

dr hab. inż. Dariusz Bajno, prof. uczelni¹⁾
ORCID: 0000-0001-7664-8653

Adaptacja historycznych konstrukcji do nowych wymagań eksploatacyjnych na przykładzie klatki schodowej z początku XX wieku

The adaptation of historical structures to new operation requirements on the example of a staircase from the early 20'th century

DOI: 10.15199/33.2023.09.07

Streszczenie. W artykule opisano przypadek badawczy i aplikacyjny, pozwalający na akceptowalny zakres ingerencji oraz zastosowaną technologię wzmocnienia z użyciem nowoczesnych materiałów w celu zachowania wartości historycznej obiektu. Pojedyncze wdrożenie nowych rozwiązań pozwoli na ocenę skuteczności i przydatności takich metod w ratowaniu unikatowych konstrukcji obiektów historycznych i zabytkowych. Inspiracją do takiego podejścia było docelowe wprowadzenie bezinwazyjnej techniki wzmacniającej, która nie zmieniła cennego i autentycznego wyglądu historycznych konstrukcji, zapewniając jednocześnie im odpowiednią nośność, ponieważ stosowane pierwotnie materiały budowlane nie znajdują swoich odpowiedników w aktualnych przepisach i normach. Przedmiotem artykułu jest żelbetowa klatka schodowa, wykonana w 1910 r., stanowiąca komunikację pionową szpitala, która powinna zostać dostosowana do współczesnych wymagań użytkowych i bezpieczeństwa.

Słowa kluczowe: bezpieczeństwo konstrukcji; wzmocnienie; materiały kompozytowe FRCM; PBO; betonowe konstrukcje historyczne.

Abstract. The article describes both, research and application case, allowing for an acceptable range of interference and the strengthening technique in order to preserve the historical value of the object, using the modern materials. Such a single implementation of new solutions will make it possible to assess the effectiveness and usefulness of such methods, saving unique structures of historical and historic buildings. The inspiration for this approach was the targeted introduction of a non-invasive reinforcing technique that will not change the valuable and authentic appearance of historical structures, while providing them with adequate load-bearing capacity, because the originally used building materials do not find their equivalent in current regulations and standards. The subject of the article is a reinforced concrete staircase, made in 1910 that has been used for the vertical communication of the hospital, which should have been adapted to modern safety requirements.

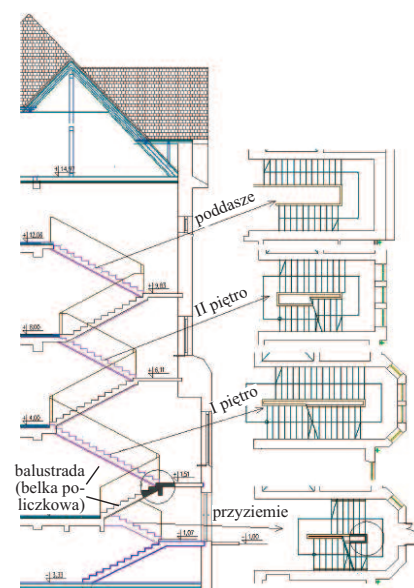
Keywords: structural safety; strengthening; composite materials FRCM; PBO; historical concrete structures.

W artykule opisano zagadnienia dotyczące ratowania przed rozbiórką konstrukcji klatki schodowej, wykonanej w technologii żelbetowej rzadko stosowanej w pierwszej dekadzie XX w. Klatka schodowa (rysunek 1, fotografia) stanowiła przez ponad 100 lat pion komunikacyjny jednego ze skrzydeł szpitala, który obecnie zmienił swoje przeznaczenie na obiekt o charakterze edukacyjnym. Pierwotnie zdecydowano o usunięciu jej w całości z powodu dyskwalifikujących parametrów wytrzymałościowych betonu, które odbiegały od obecnie wymaganych. W praktyce budowlanej zdarzają się przypadki dyskwalifikacji przydatności historycznych konstrukcji budowlanych do dal-

