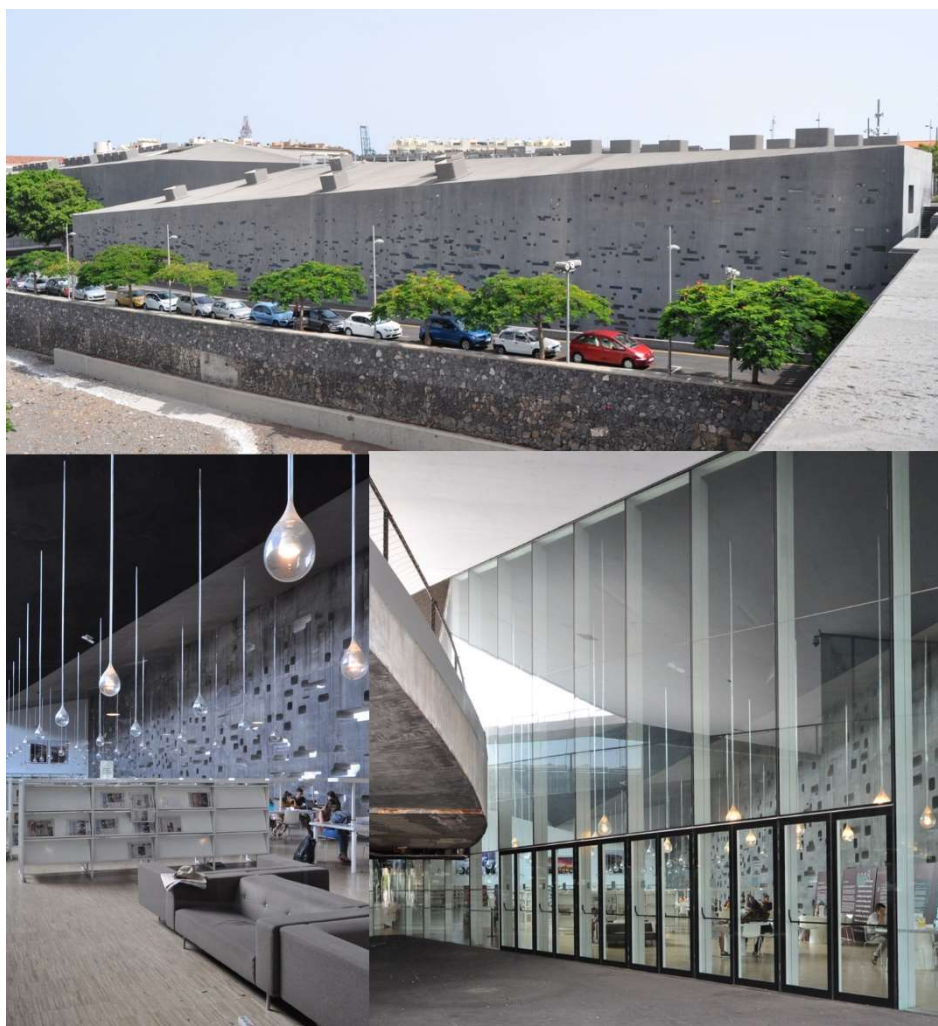
Podobne rozwiązania jak w domu O House zastosowano podczas rozbudowy muzeum Liljevalchs w Sztokholmie. Liljevalchs+ został zaprojektowany przez architekta Gerta Wingårdha przy współpracy artysty Ingergerda Råmana.

