

mgr inż. Filip Szmatuła^{1*)}
 ORCID: 0000-0001-9725-1540
 mgr inż. Julia Blazy²⁾
 ORCID: 0000-0001-9525-8650

Shaping a decorative concrete face for the renovation and modernization of buildings

Kształtowanie ozdobnego lica betonu na potrzeby renowacji i modernizacji budynków

DOI: 10.15199/33.2024.11.18

Abstract. In the article the possibilities of shaping the aesthetic concrete face of decorative and/or structural elements are presented. Based on the literature review, it is concluded that this is a promising field of application of architectural, self-compacting and fiber reinforced concretes. Elements with decorative faces can be used both in newly constructed buildings as well as during the renovation and modernization of existing, often historic buildings. The presented research program confirms that the concrete workability, strength, durability and aesthetic requirements intended for making a decorative lintel are fulfilled.

Keywords: decorative concrete face; renovation; modernization; building structure, heritage building.

Streszczenie. W artykule przedstawiono możliwość kształtowania estetycznego lica betonu elementów dekoracyjnych i/lub konstrukcyjnych. Na podstawie przeglądu literaturowego można stwierdzić, że jest to obiecująca przestrzeń do zastosowania betonów architektonicznych, samozagęszczalnych i z włóknami. Elementy z ozdobnie wykonanym licem mogą być wykorzystywane zarówno w nowo powstałych obiektach, jak i podczas renowacji oraz modernizacji już istniejących, często zabytkowych budynków. Przedstawiony program badawczy potwierdza spełnienie wymagań dotyczących urabialności, wytrzymałości, trwałości i pożądanej estetyki betonu przeznaczonego do wykonania ozdobnego nadproża.

Słowa kluczowe: ozdobne lico betonu; renowacja; modernizacja; obiekt budowlany, zabytek.

The development of concrete technology makes it possible to individually shape its properties in accordance with the requirements. However, it should be noted that more often the dominant aspect in the selection of concrete is not its strength, but its durability. This is due, among other things, to the fact that many structures are exposed to unfavorable environmental conditions. In addition, environmental requirements influence the direction of the concrete technology development, and extending the service life of a structure is one of them [1]. Today, there is a strong emphasis on the use of recycled materials [2], the realization of sustainable development ideas and the minimization of negative environmental impact, which is obviously influenced by the concrete durability. In addition, greater durability means lower repair and maintenance costs. Visual aspects cannot be overlooked either, where the desired aesthetics is achieved by molding the surface with a decorative shape and a particular texture or color.

With proper formwork, selection of concrete mixture components, technology of concrete placement, and treatment, it is possible to obtain architectural concrete with the required texture, porosity, surface evenness and particular and uniform color. A complicated shape or a high degree of reinforcement of the element may require the proper workability and consistency of the concrete mixture to fill the formwork

Rozwój technologii betonu pozwala na indywidualne kształtowanie jego właściwości zgodnie ze stawianymi wymaganiami. Należy jednak zwrócić uwagę, że coraz częściej dominującym aspektem przy wyborze betonu nie jest jego wytrzymałość, lecz trwałość. Wynika to m.in. z faktu, iż wiele konstrukcji jest narażonych na niekorzystne działania środowiska. Dodatkowo wymagania ekologiczne ukierunkowują rozwój technologii betonu, a wydłużenie okresu użytkowania obiektu jest jednym z nich [1]. Obecnie duży nacisk kładzie się na wykorzystanie materiałów z recyklingu [2], realizację idei zrównoważonego rozwoju oraz minimalizację negatywnego wpływu na środowisko, na co oczywiście wpływ ma trwałość betonu. Ponadto większa trwałość oznacza mniejsze koszty naprawy i utrzymania. Nie można również pominąć aspektów wizualnych, gdzie pożądana estetyka uzyskiwana jest dzięki formowaniu powierzchni o ozdobnym kształcie i konkretnej strukturze czy kolorze.

Dzięki odpowiedniemu deskowaniu, doborowi składników mieszanki betonowej, jej zabudowie i pielęgnacji możliwe jest uzyskanie m.in. betonu architektonicznego o wymaganej teksturze, porowatości, równości powierzchni oraz konkretnym i jednorodnym kolorze. Skomplikowany kształt lub wysoki stopień zbrojenia elementu może wymagać odpowiedniej urabialności i konsystencji mieszanki betonowej w celu szczelnego wypełnienia deskowania. Dobrym rozwiązaniem może być beton samozagęszczalny, którego zagęszczenie i odpowietrzenie następuje pod ciężarem własnym bez wykorzystania urządzeń wibracyjnych. Jego ważną zaletą jest możliwość precy-

