

dr hab. inż. Dariusz Bajno, prof. uczelni^{1*)}

ORCID: 0000-0001-7664-8653

dr inż. Łukasz Bednarz²⁾

ORCID: 0000-0002-1245-6027

Wpływ pożaru na bezpieczeństwo 11-kondygnacyjnego budynku wykonanego w technologii „wielkiej płyty”

The effect of fire on the safety of a 11-storey building constructed using „large concrete slab” technology

DOI: 10.15199/33.2022.05.03

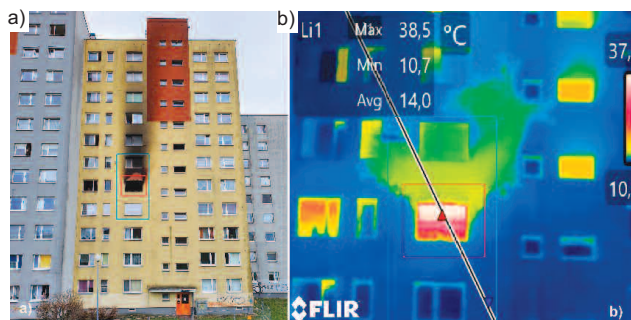
Streszczenie. W drugiej połowie XX wieku nastąpił w Polsce bardzo szybki rozwój budownictwa mieszkaniowego. Stale rosnące potrzeby szybkiego zapewnienia coraz większej liczby mieszkań wymuszały na ówczesnych władzach wprowadzanie nowoczesnych i jednocześnie „szybkich” technologii wznoszenia budynków, tj. „wielkiej płyty” oraz „wielkiego bloku”. Były to systemy mające wiele zalet, lecz również obarczone wadami. W artykule pominięto ich charakterystykę, natomiast skupiono się na jednym przypadku obciążenia wyjątkowego (oddziaływanie pożaru), jego konsekwencjami, a następnie nad sposobem przywracania do dalszego użytkowania 11-kondygnacyjnego budynku mieszkalnego, zrealizowanego w latach 80. ubiegłego wieku w systemie Wk-70. Technologia ta nie przewidywała standardowych metod naprawczych w przypadku takich zdarzeń.

Słowa kluczowe: prefabrykacja; „wielka płyta”; ocena stanu technicznego; pożar; bezpieczeństwo konstrukcji; wzmocnienie.

Abstract. In the second half of the 20th century, housing construction developed very rapidly in Poland. The constantly growing need to quickly provide an increasing number of apartments forced the then authorities to introduce modern and at the same time „fast” technologies of erecting buildings, i.e. „large concrete slab” and „large block”. These systems with many advantages, but also many disadvantages. The article omits their characteristics and focuses on one case of exceptional load (fire impact), its consequences, and then the way of restoring an 11-story residential building for further use, built in the 1980s in the Wk-70 system. This technology did not provide standard repair packages for such events.

Keywords: prefabrication; „large concrete slab”; assessment of the technical condition; fire; safety of the structure; reinforcement.

Okres dominacji technologii półprzemysłowych i uprzemysłowionych w polskim budownictwie mieszkaniowym przypadł na lata 1955 – 1995. Były to zarówno systemy otwarte, jak również zamknięte, w tym centralne oraz regionalne. W artykule omówiono sytuację, która zagroziła bezpieczeństwu jedenastokondygnacyjnego budynku mieszkalnego, wykonanego w otwartym systemie Wk-70 (fotografia 1). Na fotografii 1b widoczny jest zakres uszkodzeń termoizolacji oraz zasięg powierzchni jej nagrzania (temperatura otoczenia kształtowała się na poziomie $\pm 0,0^\circ\text{C}$). Zgodnie z [1] przedmiotowy obiekt był regularnie poddawany okresowym przeglądom technicznym i miał prawidłowo prowadzoną książkę obiektu budowlanego wg [2, 3]. 30 grudnia 2021 r., na piątej kondygnacji budynku miał miejsce pożar, który trwał ponad 1,5 h i zagrażał bezpieczeństwu całego obiektu. Nie byłby on tak niebezpieczny, gdyby chodziło o budynek wykonany w technologii tradycyjnej, np. murewaney. Temperatura w jednym z lokali na czwartym piętrze przekroczyła 1000°C , natomiast źródło pożaru zlokalizowane było w sypialni znajdującej się w bezpośrednim sąsiedztwie klatki schodowej oraz szybu windowego (fotografia 2).