szej eksploatacji ze względu na niestosowane i przestarzałe rozwiązania konstrukcyjne oraz materiałowe. Takie podejście prowadzi do nieuzasadnionej ingerencji i nieodwracalnej utraty historycznej substancji budowlanej. Podobny przypadek miał spotkać dwie ponad 110-letnie żelbetowe klatki schodowe, w przypadku których stwierdzono niedostateczne parametry betonu oraz rozwiązania architektoniczne nieprzystosowane do obecnych wymagań (rysunek 1).

Opis konstrukcji

Konstrukcję schodów tworzy płyta biegowa grubości 13 cm oparta na podłużnej ścianie nośnej klatki schodowej oraz policzku biegowym, będącym jednocześnie balustradą. Stanowi ona nośną belkę policzkową schodów obciążającą belkę spocznikową przyziemia, której wysokość należało zmniejszyć.



Rys. 1. Historyczna żelbetowa klatka schodowa: przekrój poprzeczny oraz rzuty
Fig. 1. Historic concrete staircase: cross-section and floor plans

¹⁾ Politechnika Bydgoska, Wydział Budownictwa, Architektury i Inżynierii Środowiska; dariusz.bajno@pbs.edu.pl



Fragment klatki schodowej przeznaczonej do adaptacji do wymagań przepisów – wysokość w świetle 204 cm < 220 cm (wymagana)

A fragment of the staircase intended for adaptation to the regulations requirements – clear height 204 cm < 220 cm (required)

Przeprowadzona analiza statyczno-wytrzymałościowa pozwoliła na praktycznie bezinwazyjne przeprowadzenie prac wzmocniających z użyciem materiałów kompozytowych. Problematiczne było niespełnienie wymagań użytkowych [19], dotyczących minimalnej wysokości przejścia pod dolną (parterową) belką spocznikową. Ze względu na niewielką szansę uzyskania odstępstw od aktualnych przepisów [19], projektant wraz inwestorem podjęli decyzję o pozostawieniu konstrukcji do dalszej eksploatacji, a jednocześnie o zwiększeniu prześwitu pod belką spocznikową, przez zmniejszenie wysokości jej przekroju nośnego.

Przeprowadzone w 2021 r. badania [2 ÷ 4] wykazały bardzo małą wytrzymałość betonu na ściskanie $9,2 \div 12,3$ MPa (średnio 10,0 MPa), co nie pozwalało na zakwalifikowanie konstrukcji nośnych do bezpiecznych. Niemniej, w pierwszych trzech dekadach XX w. betony o dopuszczalnym ciśnieniu $k_f = 30, 35, 40, 45, 50$ kG/cm² (wg późniejszych oznaczeń mogłyby być to klasa B3 – B5) były powszechnie stosowane w konstrukcjach betonowych i betonowych zbrojonych wkładkami stalowymi [9, 10]. W pierwszej dekadzie XX w., w konstrukcjach betonowych m.in. schodów stosowano również odpowiednik betonu klasy B7,5 o $E_b = 140\,000$ kG/cm² [10] i żelazo (prawdopodobnie zlewne), przeznaczone na wkładki zbrojeniowe o $E_s = 2\,100\,000$ kG/cm² [10]. Zgodnie z [1], wytrzymałość doraźna stali na rozciąganie o module sprężystości $E_s = 2\,100\,000$ kG/cm²

wg [10] wynosiła $370 \div 580$ MPa i wg [11, 12] można ją było uznać za odpowiednik stali St3S o $R_m = 360 \div 490$ MPa wg PN-88/H-84020. Potwierdza to również badanie twardości stali [2], na podstawie którego przypisano jej wytrzymałość na rozciąganie $R_m = 235$ MPa.