¹⁾ Uniwersytet Zielonogórski, Instytut Budownictwa

²⁾ Politechnika Śląska, Wydział Budownictwa

*) Correspondence address: f.szmatula@ib.uz.zgora.pl

precisely. Self-compacting concrete, which is compacted and vented under its own gravity without the use of vibrating equipment, can also be a good solution. Its important advantage is the possibility of precise molding, with no crawls or bubbles visible on the surface, which is especially important for facing concretes. Self-compacting concrete technology also reduces: the amount of noise generated during concreting due to the lack of vibration, energy and labor costs, and allows for rapid construction [1]. The complex shape of the element can cause difficulties in reinforcing it with traditional steel bars, so what is more often used is concrete reinforced with steel and/or synthetic fibers (FRC). FRCs have higher tensile, flexural and splitting strength compared to concretes without fibers. Studies have been conducted where fibers effectively performed the load-bearing function [3, 4]. However, it is noteworthy, that the appropriate conditions, described, among others, in Model Code 2010 [5], must be met to allow partial or complete replacement of traditional reinforcement, with dispersed one. Thanks to the presence of fibers in the concrete, cracking resistance is increased, because fibers by bridging the crack stop its formation and expansion. This is a particularly important advantage when the requirements for the crack number and width in the element are very restrictive. Compared to traditionally reinforced concrete, FRC, as a pseudo-plastic material, has higher fatigue, impact and abrasion resistance. These properties are particularly important when repetitive loads and/or loads of a dynamic nature act on the element. Thus, it will be justified to use FRC in historic buildings or public spaces exposed to e.g. vandalism. On the other hand, the increased resistance to thermal loads and frost, as well as good watertightness and low absorbability, make FRC used for production façade elements that are exposed to unfavorable environmental conditions. It is very often applied as a material for floors and for the construction of domes, dams, liquid tanks, in the prefabrication of facade panels, thin-wall elements, protective barriers and acoustic panels [6]. Its potential in shaping small architectural and structural elements of complex shape is also increasingly emphasized [7, 8]. FRC is also used in repair or renovation works on reinforced concrete structures.

In summary, the development of concrete technology makes it possible to produce a material with specific, often highly individual properties. Architectural, self-compacting concrete and FRC can be used as a durable construction material, as well as a material having visual qualities. Huge potential is possessed by concretes that provide excellent quality and aesthetics, reproduce the desired color and surface texture, and allow for the production of elements of complex shape.

Examples of elements with a decorative face

When repairing, modernizing and renovating existing buildings, special attention is required in the selection of materials used for detailing. Often they must not only be strong, durable and functional, but also fit in with the aesthetics of the existing building. The same is true for objects listed in the

zynnego odwzorowania form, bez widocznych na powierzchni raków i pęcherzy, co jest szczególnie ważne w przypadku betonów licowych. Technologia betonów samozagęszczalnych ogranicza też ilość powstającego hałasu z uwagi na brak wibrowania, koszty energii i robocizny oraz pozwala na szybkie wykonanie konstrukcji [1]. Złożony kształt elementu może powodować trudności w jego zbrojeniu tradycyjnymi prętami stalowymi, dlatego coraz częściej stosowanym rozwiązaniem jest beton wzmacniany włóknami stalowymi lub/i syntetycznymi. Fibrobetony charakteryzują się większą wytrzymałością na rozciąganie, zginanie i rozłupywanie w porównaniu z betonami bez włókien. Prowadzono badania, gdzie włókna efektywnie pełniły funkcję nośną [3, 4]. Warto jednak zaznaczyć, że muszą być spełnione odpowiednie warunki, opisane m.in. w Model Code 2010 [5], aby dopuścić częściowe bądź całkowite zastąpienie tradycyjnego zbrojenia, zbrojeniem rozproszonym. Dzięki obecności włókien w betonie zwiększona zostaje rysoodporność, ponieważ przez mostkowanie zatrzymują one powstawanie oraz rozszerzanie się rys. To szczególnie ważna zaleta, kiedy wymagania dotyczące ilości i szerokości zarysowań elementu są bardzo restrykcyjne. W porównaniu z tradycyjnie zbrojonym betonem, fibrobeton jako materiał pseudoplastyczny ma większą odporność zmęczeniową, udarność oraz odporność na ścieranie. Te właściwości są szczególnie istotne, kiedy na element działają powtarzające się obciążenia lub/i obciążenia o charakterze dynamicznym. Uzasadnione będzie więc użycie fibrobetonu w obiektach zabytkowych lub przestrzeniach publicznych narażonych np. na akty wandalizmu. Natomiast zwiększona wytrzymałość na obciążenia termiczne i mrozoodporność oraz dobre parametry wodoszczelności i nasiąkliwości sprawiają, że fibrobeton jest wykorzystywany do wykonywania elementów elewacyjnych, które narażone są na niekorzystne czynniki atmosferyczne. Bardzo często stosuje się go jako materiał na posadzki oraz do budowy kopuł, zapór, zbiorników na ciecze, w prefabrykacji płyt elewacyjnych, elementów cienkościennych, barier ochronnych i paneli akustycznych [6]. Coraz częściej podkreśla się również jego potencjał w kształtowaniu elementów małej architektury i elementów konstrukcyjnych o skomplikowanym kształcie [7, 8]. Beton z włóknami wykorzystuje się również w pracach naprawczych czy renowacyjnych konstrukcji żelbetowych.

Podsumowując, rozwój technologii betonu pozwala na produkcję materiału o konkretnych, często bardzo indywidualnych właściwościach. Beton architektoniczny, samozagęszczalny i fibrobeton może być stosowany jako trwały materiał konstrukcyjny, a także jako materiał posiadający walory wizualne. Ogromnym potencjałem charakteryzują się betony zapewniające doskonałą jakość i estetykę, odwzorowanie pożądanego koloru i struktury powierzchni oraz umożliwiające wykonanie elementów o skomplikowanym kształcie.

Przykłady elementów z ozdobnym licem

Podczas remontów, modernizacji i renowacji istniejących obiektów budowlanych szczególnej uwagi wymaga dobór materiałów używanych do wykonania detali. Często muszą one być nie tylko wytrzymałe, trwałe i funkcjonalne, ale również

register of historical monuments or included in the municipal records of historical monuments according to [9]. The materials used should be characterized not only by adequate strength, but also by appropriate durability that will further thwart the destruction of historic buildings e.g. due to acts of vandalism or improper use. However, the greatest emphasis is placed on ensuring that the elements built into the structure harmonize with its character and style by using original or similar materials that give the same effect. The purpose of these actions is to emphasize historical qualities, to recover a building to its former glory or to give it features that reflect patterns typical for the particular era.

