

mgr inż. Maciej Wardach<sup>1\*)</sup>

ORCID: 0000-0001-8541-1447

dr inż. Monika Mackiewicz<sup>1)</sup>

ORCID: 0000-0002-9476-9296

dr hab. inż. Janusz Ryszard Krentowski<sup>1)</sup>

ORCID: 0000-0002-8009-8110

dr inż. Piotr Knyziak<sup>2)</sup>

ORCID: 0000-0003-1037-8659

# Ocena stanu technicznego nieukończonych lub czasowo wyłączonych z eksploatacji obiektów wykonanych w technologii wielkiej płyty

## *Assessing the technical condition of unfinished or temporarily out-of-service large-panel buildings*

DOI: 10.15199/33.2022.04.19

**Streszczenie.** W artykule przedstawiono badania nieukończonych i czasowo nieużytkowanych budynków wielkopłytych przeprowadzone w celu oceny ich stanu technicznego. Wykorzystanie specjalistycznej aparatury do badań nieniszczących umożliwia ograniczenie liczby badań niszczących. Właściwe opracowanie metody badań oraz określenie metod pozyskiwania miarodajnych wyników skutkuje wiarygodną oceną stanu technicznego budynków.

**Słowa kluczowe:** wielka płyta; NDT; degradacja; budynki nieukończone; budynki nieużytkowane.

**Abstract.** This paper presents a study of unfinished and temporarily out-of-service large-panel buildings. The tests were performed in order to assess the state of structures degradation. The use of specialised equipment for non-destructive testing enables to reduce the number of destructive tests. The proper development of research methodology and the definition of methods for obtaining reliable results makes it possible to reliably assess the technical condition of buildings.

**Keywords:** large-panel; NDT; degradation; unfinished buildings; out-of-service buildings.

W Europie jest wiele obiektów wyłączonych z eksploatacji lub takich, których budowa z różnych przyczyn nie została ukończona. Pustostany ulegają degradacji na skutek oddziaływania środowiska oraz aktów wandalizmu. Często znajdują się w atrakcyjnej lokalizacji, a duże koszty rozbioru i budowy nowych konstrukcji sprawiają, że racjonalna staje się ich modernizacja [1]. Obecnie prefabrykacja jest alternatywą dla budownictwa monolitycznego ze względu na warunki gospodarcze i społeczne [2]. Wykorzystanie istniejących budynków jest opłacalne dla inwestorów, a jednocześnie wpisuje się w zrównoważony rozwój.

Powszechnie stosowane badania diagnostyczne do oceny stanu obiektów użytkowanych zostały opisane w [3]. Pomimo ciągłego rozwoju metod badawczych, poprawne określenie stadium de-

gradacji budynków nieukończonych i czasowo wyłączonych z eksploatacji jest zagadnieniem złożonym, a błędy popełnione na etapie ich wykonania i interpretacji mogą prowadzić do niewłaściwych decyzji o sposobie remontu [4]. Oddziaływanie środowiska przy braku prowadzenia właściwych zabiegów utrzymaniowych obiektu przyspiesza procesy destrukcyjne.

Stan techniczny obiektu powinien zostać zidentyfikowany odpowiednio dobranymi technikami pomiarowymi. Istotne są rzeczywiste parametry wytrzymałościowe, które czasami zostają obniżone wskutek niedostatecznej jakości wykonania lub agresywnego oddziaływania środowiska atmosferycznego, np. opadów, zmiennej temperatury (dodatniej i ujemnej).

Celem artykułu jest zaprezentowanie możliwości wykorzystania metod nieniszczących do oceny stanu technicznego budynków nieukończonych lub wyłączonych z eksploatacji. Stosowane obecnie tego typu techniki badawcze pozwalają na skuteczne pozyskanie danych [5], ale powinny zostać potwierdzone wynikami badań niszczących.

### Badania

Przeprowadzono badania pilotażowe dwóch budynków. W obu wykonano badania nieniszczące z użyciem specjalistycznego sprzętu wykorzystującego metody ultradźwiękowe i elektromagnetyczne oraz miejscowo potwierdzono uzyskane wyniki badaniami niszczącymi. Zastosowane metody badań przedstawiono na rysunku 1.

