

dr hab. inż. Maciej Niedostatkiwicz^{1)*}

ORCID: 0000-0002-6451-6220

mgr inż. Tomasz Majewski²⁾

ORCID: 0000-0003-0444-8753

Diagnostyka uszkodzeń żelbetowej, monolitycznej ściany w realizowanym budynku wielorodzinnym

Diagnostics damages of a reinforced concrete, monolithic wall in a multi-family building under construction

DOI: 10.15199/33.2022.11.39

Streszczenie. W artykule przedstawiono przypadek uszkodzenia żelbetowej monolitycznej ściany, do którego doszło podczas demontażu systemowych szalunków prefabrykowanych. Przedmiotowa ściana znajdowała się w hali garażowej wielorodzinnego budynku mieszkalnego. Nastąpiło wówczas gwałtowne zniszczenie demontowanego szalunku, a spadające płyty uderzyły w rozszalowywany fragment niedawno zabetonowanej ściany. W miejscach uderzenia przy górnej krawędzi ściany beton uległ wykruszeniu, w górnej części ściana rozwarstwiła się na odcinku ~200 cm na grubości przekroju i pręty zbrojenia uległy wygięciu. Uszkodzenia oraz morfologia rys i pęknięć jednoznacznie wskazywały na brak spójności betonu na grubości i wysokości ściany. Nieznany był jednak zakres rozwarstwienia. W celu określenia zakresu występujących uszkodzeń, ich wpływu na bezpieczeństwo konstrukcji budynku oraz możliwości bezpiecznego kontynuowania prac budowlanych wykonano badania ultradźwiękowe oraz sklerometryczne ściany w obszarze uderzenia. Wyniki przeprowadzonych badań i pomiarów opisane zostały w artykule. Na podstawie przeprowadzonej analizy stanu istniejącego zaproponowano sposób naprawy części uszkodzonej ściany.

Słowa kluczowe: beton; uszkodzenia; diagnostyka; badania bezinwazyjne; ultradźwięki; sklerometria; metody naprawy.

Abstract. The paper presents a case of damage to a monolithic reinforced concrete wall during assembly works. The wall in question was located in the garage hall of a multi-family residential building. During improperly conducted construction works related to the dismantling of the shuttering boards with the use of a crane, they broke rapidly, and the falling boards hit the recently concreted wall of the garage hall. As a result of the impact, the concrete wall delaminated at the length of ~200 cm in the middle of its thickness, the reinforcement bars bent, and concrete losses were visible at the upper edge. The scope of damage and the morphology of scratches and cracks indicated the lack of cohesion of the concrete in the thickness and height of the wall. In order to assess the extent of the damage, its impact on the safety of the building structure and the possibility of safe continuation of construction works, ultrasonic and sclerometric tests were performed, the results of which are discussed in the paper. Based on the obtained results, a repair method was proposed and the area of the wall requiring repair was determined.

Keywords: concrete; damage; diagnostics; non-invasive tests; ultrasounds; sclerometry.

Stany przedawaryjne, awarie oraz katastrofy budowlane mogą być następstwem błędów projektowych, wykonawczych, jak również konsekwencją niewłaściwej eksploatacji obiektu. Zagrożenie bezpieczeństwa konstrukcji i bezpieczeństwa użytkownika lub oba te stany jednocześnie bardzo często są konsekwencją niedociągnięć i błędów popełnionych na poszczególnych etapach życia obiektu budowlanego, tj. od projektowania przez realizację po użytkowanie obiektu. Szybka reakcja

na występujące zagrożenia może istotnie ograniczyć szkody materialne oraz zagrożenie zdrowia, a nawet życia [1, 5, 6]. Decyzja co do formy i zakresu prac naprawczych jest bardzo odpowiedzialna, ponieważ wiąże się najczęściej z koniecznością poniesienia wysokich nakładów finansowych [2, 8]. Ponadto przyjęta metoda naprawy lub sposobu wzmocnienia elementów konstrukcyjnych obiektu może skutkować gwałtownym pogorszeniem jego stanu technicznego jako całości lub tylko części [3, 4, 7].