Nowe prostopadłościenną betonowe pudło galerii przylegające od zachodu do istniejącego budynku zostało zwieńczone dachem w formie *166 odlewanych na miejscu kopuł świetlików dachowych, tzw. latarni, które nadają halom wystawowym bardzo szczególne światło* [2]. Zabytkowy budynek muzeum został połączony szklanym łącznikiem. To dość skomplikowane przedsięwzięcie wymagało szczegółowego zaplanowania całego procesu by nie zakłócać pracy części istniejącej. Nowatorski projekt budynku, który sam w sobie miał być wyjątkowym dziełem sztuki stawiał trudne wyzwania dla wykonawcy. To nie tylko ukryte instalacje wewnętrzne i wyposażenie, prosty i jednolity kształt budynku ale i wymóg architektów uzyskania jak najmniejszej ilości widocznych połączeń wylewanych elementów. Żądano przy tym wysokiej estetyki i jakości elementów betonowych. Za fasady odpowiadała szwedzka firma PEAB. Elewacje mają 6860 osadzonych den butelek z przezroczystego szkła zaprojektowanych przez Ingergerda Råmana. Elementy te wystają kilka centymetrów z gładkiej płaszczyzny ściany. Otwory-soczewki ułożono gęsto na planie kwadratowej siatki na całych powierzchniach fasad. Dodatkowo w poziomie parteru zaplanowano duże prostokątne okna. Precyzja planowania i wykonania potwierdza wyjątkowość tego obiektu. Jak wyjaśnia

wykonawca: *Budynek jest całkowicie wylewany na miejscu z betonu z dużą liczbą szczegółowych rozwiązań... Wszystkie instalacje, jak elektryczne, SAP i wentylacji, są zalewane betonem, aby nie były widoczne. Budowa w ten sposób wymaga zaawansowanego planowania i systemu, w którym każdy szczegół jest dobrze przemyślany [2].* Podobnie wymagającym szczególnej uwagi był dach, w którym 166 latarni tworzy siatkę pozwalającą na wiele różnych wewnętrznych podziałów pomieszczeń i ułatwia pośredni dostęp naturalnego światła (fot. 10). Przy tak skomplikowanym przedsięwzięciu problemy były nieuniknione - w żelbetowej ścianie wydzielającej salę konferencyjną podczas betonowania pojawiło się spore pęknięcie. Architekci postanowili pozostawić je, wyeksponować i przekształcić to miejsce w salę wystawową.

Szereg nietypowych rozwiązań zastosowanych w budynku galerii oraz jego surowa i oszczędna forma ukazuje wysoki stopień skomplikowania technologicznego obiektu. Zastosowana perforacja elewacji uzupełniania szklanymi elementami ma tutaj wymiar dekoracyjny – nie stanowi doświetlenia wnętrza budynku (fot. 11). *6860 szklanych obiektów zamontowano w stalowych cylindrach wbudowanych w szalunek[5].* Ściana zewnętrzna jest trójwarstwowa dając możliwość izolowania termicznego pomiędzy częścią konstrukcyjną a osłonową: *300 mm betonu na zewnątrz, 300 mm izolacji piankowej pośrodku i 400 mm betonu wewnątrz [5].* Beton wylewany na miejscu był samozagęszczalny o klasie wytrzymałości C30/37 ze standardowym cementem portlandzkim. Podobnie świetliki - są one jednowarstwowe, zostały odpowiednio izolowane od zewnątrz, aby beton pozostał widoczny wewnątrz [5].

Niepowtarzalne dzieło współczesnej architektury podporządkowane nadrzędnym regułom racjonalnej geometrii i zredukowanym środkom wyrazu nie wszystkim przypadła do gustu. Obiekt ten porównywany do dużego betonowego bunkra został nazwany najbrzydszym nowym budynkiem roku 2020 w Sztokholmie.