**Pierwszy analizowany budynek został wzniesiony w technologii wielkopłytywowej w systemie OWT w 1980 r.** (fotografia 1). Ma pięć kondygnacji nadziemnych i jedną podziemną. Budowa została wstrzymana przed wykonaniem dachu. Konstrukcja nie była chroniona przed agresywnym wpływem środowiska zewnętrznego przez ponad trzy dekady. Na przestrzeni kilkudziesięciu lat stan techniczny obiektu ulegał stopniowemu pogorszeniu. Elementy konstrukcyjne, a także całe budynki wymagały bieżącej naprawy lub modernizacji [6]. W efekcie analizy wyników dotychczasowych badań własnych zidentyfikowano uszkodzenia budynków wielkopłytych [7], zarówno wady typowe, jak

<sup>1)</sup> Politechnika Białostocka; Wydział Budownictwa i Nauk o Środowisku

<sup>2)</sup> Politechnika Warszawska; Wydział Inżynierii Lądowej

<sup>\*)</sup> Adres do korespondencji: m.wardach@doktoranci.pb.edu.pl



Rys. 1. Zastosowane metody badań  
Fig. 1. Research methods used



Fot. 1. Nieukończony budynek: a) elewacja frontowa; b) ściana szczytowa  
Photo 1. The unfinished building: a) front view; b) curtain wall

i wynikające z braku właściwego zarządzania obiektem oraz ochrony przed działaniem środowiska.

W pierwszym etapie badań dokonano oceny wizualnej oraz podstawowych pomiarów inżynierskich, które pozwoliły na identyfikację ubytków, nieprawidłowo wykonanych spoin, kształtowników, odchyłek geometrycznych, a także przekroczenia tolerancji montażowych oraz miejsc korozji betonu i stali zbrojeniowej (fotografia 2). Analizie poddano także stan wypełnień złączy poziomych i pionowych. Nieprawidłowością, którą systematycznie identyfikowano w kolejnych badanych elementach, było stosowanie płaskowników o niewystarczającej długości w spawanych, pionowych złączach ścian (fotografia 2b). W efekcie spoiny były zbyt krótkie, co może prowadzić do zerwania połączenia. Błędnie wy-

konano również połączenia belkościan (ścian zewnętrznych trójwarstwowych) ze ścianami poprzecznymi. W niektórych miejscach stwierdzono brak blach połączeń (fotografia 2a) lub zbyt dużą liczbę podkładek powodujących przechył elementu nośnego. Wypełnienia złączy zostały wykonane niestarannie. W betonie stwierdzono liczne raki, rozwarstwienia i odspojenia od prefabrykatów, a także duże ubytki mieszanki betonowej, skutkujące brakiem prawidłowej pracy połączeń dyblovych. Zaobserwowane uszkodzenia korozyjne były widoczne zarówno na odsłoniętych prętach zbrojeniowych, jak i stalowych kształtownikach połączeń.

W celu ustalenia stopnia degradacji betonu elementów konstrukcyjnych przeprowadzono badania nieniszczące ścian i stropów z użyciem betonoskopu ultradźwiękowego. Zasada działania

metody ultradźwiękowej w aspekcie oceny jednorodności, nieciągłości i wytrzymałości betonu została opisana w [8]. W publikacjach podano również ograniczenia i możliwości weryfikacji wyników przez łączenie poszczególnych metod [9]. Wykonano skanowanie ścian wewnętrznych wzdłuż wytypowanych linii pomiarowych, określając prędkość i czas rozchodzenia się podłużnej fali ultradźwiękowej (P-wave) w przegrodzie za pomocą przetworników o częstotliwości 54 kHz, wykorzystując dwustronny dostęp do elementów.