Fot. 1. Uszkodzona elewacja budynku (a) oraz uszkodzenia termoizolacji widoczne na fotografii termowizyjnej (b) Fot. D. Bajno
Photo 1. Damaged building façade (a) and thermal insulation damages visible in the infrared photography (b)

Temperaturę ustalono na podstawie celulozowej krzywej rozwoju pożaru (spalania) [4, 5], a także doszczętnego wypalenia się klepki dębowej znajdującej się w pomieszczeniu źródła ognia (temperatura spalania to $800 \div 1000^\circ\text{C}$), co potwierdziło stanowisko komendy miejskiej Państwowej Straży Pożarnej zajęte w piśmie z połowy stycznia 2022 r.

Pierwsze oględziny konstrukcji budynku, jakie miały miejsce po zakończeniu akcji gaśniczej, nie wskazywały na zakres uszkodzeń, mogący zagrazić bezpieczeństwu budynku. Dopiero oczyszczenie powierzchni ścian i stropów z sadzy oraz usunięcie pozostałości tynków odsłoniło rzeczywisty ich obraz (fotografia 3).

¹⁾ Politechnika Bydgoska; Wydział Budownictwa, Architektury i Inżynierii Środowiska

²⁾ Politechnika Wrocławska; Wydział Budownictwa Lądowego i Wodnego

^{*}) Adres do korespondencji: dariusz.bajno@pbs.edu.pl



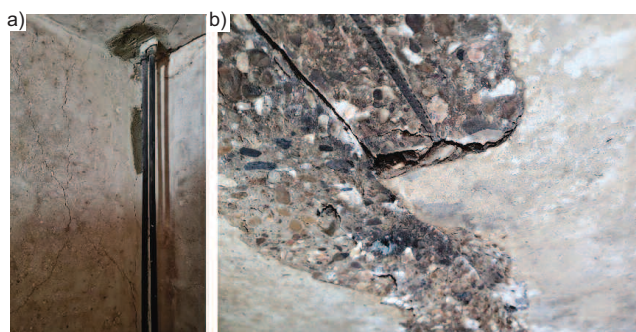
Fot. 2. Uszkodzenia wewnątrz budynku – pomieszczenie, gdzie zlokalizowano źródło pożaru

Fot. D. Bajno
Photo 2. Damages internal of the building – room where the source of fire was located

Konstrukcja nośna budynku została wzniesiona w całości z elementów prefabrykowanych (poza piwnicami). Ściany zewnętrzne kondygnacji nadziemnych wykonano z prefabrykowanych elementów betonowych o budowie warstwowej, na którą składały się: warstwa fakturowa grubości 6 cm; wewnętrzna warstwa termoizolacyjna z wełny mineralnej grubości 6 cm oraz warstwa nośna grubości 15 lub 8 cm, w zależności od tego, czy była to ściana nośna czy osłonowa. W systemie Wk-70 stosowano już żelbetowe stropy pełne grubości 16 cm zamiast kanałowych o grubości 24 cm, które wykorzystywano w systemie W-70. Wszystkie prefabrykaty powinny charakteryzować klasa betonu B17,5 (dawne oznaczenie), obecnie byłaby to klasa pośrednia pomiędzy C12/15 a C16/20.