In the case of historic buildings, all kinds of decorations and exterior and interior stuccowork are very characteristic, such as decorative facets, dormers, cornices, sills, moldings, corner and linear crown moldings, consoles, brackets (photo 1), rosettes, decorative door and window portals and keystones (photo 2). Aesthetic functions can also be fulfilled by lintels, pillars and columns with decorative bases and heads (photo 3). It is worth noting that the use of elements with a decorative concrete face does not have to fulfill only visual qualities. They can be incorporated into structures as load-bearing elements and, properly designed, carry the required loads. Promising areas for the application of such elements are not only monuments, but also building structures not listed in the register of historical monuments or in the Heritage Treasures List [9]. During their renovation, repair or modernization, investors often decide to restore or repair original architectural elements and details. It also happens that they want to give a newly constructed building a historical character or integrate it into the aesthetics of the surrounding buildings.

wpisywać się w estetykę istniejącego obiektu. Podobnie jest z obiektami wpisanymi do rejestru zabytków lub ujętych w gminnej ewidencji zabytków zgodnie z [9].

Zastosowane materiały powinny charakteryzować się nie tylko odpowiednią wytrzymałością, ale również trwałością rozwiązań, które dodatkowo będą udaremniały zniszczenie obiektów zabytkowych np. na skutek aktów wandalizmu lub niewłaściwego korzystania z nich. Jednak największy nacisk kładzie się na to, aby wbudowane do konstrukcji elementy współgrały z jego charakterem i stylem przez zastosowanie oryginalnych lub zbliżonych materiałów dających ten sam efekt. Celem tych działań jest podkreślenie walorów historycznych, przywrócenie dawnej świetności obiektu lub nadania mu cech odzwierciedlających wzory typowe dla danej epoki.

W przypadku obiektów zabytkowych charakterystyczne są wszelkiego rodzaju dekoracje oraz sztukaterie zewnętrzne i wewnętrzne, np. fasety ozdobne, lukarny, gzymsy, podparapetniki, listwy, bonie narożne i liniowe, konsole, wsporniki (fotografia 1), rozety, portale dekoracyjne drzwi i okien oraz zworniki (fotografia 2). Funkcje estetyczne mogą również spełniać nadproża, filary i słupy z dekoracyjnymi bazami oraz głowicami (fotografia 3). Warto podkreślić, że zastosowanie elementów z ozdobnym licem betonowym nie musi spełniać jedynie walorów wizualnych. Mogą one zostać wbudowane w konstrukcje jako elementy nośne i odpowiednio zaprojektowane przenosić wymagane obciążenia. Obiecującym obszarem zastosowania takich elementów są nie tylko zabytki. Podczas renowacji, remontów czy modernizacji inwestorzy często decydują się na odtworzenie lub naprawę oryginalnych elementów i detali architektonicznych. Zdarza się również, że nowo powstałemu budynkowi chcą nadać zabytkowy charakter lub wpisać go w estetykę otaczających go obiektów.

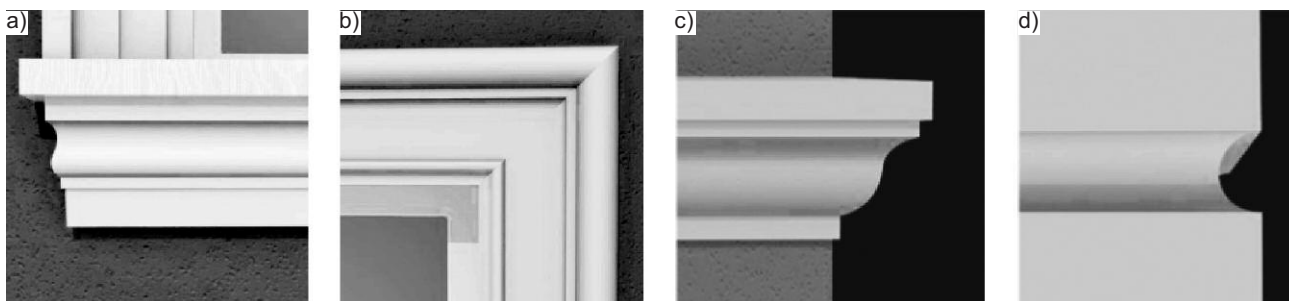


Photo 1. Decorative concrete faces: a) sills; b) moldings; c) cornices; d) linear rustications [10]

Fot. 1. Ozdobne lica betonowe: a) podparapetników; b) listew; c) gzymsów; d) boni liniowych [10]



Photo 2. Decorative: a) window portals [11]; b) door portals [12]; c) lintels [13]; d) keystones [11]

Fot. 2. Dekoracyjne: a) portale okienne [11]; b) portale drzwiowe [12]; c) nadproża [13]; d) zworniki [11]

Production technology of elements with decorative face

During renovation, repair or modernization of historic buildings, great emphasis is placed on respecting originality and minimizing interference in the fabric of the monument. Therefore, all kinds of non-destructive and non-interference actions in the condition and aesthetics of the monument are preferred. Methods that can be helpful during such activities include laser scanning technology and digital image correlation technique [16, 17]. Thanks to them, it is possible to e. g. model comprehensively or piecemeal the elements that require restoration. In concrete elements, these methods are used to produce the appropriate formwork and then to cast the concrete mixture. In cases where forms, characteristic for only one object, need to be reflected, it is possible to design the formwork individually. In addition, the production technology of concrete with a decorative face allows prefabrication. Thanks to which it is possible to simply, quickly and accurately reproduce the desired shape and structure. Although replication is most often required for decorative elements, it happens that they also have a load-bearing function. On the other hand, structural elements, which are often intentionally invisible and hidden under a layer of plaster, can be aesthetically exposed and consistent with the architectural vision of the building when simple techniques of creating the face layer are used. The use of an appropriate concrete mix, formwork and production technology makes it possible to achieve e. g. lintels with a decorative face (photo 4), columns with decorative bases and heads, or ceilings with stucco details without having to manufacture them later (photo 5).