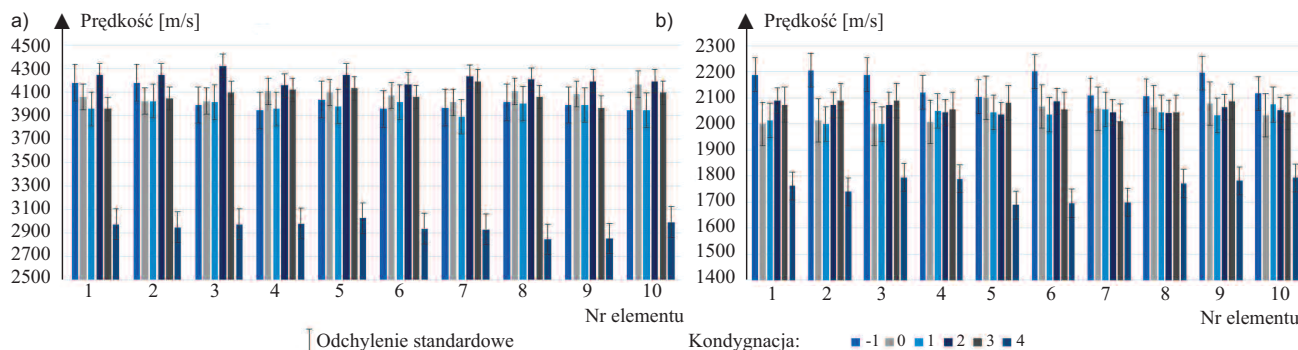
W celu porównania wyników wykonano pomiary w tych samych punktach ścian wewnętrznych przy użyciu głowicy, będącej źródłem fal poprzecznych (S-wave), niewymagającej dwustronnego dostępu do badanego elementu (rysunek 2). Każdy punkt na rysunku 2 jest średnią z sześciu odczytów wykonanych na danej ścianie. Łącznie przebadano po 10 ścian na każdym piętrze.

W [10] podano metody oceny jakości betonu na podstawie prędkości rozchodzenia się fali ultradźwiękowej. W przypadku pięter -1 do 3 podłużna fala ultradźwiękowa pozwala zakwalifikować beton do kategorii „dobry”, natomiast na ostatniej kondygnacji do kategorii „słaby”. W ścianach kondygnacji -1 do 3 prędkość fali ścinającej (poprzecznej) wynosi 2000–2300 m/s i jest określana jako typowa dla betonu. Wyniki badania jakości betonu, przeprowadzone przy użyciu fal podłużnych i poprzecznych, okazały się zbieżne i wskazały na wyraźną degradację ścian najwyższej kondygnacji, wynikającą z procesów korozyjnych.

W celu oceny jednorodności betonu oraz określenia jego wytrzymałości na ściskanie przeprowadzono serię badań zestawem młotków sklerometrycznych. Badane powierzchnie oszlifowano za pomocą kamienia karborundowego, a w niektórych miejscach użyto szlifierki mechanicznej. Liczba odbicia pozwoliła zakwalifikować beton większości elementów prefabrykowanych do klasy C16/20, a niektórych nawet do klasy C20/25 i C25/30. Liczba odbicia odczytana na elementach ostatniej kondygnacji nie wskazywała na spadek wytrzymałości w porównaniu z niższymi kondygnacjami, co wykazały wyniki badań ultradźwiękowych. Potwierdza to zasadność stosowania kom-



Fot. 2. Przykłady zaobserwowanych wad: a) brak podkładek; b) zbyt krótki płaskownik i spoiny; c) brak otuliny i korozja zbrojenia  
Photo 2. Examples of observed defects: a) lack of plates; b) flat bar and welds too short; c) lack of cover and corrosion of reinforcement



**Rys. 2. Prędkość rozchodzenia się fal w ścianach żelbetowych w zależności od stanu betonu na danej kondygnacji: a) fala podłużna; b) fala poprzeczna**

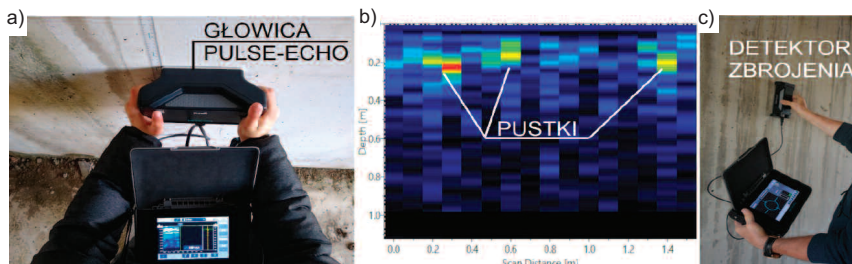
Fig. 2. Diagram of the velocity of wave propagation in reinforced concrete walls depending on the concrete condition on a given storey: a) longitudinal wave; b) transverse wave

pleksowych badań z wykorzystaniem różnych metod. Brak różnicy w odczytach wykonanych na ścianach czwartego piętra może wynikać z postępu procesu karbonatyzacji betonu, która tworzy przy powierzchni utwardzoną warstwę. W rezultacie następuje przeszacowanie wyników badań powierzchniowych.