W praktyce inżynierskiej do diagnozowania stanu technicznego elementów konstrukcyjnych obiektu stosowanych jest wiele różnych metod badawczych. Jedną z nich jest bezin-

wazyjne, nieniszczące badanie ciągłości betonu przy użyciu betonoskopu ultradźwiękowego. W artykule opisano przypadek uszkodzonej podczas prowadzenia prac budowlanych ściany zewnętrznej, znajdującej się w poziomie podziemnej hali garażowej realizowanego wielorodzinnego budynku mieszkalnego. Podczas demontażu, spadający z wysokości jego fragment szalunku uderzył w górną krawędź ściany powodując jej liczne uszkodzenia i stwierdzono wykruszenia i ubytki betonu oraz jego rozwarstwienia na grubości ściany, a część prętów zbrojenia uległa wygięciu. Zakres rozwarstwienia betonu oraz zakres prac naprawczych określone zostały na podstawie wyników pomiarów wykonanych betonoskopem

¹⁾ Politechnika Gdańska, Wydział Inżynierii Lądowej i Środowiska

²⁾ Politechnika Gdańska, Szkoła Doktorska Wdrożeniowa

*) Adres do korespondencji: mniedost@pg.edu.pl

ultradźwiękowym oraz badań kontrolnych młotkiem Schmidta (badań sklerometrycznych).

Opis uszkodzeń ściany

Uszkodzona ściana, znajduje się w poziomie -1 podziemnej hali garażowej, realizowanego wielorodzinnego budynku mieszkalnego. Jest to ściana zewnętrzna, na której będzie oparty jednostronnie strop wyższej kondygnacji. W projekcie przewidziano współpracę zbrojenia ściany ze zbrojeniem płyty stropowej. Ściana zaprojektowana została jako monolityczna z betonu klasy C25/30 o stałej grubości 20 cm i wysokości w świetle 255 cm. Zbrojenie ściany zaprojektowano z prętów 8 i 12 ze stali klasy A-IIIN; zbrojenie pionowe wykonano z siatki prętów 12 w rozstawie co 15 cm (obustronnie), a zbrojenie poziome z siatki prętów 8 w rozstawie co 20 cm (obustronnie). Założona grubość otulenia wynosiła 2,5 cm.

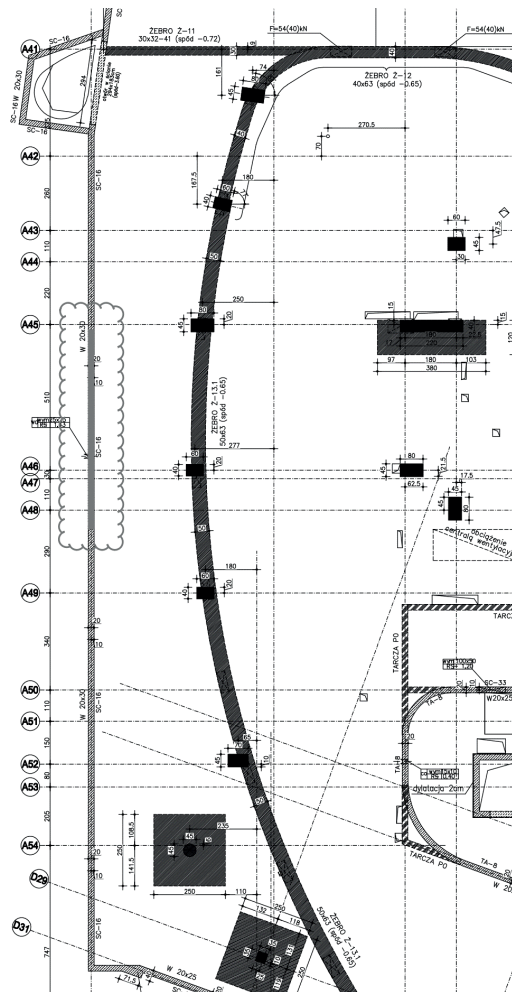
Na budowie stosowano systemowe szalunki przestawne, montowane ręcznie z elementów prefabrykowanych, składanych i demontowanych na miejscu betonowania. Po dwóch dniach od zabetonowania analizowanej ściany przystąpiono do jej rozszalowania. Demontaż szalunków prowadzono sposobem ręcznym z wykorzystaniem dźwigu. W celu zwiększenia tempa prac zaniechano całkowitej rozbiórki szalunków i zdecydowano się tylko na ich częściowy demontaż oraz transport większych elementów transportowych, złożonych z wielu płyt szalunkowych. W trakcie podnoszenia dźwigiem długiego elementu transportowego (o długości ~10 m), nastąpiło nagle jego zniszczenie i uderzenie spadających elementów w górną krawędź analizowanej ściany w kilku miejscach

(A, B oraz C). W wyniku uderzenia na ścianie pojawiły się rysy i pęknięcia betonu, stwierdzono ubytki betonowej otuliny prętów oraz pionowe rozwarstwienie betonu w środku grubości ściany, a w jej górnej części deformację prętów zbrojenia (rysunek 1, fotografia 1).