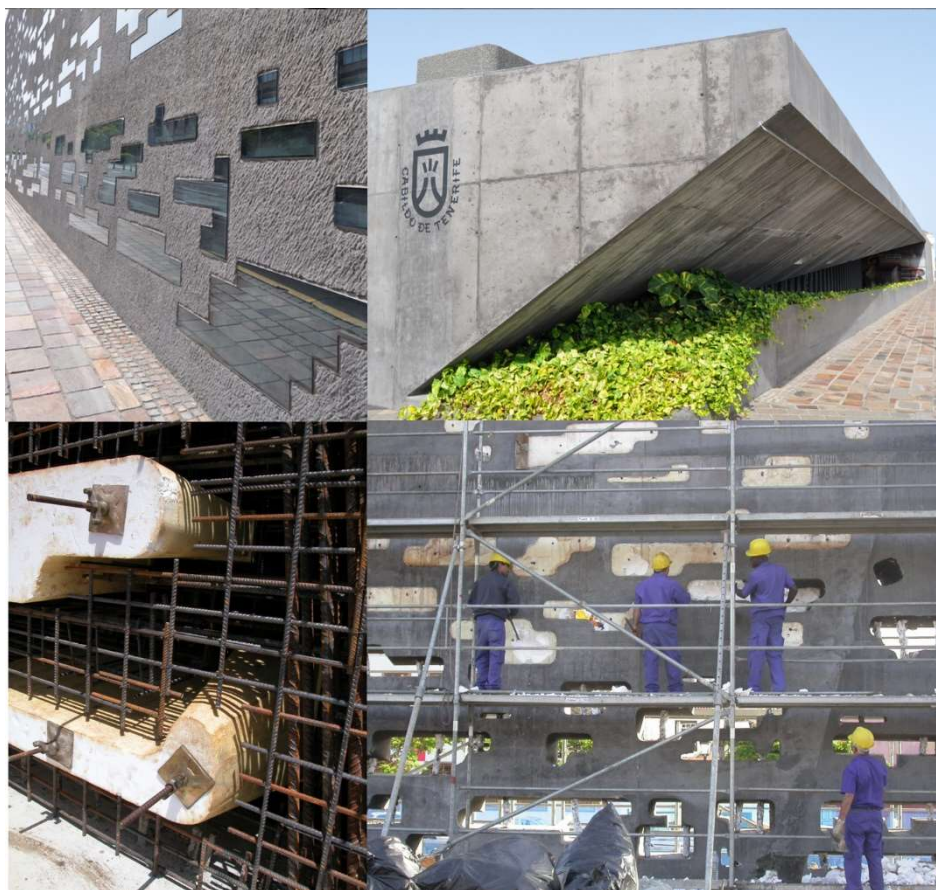


Fot. 12,13,14. Tenerife Espacio de las Artes, Santa Cruz, Teneryfa, 2008, Herzog & de Meuron

2.5. TEA Tenerife Espacio de las Artes, Santa Cruz, Teneryfa, 2008, Herzog & de Meuron

Budynek TEA dostosowano do pochyłej narożnej działki w centrum miasta. Architekci słynący z minimalizmu uznali, że rozłożysta i niska forma obiektu wymaga urozmaicenia i potraktowania w oryginalny sposób. Wybór materiału budowlanego do utworzenia galerii nie jest przypadkowy – Herzog & de Meuron stosowali z powodzeniem w przeszłości beton jako podstawowy budulec swojej architektury. Bryła galerii to 160-metrowej długości i 6-metrowej szerokości prostopadłościan o wysokości czterech kondygnacji 18m. *Jak zawsze Herzog & de Meuron stworzyli zaskakujący dialog form i powierzchni, zupełnie nie podobny do niczego, co widziano wcześniej, a jednak w pełni spójny z ich własną twórczością* [4, s. 268]. Ten budynek mieści oprócz przestrzeni wystawowych m.in. salę audytoryjną na 194 osób, bibliotekę, sklep. Zagospodarowany teren dookoła i podłużne dziedzińce zostały funkcjonalnie zakomponowane tak aby stały się ważnym elementem budynku łącząc jednocześnie różne poziomy komunikacji pieszej w otoczeniu budynku. Pozwalają one również na obserwacje oryginalnej formy z różnej perspektywy (fot. 12).

Sporej wielkości i długości betonowe zewnętrzne ściany wygradzające galerię posiadają wyjątkową perforację nieregularnymi podłużnym otworami (fot. 15). Przybierają one kształty rozciągniętych połączonych prostokątów, które w zewnętrznej części mają prostokreślne krawędzie a od wnętrza budynku zaokrąglone narożniki. Zamknięte są ponad 1200 zestawami szklanymi osadzonymi w licowej warstwie ściany. Nietypowe otwory zostały również wykorzystane do formowania i dekoracji wewnętrznej ściany konstrukcyjnej (fot. 13,14). Do betonowania użyto mieszanki samozagęszczającej, zabarwionej na ciemnoszary, lekko grafitowy kolor. Potęguje on i podkreśla znaczenie perforacji tych dużych struktur. Imponująca ilość dziur w ponad 720 różnych formach, ich nieregularny kształt oraz wzór ułożenia sprawiają, że ściany stają się ażurową siatką lub sitem pozwalającym na penetrację światła w obu kierunkach oraz prowokują przechodniów do dyskretnego zaglądania przez otwory. Pikselowy układ wywodzi się z prób graficznego ułożenia otworów podczas procesu projektowego inspirowanego fotografią morza Thomasa Ruffa [6].