**Wyniki uzyskane metodami sklerometrycznymi oraz ultradźwiękowymi** pozwalają na zlokalizowanie potencjalnie silnie zdegradowanych elementów konstrukcyjnych oraz wymagających wykonania odwiertów i przeprowadzenia badań laboratoryjnych. Na podstawie badań niszczących lokalnie zakwalifikowano beton ścian czwartego piętra do klasy C12/15 (dawniej B15).

W celu identyfikacji nieciągłości materiałowych wykonano **B-skany wybranych ścian i złączy pionowych** (fotografia 3a) z wykorzystaniem głowicy Pulse-Echo. B-skan generuje obraz badanego elementu w postaci przekroju poprzecznego, prostopadłe do powierzchni skanowanej. Ubytki i nieciągłości są oznaczone barwami od turkusowej po czerwoną. W ścianach nie wykryto istotnych nieprawidłowości. W złączach stwierdzono liczne nieciągłości materiałowe (fotografia 3b), mogące być wynikiem odspojenia betonu wypełnień od powierzchni prefabrykatów lub ich niestarannego wypełnienia, co skutkuje niewłaściwą pracą złącza.

W kolejnym etapie przeprowadzono **badania elektromagnetyczne rozkładu zbrojenia i grubości otuliny** (fotografia 3c). We wszystkich zbadanych elementach konstrukcyjnych grubość otuliny była niewystarczająca. Silna karbonatyzacja betonu spowodowała odspo-



**Fot. 3. Badania nieniszczące: a) wykonywanie B-skanu; b) wynik skanowania wypełnienia; c) badanie elektromagnetyczne**

Photo 3. Non-destructive testing: a) B-scan performance; b) fill scan result; c) electromagnetic testing

jenie otuliny. W niektórych miejscach uwidoczniły się pręty zbrojeniowe. Były one silnie skorodowane i wykazywały miejscowe ubytki przekroju dochodzące do 0,4 mm. Rozkład zbrojenia w większości był zgodny z projektem archiwalnym i rozwiązaniami systemowymi.

**Drugim badanym obiektem był budynek biurowo-usługowy w technologii wielkiej płyty OWT-67, o jedenastu kondygnacjach nadziemnych i jednej podziemnej** (fotografia 4a). Został on wzniesiony w 1978 r., a wyłączony z eksploatacji w 2011 r., po czym nastąpił demontaż stolarki okiennej. Przez ponad 10 lat budynek był nieogrzewany, niezabezpieczony przed działaniem warunków atmosferycznych oraz narażony na akty wandalizmu.

W trakcie badań wizualnych zinventaryzowano procesy korozyjne prętów

zbrojeniowych belkościan, które zostały odsłonięte podczas nieodpowiedniego demontażu parapetów. Od zewnątrz zlokalizowano uszkodzenia blachy stanowiącej elewację biurowca, powstałe na skutek wyrzucania przez okna wyposażenia wnętrz lub aktów wandalizmu. Nie świadczyły one o zagrożeniu trwałości konstrukcji.

**Badania ścian i stropów** przeprowadzono metodami ultradźwiękowymi, sklerometrycznymi oraz niszczącymi (fotografia 4b i c). Wyniki wszystkich badań były zbieżne i jednoznacznie pozwoliły na zakwalifikowanie betonu do klasy C16/20 (dawniej B20). Beton charakteryzował się jednorodną strukturą pomimo ponaddziesięcioletniego braku nadzoru, ogrzewania czy stolarki zewnętrznej.