Photo 3. Columns with decorative bases and capitals [14, 15]

Fot. 3. Słupy z ozdobnymi bazami i głowicami [14, 15]



Photo 4. Fiber reinforced concrete lintel with a decorative face

Fot. 4. Fibrobetonowe nadproże z ozdobnym licem

*Photo: authors
Fot. autorzy*

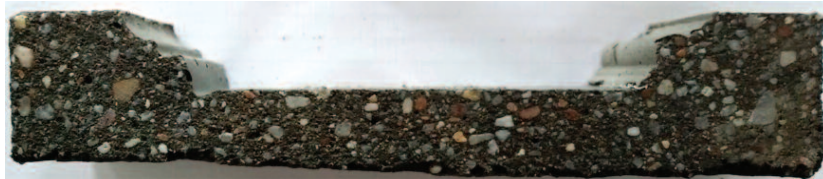


Photo 5. Fragment of the ceiling with stucco details on the edges

Fot. 5. Fragment stropu z detalami sztukatorskimi na krawędziach

*Photo: authors
Fot. autorzy*

Technologia wykonania elementów z ozdobnym licem

Podczas renowacji, remontów czy modernizacji obiektów zabytkowych duży nacisk kładzie się na poszanowanie oryginalności oraz minimalizację ingerencji w tkanę zabytku. Preferowane są zatem wszelkiego rodzaju działania nieniszczące i nieingerujące w stan oraz estetykę obiektu zabytkowego. Metodami, które mogą być pomocne podczas takich działań, są m.in. technologia skaningu laserowego oraz cyfrowej korelacji obrazu [16, 17]. Dzięki nim możliwe jest na przykład kompleksowe bądź fragmentaryczne zamodelowanie elementów wymagających renowacji. W elementach betonowych wykorzystuje się te metody do wytworzenia odpowiedniego deskowania, a następnie wykonania odlewu. W przypadku, gdy odzwierciedlenia wymagają formy charakterystyczne tylko dla jednego obiektu, możliwe jest indywidualne zaprojektowanie deskowania. Ponadto technologia wykonania betonów z ozdobnym licem pozwala na prefabrykację. Dzięki niej możliwe jest proste, szybkie i dokładne odzwierciedlenie pożądanego kształtu i struktury. Choć odwzorowania najczęściej wymagają elementy dekoracyjne, zdarza się, że pełnią one również funkcję nośną. Z drugiej strony elementy konstrukcyjne, które często są celowo niewidoczne i ukrywane pod warstwą tynku, przy zastosowaniu prostych technik kierowania wierzchniej warstwy mogą być estetycznie wyeksponowane i spójne z architektoniczną wizją obiektu. Zastosowanie odpowiedniej mieszanki betonowej, deskowania oraz technologii wykonania umożliwia m.in. uzyskanie nadproży z ozdobnym licem (fotografia 4), słupów z dekoracyjnymi bazami i głowicami lub stropów wraz z detalami sztukatorskimi bez konieczności ich późniejszego wykonania (fotografia 5).

niewidoczne i ukrywane pod warstwą tynku, przy zastosowaniu prostych technik kierowania wierzchniej warstwy mogą być estetycznie wyeksponowane i spójne z architektoniczną wizją obiektu. Zastosowanie odpowiedniej mieszanki betonowej, deskowania oraz technologii wykonania umożliwia m.in. uzyskanie nadproży z ozdobnym licem (fotografia 4), słupów z dekoracyjnymi bazami i głowicami lub stropów wraz z detalami sztukatorskimi bez konieczności ich późniejszego wykonania (fotografia 5).

Case study – lintel with decorative face

An area of possible application of concrete structural elements with a shaped or carved surface can be lintels. In addition to the required load-bearing capacity and durability, they then also have a decorative function. Lintels with a decorative face can be used both in newly constructed buildings, giving the desired character to the rooms, or in existing buildings, including historic ones, where it is necessary to reflect certain forms and structures while renovating, repairing or modernizing. The article presents an example of the selection of the concrete mix components, and application of appropriate formwork and manufacturing technology to produce a decorative lintel. The results of tests of physical and mechanical properties are also discussed.

Research program. A concrete mix with the addition of steel and synthetic fibers was analyzed. Steel fibers were used to eliminate conventional reinforcement in the lintel, while synthetic fibers were used because of their increased shrinkage and cracking resistance, as well as spalling resistance during a fire.

The scope of the study included the evaluation of the quality of the concrete mixture by determining its temperature according to [18] and consistency according to [19]. The consistency of class S2 was assumed. In addition, using the provisions of standard [20], the steel fiber content in three fresh concrete samples of equal volume was checked. The purpose was to verify the correct distribution of fibers in the concrete mixture. Qualitative examination included the following tests: water absorbability of hardened concrete – required $\leq 5\%$ according to [21]; depth of water penetration under pressure – required ≤ 50 mm according to [22]; and watertightness W12 according to [21]. The density of hardened concrete was also checked according to [23]. It was assumed that the designed concrete mixture would be used for production of an interior lintel, and therefore the exposure class XF1 was assumed. Hence, there was no need to test the degree of aeration of the concrete mixture in order to ensure adequate frost resistance of the element. Compressive strength tests were also conducted according to [24], verifying that the requirements of the assumed concrete class C50/60 were met, and flexural tensile strength tests [25] also, assuming class 4c according to [5].