Fot. 15,16,17,18. Tenerife Espacio de las Artes, Santa Cruz, Teryfa, 2008, Herzog & de Meuron

Formy do uzyskania docelowych otworów utworzono ze styropianu XPS. Dodatkowo służyły one do przełożenia ściągów deskowania (fot. 17,18). Pionowe ściany brył budynku zwieńczono skośnymi płaszczyznami betonowego dachu z kubikowymi świetlikami. Beton ukazuje w tym obiekcie swoją zróżnicowaną naturę - od gładkich wypolerowanych płaszczyzn po chropowate matowe powierzchnie, jednolodne lekko szare po ciemne grafitowe zabarwienie. Różnorodne powierzchnie i

płaszczyzny zmieniają się również z biegiem lat – na skośnych podciętych płaszczyznach zadasszenia pojawiły się zacieki z wód opadowych dając oryginalny wyraz betonowym powierzchniom (fot.16).



Fot. 19,20,21. Muzeum rysunku architektonicznego, Berlin, Niemcy, 2013, Tchoban Voss Architekto

2.6. Muzeum rysunku architektonicznego, Berlin, Niemcy, 2013, Tchoban Voss Architekto

Zaprojektowane przez Sergeya Kuznetsova z biura Speech Tchoban & Kuznetsov Muzeum rysunku zlokalizowano w rejonie starego browaru Pfefferberg na niewielkiej działce sąsiadującej bezpośrednio z istniejącym budynkiem mieszkaniowym. Jego bryła na planie prostokąta 8x12m została podzielona na pięć odpowiadających kolejnym pięciu kondygnacjom. Przesunięte i skrócone względem siebie budują tertonikę muzeum (fot. 19).

Niewielki obiekt mieści w parterze księgarnię, następnie przestrzeń wystawową oraz salę konferencyjną na ostatnim piętrze. [4, s.508]
Zewnętrzne ściany wykonano na miejscu z wodoszczelnego betonu –warstwa nośna o grubości 27cm, wypełniona wewnątrz szkłem piankowym o grubości 10cm. Dodatkowo wymurowano 5cm wewnętrzną część z cegły wapienno cementowej, następnie otynkowano. Warstwa stanowi magazyn nadmiaru wilgoci.
Zgodnie z niemieckimi standardami ściany zewnętrzne i klatki schodowej spełniają wymagania najwyższej klasy betonu eksponowanego SB 4 [7]. Zastosowano mieszankę dla finalnego ciepłego piaskowego koloru betonu. Z wielokrotnie fragmenty rysunków architektonicznych „uzyskano za pomocą matryc silikonowych Reckli... Po ustawieniu deskowania i uszczelnieniu spoin i krawędzi silikonem, beton wylewano piętro po piętrze bez przerw, aby wyeliminować różnice jakościowe w obrębie pięter. Pozycja kotew została dokładnie skoordynowana i ustalona na podstawie motywów. Po usunięciu, otwory kotew zamknięto za pomocą dopasowanych kolorystycznie stożków uszczelniających z włókno cementu [7].
Wysoka jakość wykonania elementów betonowej fasady podnosi walory estetyczne budynku. Perforacja pojawia się w parterze w dłuższej elewacji, przechodzi na tylną i nie się ku górze wzdłuż ściany budynku przylegającego (fot. 20). Choć nie stanowi

dominującego motywu jest dodatkowym urozmaicheniem fasad budynku. Nieregularne otwory zostały wypełnione szybami ornamentowymi walcowanymi o zielonym odcieniu (fot. 21).