**Fot. 4. Budynek nieużytkowany: a) elewacja frontowa; b) odwierty rdzeniowe; c) badania niszczące**

Photo 4. Out-of-service building: a) front elevation; b) core drilling; c) destructive testing

Wykonane B-skany pozwoliły na lokalizację nieciągłości materiałowych w złączach ścian. Nieodpowiednio ułożona mieszanka betonowa była widoczna również podczas oględzin, po demontażu sufitów podwieszanych osłaniających instalacje. Nad otworami drzwiowymi stwierdzono zarysowania szerokości do 1,1 mm. Po oczyszczeniu szczeliny z zanieczyszczeń wykonano pomiar zasięgu spękania metodą ultradźwiękową. Maksymalna głębokość spękania wynosiła 65 mm, przy grubości prefabrykatu 140 mm. Wyniki uzyskane za pomocą detektora zbrojenia potwierdziły rozkład prętów zgodny z założeniami projektowymi. Miejscowo stwierdzono niedostateczną grubość otuliny, wynoszącą mniej niż 10 mm.

### Analiza wyników badań

Wyniki badań budynku biurowo-usługowego, mimo nieogrzewania i braku stolarki, nie wskazały na znaczną degradację elementów konstrukcyjnych. Brak stropodachu i znacznie dłuższy czas oddziaływania wody oraz cyklicznych zmian temperatury na budynek nieukończony spowodowały zaawansowane uszkodzenie betonu i stali zbrojeniowej. Dobierając metody badań, należy uwzględnić stopień degradacji obiektu. W celu ustalenia rzeczywistych cech wytrzymałościowych zdegradowanych konstrukcji niezbędne jest wykonanie badań różnymi metodami badawczymi i korelacja jak największej liczby wyników.

Na podstawie przeprowadzonych badań **stwierdzono przydatność badań nieniszczących** do oceny wstępnej widocznych wad. Metody ultradźwiękowe pozwalają na ocenę jakości betonu prefabrykatów. Porównawcze stosowanie metod ultradźwiękowych i sklerometrycznych umożliwia lokalizację miejsc, gdzie niezbędne jest wykonanie niszczących badań wytrzymałościowych. Wykonanie jedynie badań sklerometrycznych może skutkować błędną interpretacją wyników ze względu na wpływ powierzchniowego procesu karbonatyzacji i rozwarstwienie struktury betonu. Badania przeprowadzane detektorem zbrojenia w celu oceny grubości otuliny, średnicy i rozkładu zbrojenia okazują się pomocne przy doborze właściwych metod naprawy.

Zauważono istotny problem w aspekcie liczby badań niezbędnych do miarodajnej analizy przydatności obiektu do modernizacji i późniejszej eksploatacji. W obiektach wielkopłytowych szczególnie ważne są połączenia prefabrykatów, które odpowiadają za właściwą redystrybucję sił wewnętrznych w całej konstrukcji. Ocena ich stanu technicznego jest niezwykle trudna, a identyfikacja degradacji blach połączeń spawanych nie jest możliwa bez wykonania odkrywek. Przy wykrywaniu nieciągłości materiałowych w złączach pionowych pomocne mogą okazać się pomiary wykorzystujące metodę Pulse-Echo, czyli B-skany.

W przypadku oceny stanu technicznego konstrukcji wyłączonych z eksploatacji lub nieukończonych zalecono: przeprowadzenie oględzin obiektu i wstępne zlokalizowanie wad; ocenę jednorodności betonu prefabrykatów porównawczo dwiema metodami, tj. sklerometryczną i ultradźwiękową; wykonanie B-skanów złączy pionowych w celu identyfikacji potencjalnych nieciągłości materiałów; wykorzystanie badań elektromagnetycznych do oceny jakości prac zbrojarskich oraz lokalizacji miejsc do pobrania próbek prętów zbrojeniowych; wykonanie ograniczonej liczby badań niszczących w celu potwierdzenia wyników otrzymanych metodami nieniszczącymi.

