

dr hab. inż. Łukasz Drobiec<sup>1)</sup>

# Diagnostyka konstrukcji przemysłowych

*Diagnosis of industrial structures*

DOI: 10.15199/33.2015.02.08

**Streszczenie.** W artykule opisano metody i sposoby prowadzenia prac diagnostycznych w obiektach przemysłowych. Przedstawiono zasady wykonywania pomiarów oraz podstawowe rodzaje badań wykonywanych na konstrukcjach murowanych, stalowych i żelbetonowych. Przegląd zobrazowano fotografiami wykonanymi podczas prac diagnostycznych.

**Słowa kluczowe:** diagnostyka konstrukcji, badania na obiekcie, badania nieniszczące.

**Abstract.** In the paper the methods and the ways of making of diagnostic works in industrial objects were described. Principles of measurements procedure were presented as well as basic types of tests made in masonry, steel and reinforced concrete structures were described. The review was depicted with photograph made during diagnostic works.

**Keywords:** diagnosis of structures, in situ tests, nondestructive testing.

Prace diagnostyczne wykonuje się zazwyczaj w związku ze znacznym pogorszeniem stanu technicznego konstrukcji lub koniecznością jej dociążenia w wyniku modernizacji, przebudowy czy rozbudowy. Najbardziej rozbudowane badania diagnostyczne prowadzi się w obiektach o konstrukcji żelbetowej. W przypadku konstrukcji zespolonych (np. ceramiczno-stalowych, stalowo-betonowych) badaniom poddaje się każdy element z danego materiału. Badania diagnostyczne można podzielić na laboratoryjne niszczące wykonywane na próbkach pobranych z konstrukcji oraz badania nieniszczące i seminiszczące prowadzone bezpośrednio na konstrukcji, czyli *in situ* [1, 2].

## Zakres prac diagnostycznych

Zakres prac diagnostycznych zależy przede wszystkim od celu, w jakim są wykonywane (ekspertyza, projekt naprawy, wzmocnienia, przebudowy itd.). Przyjęcie zakresu prac diagnostycznych wymaga wykonania szczegółowej wizji na obiekcie oraz przeanalizowania dostępnej dokumentacji projektowej, powykonawczej oraz protokołów z okresowych przeglądów budowlanych. Na podstawie wizji i analizy dokumentacji należy ustalić niezbędną liczbę i miejsca badań, których zakres ściśle zależy od wielkości analizowanego obiektu. Miejsca prowadzenia badań są często determinowa-

ne funkcją obiektu oraz możliwościami technicznymi wykonania badań (jak np. łatwość dostępu). Każdy obiekt należy rozpatrywać indywidualnie.

Wykonując obliczeniowe analizy istniejącej konstrukcji, projektant lub ekspert staje przed o wiele trudniejszym zadaniem niż w przypadku projektowania. W obliczeniach nie można bezkrytycznie przyjmować przyjętych w projekcie parametrów geometrycznych i wytrzymałościowych materiałów, lecz należy je ustalić. Z założenia trzeba odrzucić domniemanie o poprawności: wykonania projektu; zastosowanych materiałów; wykonania robót; utrzymania i eksploatacji obiektu.

W przypadku istniejącej konstrukcji konieczne jest sprawdzenie niemal wszystkiego. Dokumentacja pełni jedynie funkcję pomocniczą i bez przeprowadzenia wnikliwego badania nie można jej uwzględnić, gdyż wielokrotnie okazywało się, że rozbieżności pomiędzy dokumentacją a rzeczywistym stanem są bardzo duże, czasami zasadnicze. Niezmiernie ważne jest więc odpowiednie określenie zakresu badań i prac diagnostycznych. Powinien on umożliwić potwierdzenie stanu projektowanego z odpowiednim prawdopodobieństwem, a w przypadku braku projektu umożliwić wykonanie pełnej analizy obliczeniowej we wszystkich istotnych przekrojach elementu.

