

dr hab. inż. Maciej Niedostatkiwicz, prof. PG<sup>1)</sup>\*

ORCID: 0000-0002-6451-6220

mgr inż. Tomasz Majewski<sup>2)</sup>

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: 10.15199/33.2022.11.08

**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, a 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.

S tany 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÷3]. Decyzja co do for-

my i zakresu prac naprawczych jest bardzo odpowiedzialna, ponieważ wiąże się najczęściej z koniecznością poniesienia wysokich nakładów finansowych [4, 5]. Ponadto niewłaściwie przyjęta metoda naprawy lub sposobu wzmocnienia elementów konstrukcyjnych obiektu może skutkować gwałtownym pogorszeniem jego stanu technicznego jako całości lub tylko części [6÷8].

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

wej, realizowanego wielorodzinnego budynku mieszkalnego. Podczas demontażu szalunku, spadający z wysokości jego fragment uderzył w górną krawędź ściany, powodując jej liczne uszkodzenia. 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 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

<sup>1)</sup> Politechnika Gdańska, Wydział Inżynierii Lądowej i Środowiska

<sup>2)</sup> Politechnika Gdańska, Szkoła Doktorska Wdrożeniowa

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

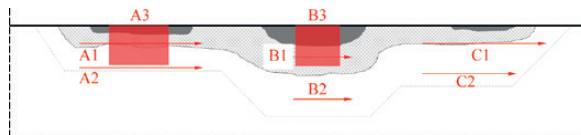


łożonej w projekcie klasy wytrzymałości było bardzo prawdopodobne, dlatego nie zdecydowano się na rozbiórkę uszkodzonej ściany w całości, lecz tylko na jej lokalną naprawę.