Prace diagnostyczne

Ponadmiesięczna obserwacja budynku polegająca na inwentaryzacji i pomiarach szerokości rys oraz pęknięć, badanie pionowości ścian w stosunku pomiarów pierwotnych oraz ich temperatury pozwoliły na wnikliwą ocenę uszkodzeń, a tym samym ocenę aktualnego stanu technicznego. Przeprowadzone szczegółowe badania potwierdziły poważne uszkodzenie konstrukcji ścian i stropów na trzech kondygnacjach 4., 5., 6. (fotografia 1). Źródło pożaru zostało zlokalizowa-



Fot. 3. Uszkodzenia prefabrykatów (5. kondygnacja): a) konstrukcja nośna ścian grubości 15 cm; b) odsłonięte pręty zbrojeniowe stropu

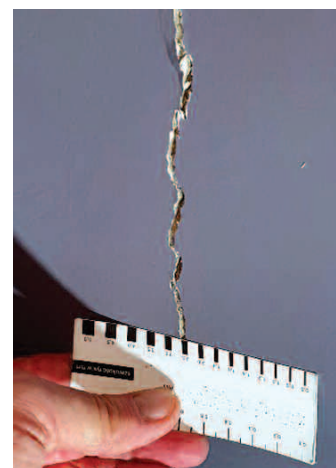
Fot. D. Bajno
Photo 3. Damage to prefabricated elements (5. floor): a) supporting structure of walls 15 cm thick; b) exposed reinforcing bars of the ceiling

wane na 5. kondygnacji. Obciążenie tak wysoką temperaturą, a następnie nagłe schłodzenie będące efektem akcji gaśniczej spowodowały intensywne i nieregularne spękanie prefabrykatów ściennych, a także utratę otuliny dolnych wkładek zbrojeniowych płyt stropowych (fotografia 3).

Stan techniczny budynku wymuszał na zarządcy podjęcie pilnych decyzji, a następnie **wdrożenia skutecznego programu naprawczego uszkodzonej konstrukcji trzech kondygnacji**. Oględziny całego budynku wykazały, że pozostała jego część nie ucierpiała wskutek pożaru. W ramach prac wzmacniająco-naprawczych zaproponowano w pierwszej kolejności dokładne oczyszczenie uszkodzonych i przeznaczonych do wzmocnienia powierzchni [6]. Badanie podłoża przeprowadzone metodą pull-off wykazało dobrą przyczepność do powierzchni ścian

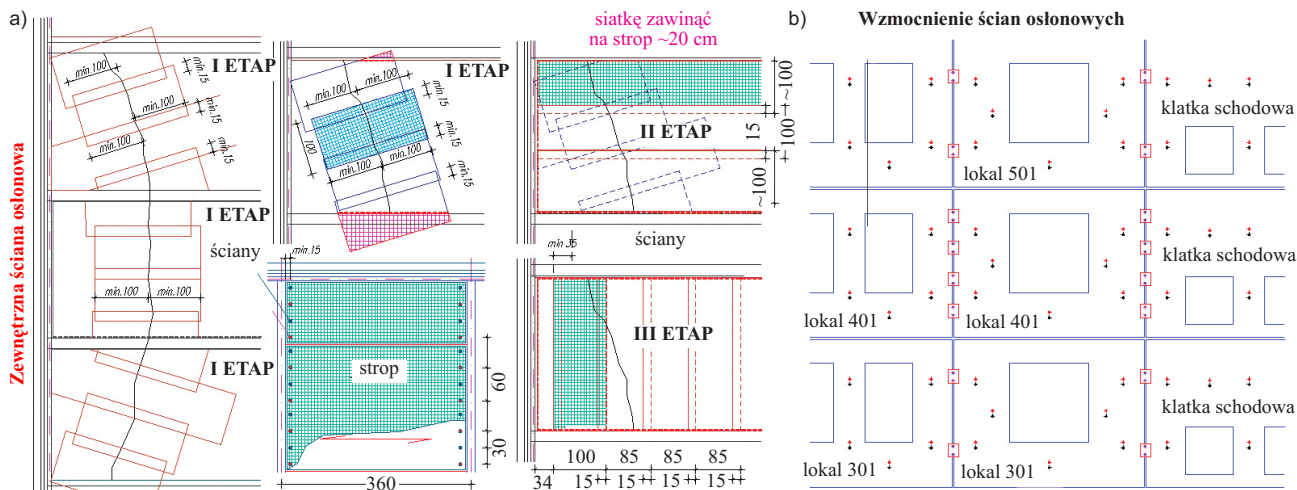
(>1,5 MPa w pięciu punktach), wystarczającą do aplikacji wzmocnień z użyciem materiałów kompozytowych i znacznie słabszą do powierzchni płyt stropowych – dotyczyło to bliskiej lokalizacji źródła pożaru (<1,5 MPa – w czterech punktach). Na ścianach trzech pomieszczeń znajdujących się w pionie oddziaływania temperatury zinventaryzowano pionowe i ukośne pęknięcia prefabrykatów o szerokości 1,0 – 2,4 mm (fotografia 4). Były to pęknięcia na kilka niezależnych części, w tym nawet bardzo drobnych (fotografia 3a). Ponadto, ogrzanie ścian i stropów doprowadziło do ich wydłużenia, co z kolei spowodowało obciążenie dodatkowymi siłami poziomymi połączeń „zawieszonych” prefabrykatów osłonowych ścian zewnętrznych do pozostałej konstrukcji budynku. W wyniku pożaru, z powodu utraty przyczepności do warstwy fakturowej ściany, uszkodzeniu uległa również zewnętrzna warstwa termoizolacyjna budynku i to na wysokości kilku kondygnacji (fotografia 1). Potwierdziły to prace wzmacniające polegające na dodatkowym podwieszeniu warstw fakturowych. Nie można było wykluczyć, że w tej sytuacji zostały naruszone elementy podwieszające wspomnianą warstwę fakturową do części nośnej ściany, dlatego też zaproponowano wprowadzenie dodatkowych łączników wzmacniających te połączenia (rysunek b) [6], co też wiązało się z usunięciem dużej powierzchni docieplenia zewnętrznego.