## Ogłędziny i pomiar geometrii

Niezależnie od rodzaju konstrukcji obiektu przemysłowego w pierwszym etapie prac diagnostycznych należy

dokonać oględzin i pomiarów geometrii z dokładnością do 1 cm w przypadku konstrukcji murowych oraz żelbetonowych, natomiast stalowych z dokładnością do 1 mm. W pomiarach często wykorzystuje się techniki laserowe lub skanery umożliwiające trójwymiarową identyfikację obiektów [1]. Oględziny należy prowadzić bardzo szczegółowo. Szczególnie w obiektach starszych często można znaleźć miejsca, w których widoczne jest zbrojenie. Wykorzystanie istniejących odkrywek pozwala zazwyczaj na ograniczenie liczby nowych odkrywek. W ekstremalnych przypadkach można zinventaryzować całe zbrojenie elementu (fotografia 1).



Fot. 1. Istniejąca „odkrywka” w żelbetowym żebrze stropu budynku sortowni

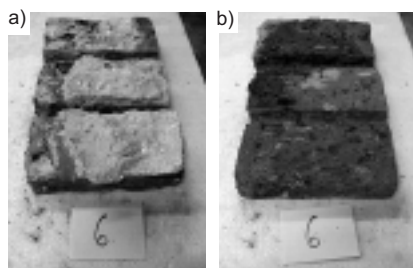
Phot. 1. Existing „outcrop” in the reinforced concrete beams

## Badania konstrukcji murowych

W przypadku przebudowy i rozbudowy konstrukcji murowych parametrem koniecznym do określenia jest wytrzymałość muru na ściskanie. Określa

<sup>1)</sup> Politechnika Śląska, Wydział Budownictwa  
e-mail: lukasz.drobiec@polsl.pl

się ją najczęściej przez pobranie próbek elementów murowych (najczęściej cegły) i zaprawy spoin wspornych oraz ich badanie po uprzednim przygotowaniu przez oczyszczenie, przycięcie i oszlifowanie (fotografia 2). Próbki zaprawy docina się do wymiarów grubości spoiny, a następnie zespala zaprawą o podobnym składzie, uzyskując kostkę o wymiarach ok. 4 x 4 x 4 cm, którą poddaje się badaniu na ściskanie. Po zbadaniu zaprawy i elementów murowych określa się znormalizowaną wytrzymałość elementów murowych i charakterystyczną wytrzymałość na ściskanie z wzoru potęgowego zamieszczonego w PN-EN 1996-1-1 [3].



Fot. 2. Badanie elementów murowych: a) elementy murowe przed oczyszczeniem; b) próbki przygotowane do badań

Phot. 2. Tests of Masonry specimens: a) masonry specimens before cleaning; b) the sample prepared for tests

Alternatywnym rozwiązaniem jest badanie próbek uzyskanych z odwiertów rdzeniowych [4]. Wykonuje się odwierty małej średnicy i pobiera walce wycięte z samych elementów murowych lub większej średnicy oraz pobiera fragmenty elementów murowych i zaprawy. Mur musi być w dobrym stanie, aby pobrane próbki nie zostały uszkodzone (nie rozpadły się) podczas transportu do laboratorium. Na świecie wykonuje się mało niszczące badania wytrzymałości muru *in situ* polegające na wycięciu dwóch równoległych spoin wspornych w odległości 40 ÷ 50 cm, włożeniu w nie poduszek ciśnieniowych ze stali nierdzewnej i badaniu muru między tymi poduszkami (tzw. metoda Flat Jack). Badanie prowadzi się do uzyskania żądanej wytrzymałości na ściskanie lub do momentu zarysowania muru. Pomimo że metodę stosuje się w świecie od lat osiemdziesiątych XX wieku i została ona szczegółowo opisana w krajowej literaturze [5], to w Polsce badań metodą Flat Jack nie wykonuje się.

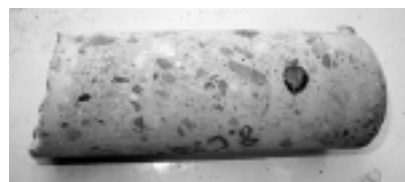
## Badania konstrukcji stalowych

Diagnostyka konstrukcji stalowych obejmuje najczęściej badania cech geometrycznych, wytrzymałościowych, stanu połączeń oraz korozji i warstw ochronnych. Grubość stali określa się za pomocą urządzeń ultradźwiękowych przy dostępie jednostronnym. Badania wytrzymałościowe, badania połączeń spawanych oraz badania spektrometryczne składu wykonuje się zazwyczaj w laboratorium na próbkach pobranych z konstrukcji. Analizy spektrometryczne prowadzi się także w celu określenia zasięgu pożaru i jego wpływu na właściwości stali. Do badań korozji i warstw ochronnych stosuje się metody ultradźwiękowe, elektryczne i termowizyjne.