As part of the research program, the concrete mix was made according to the composition presented in table 1. The characteristics of the used fibers is shown in table 2, where the length and diameter of the fiber are denoted as l_f and d_f , respectively. The mixture was made under laboratory conditions. Six cubic specimens with dimensions of 150 x 150 x 150 mm were cast for compressive strength tests. These tests were carried out after 28 and 90 days of concrete curing in water under standardized conditions. The concrete density tests were performed

Table 1. Concrete mixture composition

Tabela 1. Skład mieszanki betonowej

Material/Material	Amount [kg/m ³]/ Ilość [kg/m ³]
Cement CEM III/A 42,5 R-NA	460
Sand 0/2 mm/Piasek 0/2 mm	625
Granite aggregate 2/8 mm + 8/16 mm/ Kruszywo granitowe 2/8 mm + 8/16 mm	715 + 400
Water/Woda	175
Superplasticiser/Superplastyfikator	4,44
Steel fibers/Włókna stalowe	42
Synthetic fibers/Włókna syntetyczne	1,9

Studium przypadku – nadproże z ozdobnym licem



Obszarem możliwego zastosowania betonowych elementów konstrukcyjnych ze strukturyzowaną lub rzeźbioną powierzchnią mogą być nadproża. Oprócz wymaganej nośności i trwałości spełniają one wtedy również funkcję dekoracyjną. Nadproża z ozdobnym licem mogą być stosowane zarówno w nowo powstałych budynkach, nadając pożądany charakter pomieszczeniom lub w budynkach już istniejących, także zabytkowych, gdzie podczas renowacji, remontu czy modernizacji konieczne jest odzwierciedlenie pewnych form i struktur. W artykule przedstawiono przykład doboru składników mieszanki betonowej, zastosowania odpowiedniego deskowania oraz technologii wykonania w celu wyprodukowania ozdobnego nadproża. Omówiono również wyniki badań właściwości fizycznych i mechanicznych.

Program badań. Analizie poddano mieszankę betonową z dodatkiem włókien stalowych i syntetycznych. Włókna stalowe zastosowano w celu eliminacji w nadprożu zbrojenia konwencjonalnego, natomiast włókna syntetyczne ze względu na ich działanie przeciwskurczowe i ograniczające zarysowania oraz odpryskiwanie fragmentów podczas pożaru.

Zakres badań obejmował ocenę jakości mieszanki betonowej przez określenie jej temperatury wg [18] i konsystencji wg [19]. Założono konsystencję klasy S2. Ponadto, wykorzystując zapisy normy [20], sprawdzono zawartość włókien stalowych w trzech próbkach betonu świeżego o jednakowej objętości. Celem była weryfikacja poprawności rozmieszczenia włókien w mieszance betonowej. Testy jakościowe obejmowały badania: nasiąkliwości stwardniałego betonu – wymagane $\leq 5\%$ wg [21]; głębokości penetracji wody pod ciśnieniem – wymagane ≤ 50 mm wg [22] oraz wodoprzepuszczalności W12 zgodnie z [21]. Sprawdzona została także gęstość stwardniałego betonu zgodnie z normą [23]. Założono, iż projektowana mieszanka betonowa będzie stosowana do wykonania nadproża wewnętrznego i w związku z tym przyjęto klasę ekspozycji XF1. Nie istniała zatem konieczność zbadania stopnia napowietrzenia mieszanki betonowej w celu zapewnienia odpowiedniej mrozoodporności elementu. Przeprowadzono również badania wytrzymałości na ściskanie wg [24], weryfikując spełnienie wymagań założonej klasy betonu C50/60, oraz wytrzymałości na rozciąganie przy zginaniu [25], zakładając klasę 4c zgodnie z [5].

W ramach programu badawczego wykonano zarob mieszanki betonowej zgodnie z recepturą zamieszczoną w tabeli 1. Charakterystykę użytych włókien zamieszczono w tabeli 2, gdzie długość i średnicę włókna oznaczono odpowiednio jako l_f i d_f . Mieszankę wykonano w warunkach laboratoryjnych. Do badań wytrzymałości na ściskanie pobrano 6 próbek sześciennych o wymiarach 150 x 150 x 150 mm. Badania te przeprowadzono po 28 i 90 dniach dojrzewania betonu w wodzie

Table 2. Characteristics of fibers
Tabela 2. Charakterystyka włókien

Fiber type/ Typ włókien	View/Widok	Geometry/ Geometria	Tensile strength/ Wytrzymałość na rozciąganie
Steel fibers/ Włókna stalowe		$l_f = 50 \text{ mm}$ $d_f = 1,0 \text{ mm}$	1100 N/mm ²
Synthetic fibers (polypropylene)/ Włókna syntetyczne (polipropylenowe)		$l_f = 18 \text{ mm}$ $d_f = 30 - 35 \text{ }\mu\text{m}$	no data available in the manufacturer's DoP/ brak danych w DWU producenta