Obecne badania konstrukcji betonowych, pochodzących z początku XX w., wskazują na znacznie większe zapasy wytrzymałości betonu, niż zakładali ich projektanci. W kolejnych badaniach przeprowadzonych przez inne laboratorium [1], oszacowano średnią klasę betonu jako C20/25 (wcześniej B25), ale do obliczeń sprawdzających przyjęto klasę betonu C12/15 (B15). Dodatkowo sprawdzono nośność konstrukcji przy założeniu wykonania jej z betonu klasy B12,5 (brak odpowiednika C-/-). W celu ustalenia jednorodności betonu przeprowadzono serię badań konstrukcji in situ za pomocą sklerometru Schmidta.

Zaproponowana metoda dostosowania konstrukcji do wymagań przepisów

Problematiczna była zbyt mała wysokość użytkowa przejścia pod belką podestową, niespełniająca wymagań aktualnych przepisów [19] i dobranie jak najmniej inwazyjnego sposobu zmniejszenia wysokości tej belki o ok. 15 cm (do 20 cm) wraz z jej wzmocnieniem metodą pozwalającą na uzyskanie wymaganego „światła” w przypadku ewakuacyjnego wyjścia z budynku użyteczności

publicznej o charakterze edukacyjnym i jednocześnie zapewnienie bezpieczeństwa [17]. Takie działanie wiąże się z utratą dolnych prętów zbrojenia. Zdecydowano się na rozwiązanie hybrydowe, wykorzystujące bezinwazyjne materiały kompozytowe (system FRCM) oraz dodatkowe podparcie belki spocznikowej osłabionej przez zmniejszenie wysokości i utratę zbrojenia dolnego.

Materiały kompozytowe stosowane są w celu uzupełnienia „brakującej nośności”, w tym przypadku przekroju zbrojenia nie więcej niż o 50%. Są one coraz powszechniej używane do wzmocnienia konstrukcji murowych oraz współczesnych konstrukcji żelbetowych. W badanym przypadku zaproponowano je natomiast do wzmocnienia ponad 110-letniego betonu zbrojonego, uznając to rozwiązanie za niestandardowe. Ustalono, że ok. połowa belki spocznikowej zostanie podcięta na jej długości w celu uzyskania wymaganej wysokości przejścia, natomiast występująca bezpośrednio pod nią balustrada – ściana (betonowa) przebiegająca do fundamentów zostanie potraktowana po nadbetonowaniu jako podpora pośrednia.

Podczas prowadzonych badań nie był możliwy dostęp do fundamentu ściany – balustrady, a w ramach wykonanych wcześniej opracowań nie zakwalifikowano go do wzmocnienia, dlatego też ścianę uznano za samonośną. Obciążenie jej środkową podporą belki podestowej nie tylko będzie się wiązało z dociążeniem podwójną siłą skupioną o łącznej wartości ok. 83 kN, ale także ze zmianą schematu statycznego belki, z jednoprzęsłowej (rysunek 1, fotografia) na dwuprzęsłową (rysunki 2, 3). Obliczenia sprawdzające przeprowadzono wg wycofanych polskich norm [5 ÷ 7], uznając je za bliższe regułom stosowanym na początku XX w. (algorytmy obliczeniowe oraz parametry materiałów) niż wymagania normy [8] i Eurokodu 6. Obciążenie skupione o wartości 83 kN nie jest obojętne dla nierozpoznanego fundamentu ściany i powinno rozłożyć się liniowo na ławie fundamentowej (na długości ok. 3,8 m), co przełożyłoby się na wielkość obciążenia liniowego ok. 23 kN/m. **Zaproponowano wzmocnienie balustrady za pomocą kompozytów** (rysunki 2, 3).