## Badania konstrukcji żelbetonowych

Diagnostyka obiektów przemysłowych o konstrukcji żelbetonowej sprowadza się najczęściej do określenia wytrzymałości betonu na ściskanie, lokalizacji zbrojenia, badania jego wytrzymałości, wykrywania wad struktury wewnętrznej betonu oraz zagrożenia korozyjnego i właściwości ochronnych otuliny betonowej [1, 2]. Wytrzymałość na ściskanie wyznacza się na podstawie badań niszczących prowadzonych na próbkach pobranych z konstrukcji, czasem wspomaganymi metodami nieniszczącymi wykorzystującymi fizyczną zależność między badaną cechą betonu a wytrzymałością betonu na ściskanie [1]. Badania mogą służyć do określenia klasy wytrzymałości betonu oraz wytrzymałości charakterystycznej betonu na ściskanie w konstrukcji. W celu pobrania próbek do badań niszczących wykonuje się odwierty rdzeniowe, które uważane są powszechnie za najbardziej wiarygodne źródło informacji i najczęściej przesądzają o jakości betonu. Próbkę traktuje się jako odkrywkę, która podlega szczegółowym oględzinom makroskopowym, dając oprócz wytrzymałości na ściskanie również informacje o stanie betonu. Próbki pobrane z konstrukcji należy dociąć i zinventaryzować, szczególnie, gdy wraz z betonem odwiercono pręty zbrojeniowe (fotografia 3).

Wyniki niszczących badań wytrzymałości betonu na ściskanie mogą być poparte **metodami nieniszczącymi**. Norma PN-EN 13791 [6] mówi wyraźnie, że metody nieniszczące mogą stanowić je-



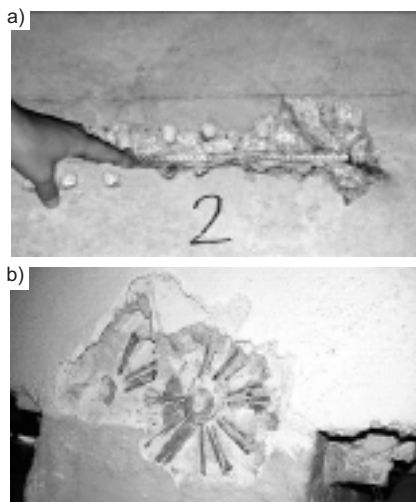
Fot. 3. Odwierty rdzeniowe z betonu. Widok próbki pobranej wraz z prętem zbrojeniowym

Phot. 3. Cored specimens. View of a sample with the rebar

dynie uzupełnienie danych uzyskiwanych w wyniku badania ograniczonej liczby odwiertów i wymagają przeprowadzenia wzorcowania na odwiertach. Szczegółowy opis procedur wzorcowania zamieszczono w [1]. Spośród wielu metod nieniszczących najczęściej stosuje się metodę sklerometryczną, metodę pull-out i metodę ultradźwiękową.

**Określenie parametrów stali zbrojeniowej** jest jedną z podstawowych czynności prowadzonych w ramach diagnostyki istniejących konstrukcji żelbetonowych [1]. Gdy projektowana naprawa lub wzmocnienie wymagają obliczeniowego sprawdzenia nośności konstrukcji żelbetonowej, należy, oprócz wytrzymałości betonu, określić geometrię położenia zbrojenia w elemencie oraz jego parametry mechaniczne i odkształceniowe. Geometrię prętów zbrojeniowych można wyznaczyć **metodą tradycyjną**, wykonując odkrywki, bądź za pomocą **nieniszczących metod diagnostycznych**, które są przydatne szczególnie, gdy powierzchnia lub liczba elementów koniecznych do zbadania jest znaczna. Parametry wytrzymałościowe i odkształceniowe stali zbrojeniowej wyznacza się w odkrywkach na podstawie wyglądu zbrojenia (użebrowania) lub w laboratorium, badając próbki pobrane z konstrukcji w tzw. próbie rozciągania.