Diagnostyka uszkodzonej ściany

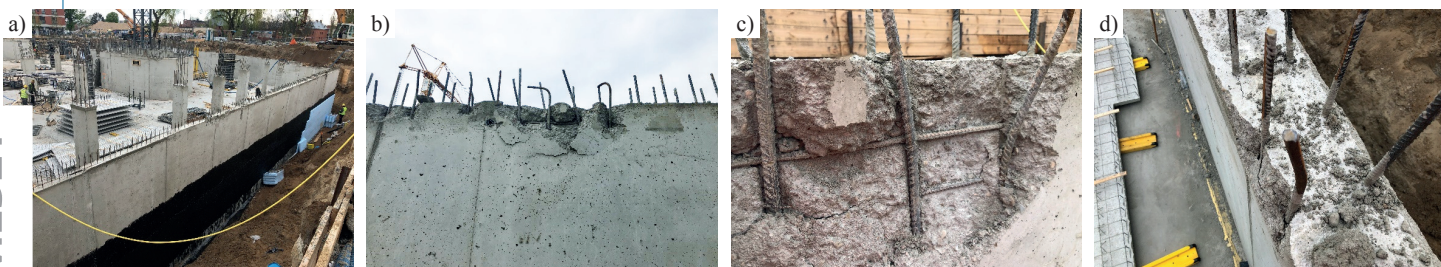
W momencie uderzenia beton w ścianie nie osiągnął założonej w projekcie klasy wytrzymałości, był to tzw. młody beton, którego okres dojrzewania był krótszy niż 28 dni [10÷15], [17÷19]. Na podstawie wizualnych oględzin wytypowano obszar do pomiarów ultradźwiękowych. Miejsca, w których stwierdzono pionowe rozwarstwienie betonu na grubości ściany (delaminacje betonu) znajdowały się tam, gdzie spadły płyty lub w ich bliskim sąsiedztwie. Miejsca uderzeń oraz obszar uszkodzeń pokazano na rysunku 2 kolorem czarnym i literami oznaczono miejsca uderzenia, kolorem szarym zakres deleminacji betonu.

Badania wstępne młotkiem Schmidta przeprowadzono zgodnie z [16] oraz [9]. W badaniach używany był sklerometr typu N o energii uderzenia 2,21 Nm. Do analizy wyników pomiarów zastosowano hipotetyczną krzywą regresji odpowiednią do składu, technologii wykonania, warunków pielęgnacji oraz wieku i wilgotności betonu, opracowaną wg [9]. Oszacowana średnia wytrzymałość betonu na ściskanie wyniosła 19,4 MPa i stwierdzono dobrą jednorodność wbudowanego betonu w analizowany fragment



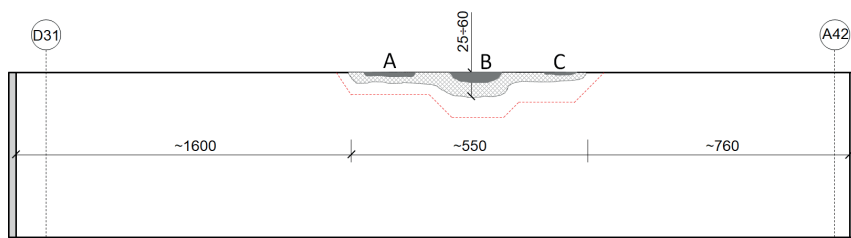
Rys. 1. Fragment rzutu hali garażowej w poziomie -1. W chmurce oznaczono miejsce występowania uszkodzeń ściany zewnętrznej wywołanych uderzeniem

Fig. 1. A part of the garage hall plan on level -1. The location of damage to the outer wall caused by the impact is marked in cloud



Rys. 1. Ściana zewnętrzna w poziomie -1: a) widok ogólny, b) uszkodzenie górnej krawędzi ściany, c) szczegół wykruszenia betonu na górnej krawędzi ściany, d) rozwarstwienie betonu na grubości ściany