Na fotografii 3a widoczna jest siatka spękań występujących na bocznych ścianach lokalu 5. kondygnacji, a na fotografii 4 i rysunku wyraźne pęknięcia konstrukcyjne, które przechodziły przez trzy kondygnacje. Były one efektem zmiany wymiarów nośnych ścian bocznych wskutek oddziaływań termicznych w czasie pożaru i akcji gaśniczej oraz stropów pomieszczenia, w którym znajdowało się źródło pożaru. Szerokość pęknięć zmierzona w następnym dniu po ugaszeniu pożaru wynosiła 1,0 – 2,4 mm, a w kolejnych dniach, po wychł-



Fot. 4. Szerokość pęknięć na ścianach konstrukcyjnych 2,4 mm

Fot. D. Bajno
Photo 4. Width of cracks in structural walls 2,4 mm



Wzmocnienie uszkodzonych konstrukcji: a) ścian wewnętrznych i stropu; b) zewnętrznych ścian osłonowych – lokalizacja dodatkowych łączników

Rys. D. Bajno

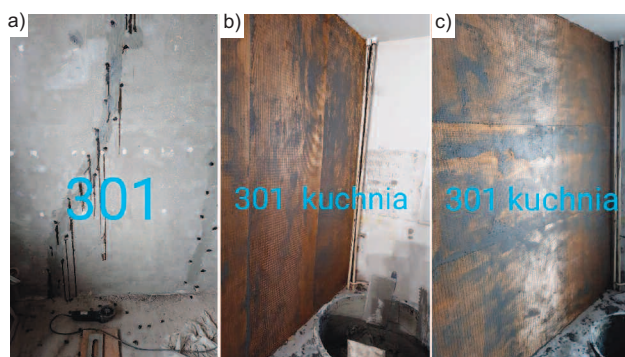
Reinforcement of damaged structures: a) internal walls and ceiling; b) external curtain walls – location of additional connectors

dzienu konstrukcji, zmniejszyła się o ok. 0,1 do 0,3 mm. Po 16 h od ugaszenia pożaru temperatura stropów oraz ścian wynosiła jeszcze $+50^{\circ}\text{C}$ na kondygnacjach pozbawionych okien oraz drzwi, przy temperaturze otoczenia $\pm 0,0^{\circ}\text{C}$. Zagrożeniem dla budynku stało się ryzyko miejscowej utraty sztywności przestrzennej budynku w miejscu bezpośredniego oddziaływania ognia i wysokiej temperatury, co mogło mieć odzwierciedlenie w jego późniejszej bezpiecznej eksploatacji. W tej sytuacji celem nadrzędnym stało się przywrócenie tej sztywności przez scalenie elementów, które utraciły swoją ciągłość i jednocześnie przywrócenie nośności więcom.