Odkrywki zbrojenia są od lat podstawowym źródłem informacji o jego geometrii. Można je wykonywać mechanicznie lub ręcznie, tak aby nie uszkodzić prętów zbrojeniowych. Zakres odkrywki, czyli długość i głębokość odkucia otuliny, zależy od rodzaju zbrojenia w konstrukcji oraz przyjętego sposobu określania parametrów wytrzymałościowych i powinien on umożliwić pomiar średnicy prętów. Mniejsze odkrywki wykonuje się przy wizualnej metodzie oceny wytrzymałości (na podstawie użebrowania), większe, gdy konieczne jest pobranie próbki do badań. Widok przykładowych odkrywek zbrojenia pokazano na fotografii 4.



Fot. 4. Przykładowe odkrywki zbrojenia: a) płyty stropowej; b) strefy zakotwienia kabli sprężających

Phot. 4. Outcrops of the reinforcement: a) in the floor slab; b) in the zone of prestressing rod anchorage

**Nieniszczące badania geometrii zbrojenia** przeprowadza się najczęściej metodą radarową, elektromagnetyczną, a rzadziej radiologiczną (radiograficzną), głównie ze względu na długi czas badania i pracochłonność opracowania wyników. Zaletą metody jest duży zasięg i możliwość badania elementów grubości do 1,0 m i dlatego jest stosowana w badaniach masywnych konstrukcji przemysłowych [1]. Najczęściej stosowanymi obecnie nieniszczącymi metodami służącymi do detekcji zbrojenia są metody elektromagnetyczna i radarowa.

**Elektromagnetyczne metody** badania lokalizacji zbrojenia w elementach żelbetonowych polegają na analizie zmiany pola magnetycznego w pobliżu prętów zbrojeniowych. **Metoda radarowa** polega na emitowaniu fal elektromagnetycznych o częstotliwości z zakresu od krótkich do ultrakrótkich fal radiowych i rejestracji fal odbitych od warstw charakteryzujących się zmiennymi właściwościami dielektrycznymi. Techniki radarowe do badań żelbetonowych konstrukcji zaczęto powszechnie stosować dopiero w latach osiemdziesiątych XX wieku, kiedy udoskonalano zarówno technikę pomiaru, jak i metody interpretacji wyników. Najlepsze urządzenia radarowe umożliwiają tworzenie trójwymiarowego obrazu wnętrza badanej konstrukcji.

Porównałem wyniki badań elektromagnetycznych i radarowych prowadzonych na ścianach żelbetonowego silosu wysokości 42,0 m ppt. i średnicy 17,0 m.

Grubość ścian silosu wynosiła 35 cm, a zbrojenie było umieszczone zarówno od strony zewnętrznej, jak i wewnętrznej. Badania prowadziłem przy użyciu elektromagnetycznego skanera PS 200 oraz radarowego skanera PX 1000, od wnętrza silosu, wykonując skany w tym samym miejscu i na tej samej powierzchni.

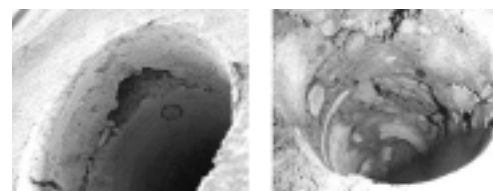
Metoda elektromagnetyczna daje bardzo dobre wyniki na stosunkowo małej głębokości (praktycznie do 10 cm) i pozwala na określenie średnicy stali zbrojeniowej pierwszego rzędu zbrojenia. Zakres metody radarowej jest natomiast większy (nawet do 70 cm), lecz urządzenia nie mają możliwości dokładnego określenia średnicy zbrojenia.

**Badania wad struktury wewnętrznej betonu** wykonuje się najczęściej metodami młoteczkową, ultradźwiękową i radarową [7, 8]. Obecność raków i niedowibrozań betonu niekiedy ujawniają odwierty rdzeniowe (fotografia 5). Najnowocześniejsze urządzenia stosowane w metodzie radarowej pozwalają określić miejsca zawierające wady w czasie rzeczywistym.