on the specimens dedicated for compressive strength tests on a hydrostatic scale. In addition, 12 cubes of dimensions 150 x 150 x 150 mm were concreted to determine water absorbability (3 samples), water permeability (6 samples) and depth of water penetration under pressure (3 samples). To determine the residual flexural tensile strength, 6 beams (labeled from A to F) measuring 150 x 150 x 600 mm were cast. After demolding, the beams were cured until the 28th day in water under standardized conditions. On the 26th day, the beams were notched at mid-span to a depth of 25 mm. During the test, a clip gauge was attached at this location to determine the crack mouth opening displacement CMOD. The span of the beam between supports was 500 mm. The beam was loaded at the span center at an incremental rate of CMOD = 0.05 mm/min until the prism was cracked, and then at a rate of 0.2 mm/min until CMOD = 3.5 mm. In order to determine FRC flexural class, it was necessary to determine the residual flexural tensile strength values f_{R1} and f_{R3} , which correspond to the strength at crack opening CMOD₁ = 0.5 mm and CMOD₃ = 2.5 mm. The FRC class is a numerical-letter symbol. The first value is the smaller number of the interval in which the value of f_{R1} is contained, where the interval is defined as two consecutive numbers from the series: 1.0; 1.5; 2.0; 2.5; 3.0; 4.0; 5.0; 6.0;... [MPa]. The second value is the ratio f_{R3}/f_{R1} expressed by letter: „a” when $0.5 \leq f_{R3}/f_{R1} < 0.7$; „b” when $0.7 \leq f_{R3}/f_{R1} < 0.9$; „c” when $0.9 \leq f_{R3}/f_{R1} < 1.1$; „d” when $1.1 \leq f_{R3}/f_{R1} < 1.3$; „e” when $1.3 \leq f_{R3}/f_{R1}$. Thus, FRC of the assumed class 4c should have a residual flexural tensile strength f_{R1} of $4.0 \div 5.0$ MPa, and a ratio f_{R3}/f_{R1} in the range of 0.9 to 1.1.

Tests, results and conclusions. The samples were tested in accordance with the current editions of the testing standards, and the obtained results are shown in table 3. The presented laboratory test results of the concrete mixture are the results obtained from single measurements. Meanwhile, the results from hardened concrete tests are the average values obtained from testing the required number of samples, as specified in the relevant standards. The figure shows graphs obtained from beam flexural tests. The obtained results confirm that the analyzed concrete meets all the established requirements and can be used for the production of a decorative lintel.

The production technology of the lintel with a decorative face had to ensure that the desired texture and color were obtained, so that the element was aesthetically pleasing. Accordingly, a custom-designed formwork was used (photo 6). It was made from an OSB panel with a length of 1300 mm, a height of 150 mm and a width of 145 mm, inside it a polystyrene template was attached with adhesive tape to shape a decorative texture of the concrete face (photo 4). To cast the

w warunkach normowych. Badanie gęstości betonu wykonano na próbkach przeznaczonych do testów wytrzymałości na ściskanie na wadze hydrostatycznej. Dodatkowo, 12 kostek o wymiarach 150 x 150 x 150 mm zostało zabetonowanych do oznaczenia nasiąkliwości (3 sztuki), wodoprzepuszczalności (6 sztuk) oraz głębokości penetracji wody pod ciśnieniem

(3 sztuki). W celu oznaczenia wytrzymałości resztkowej na zginanie pobrano 6 belek (oznaczonych od A do F) o wymiarach 150 x 150 x 600 mm. Belki po rozformowaniu sezonoowano do 28. dnia w wodzie w warunkach normowych. W 26. dniu belki nacięto w połowie rozpiętości na głębokość 25 mm. Podczas badania w tym miejscu zamocowano czujnik do wyznaczenia wartości rozwarcia końcówki rysy CMOD. Rozpiętość belki pomiędzy podporami wynosiła 500 mm. Belka obciążona została siłą w środku rozpiętości z prędkością przyrostu CMOD = 0,05 mm/min do momentu zarysowania elementu, a następnie z prędkością 0,2 mm/min do CMOD = 3,5 mm. W celu wyznaczenia klasy fibrobetonu na zginanie konieczne było określenie wartości wytrzymałości resztkowych f_{R1} i f_{R3} , które odpowiadają wytrzymałości przy rozwarciu rysy CMOD₁ = 0,5 mm oraz CMOD₃ = 2,5 mm. Klasa fibrobetonu jest symbolem liczbowo-literowym. Pierwsza wartość to mniejsza liczba z przedziału, w którym zawiera się wartość f_{R1} , gdzie przedział definiowany jest jako dwie kolejne liczby z szeregu: 1,0; 1,5; 2,0; 2,5; 3, 0; 4,0; 5,0; 6,0;... [MPa]. Druga wartość to stosunek f_{R3}/f_{R1} wyrażany literowo: „a” gdy $0,5 \leq f_{R3}/f_{R1} < 0,7$; „b” gdy $0,7 \leq f_{R3}/f_{R1} < 0,9$; „c” gdy $0,9 \leq f_{R3}/f_{R1} < 1,1$; „d” gdy $1,1 \leq f_{R3}/f_{R1} < 1,3$; „e” gdy $1,3 \leq f_{R3}/f_{R1}$. Fibrobeton o założonej klasie 4c powinien więc mieć wytrzymałość resztkową na zginanie f_{R1} wynoszącą $4,0 \div 5,0$ MPa, a stosunek f_{R3}/f_{R1} w przedziale od 0,9 do 1,1.

Badania, wyniki i wnioski. Próbkę badano zgodnie z aktualnymi wydaniami norm badawczych, a uzyskane wyniki z pojedynczych pomiarów zamieszczono w tabeli 3. Natomiast wyniki stwardniałego betonu są średnimi wartościami otrzymanymi z testów wymaganej liczby próbek, określonej w odpowiednich normach. Na rysunku przedstawiono wykresy otrzymane z badań belek na zginanie. Uzyskane wyniki potwierdzają, iż analizowany beton spełnia wszystkie założone wymagania i może zostać zastosowany do produkcji ozdobnego nadproża.