Nowe rozwiązanie spowoduje zmianę w rozkładzie i wielkości momentów oraz sił tnących, przenosząc ich ekstremalne wartości głównie na część środkową belki spocznikowej, w miejscu jej dodatkowego, pośredniego podparcia (rysunek 2). W celu liniowego rozłożenia obciążenia skupionego na maksymalną długość ściany zaproponowano jej podwyższenie w formie trójkąta wypełniającego (rysunek 3) i połączenie za pomocą prętów wklejanych na żywicę. Wiotkim prętom helialnym, wykonanym ze stali o dużej wytrzymałości, „przydzielono”

wyłącznie zadanie ustabilizowania w pionie betonowego, trójkątnego elementu wypełniającego i podpierającego. Montaż siatek PBO wykonanych z włókien poliparafenilenobenzobisoxazolowych aplikowanych na matrycach nieorganicznych powinien być wykonany przez wykwalifikowany zespół.

Wzmocnienie osłabionej konstrukcji belki spocznikowej

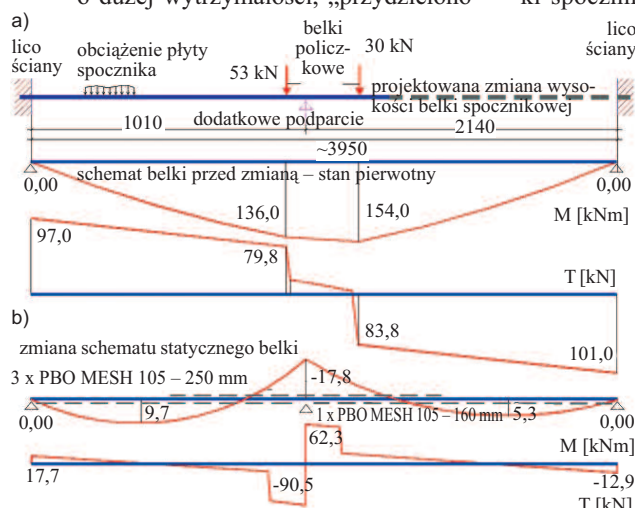
Zaproponowano zabezpieczenie belki spocznikowej na czas prowadzenia robót przez jej podstemplowanie oraz wykonanie żelbetowego docelowego podparcia w strefie środkowej w wyniku podwyższenia ściany – balustrady (rysunki 2, 3). Następnie należało podciąć (wyciąć) fragment belki podstewowej do wymaganej wysokości z pozostawieniem odcinków prętów do nagwintowania i zakotwienia płytką kotwiącą oraz nakrętką z dodatkową podkładką, zabezpieczoną przed jej odkręceniem się. Do wzmocnienia górnej powierzchni belki zaproponowano trzy warstwy sia-

tek PBO, natomiast jej spodu – jedną warstwę siatki oraz uzupełnienie o strzemiona wykonane z wiązek włókien PBO [20]. Ostatnią czynnością byłoby wzmocnienie obwodowe (z trzech stron) betonowej balustrady – siatkami PBO i osadzenie stalowej belki wzmacniającej (HEB), mającej przejąć obciążenia od płyty spocznikowej na odcinku osłabionego przekroju belki spocznikowej (rysunek 3).

Siatki osadza się na matrycach nieorganicznych, na odpowiednio przygotowanym podłożu, badanym metodą pull-off w celu zagwarantowania wymaganej przyczepności, nie mniejszej niż 1,5 MPa. W przypadku nierówności lub ubytków należy wykonać reprofilację podłoża. Grubość warstwy pojedynczego wzmocnienia nie powinna przekraczać 1 cm, natomiast trzech warstw – 2 cm, co pozwoli zachować praktycznie niezmiennymi wymiary w porównaniu z oryginałem. Wykonane wzmocnienie z siatek na matrycach mineralnych będzie stanowiło dodatkowe zabezpieczenie ppoż. płytko ułożonego zbrojenia, które zachowuje parametry nośności w temperaturze 550 ± 600°C.