Prawidłowa ocena zagrożenia korozją wkładek zbrojeniowych lub miarodajne określenie fazy zaawansowania procesów korozyjnych są bardzo istotne, gdyż umożliwiają podjęcie prawidłowej decyzji o ewentualnym rozpoczęciu koniecznych prac remontowych, przedłużających trwałość konstrukcji. W związku z tym, że procesy korozyjne zbrojenia mają charakter elektrochemiczny, do oceny ich stopnia zaawansowania (w sposób nieniszczący) próbuje się adaptować techniki znane z laboratoriów elektrochemicznych [9, 10]. W praktyce najczęściej jest stosowany pomiar potencjału stacjonarnego i rezystywności otulenia betonowego, za którego pomocą uzyskuje się jedynie dane jakościowe. Bardziej zaawansowanymi pomiarami są badania polaryzacyjne. Umożliwiają uzyskanie wyników ilościowych i ustalenie stopnia zagrożenia korozją lub wyznaczenie intensywności procesów korozyjnych na zbrojeniu pod otuliną betonową. W badaniach obiektów przemysłowych, szczególnie czynnych kominów [11], wykorzystuje się również metody termowizyjne.

\*\*\*

Duża liczba technik badawczych oraz urządzeń dostępnych na rynku umożliwia określenie podstawowych paramet-



Fot. 5. Wnętrze otworów po odwiertach rdzeniowych – widoczne wady struktury betonu

Phot. 5. Inside of hole – evident defects in the structure of concrete

trów mechanicznych niemalże każdego elementu konstrukcji. Opracowanie ekspertyz i projektów istniejących obiektów przemysłowych, które nie są poparte wynikami badań diagnostycznych, należy uznać za błąd w sztuce budowlanej.

Wszystkie fotografie – Autor

## Literatura

- [1] Drobiec Ł., Jasiński R., Piekarczyk A., Diagnostyka konstrukcji żelbetonowych. Metodologia, badania polowe, badania laboratoryjne betonu i stali, t. 1. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2010.
- [2] 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. 2010, vol. 10, nr 3.
- [3] PN-EN 1996-1-1+A1:2013-05/NA:2014-03: Eurokod 6. Projektowanie konstrukcji murowych. Część 1-1: Reguły ogólne dla zbrojonych i niezbrojonych konstrukcji murowych.
- [4] Gruszczyński M., Matyszek P.: Ocena wytrzymałości murów ceglanych na podstawie badań odwiertów rdzeniowych. Czasopismo Techniczne, nr 3-B/2011, s. 57 – 69.
- [5] Lewicki B.: Ocena bezpieczeństwa istniejących konstrukcji murowych. Prace Instytutu Techniki Budowlanej, nr 4, 1998, s. 3 – 18.
- [6] PN-EN 13791:2008P Ocena wytrzymałości betonu na ściskanie w konstrukcjach i prefabrykowanych wyrobach betonowych.
- [7] Drobiec Ł., Jasiński R., Piekarczyk A.: Metody lokalizacji wad konstrukcji betonowych – metoda ultradźwiękowa (cz. 1). Przegląd Budowlany, nr 9/2007, s. 29 – 36.
- [8] Drobiec Ł., Jasiński R., Piekarczyk A.: Metody lokalizacji wad konstrukcji betonowych – metoda młoteczkowa (cz. 2). Przegląd Budowlany, nr 10/2007, s. 37 – 42.
- [9] Zybura A., Jaśniok M., Jaśniok T.: Diagnostyka konstrukcji żelbetonowych. Badania korozji zbrojenia i właściwości ochronnych betonu. Wydawnictwo Naukowe PWN. Warszawa 2011.
- [10] Zybura A., Jaśniok M., Jaśniok T.: Ocena zagrożenia korozją zbrojenia konstrukcji żelbetonowych. Cz. 1 – Badania właściwości ochronnych betonu. Przegląd Budowlany 11/2012.
- [11] Sendkowski J., Tkaczyk A., Tkaczyk Ł.: Termowizja i termografia w diagnostyce kominów przemysłowych. Przykłady, możliwości. Przegląd Budowlany, nr 2/2013, s. 21 – 25.