Fig. 1. External wall, level -1: a) general view, b) damage to the upper edge of the wall, c) detail of concrete chipping on the upper edge of the wall, d) concrete delamination along the wall thickness



Rys. 2. Lokalizacja uszkodzeń ściany wywołanych uderzeniem: A, B, C – miejsca uderzeń szalunków prefabrykowanych

Fig. 2. Location of impact damage to the wall: A, B, C – precast formwork impact sites

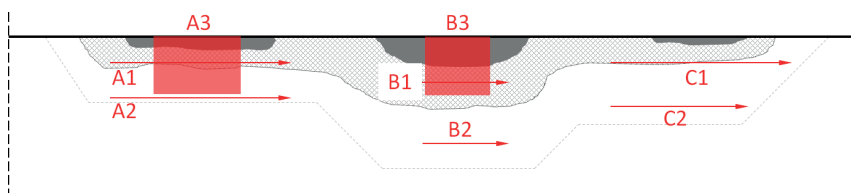
ściany. Ze względu na wiek betonu w dniu pomiarów (<28 dni) oraz brak wyników badań kontrolnych próbek laboratoryjnych (kostek 15×15×15 cm pobranych w trakcie betonowania), otrzymane w trakcie pomiarów wyniki badań sklerometrycznych należało traktować jako szacunkowe. Nie budziły one zastrzeżeń, a osiągnięcie przez beton założonej w projekcie klasy wytrzymałości było bardzo prawdopodobne, dlatego nie zdecydowano się na rozbórkę uszkodzonej ściany w całości, lecz tylko na jej lokalną naprawę.

W celu oceny zakresu delaminacji, tzn. oznaczenia obszaru i sposobu rozwarstwienia wykonano właściwe pomiary za pomocą betonoskopu ultradźwiękowego z zastosowaniem jednostronnej, wielopunktowej głowicy pomiarowej nadawczo-odbiorczej typu pulse-echo. Pomiary przeprowadzono w różnych miejscach i w różnych rozstawach (rysunek 3).

Wykonano pomiary delaminacji na długości przekroju, tzw. B-skany, które na rysunku oznaczono czerwonymi strzałkami oraz skany powierzchniowe, które oznaczono czerwonymi prostokątami. Na podstawie wykonanych pomiarów określono obszar uszkodzonej ściany, w której beton był rozwarstwiony i wymagał naprawy. Obszar wymagający naprawy oznaczono na rysunku 3 przerywaną szarą linią. Technika wykonania B-skanów polega na

wielopunktowym pomiarze prędkości rozchodzenia się fali ultradźwiękowej w badanym elemencie. W miejscach nieciągłości betonu (delaminacji) fale ultradźwiękowe ulegają załamaniu lub odbiciu co widoczne jest na obrazach w postaci miejsc o jaśniejszej barwie. W przypadku braku delaminacji betonu na grubości badanej ściany otrzymano wyraźną granicę odbicia fali na głębokości 20 cm (rysunek 4a), natomiast w miejscach delaminacji betonu granica załamania/odbicia fal widoczna jest na mniejszej głębokości ~5 cm (np. rysunek 4d). Technika skanu obszaruowego obejmuje wielopunktowy pomiar prędkości w wielu miejscach, których lokalizacja (w rzędach i kolumnach) pozwala na ustalenie, gdzie występuje delaminacja betonu (rysunki 4c i 4f).

Wyniki przeprowadzonych badań ultradźwiękowych wskazały na obecność rozwarstwień i niejednorodności betonu w bezpośrednim sąsiedztwie miejsc uderzenia płyt szalunkowych o górną krawędź ściany. W zarejestrowanych skanach widoczne były silne odbicia fal ultradźwiękowych na głębokości mniejszej niż grubość ściany (żółte i czerwone pasma na głębokości mniejszej niż 20 cm). Na podstawie analizy wykonanych skanów stwierdzono, że odbicia te wskazują na występowanie wewnętrznych uszkodzeń (pęknięć betonu). Na powierzchni betonu, w bezpośrednim sąsiedztwie miejsc,



Rys. 3. Lokalizacja skanów wykonanych w strefie uszkodzenia ściany zewnętrznej w poziomie -1

Fig. 3. The location of the scans made in the damage zone of the outer wall at level -1

w których miały miejsca uderzenia (A, B i C na rysunku 2) struktura betonu była znacznie zniszczona – stwierdzono ubytki betonu oraz liczne rysy i spękania. Beton nie nadawał się do naprawy. Na podstawie wykonanych badań ultradźwiękowych wyznaczono strefę występowania wewnętrznych wad betonu i jego rozwarstwienia na grubości ściany, która została zarekomendowana do naprawy (rysunek 5).