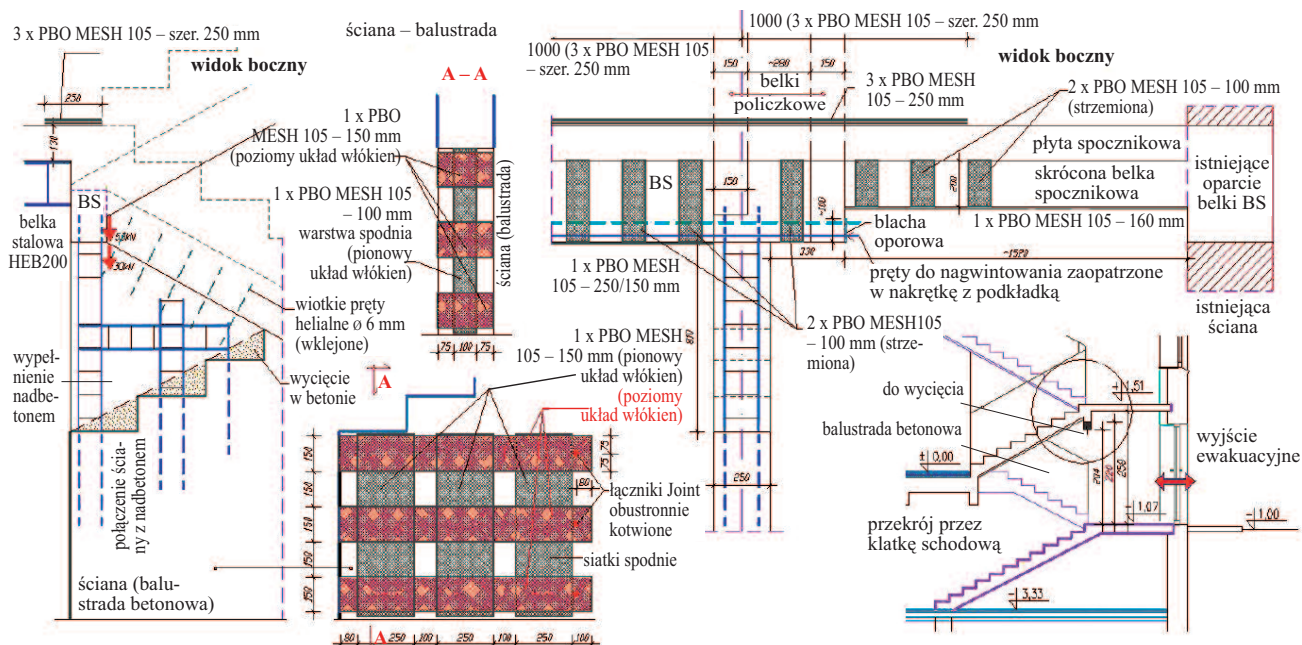
Podsumowanie

W obiektach historycznych i zabytkowych mała lub mało widoczna inwazyjność jest szczególnie istotna ze



Rys. 2. Schemat statyczny belki podstewowej: a) pierwotny, układ jednoprzęsłowy; b) wtórny, dwuprzęsłowy po dodatkowym podparciu

Fig. 2. A static scheme of the landing beam: a) original, 1-span; b) secondary, 2-span with additional support



Rys. 3. Sposób wzmocnienia belki spocznikowej klatki schodowej dostosowanej do wymagań użytkowych przepisów [19]

Fig. 3. A method of strengthening the landing beam of the staircase, adjusted to requirements of the utility regulations [19]

względu na ich unikatowość i stale malejącą liczbę [18]. Omawiana w artykule konstrukcja klatki schodowej stanowi niewątpliwie cenną wartość historyczną, ponieważ pochodzi z pionierskiego okresu wdrażania połączenia betonu i żelaza (stali) na europejskim rynku budowlanym. Cennym elementem jest również nieco inne od obecnego podejście obliczeniowo-konstrukcyjne do doboru wkładek zbrojeniowych elementów żelbetowych oraz ich rozkładu w przekroju betonowych elementów, których obecnie nie moglibyśmy zastosować ze względu na wymagania norm. Sprawdzianem dla tych rozwiązań jest czas eksploatacji konstrukcji. Na przełomie XIX i XX w., a także na początku XX w. stosowano materiały, które w świetle aktualnych badań mogą dorównywać materiałom obecnie stosowanym, lecz nie są z nimi tożsame. Na podkreślenie zasługuje fakt, że zarówno obecnie, jak i na przełomie XIX i XX w. w obliczeniach zakładano tożsame obciążenie użytkowe schodów, tj. 4,0 kN/m².