Technologia wykonania nadproża z ozdobnym licem miała zapewnić utrzymanie pożądanej struktury i koloru, tak aby element był estetyczny. W związku z tym zastosowano indywidualnie zaprojektowane deskowanie (fotografia 6). Wykonano formę z płyty OSB o długości 1300 mm, wysokości 150 mm i szerokości 145 mm i wewnątrz niej przymocowano za pomocą taśmy klejącej styropianowy wzornik nadający

Table 3. Test results of fresh and hardened concrete

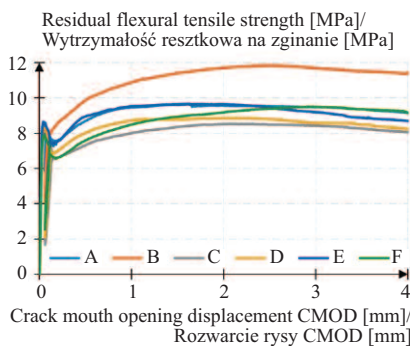
Tabela 3. Wyniki badań mieszanki betonowej i betonu stwardniałego

Tested property/Badana cecha	Norm/Norma	Result/Wynik
Mixture temperature/Temporatura mieszanki	PN-EN 206[18]	20,2°C
Mixture consistency (slump test method)/Konsystencja mieszanki (metoda opadu stożka)	PN-EN 12350-2 [19]	80 mm
Mixture fiber content/Zawartość włókien w mieszance	PN-EN 14721 [20]	41,9 kg/m ³
Concrete absorbability/Nasiąkliwość betonu	PN-88/B-06250 [21]	3,5 % (≤ 5%)
Concrete watertightness W12/Wodoszczelność betonu W12	PN-88/B-06250 [21]	no signs of water leakage; at the end of the test, water penetration depth of about 15 mm for split samples/brak oznak przecieków wody; po zakończeniu badania głębokość penetracji wody ok. 15 mm w przypadku rozłupanych próbek
Depth of water penetration under pressure/Głębokość penetracji wody pod ciśnieniem	PN-EN 12390-8 [22]	max./maks. 7 mm (≤ 50 mm)
Concrete density after 28 and 90 days (hydrostatic method – samples saturated with water)/Gęstość betonu po 28 i 90 dniach (metoda hydrostatyczna – próbki nasycone wodą)	PN-EN 12390-7 [23]	2450 kg/m ³ (after 28 days/po 28 dniach) 2455 kg/m ³ (after 90 days/po 90 dniach)
Concrete compressive strength after 28 and 90 days/Wytrzymałość betonu na ściskanie po 28 i 90 dniach	PN-EN 12390-3 [24]	77,7 MPa (after 28 days/po 28 dniach) 78,8 MPa (after 90 days/po 90 dniach)
Concrete residual flexural tensile strength after 28 and 90 days/Wytrzymałość resztkowa betonu na zginanie po 28 dniach	PN-EN 14651 [25]	$f_{R1} = 8,4$ MPa $f_{R3} = 9,6$ MPa

lintel, the described above concrete mixture composition with dispersed reinforcement was used without using conventional reinforcement in the form of rebars. The mixture was compacted with a plunge vibrator, and after 24 h the lintel was unformed and placed in a water tank for 28 days. Photo 4 shows a view of the built-in lintel with visible decorative face.

Summary

The article presents the possibilities of shaping the aesthetic face of concrete elements that perform decorative and structural function. Such elements can be used both in newly constructed buildings and during the renovation and modernization of existing, often historic buildings. Lintels are one of the areas of possible use of concrete structural elements with shaped or carved surface. As a result, in addition to the load-bearing capacity and durability requirements, they also fulfill a decorative function. The article presents an example of the selection of the concrete mix components, and application of appropriate formwork and manufacturing technology to produce a decorative lintel. The presented tests results confirmed the fulfillment of the requirements for workability, strength and durability of concrete while maintaining the



Flexural strength tests results

Wyniki badań wytrzymałości na zginanie

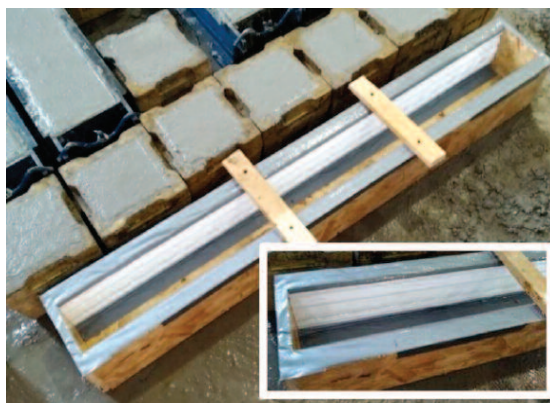


Photo 6. Formwork for concreting the lintel with decorative face

Photo: authors

Fot. 6. Deskowanie do wykonania nadproża z ozdobnym licem

Fot. autorzy

ozdobną strukturę lica betonu (fotografia 4). Do zabetonowania nadproża wykorzystano opisaną mieszankę betonową ze zbrojeniem rozproszonym bez użycia konwencjonalnego zbrojenia w postaci prętów zbrojeniowych. Mieszankę zagęszczono wibratorem węgelnym, a po 24 h nadproże rozformowano i umieszczono w wannie wodnej na 28 dni.