Prace naprawczo-wzmacniające konstrukcję budynku

W wyniku prac diagnostycznych zaproponowano wykonanie wzmocnień spękanych ścian i stropów przez ułożenie na ich powierzchni siatek kompozytowych PBO (poliparafenilenbenzobisoxazol), aplikowanych na matrycach mineralnych (niezmiennających swoich właściwości nawet przy temperaturze $550 \div 600^{\circ}\text{C}$), po wcześniejszym uzupełnieniu ubytków betonu materiałem naprawczym do reprofilacji zgodnym z [6] i scaleniu głównych pęknięć metodą iniekcji (fotografia 5a) [6]. Technologia FRCM (Fiber Reinforced Cementitious Matrix), wykorzystująca siatki węglowe oraz z PBO, jest powszechnie stosowana, szczególnie w przypadku wzmacniania konstrukcji murowych i żelbetowych [6 ÷ 14]. Zaproponowane rozwiązanie, poza funkcją wzmacniającą, powinno być jednocześnie na tyle mało zauważalne, żeby nie zakłócać estetyki pomieszczenia, a tym samym jego komfortu użytkowego. W związku z tym zaproponowano ułożenie na ścianach, prostopadle do linii głównych spęknięć, pierwszej warstwy siatki PBO, stosując zakłady min. 1,0 m po obu stronach spęknięcia, zapewniając w ten sposób ich właściwą współpracę z podłożem (rysunek a i fotografia 5b, c), a następnie ułożenie dwóch kolejnych warstw siatek PBO w układzie ortogonalnym na całej wzmacnianej powierzchni.

W ramach lokalnych wzmocnień wprowadzono konstrukcję stalową w miejscach połączeń prefabrykatów oraz uszkodzonej ramki wokół wejścia do lokalu na czwartym piętrze

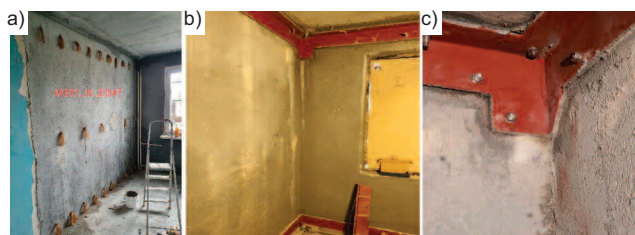


Fot. 5. Etapy wzmocnienia konstrukcji ścian: a) iniekcja spęknięć; b) II etap – druga warstwa siatki PBO ułożona na pierwszej prostopadłej do linii pęknięć (rysunek a); c) III etap – trzecia warstwa siatki PBO

Fot. archiwum Stanwit Sp. z o.o.

Photo 5. Stages of wall structure reinforcement: a) crack injection; b) stage II – second layer of PBO mesh placed on the first layer oriented perpendicularly to the crack line (Fig a); c) stage III – third layer of PBO mesh

(fotografia 6). Jej celem było również dodatkowe kotwienie wzmocnień kompozytowych. Oprócz wzmocnienia prefabrykatów ściennych zaproponowano wzmocnienie płyt stropowych, których zbrojenie dolne wraz z otuliną zostało poddane oddziaływaniu wysokiej temperatury przez 90 min. Wzmocnienie to wykonano również systemem FRCM (siatki PBO na nieorganicznych matrycach mineralnych – rysunek a). Z tego względu, że dosyć masywne warstwy podłogowe uchroniły górne powierzchnie stropów przed ogniem i wpływem wysokiej temperatury, nie wymagały one wzmocnienia. Wykonano je jedynie na spodzie płyt stropowych przez ułożenie podwójnych siatek o orientacji włókien nośnych siatek zgodnym z kierunkiem zbrojenia głównego płyt (rysunek a). Ze względu na „klawiszowanie” płyt i ryzyko odspojenia wzmacniających matryc mineralnych, w miejscach występowania zamków między płytami wzmacniano każdą z nich osobno, bez konieczności zachowywania ciągłości matryc na ich stykach. W celu zwiększenia przyczepności siatek PBO do podłoża (ściany i stropy) wprowadzono dodatkowe jedno- lub dwu-