Stoję na stanowisku zachowania substancji historycznej w jak najwyższym stopniu jej autentyczności, podobnej jak to zapisano w ustawie [19]. Nielatwym zadaniem jest przeprowadzanie rzetelnych badań i analiz pod kątem bezpieczeństwa konstrukcji [17], do których podejście obliczeniowe było zgoła inne niż obecne. Niemniej oględziny i przeprowadzone badanie konstrukcji opisywanej w artykule pozwoliły na stwierdzenie, że mimo ponad 110-letniej jej eksploatacji nie zauważono odkształceń ani zarysowań [1]. Przeprowadzone badania i obliczenia sprawdzające pozwalają na dopuszczenie konstrukcji do dalszej eksploatacji po uwzględnieniu opisanych założeń i wymagań. Nie należy kwalifikować historycznych materiałów konstrukcji budowlanych do nieprzydatnych w odniesieniu do aktualnych przepisów i norm, tylko ze względu na ich wiek i pobeżną ocenę.

W rozpatrywanym przypadku, równoległe z badaniami laboratoryjnymi betonu, przeprowadzono badania niszczące za pomocą sklerometru Schmidta, który wyskalowano na podstawie pobranych i zniszczonych w laboratorium próbek. Głównym celem

tych badań było sprawdzenie jednorodności struktury materiału na całej powierzchni (długości) elementów, co zostało potwierdzone. Jakość konstrukcji wykonanej w 1910 r. należy uznać za bardzo dobrą, a stan techniczny za pozwalający na dalszą eksploatację.

Obecnie nauka stara się wybiegać w przyszłość w kierunku opracowywania i badania nowych materiałów/technologii oraz prowadzenia zaawansowanych badań laboratoryjnych, natomiast istnieją jeszcze obiekty historyczne stanowiące dziedzictwo narodowe każdej społeczności, które należy zachować dla przyszłych pokoleń w pełnej sprawności technicznej i jak najwyższym stopniu autentyczności [18]. W ich przypadku nie zostały jeszcze opracowane uniwersalne metody naprawy i wzmocnienia. W artykule nie tylko podjęto próbę uzasadnienia takiej konieczności i zachowania tych obiektów w stanie i wyglądzie odpowiadającym oryginałowi, ale również utrzymania ich pierwotnej funkcji, lecz już z uwzględnieniem nowych wymagań stawianych przez przepisy budowlane [19] oraz normy. Jako wzmocnienie osłabionych fragmentów konstrukcji zaproponowano technologię FRCM, w skład której wchodzi siatki PBO [20], które nadal znajdują się w fazie badań, szczególnie w zakresie ich wytrzymałości zależnej od przyczepności do podłoża i nie mają jeszcze swojego umocowania w normach.

Zaprezentowane podejście do obiektów historycznych wpisuje się w strategię zrównoważonego rozwoju, ponieważ budynki mogą nadal pełnić swoje pierwotne funkcje lub też być przeznaczone na inne cele. Eliminuje się w ten sposób konieczność deponowania odpadów porozbiórkowych na znikających już składowiskach lub ich utylizacji. Takie postępowanie nie wymaga zapotrzebowania na energię niezbędną do wyprodukowania nowych materiałów, transport oraz wnoszenie nowych obiektów.