Podsumowanie

W artykule zaprezentowano możliwości kształtowania estetycznego lica betonu elementów spełniających funkcje dekoracyjne i konstrukcyjne. Takie elementy mogą być wykorzystywane zarówno w nowo powstałych obiektach, jak i podczas renowacji i modernizacji już istniejących, często zabytkowych budynków. Nadproża są jednym z obszarów możliwego zastosowania betonowych elementów konstrukcyjnych ze strukturyzowaną lub rzeźbioną powierzchnią. Oprócz wymaganej nośności i trwałości spełniają one wtedy również funkcję dekoracyjną. W artykule przedstawiono przykład doboru składników mieszanki betonowej, zastosowania odpowiedniego deskowania oraz technologii wykonania w celu wyprodukowania nadproża ozdobnego. Przedstawione wyniki z badań potwierdziły spełnienie wymagań dotyczących urabialności, wytrzymałości oraz trwałości betonu przy jedno-

aesthetic qualities of the element. Therefore, it can be concluded that the use of architectural, self-compacting concrete and FRC for the creation of structural and non-structural elements with a shaped surface, both in newly constructed, as well as existing and historic buildings undergoing renovation or modernization is a promising field of application.

czesnym zachowaniu walorów estetycznych elementu. Można zatem stwierdzić, że obiecującą perspektywą jest zastosowanie betonów architektonicznych, samozagęszczalnych i fibrobetonów do tworzenia elementów konstrukcyjnych i niekonstrukcyjnych ze strukturyzowaną powierzchnią.

Received: 02.10.2024
Revised: 30.10.2024
Published: 25.11.2024

Artykuł wpłynął do redakcji: 02.10.2024 r.
Otrzymano poprawiony po recenzjach: 30.10.2024 r.
Opublikowano: 25.11.2024 r.

Literature

- [1] Gołaszewski J. Technologia betonu za progiem XXI wieku. Budownictwo. Technologie. Architektura. 2020; VII – IX: 54 – 60.
- [2] J. Korentz J, Szmatuła F. Właściwości zapraw cementowych z dodatkiem rozdrobnionego GFRP z recyklingu łopat turbin wiatrowych. Materiały Budowlane. 2023. DOI: 10.15199/33.2023.11.07.
- [3] Blazy J, Drobiec Ł. Wpływ zbrojenia rozproszonego na pracę posadzek na gruncie. Izolacje. 2024; 1: 2 – 9.
- [4] Afroughsabet V, Biolzi L, i Ozbakkaloglu T. High-performance fiber-reinforced concrete: a review. Journal of Materials Science. 2016. DOI: 10.1007/s10853-016-9917-4.
- [5] International Federation for Structural Concrete. Model Code 2010, Final draft-Volume 1. 2013.
- [6] Góraźdże, Cement, kruszywa, beton w ofercie Grupy Góraźdże. 2018.
- [7] Zych T. Współczesny fibrobeton – możliwość kształtowania elementów konstrukcyjnych i form architektonicznych. Architektura Czasopismo Techniczne. 2010; 18: 371 – 386.
- [8] Blazy J, Blazy R, Drobiec Ł. Glass Fiber Reinforced Concrete as a Durable and Enhanced Material for Structural and Architectural Elements in Smart City – A Review. Materials. 2022. DOI: 10.3390/ma15082754.
- [9] Ustawa z 23 lipca 2003 r. o ochronie zabytków i opiece nad zabytkami (Dz.U. nr 162 z 2003 r. z późn. zm.).
- [10] DW Decor. Premium moulding. DW Decor. Premium moulding. Sztukateria elewacyjna zewnętrzna; <https://dwdecor.pl/sztukateria-elewacyjna-zewnetrzna> (udostępniono cze. 14, 2024).
- [11] Stromberg. Stromberg. Products. Window surrounds”. <https://www.strombergarchitectural.com/products/window-surrounds/pic/33/3> (udostępniono cze. 14, 2024).
- [12] Stromberg Stromberg. Products. Door surrounds”. <https://www.strombergarchitectural.com/products/door-surrounds/pic/38/1> (udostępniono cze. 14, 2024).
- [13] Stromberg. Stromberg. Products. Lintels. Pictures.” <https://www.strombergarchitectural.com/products/lintels/pic/20/3> (udostępniono kwi. 14, 2022).
- [14] Stromberg. Stromberg. Products. Columns. <https://www.strombergarchitectural.com/products/columns/pic/9/2> (udostępniono cze. 14, 2024).
- [15] Stromberg. Stromberg. Products. Gazebos. <https://www.strombergarchitectural.com/products/gazebos/pic/40/2> (udostępniono cze. 04, 2020).
- [16] Gigi O, Marius NF. Recent methods of visualization used in the diagnosis and consolidation of historic structures. MATEC Web of Conferences. 2024; 5 (369): 20004. DOI: 10.1051/mateconf/202439620004.
- [17] Rocha G, Mateus L, Ferreira V. Historical Heritage Maintenance via Scan-to-BIM Approaches: A Case Study of the Lisbon Agricultural Exhibition Pavilion. ISPRS International Journal of Geo-Information. 2024. DOI: 10.3390/ijgi13020054.
- [18] PN-EN 206+A2:2021-08 Beton – Wymagania, właściwości użytkowe, produkcja i zgodność.
- [19] PN-EN 12350-2:2019-07 Badania mieszkanki betonowej. Część 2: Badanie konsystencji metodą opadu stożka.
- [20] PN-EN 14721+A1:2007 Metoda badania betonu zbrojonego włóknem stalowym – Pomiar zawartości zbrojenia w świeżym i stwardniałym betonie.
- [21] PN-88/B-06250:1988 Beton zwykły.
- [22] PN-EN 12390-8:2019-08 Badania betonu – Część 8: Głębokość penetracji wody pod ciśnieniem.
- [23] PN-EN 12390-7:2019-08 Badania betonu – Część 7: Gęstość betonu.
- [24] PN-EN 12390-3:2019-07 Badania betonu – Część 3: Wytrzymałość na ścislenie próbek do badań.
- [25] PN-EN 14651+A1:2007 Metoda badania betonu zbrojonego włóknem stalowym – Pomiar wytrzymałości na rozciąganie przy zginaniu (granica proporcjonalności LOP).