Fot. D. Bajno

Fot. 6. Elementy wzmocnień: a) siatki na matrycach cementowych – widoczne łączniki; b) wykończona ściana – ostatnia warstwa wzmocnienia i widoczny wieniec obwodowy; c) szczegół wienca
Photo 6. Elements of reinforcement: a) mesh on cementitious matrix – visible connectors; b) finished wall – last layer of reinforcement and visible circumferential ring beam; c) detail of ring beam

stronne gotowe łączniki (joint) lub w postaci wiązek wykonanych z tego samego materiału (fotografia 6a). Ostatnim etapem wzmocnień było zabezpieczenie nowo wykonanych konstrukcji przed ogniem i wysoką temperaturą. Wykonano je przez ułożenie tynków cementowo-wapiennych na warstwach kompozytowych, natomiast konstrukcje stalowe zabezpieczono obudową ognioodporną oraz pokryciem powłokami pęczniącymi, doprowadzając tym samym elementy do klasy odporności ogniowej REI60.

Podsumowanie

Diagnozowanie stanu technicznego obiektów budowlanych wymaga od osób dokonujących takich ocen odpowiedniej wiedzy oraz doświadczenia, a przede wszystkim znajomości konstrukcji obiektu i jego „słabych miejsc”. Często w praktyce budowlanej zdarza się, że nie zachowują się dokumentacje archiwalne. Technologia „wielkiej płyty” nie jest wyjątkiem. Zarządcy takich budynków nie dysponują ich kompletną dokumentacją, lecz jedynie podstawowymi rzutami oraz przekrojami niezawierającymi szczegółowych rozwiązań konstrukcyjnych, takich jak detale węzłów połączeń pionowych i poziomych prefabrykatów oraz ich zbrojenia. Wówczas znacznie utrudniona jest rzetelna ocena zakresu uszkodzeń i ich wpływu na bezpieczeństwo obiektu poddanego oddziaływaniu wyjątkowemu, którego nie przewidziano na etapie projektowania. W takich sytuacjach niełatwy jest dobór właściwych metod naprawczych. Tak było w przypadku opisanym w artykule. Wstępne oględziny 11-kondygnacyjnego budynku, a następnie zabezpieczenie zagrożonych kondygnacji przez ich stemplowanie pozwoliły na bezpieczną obserwację obiektu przez 1,5 miesiąca, a tym samym na wypracowanie stanowiska w sprawie oceny zagrożenia, jakie mogły stwarzać uszkodzone kondygnacje. Przeprowadzona w tym czasie dokładna inwentaryzacja uszkodzeń, które ustabilizowały się w ciągu trzech dni od zdarzenia, pozwoliła na opracowanie modelu naprawczego niewymagającego ingerencji w konstrukcję obiektu. Zaproponowane rozwiązania naprawczo-wzmacniające nie zmieniły układu statycznego konstrukcji ani też jej nie przeszywniły i jednocześnie były mało widoczne od strony pomieszczeń. W rozwiązaniach naprawczych należy sugerować stosowanie

materiałów i technologii bliskich rozwiązaniom oryginalnym. Pomimo tego, że zakładany czas użytkowania wielu budynków zrealizowanych w technologii „wielkiej płyty” już upłynął, to nadal uważa się tę technologię za bezpieczną, lecz wymagającą stałych i rzetelnych przeglądów okresowych. Jej „słabymi miejscami” nadal pozostają warstwowe ściany osłonowe oraz pionowe złącza prefabrykatów, do których nie ma bezpośredniego dostępu. W opisywanym przypadku uznano za prawdopodobne uszkodzenie elementów zawieszenia ścian osłonowych na konstrukcjach ścian poprzecznych, jak również prawdopodobieństwo uszkodzenia pionowych złączy prefabrykatów oraz wienców, co zostało uwzględnione w zaproponowanych i zastosowanych metodach naprawczych, popartych stosownymi obliczeniami.