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 mniej-

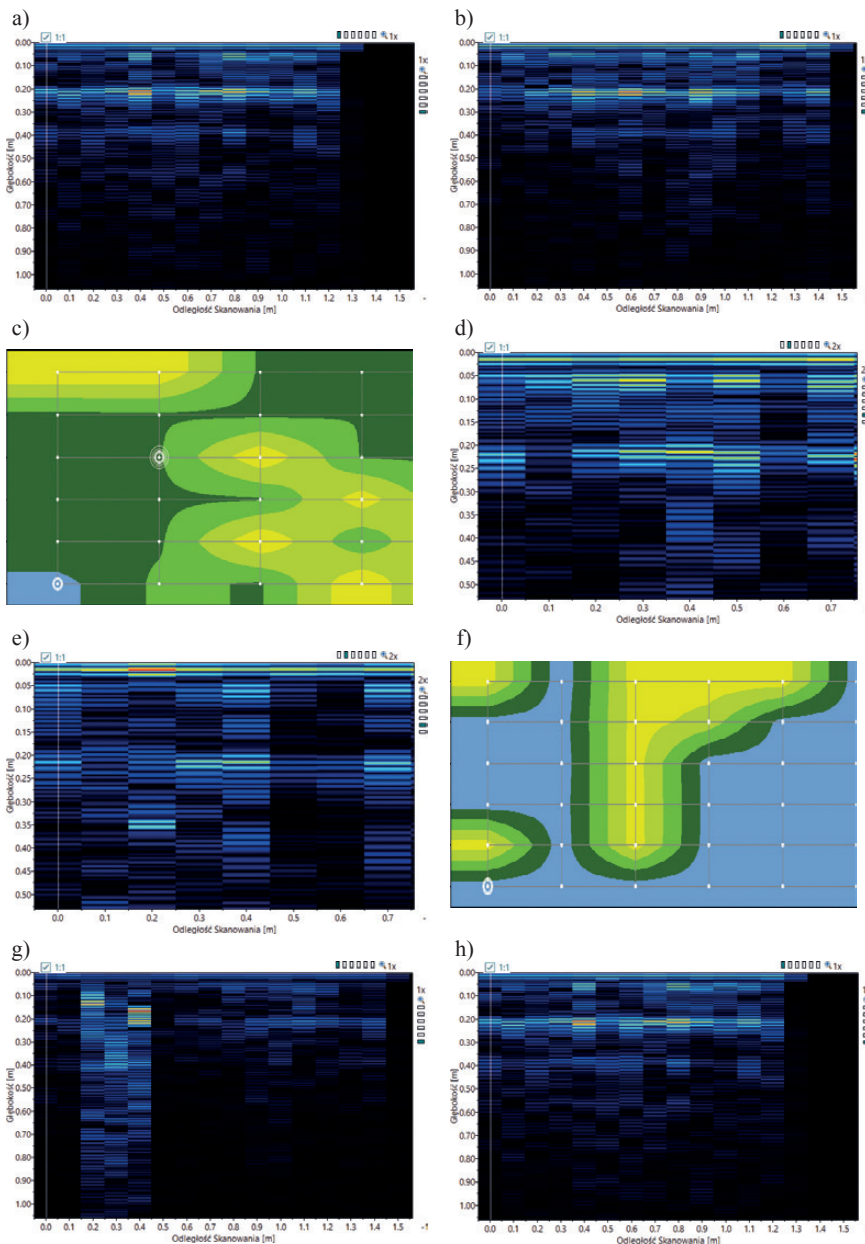


Rys. 3. Lokalizacja skanów wykonanych w strefie uszkodzenia ściany zewnętrznej w poziomie -1

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

szej niż 20 cm). Na podstawie analizy wykonanych skanów stwierdzono, że odbicia te wskazują na występowanie

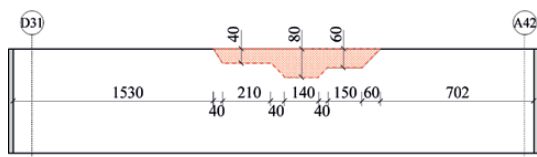
wewnętrznych uszkodzeń (pęknięć betonu). Na powierzchni betonu, w bezpośrednim sąsiedztwie miejsc, w których miały miejsca uderzenia (A, B i C na rysunku 2), struktura betonu była znacznie zniszczona – stwierdzono ubytki betonu oraz liczne rysy i spękania. Beton nie nadawał się



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) B-3 skan powierzchniowy; 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

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).



**Rys. 5. Obszar ściany w poziomie –1 przeznaczony do naprawy – rozkucia i ponownego zabetonowania**  
 Fig. 5. Wall area at the level –1 performed for repair-to be broken up and re-concreted

### Propozycja prac naprawczych

Zaproponowano wykonanie następujących prac remontowych:

- 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  $\phi$  20 mm wzdłuż dolnej czerwonej krawędzi obszaru, w rozstawie co  $\sim$ 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  $\sim$ 10 $\times$ 10 cm. W trakcie wiercenia wskazano zwrócić szczególną uwagę na wykonanie otworów poza osiami prętów zbrojeniowych, aby nie dopuścić do ich odspojenia od betonu;
- 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. Należy 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 szczepnej na wcześniej przygotowaną powierzchnię prętów zbrojenia i betonu niezwłocznie po ich oczyszczeniu. Przed aplikacją warstwy szczepnej powierzchni należy intensywnie zwilżyć wodą i nanieść w dwóch warstwach, z zachowaniem następujących warunków środowiskowych: temperatura powierzchni prętów zbrojeniowych 5°C, wilgotność względna powietrza poniżej 95%;

- wolną przestrzeń po usuniętym betonie zalecono wypełnić (zabetonować) mieszką 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 żelbetowej. 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 żelbetowej ściany zewnętrznej wymagał naprawy polegającej na usunięciu uszkodzonego betonu i późniejszym jego uzupełnieniu. W tym celu konieczna była rozbiórka fragmentu ściany. Zasto-

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

Przyjęto do druku: 15.09.2022 r.