Technologia betonowa jest precyzyjna, a zewnętrzny finalny wygląd budynku potwierdza wysokiej klasy wykonawstwo. Jest to dopracowywane od wielu lat, od kiedy *Ando i inni w Japonii często stosują starannie lakierowane drewno do tych form. Wykończone powierzchnie są następnie traktowane związkiem fluoro-żywicy, przezroczystą farbą, która pozostawia lekko błyszczące wykończenie, ale służy do wodoodporności i ochrony powierzchni betonowych przez 10 do 15 lat* [4, s.10]

Wprowadzone nieregularne małe i liczne otwory w betonowych fasadach stanowią dodatek do oryginalnych elewacji pozwalając delikatnie doświetlić wnętrza bez stosowania klasycznych okien ukazując jednocześnie współczesne możliwości.



Fot. 22,23,24. Shadow Surface, Lisbona, Portugalia, 2009, Ateliermob

2.7. Shadow Surface, Lisbona, Portugalia, 2009, Ateliermob

To przykład niewielkiej udanej interwencji w zastaną tkankę Lisbony. Podnosząc estetykę oraz użytkowość placów i przestrzeni pomiędzy budynkami mieszkalnymi wielorodzinnymi wywiera się realny wpływ na otoczenie. Obiekty powstały w ramach większego działania rewitalizacji robotniczej części miasta.

Zbudowano niewielki budynek kawiarni oraz rampę z windą ułatwiającą komunikację oraz zadaszone miejsce odpoczynku dla mieszkańców. Betonowy dach dający wytchnienie w słoneczne dni ustawiony pod kątem do terenu opiera się na trzech ścianach i obudowie windy (fot. 22). Jego płaszczyzna została skośnie przełamana ułatwiając odprowadzanie wody deszczowej, choć część i tak przelewa się przez nieregularną siatkę licznych okrągłych otworów. Nadają one lekkości i nietypowego wyglądu zadaszaniu (fot. 23). Betonowa płaszczyzna została odlana na miejscu. Naturalny cementowy kolor konstrukcji jednoznacznie pozwala określić rodzaj budulca. *Jeśli chodzi o powierzchnię zacieniającą, pikselizacja dachu z modułową, nieosiową orientacją i odpowiadającą jej grą światła sprawiły, że stał się on kluczowym elementem projektu miejskiego i punktem odniesienia dla mieszkańców* [8]. Jednokondygnacyjny budynek kawiarni jest pudłem z oknami skierowanymi na zielony skwer. Do wzniesienia obiektu również użyto betonu.

Przykład ten, w zupełnie w innej małej skali i funkcji, ukazuje możliwości zmiany wyrazu i odbioru prostego elementu płaszczyznowego betonowego zadaszania miejsca odpoczynku włączając w to naturalną zmianę położenia słońca i związanej z tym gry cieni. W nienachalny sposób, niewielką ingerencją podnosi jakość miejsca i przestrzeni półprywatnej pomiędzy istniejącymi budynkami mieszkalnymi.