Każda przeprowadzona naprawa powinna być monitorowana nie tylko ze względu na obowiązek ustawowy, ale przede wszystkim ze względu na skuteczność wdrożonych rozwiązań. Monitoring należy prowadzić na podstawie projektu naprawy oraz zgodnie z wiedzą techniczną.

Literatura

- [1] Bajno D. Ekspertyza techniczna „Ocena stanu technicznego budynku po pożarze lokali 4 piętra (401), jaki miał miejsce w dniu 30 grudnia 2021”; Zespół rzeczoznawców budowlanych PZITB O/Opole; 2022 r.
- [2] Ustawa z 7 lipca 1994 r. Prawo budowlane, t.j. z późn. zm.
- [3] Rozporządzenie Ministra Spraw Wewnętrznych i Administracji z 16 sierpnia 1999 r. w sprawie warunków technicznych użytkowania budynków mieszkalnych.
- [4] DIN 4102-4:2016-05 Klasyfikacja odporności ogniowej materiałów i elementów konstrukcji. Część 4: Zestawienie i zastosowanie zaklasyfikowanych materiałów i elementów konstrukcji oraz specjalnych elementów konstrukcyjnych.
- [5] ISO 834-2:2019 Fire-resistance tests - Elements of building construction – Part 2: Requirements and recommendations for measuring furnace exposure on test samples.
- [6] PN-EN 1504 Wyroby i systemy do ochrony i napraw konstrukcji betonowych – Definicje, wymagania, sterowanie jakością i ocena zgodności. Zestaw norm.
- [7] Acceptance criteria for masonry and concrete strengthening using fiber-reinforced cementitious matrix (FRCM) composite systems. AC434; October 2011.
- [8] Guide to Design and Construction of Externally Bonded FRCM Systems for Repair and Strengthening Concrete and Masonry Structures American Concrete Institute Advancing; December 2013.
- [9] Bednarz Ł. Technologia wzmacniania kolumn betonowych materiałami kompozytowymi. *Materiały Budowlane*. 2021; 5: 22 – 24; <https://doi.org/10.15199/33.2021.05.03>
- [10] Bednarz Ł, Jackiewicz M, Wojciechowska G, Rutkowski M. Możliwość aplikacji kompozytów FRCM w żelbetowych obiektach historycznych. *Materiały Budowlane*. 2016; 531 (11): 136 – 139.
- [11] Bednarz Ł, Bajno D. Critical overview of problems with existing buildings made in the “big block” technology with insulation from AAC blocks: monitoring and repair possibilities. W: *Brick and Block Masonry - from historical to sustainable masonry: proceedings of the 17th International Brick/Block Masonry Conference (17thIB2MaC 2020)*, July 5-8, 2020, Kraków, Poland/eds. Jan Kubica, Arkadiusz Kwiecień, Łukasz Bednarz. BocaRaton[in.]: CRC Press/Balkema, cop. 2020. s. 582 – 587.
- [12] *Materiały techniczne Visbud-Projekt sp. z o.o.*; Wrocław.
- [13] Tran CTM, Stitmannathum B, Ueda T. Investigation of the bond behaviour between PBO-FRCM strengthening material and concrete. *Journal of Advanced Concrete Technology*. 2014; 12 (12): 545 – 557.
- [14] Ombres L. Analysis of the bond between fabric reinforced cementitious mortar (FRCM) strengthening systems and concrete. *Composites Part B: Engineering*. 2015; 69: 418 – 426.

Przyjęto do druku: 05.05.2022 r.

Redakcja serdecznie dziękuje Panu dr. inż. Mariuszowi Jackiewiczowi, Prezesowi firmy Visbud-Projekt, za koordynację merytoryczną tematu wydania „Naprawa i modernizacja obiektów budowlanych”.