Propozycja prac naprawczych

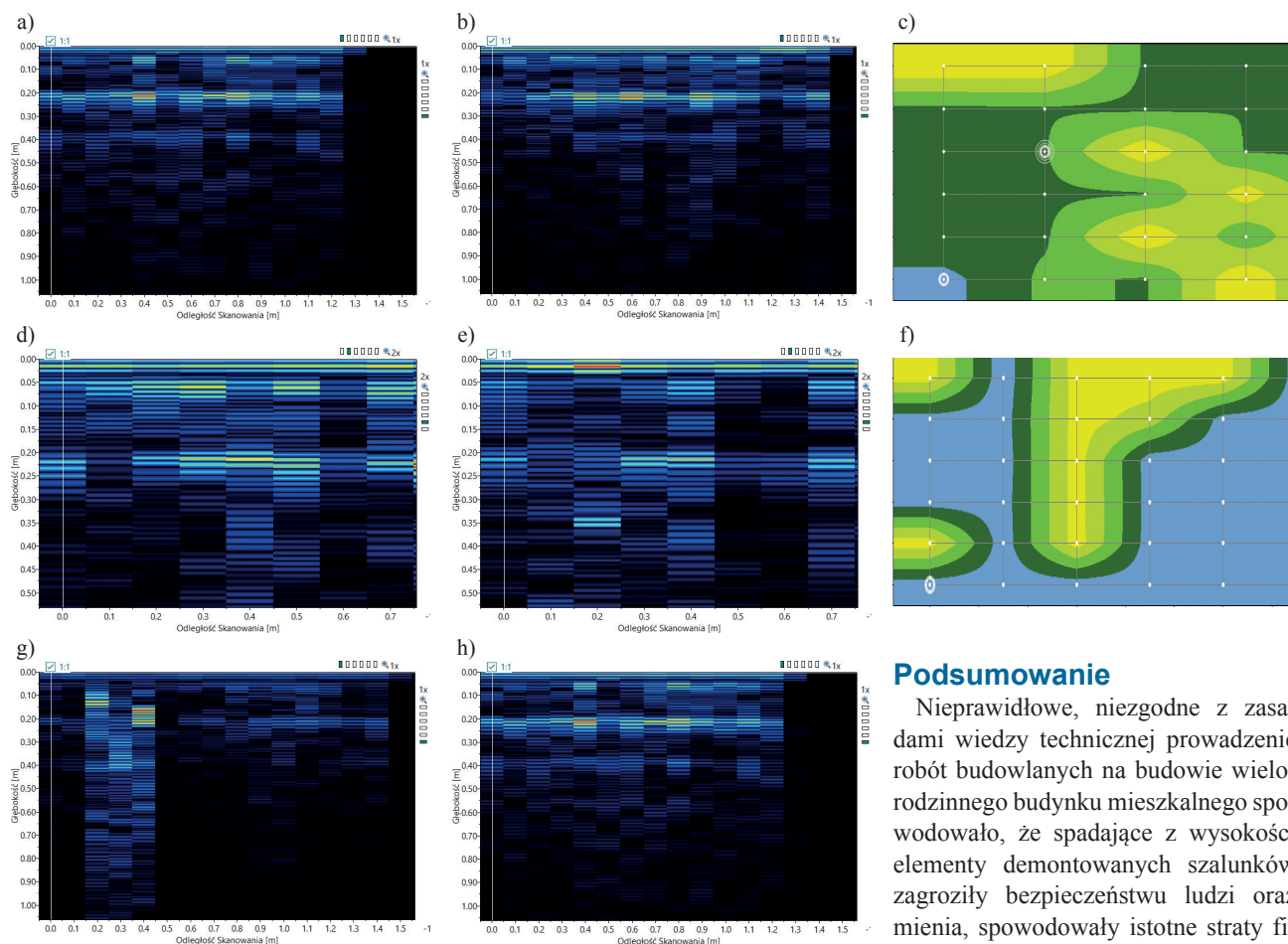
Zaproponowano następujący remont:

- fragment betonu oznaczony kolorem czerwonym na rysunku 5 należy rozkuć przy użyciu lekkiego osprzętu ręcznego, w sposób minimalizujący powstawanie drgań wbudowanych prętów zbrojenia. W tym celu zalecono wykonanie otworów przelotowych wiertłem 20 mm wzdłuż dolnej czerwonej krawędzi obszaru, w rozstawie co ~5 cm. Wiercenie należało rozpocząć od dolnej linii obszaru, następnie wykonać kolejne otwory w górnej strefie ściany powyżej otworów już wykonanych, sukcesywnie aż do poziomu wierzchu ściany w rozstawie co ~10×10 cm. W trakcie wiercenia wskazano zwrócić szczególną uwagę na wykonanie otworów poza osiami prętów zbrojeniowych;

- po rozkuciu i usunięciu uszkodzonego betonu należy oczyścić górną powierzchnię rozkutej ściany z luźnych fragmentów betonu, kurzu oraz pyłu. Powierzchnia betonu powinna być szorstka, pozbawiona mleczka cementowego z odkrytą fakturą ziaren kruszywa. Należało zwrócić szczególną uwagę na wypoziomowanie rozkutej powierzchni ściany na grubości przekroju, tzn. głębokość krawędzi betonu w miejscu rozkucia na obu przeciwnych krawędziach ściany powinna być identyczna. Powierzchnia betonu na grubości ściany nie mogła być rozkuta w skosie tzn. w kierunku na zewnątrz lub do środka budynku;

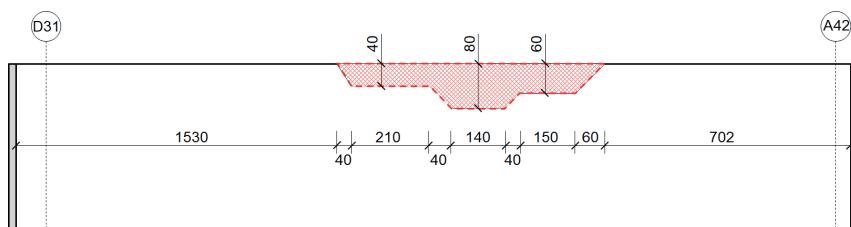
- oczyszczenie prętów zbrojenia z mleczka cementowego;

- nałożenie warstwy szpempnej na wcześniej przygotowaną powierzchnię prętów zbrojenia i betonu niezwłocznie po ich oczyszczeniu. Przed aplikacją warstwy szpempnej powierzchnie



Rys. 4. Skany uzyskane na podstawie badań ultradźwiękowych: w miejscu A-B – skany: a) w miejscu A-1; b) w miejscu A-2; c) skan powierzchniowy A-3; w miejscu B-B – skany: d) w miejscu B-1; e) w miejscu B-2; f) skan powierzchniowy B-3; w miejscu C-B – skany: g) w miejscu C-1; h) w miejscu C-2

Fig. 4. Scans obtained on the basis of ultrasound tests: in site A-B – scans: a) at site A-1; b) at site A-2; c) A-3 surface scan, at site B-B – scans: d) at site B-1; e) at site B-2; f) B-3 surface scan, at site C-B – scans: g) at site C-1; h) at site C-2



Rys. 5. Obszar ściany w poziomie –1 przeznaczony do naprawy rozkucia i ponownego zabetonowania

Fig. 5. Wall area at the level –1 performed tor repair-to be broken up and re-concreted

należało intensywnie zwilżyć wodą i nanieść w dwóch warstwach, z zachowaniem następujących warunków środowiskowych: temperatura powierzchni prętów zbrojeniowych 5 oC, wilgotność względna powietrza poniżej 95 %;

- wolną przestrzeń po usunięciu betonie zalecono wypełnić (zabetonować)

mieszkanką betonową, przygotowaną na podstawie tej samej receptury, którą zastosowano do wykonania ściany przed naprawą,

- dojrzewający beton należy pielęgnować przez minimum 72 h. Sposób i długość okresu pielęgnacji dostosować do warunków otoczenia (temperatury i wilgotności);

Podsumowanie

Nieprawidłowe, niezgodne z zasadami wiedzy technicznej prowadzenie robót budowlanych na budowie wielorodzinnego budynku mieszkalnego spowodowało, że spadające z wysokości elementy demontowanych szalunków zagroziły bezpieczeństwu ludzi oraz mienia, spowodowały istotne straty finansowe oraz miały negatywny wpływ na terminową realizację obiektu.