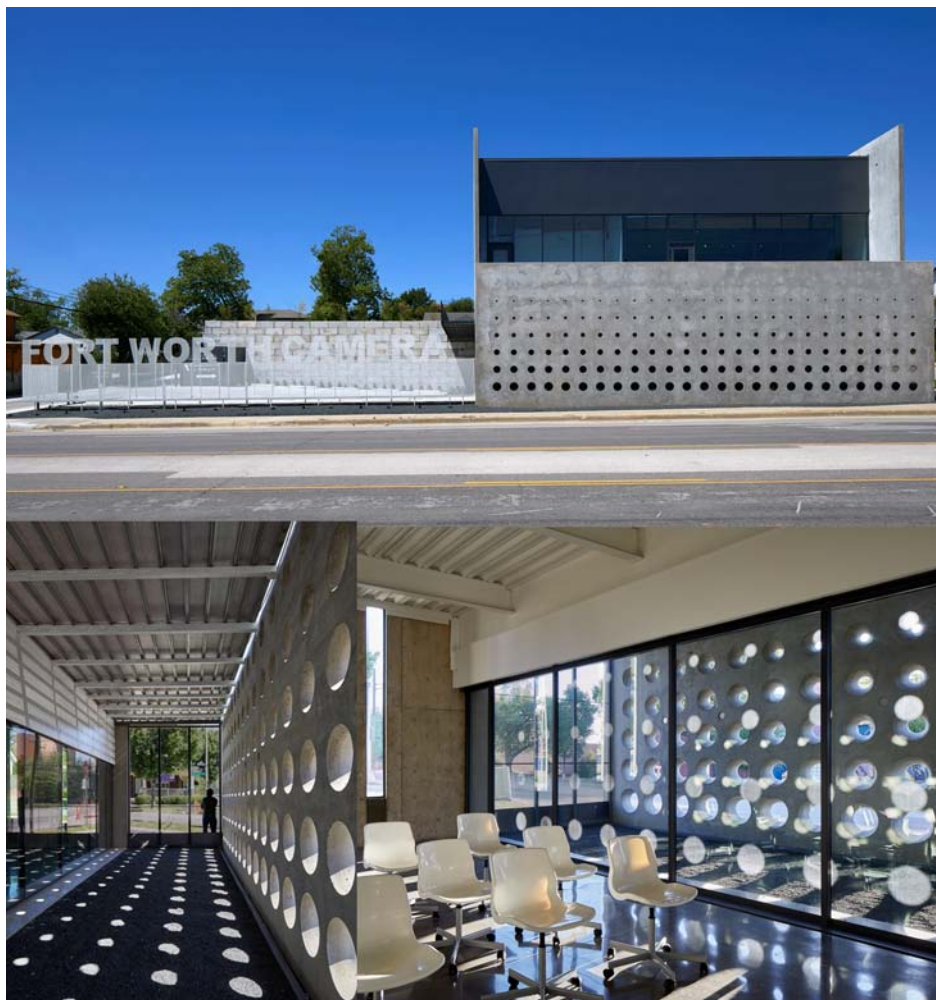
Fot. 25,26,27. Forum Eckenberg Gymnasium, Niemcy, 2013, Ecker Architekten

2.8. Forum Eckenberg Gymnasium, Niemcy, 2013, Ecker Architekten

Budynek zaprojektowany w Adelsheim przez Ecker Architekten to forum - miejsce spotkań dla użytkowników kampusu Eckenberg Academy. Stanowi interesujący przykład realizacji perforowanego stropu z otworami, które wykonano w dachu żelbetowym. Sufit głównej sali pokrywa siatka okrągłych sferycznych wgłębień. W części z nich wykonano otwory pozwalając na naturalne doświetlenie. Jasny beton oraz perforacja nadają lekkości konstrukcji.

Sklepione otwory zostały zaizolowane w górnej części i przykryte świetlikami kopułowymi o większej średnicy. Poza oczywistą możliwością naturalnego doświetlenia daje to ciekawy efekt wizualny, sprawiający wrażenie niezwykle lekkiej konstrukcji dachu. Zupełnie zaprzeczając standardowej ciężkiej przegrodzie poziomej uzyskano ciekawy element wnętrza budynku. Aby nie zakłócać przestrzeni podstropowej instalacjami m.in. wody opadowe odprowadzane są w pustych rdzeniach okrągłych słupów podpierających dach. Proste, estetyczne rozwiązania wymagały wysiłku projektowego i wykonawczego. Dzięki temu uzyskano niezwykle

obiekt o współczesnym minimalistycznym wyglądzie prezentując najnowsze architektoniczne możliwości.