### Wnioski

Modernizacja budynków nieukończonych lub wyłączonych z eksploatacji powinna być poprzedzona badaniami i obliczeniami, a także analizą ekonomiczną. W przypadku nieeksploatowanych obiektów znalezienie archiwalnej dokumentacji bywa trudne, a wiedza o rzeczywistym stanie konstrukcji jest ograniczona. W takiej sytuacji istotna jest kompleksowa ocena stanu technicznego z wykorzystaniem różnych metod badawczych. Zastosowanie metod nieniszczących cechuje się korzyściami wynikającymi z krótkiego czasu wykonania, niewielkich nakładów pracy, braku uszkodzeń oraz niewielkich kosztów w porównaniu z badaniami niszczącymi. Do badania betonu zalecane są metody ultradźwiękowe pozwalające, w przeciwieństwie do metod sklerometrycznych, na analizę całego przekroju badanego elementu.

Obliczając aktualną nośność konstrukcji, należy rozpatrywać rzeczywistą wytrzymałość materiałów określoną w badaniach oraz wiernie odwzorować geometrię elementów i nieciągłości materiałów. Metody ultradźwiękowe i elektromagnetyczne mogą dostarczyć niezbędnych danych do obliczeń numerycznych. Problematyczne jest określenie jednoznacznych procedur i metod pozyskiwania miarodajnych wyników badań nieniszczących oraz zakresu niezbędnych badań niszczących, co będzie przedmiotem kolejnych prac.

### Literatura

- [1] Tofiluk A, Knyziak P, Krentowski RJ. Revitalization of Twentieth-Century Prefabricated Housing Estates as Interdisciplinary Issue. IOP Conference Series. Materials Science and Engineering 471. 2019. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/471/11/112096>.
- [2] Adamczewski G, Woyciechowski P. Prefabrykacja w czasach pandemii – ratunek dla budownictwa? Materiały Budowlane 9: 48-49. 2020; <https://doi.org/10.15199/33.2020.09.07>.
- [3] Hoła J, Schabowicz K. State-of-the-art non-destructive methods for diagnostic testing of building structures – anticipated development trends. Archives of Civil and Mechanical Engineering 10 (3): 5 – 18. 2010; [https://doi.org/10.1016/S1644-9665 \(12\) 60133-2](https://doi.org/10.1016/S1644-9665 (12) 60133-2)
- [4] Stawiski B, Kania T. Building diagnostics versus effectiveness of repairs. MATEC Web of Conferences. 2018; <https://doi.org/10.1051/mateconf/201817403005>.
- [5] Breyse D. Non-Destructive Assessment of Concrete Structures: Reliability and Limits of Single and Combined Techniques: State-of-the-Art Report of the RILEM Technical Committee 207-INR. RILEM. 2012; <https://doi.org/10.1007/978-94-007-2736-6>.
- [6] Lięża W. Renovation of large-panel buildings in context of urban renewal. Civil and Environmental Engineering Reports 12 (1): 83-95. 2015; <https://doi.org/10.1515/ceer-2015-0024>.
- [7] Krentowski RJ, Knyziak P, Mackiewicz M. Durability of interlayer connections in external walls in precast residential buildings. Engineering Failure Analysis 121: 105059. 2021; <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2020.105059>.
- [8] Hoła J, Bien J, Sadowski Ł, Schabowicz K. Non-destructive and Semi-destructive Diagnostics of Concrete Structures in Assessment of Their Durability. Bulletin of the Polish Academy of Sciences. Technical Sciences 63 (1): 87-96. 2015; <https://doi.org/10.1515/bpasts-2015-0010>.
- [9] Garbac A, Piotrowski T, Zalegowski K, Adamczewski G. UR-scanner potential to defect detection in concrete. Advanced Materials Research 687: 359-365. 2013; <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.687.359>.
- [10] Dermawan A S, Dewi S M, Wisnumurti, Wibowo A. Performance Evaluation and Crack Repair in Building Infrastructure. IOP Conference Series. Earth and Environmental Science 328. 2019; <https://doi.org/doi:10.1088/1755-1315/328/1/012007>.

*Badania zrealizowano w ramach prac nr WZ/WB-III/2/2020 i nr WZ/WB-III/2/2021 w Politechnice Białostockiej i sfinansowano z subwencji badawczej przekazanej przez Ministerstwo Edukacji i Nauki.*

*Przyjęto do druku: 25.03.2022 r.*