Badania ultradźwiękowe wykazały, że możliwa jest ilościowa identyfikacja i lokalizacja nieciągłości betonu na grubości i powierzchni ściany żelbetonowej. Zastosowane techniki pomiarowe umożliwiły zobrazowanie struktury ściany w obszarze jej przekroju podłużnego (B-skany) oraz rzutu (na powierzchnię pionową – skany obszarowe). W zarejestrowanych skanach widoczne były silne odbicia fal elektromagnetycznych w miejscach rozwarstwienia betonu (delaminacji).

Ze względu na zakres występujących uszkodzeń, fragment wykonanej żelbetonowej ściany zewnętrznej wymagał naprawy polegającej na usunięciu uszkodzonego betonu i późniejszym jego uzupełnieniu. W tym celu konieczna była rozbiórka fragmentu ściany. Zastosowanie bezinwazyjnej metody diagnostycznej jaką jest stosowanie betonoskopu ultradźwiękowego pozwoliło na precyzyjne określenie powierzchni ściany przeznaczonej do

przeprowadzenia prac remontowo-naprawczych.

Literatura

- [1] Baryłka A, Baryłka J. Diagnostyka techniczna obiektu budowlanego. *Budownictwo i Prawo*, 19-22, 4, 2015.
- [2] Drobiec Ł, Jasiński R, Piekarczyk A. Diagnostyka konstrukcji żelbetowych. Metodologia, badania polowe, badania laboratoryjne betonu i stali. Wydawnictwo Naukowe PWN. Warszawa 2010.
- [3] Godycki-Ćwirko T. Morfologia rys w konstrukcjach z betonu. Wydawnictwo Politechniki Białostockiej, Białystok 1982.
- [4] Jamróży Z. Beton i jego technologie. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2006.
- [5] Substyk M. Utrzymanie i kontrola okresowa obiektów budowlanych. Wydawnictwo ODDK, Warszawa, 2012,
- [6] Szer J, Jeruzal J, Szer I, Filipowicz P. Kontrole okresowe budynków – zalecenia, wymagania i problemy. Wydawnictwo Politechniki Łódzkiej, Łódź, 2020,
- [7] Ściślewski Z. Trwałość konstrukcji żelbetowych. Wydawnictwo Instytutu Techniki Budowlanej, Warszawa 1995.
- [8] Zybura A, Jaśniok M, Jaśniok T. Diagnostyka konstrukcji żelbetowych. Badania korozji zbrojenia i właściwości ochronnych betonu. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2011.
- [9] Instrukcja ITB nr 210/77: Instrukcją stosowania młotków Schmidta do nieniszczącej kontroli jakości
- [10] PN-EN 1990 Eurokod 0. Podstawy projektowania konstrukcji.
- [11] PN-EN 1991-1-1 Eurokod 1. Oddziaływania na konstrukcje. Część 1-1. Oddziaływania ogólne. Ciężar objętościowy, ciężar własny, obciążenia użytkowe w budynkach.
- [12] PN-EN 1991-1-6 Eurokod 1: Oddziaływania na konstrukcje. Część 6: Oddziaływania ogólne. Oddziaływania w czasie wykonywania konstrukcji.
- [13] PN-EN 1992-1-1 Eurokod 2: Projektowanie konstrukcji z betonu. Część 1-1. Reguły ogólne i reguły dla budynków.
- [14] PN-EN 206-1:2003 Beton. Część 1: Wymagania, właściwości, produkcja i zgodność.
- [15] PN-B-06250:2004 Krajowe uzupełnienie normy PN-EN 206-1.
- [16] PN-EN 12504-2 Badanie betonu w konstrukcjach. Część 2: Badanie nieniszczące. Oznaczenie liczby odbicia.
- [17] PN-EN 12504-4 Badanie betonu w konstrukcjach. Część 4: Oznaczenie prędkości fali ultradźwiękowej.
- [18] PN-EN 13670 Wykonywanie konstrukcji betonowych.
- [19] PN-EN 13791 Ocena wytrzymałości betonu na ściskanie w konstrukcjach i prefabrykowanych wyrobach betonowych.