Fot. 28,29,30. Camera Studios, Texas, USA, 2018, Ibañez Shaw Architecture

2.9. Fort Worth Camera Studios, Texas, USA, 2018, Ibañez Shaw Architecture

Niewielki usługowy budynek mieszczący sale wykładowe, studia i sklep fotograficzny swoją oryginalną architekturę zawdzięcza monolitycznej perforowanej ścianie zewnętrznej, która stanowi zaplanowaną granicę i dekorację budynku. Zaprojektowano w niej rzędy okrągłych otworów o zmniejszającej się ku górze średnicy, ułożonych w kolumnach o równych odstępach, nawiązując do różnych przesłon obiektywów fotograficznych. Dodatkowo rozszerzają się one stożkowo od zewnątrz do wewnątrz. Daje to ciekawy efekt światłocieniowy we wnętrzach obiektu. Boczne dłuższe fasady wykonano w klasycznym gładkim wykończeniu betonu architektonicznego. Ekspozycja ścian zachowana jest wewnątrz obiektu. Lokalizacja sklepu jest wymagająca - w okolicy znajduje się budynek m.in. muzeum autorstwa Tadao Ando. Być może stanowiło to dla architektów inspirację do użycia betonu w wyjątkowy sposób. Perforowana ściana jest prezentacją kompozycji, precyzji i współczesnych osiągnięć technologicznych.

Podobny efekt architektoniczny - wizualny uzyskano w realizacji domu wielorodzinnego Kho Rèn House zaprojektowanego przez M+TRO Studio w Wietnamie. Dwie duże skośnie ustawione ściany osłaniające loggie budynku odlano z betonu plastycznie podziurawionego okrągłymi otworami o różnej średnicy. Ich funkcja ochraniająca budynek przed słońcem i intensywnymi opadami deszczu nadają interesujący wygląd architekturze domu.

W obu przypadkach ściany są kurtynami – nie stanowią termicznej, zewnętrznej ściany, przez co otwory są otwarte, niezabezpieczone szybami lub stolarką. Ich znaczenie dla formy i architektury budynków jest kluczowe - rozstrzygają o indywidualnym wyglądzie obiektów.

3. Podsumowanie

Współcześnie technologia betonu stwarza możliwość budowy elementów architektury w nowatorski sposób. Pozwala to na ich perforację o różnej wielkości, stosując nieforemne kształty lub otwory o zmiennej średnicy.

Zabieg ten jest wykonalny głównie w ścianach osłonowych, w zewnętrznych ścianach warstwowych w technologii monolitycznej lub w drodze prefabrykacji oraz w stropach. Daje to architektom spore możliwości urozmaicenia ścian betonowych oraz zmiany ich postrzegania. Twórcze wykorzystanie tych cech wpływa korzystnie na architekturę betonową, przy jednoczesnym utrzymaniu wysokiej jakości wykonawstwa elementów konstrukcyjnych i osłonowych, zdecydowanie wpływa na pozytywny odbiór płaszczyzn betonowych przez użytkowników i obserwatorów.

Perforacja odbywa się głównie poprzez stosowanie dwóch technologii – prefabrykacji i montażu gotowych elementów na miejscu budowy (często w elementach ażurowych) oraz odlewanie elementów *in situ* w deskowaniach z przygotowanymi formami otworów. Elementy są również wykonywane jako wznoszone z ażurowych prefabrykowanych bloczków betonowych lub kształtek. Jednak ich wyraz estetyczny jest inny – to przegrody wybudowane z drobnowymiarowych gotowych kształtek.

Zapewne odlewanie ścian z perforacją wymaga doboru odpowiednich i plastycznych mieszanek betonu SCC oraz dostosowanie struktury zbrojenia. Rodzi to projektowe i wykonawcze wyzwania. Niemniej postęp technologii betonowania pozwala na uzyskanie tych innowacyjnych form architektonicznych.

Przywołane przykłady ukazują różne sposoby urozmaicenia i zmiany wyrazu płaskich i pełnych betonowych płaszczyzn. Perforacje pozwalają na bardziej dostępny, dekoracyjny a niekiedy żartobliwy sposób prezentacji budowli. Perforacja ta jest regularna lub ułożona swobodnie, jednakowe lub różnej wielkości i o różnych kształtach otwory dają spore możliwości projektowania i wykonywania elementów wpływając na ich powszechny pozytywny odbiór. Dodatkowo można wykorzystywać tę technologię do montowania nietypowej stolarki, uzupełniania otworów elementami szklanymi co nadaje indywidualny charakter architekturze betonowej.