Literatura

[1] Badania betonu oraz elementów ceramicznych konstrukcji klatek schodowych K1, K2 i K5 wykonane przez AG-CEL Laboratorium P. Rydygier, I. Trzynski sp. j. Pawłówko, ul. Bydgoska 14, 89-620 Chojnice, w kwietniu 2022 r.

[2] Raport z badań – Wybrane badania materiałowe w rewitalizowanym budynku poszpitalnym przy ul. Warszawskiej w Gorzowie (badanie na ściskanie odwiertów rdzeniowych, określenie grubości otuliny, rozstawu i średnic zbrojenia) – Barg Zachód Sp. z o.o. z siedzibą w Poznaniu (5 lipca 2021 r.).

[3] Raport z badań – Wybrane badania materiałowe w rewitalizowanym budynku poszpitalnym przy ul. Warszawskiej w Gorzowie (klatki schodowe: przejściowa, K1 i K2) – Barg Zachód Sp. z o.o. z siedzibą w Poznaniu (9 lipca 2021 r.).

[4] Raport z badań – Wybrane badania materiałowe w rewitalizowanym budynku poszpitalnym przy ul. Warszawskiej w Gorzowie (badanie cechy na ściskanie, określenie grubości otuliny, rozstawu i średnic zbrojenia) – Barg Zachód Sp. z o.o. z siedzibą w Poznaniu (grudzień 2021 r.).

[5] PN-82/B-02001 Obciążenia budowli. Obciążenia stałe.

[6] PN-82/B-2003 Obciążenia zmienne technologiczne. Podstawowe obciążenia technologiczne i montażowe.

[7] PN-76/B-03264 Konstrukcje betonowe, żelbetowe i sprężone. Obliczenia statyczne i projektowanie.

[8] PN-B-03264:2002 Konstrukcje betonowe, żelbetowe i sprężone. Obliczenia statyczne i projektowanie.

[9] Podręcznik inżynierski w zakresie inżynierii lądowej i wodnej pod redakcją prof. dr. inż. Stefana Bryły, Tom III. Inżynieria miejska – budownictwo. Warszawa 1932 r.

[10] Der Eisenbetonbau von A. Toensmann Zivil-Ingenieur „Bureau fuer Entwurf und Statik. Koenigsstrasse 37 Berlin, vorm. Fachlehrer fuer Eisenbetonbau und Statik und re Ingenieur – Akademie Wismar a. Ostsee. ~1910 r.

[11] Czaplinski K. Dawne wyroby ze stopów żelaza, DWE 2009.

[12] Paczkowska T, Paczkowski W. Współczesne gatunki stali oraz kształtowniki stosowane w konstrukcjach budowlanych, XIX WPPK, Ustroń 2004 r.

[13] Zasady oceny bezpieczeństwa konstrukcji żelbetowych, Instrukcja ITB 361. ITB, Warszawa 1999.

[14] Runkiewicz L. Diagnostyka i wzmocnianie konstrukcji żelbetowych, Wydawnictwo Politechniki Świętokrzyskiej, Kielce 1999.

[15] Runkiewicz L. Badania konstrukcji żelbetowych, Biuro Gamma, Warszawa 2002.

[16] Drobiec Ł, Jasiński R, Piekarczyk A. Diagnostyka Konstrukcji Żelbetowych, Warszawa PWN 2014.

[17] Ustawa z 7 lipca 1994 r. Prawo budowlane (Dz.U. 1994 nr 89 poz. 414 Dz.U. z 2021 r. poz. 2351, z 2022 r. poz. 88).

[18] Ustawa z 23 lipca 2003 r. o ochronie zabytków i opiece nad zabytkami (Dz.U. 2003 nr 162 poz. 1568, Dz.U. 2022 poz. 840).

[19] Rozporządzenie Ministra Infrastruktury z 12 kwietnia 2002 r., w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać obiekty i ich usytuowanie.

[20] Materiały techniczne VISBUD-PROJEKT Sp. z o.o. Wrocław.

Przyjęto do druku: 18.05.2023 r.