4. Literatura

- [1] P. Jodidio, Architecture Now! Houses, Taschen, Kolonia 2009
- [2] <https://peab.se/projekt/liljevalchs-konsthall-stockholm/> dostęp 20.05.2025
- [3] P. Jodidio, Architecture Now! Vol. 4, Taschen, Kolonia 2006
- [4] P. Jodidio, Contemporary concrete buildings, Taschen, Kolonia 2022

[5] <https://www.baunetzwissen.de/beton/objekte/kultur/erweiterung-einer-kunsthalle-in-stockholm-8010191>

[6] <https://www.arcvision.org/tea-tenerife-space-of-arts/>

[7] <https://www.baunetzwissen.de/beton/objekte/kultur/museum-fuer-architekturzeichnung-in-berlin-3264895>

[8] <https://www.ateliermob.com/en/projects/shading-surface-and-caf%C3%A9/>

[9] https://www.esal.co.rs/fileadmin/user_upload/Swisspearl_Magazine_24.pdf

5. Źródła fotografii

Fot. 1.: <https://mk27.com/3m/>, (data dostępu: 14.05.2025), autor: Fernando Guerra

Fot. 2.: <https://www.archdaily.com/292808/lons-le-saunier-mediatheque-du-besset-lyon-architectes> (data dostępu: 14.05.2025), autor: Philippe Ruault

Fot. 3,4.: <https://www.archdaily.com/48568/mon-factoryhouse-eastern-design-office> (data dostępu: 16.05.2025), autor: Koichi Torimura

Fot. 5,6.: <https://www.archdaily.com/77455/o-house-philippe-stuebi-eberhard-trogerte> (data dostępu: 16.05.2025), autor: Dominique Marc Wehrli

Fot. 7,8.: <https://mathiasclotz.com/viejo-house/>, (data dostępu: 14.05.2025), autor: Roland Halbe

Fot. 9.: <https://www.anderman.co.il/new-gallery-3/a31h2ubpysv0c1gkihtvfyi2nranq> (data dostępu: 16.05.2025),

Fot. 10,11.: autor A. Mielnik, autor M. Początko

Fot. 12,13,14,15,16.: autor M. Początko

Fot. 17,18.: <https://www.herzogdemeuron.com/projects/164-tea-tenerife-espacio-de-las-artes/> (data dostępu: 14.05.2025)

Fot. 19,20,21.: autor M. Początko

Fot. 22.: <https://architectuul.com/architecture/shadow-surface>, (data dostępu: 25.05.2025), autor: João Morgado

Fot. 23,24.: <https://worldarchitecture.org/architecture-projects/fnze/coffee-shop-shading-surface-project-pages.html>, (data dostępu: 25.05.2025), autor: João Morgado

Fot. 25,26,27.: <https://www.dezeen.com/2013/07/09/the-forum-at-eckenberg-gymnasium-by-ecker-architekten/> (data dostępu: 25.05.2025), autor: John Ruffolo

Fot. 28,29,30.: <https://www.dezeen.com/2018/08/23/fort-worth-camera-studios-ibanez-shaw-texas-concrete/> (data dostępu: 25.05.2025), autor: Dror Baldinger, FAIA

XIII
KONFERENCJA

DNI BETONU 2025

13-15 października 2025



PARTNERZY PROGRAMOWI



SPONSORZY / FIRMY



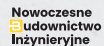
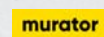
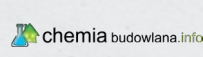
PATRONAT MEDIALNY



www.bta-czasopismo.pl



WSPÓŁPRACA MEDIALNA



ORGANIZATOR



Stowarzyszenie Producentów Cementu

30-003 Kraków • ul. Lubelska 29 • tel.: +48-12-423-33-55

biuro@polskicement.pl • dnibetonu@polskicement.pl

www.polskicement.pl

Bądź z nami w kontakcie:

www.facebook.com/PolskiCement

www.facebook.com/ArchitekturaBetonowa

x.com/polskicement

www.instagram.com/architektura_betonowa



ISBN: 978-83-61331-51-3