

Leonard Runkiewicz^{1*}, Jan Sieczkowski²

¹Institut Techniki Budowlanej, Politechnika Warszawska

²Institut Techniki Budowlanej, Warszawa

Ocena techniczna obiektów budowlanych z wykorzystaniem metod nieniszczących i seminieniszczących

Technical assessment of building structures by the nondestructive and seminondestructive methods

ABSTRACT

The paper presents the following issues:

- safety and reliability of buildings;
- degradation of buildings;
- types of diagnostics and assessments of buildings;
- methods and techniques of diagnosing buildings;
- methods and techniques of testing nondestructive and seminondestructive construction structures.

Keywords: building structures, nondestructive methods, seminondestructive methods

STRESZCZENIE

W artykule przedstawiono zagadnienia:

- bezpieczeństwa i niezawodności obiektów budowlanych;
- degradacji obiektów budowlanych;
- rodzajów diagnostyk i ocen obiektów budowlanych;
- metod i technik diagnozowania obiektów budowlanych;
- metod i technik badań nieniszczących i seminieniszczących konstrukcji budowlanych.

Słowa kluczowe: ocena techniczna, metody nieniszczące, metody seminieniszczące

1. Wstęp

Obiekty budowlane powinny być, zgodnie z przepisami [4], tak zaprojektowane i wybudowane, aby w przewidywanym okresie użytkowania spełniały stawiane im wymagania podstawowe. Obiekty te, przez cały okres eksploatacji, powinny być utrzymane w należyтым stanie technicznym, nie dopuszczając do nadmiernego pogorszenia ich właściwości użytkowych i sprawności technicznej.

Wraz z upływem czasu wbudowane materiały i wyroby podlegają procesom starzenia, a ich właściwości użytkowe ulegają pogorszeniu. Poziom degradacji właściwości użytkowych powinien być więc często sprawdzany, a uszkodzone wyroby naprawiane, remontowane lub wymieniane. Sprawdzenia właściwości użytkowych dokonuje się w ramach kontroli okresowych (corocznych lub co 5 lat) [4], wymaganych przepisami lub spowodowanych innymi przyczynami, takimi jak zarysowania, spękania i nadmierne ugięcia elementów.

W ramach dokonywanych ocen stanów technicznych obiektów budowlanych, do ocen parametrów materiałów i wyrobów często stosowane są badania z wykorzystaniem metod nieniszczących lub seminieniszczących. Metody te są z reguły stosowane do oceny pierwszego wymagania podstawowego „Nośność i stateczność konstrukcji”.

Istotnym zagadnieniem, często pomijanym przy ocenach cech materiałów budowlanych, jest zagrożenie popełniania nadmiernych błędów. Błędy te mogą zakłócać prawidłową ocenę jakości i trwałości konstrukcji, a w konsekwencji

przyczyniać się do podjęcia nieprawidłowych decyzji o zakresie dalszej eksploatacji, o sposobie i metodach renowacji, wzmocnień lub modernizacji obiektów.

2. Degradacje konstrukcji budowlanych

Degradacje konstrukcji budowlanych powodowane są wieloma czynnikami, które w praktyce zazwyczaj występują w postaci kombinacji złożonej z kilku czynników. Aktywność i znaczenie mechanizmów degradacji jest zróżnicowane w zależności od materiałów, z których konstrukcje są wykonane, co przykładowo dla konstrukcji żelbetowych i stalowych ilustruje tabela 1.

Intensywność procesów degradacyjnych może być różna w zależności od warunków eksploatacji konstrukcji. Może ona być spowolniona, gdy konstrukcja jest należycie zabezpieczona przed niekorzystnymi oddziaływaniami środowiskowymi. Intensywność procesów może także ulec przyspieszeniu, na przykład w wyniku nagłego zadziałania czynników mechanicznych (przeciążenie, uderzenie, wybuch), wystąpienia nadzwyczajnych czynników pogodowych czy też innych zdarzeń o charakterze losowym (ekstremalne opady, pożar), nieprawidłowej eksploatacji, braku dbałości o konstrukcję w czasie jej użytkowania, błędów wykonawczych lub projektowych itd.

Konsekwencją procesów degradacyjnych, w sytuacji, gdy trwałość pierwotna konstrukcji staje się niewystarczająca jest pojawienie się w niej mniej lub bardziej poważnych uszkodzeń wymagających naprawy lub wzmocnienia [1, 2, 3]. Ale może to być też przyczyną wystąpienia poważniejszych zniszczeń, w tym awarii lub katastrof obiektów budowlanych.

*Autor korespondencyjny. E-mail: l.runkiewicz@itb.pl

Tab. 1. Mechanizmy degradacji żelbetu i stali w konstrukcjach budowlanych [2].

Tab. 1. Mechanisms of degradation of reinforced concrete and steel in building constructions [2].

Mechanizmy degradacji	Rodzaj konstrukcji	
	żelbetowa	stalowa
CZYNNIKI FIZYCZNE		
Akumulacja zabrudzeń nieorganicznych	•	•
Cykliczne zamrażanie/odmrażanie	•	o
Erozja	•	o
Krystalizacja	•	
Oddziaływanie ekstremalnych temperatur	o	•
Pełzanie	o	
Relaksacja	•	o
Skurcz	•	
Przeciążenia	•	•
Wymywanie	•	
Zmęczenie	o	•
Zmiany warunków geotechnicznych	•	•
CZYNNIKI CHEMICZNE		
Karbonatyzacja betonu	•	
Korozja	•	•
Oddziaływania substancji agresywnych	•	•
Reakcje między składnikami materiału	•	
BIOLOGICZNE		
Akumulacja zabrudzeń organicznych	•	•
Oddziaływania mikroorganizmów	•	•
Oddziaływania roślin	•	o
Oznaczenie: • – mechanizm podstawowy; o – mechanizm dodatkowy		

Mając na uwadze trwałość, w tym bezpieczeństwo i niezawodność konstrukcji budowlanych, poddaje się je okresowym przeglądom technicznym, zgodnie z wymaganiami ustawy Prawo budowlane [4].

Stwierdzenie w wyniku dokonanych ocen okresowych istotnych nieprawidłowości, poważniejszych usterek lub uszkodzeń poszczególnych elementów lub całych konstrukcji skutkuje zwykle potrzebą przeprowadzenia znacznie bardziej szczegółowego i zaawansowanego, w stosunku do przeglądu okresowego, postępowania zwanego diagnostyką doraźną [3].

Przeprowadzenie szczegółowych diagnostyk konstrukcji budowlanych także występuje w przypadkach potrzeby określenia możliwości i warunków wykonania planowanych modernizacji konstrukcyjno-budowlanych, nadbudów, rozbudów albo zmian technologicznych w obiektach. Diagnostyki takie nazywane są docelowymi i mogą mieć charakter dwuetapowy [7]. Podobnie jak diagnostyki doraźne wymagają one przeprowadzenia całego szeregu postępowania, wśród których integralne są badania techniczne (diagnostyczne) i analizy, wymagające z kolei umiejętnego stosowania nowoczesnych metod badawczych i analitycznych.

Rozwiązywanie problemów występujących podczas diagnoz konstrukcji eksploatowanych jest często trudniejsze niż projektowanie konstrukcji nowych. Bierze się to stąd, że w czasie eksploatacji konstrukcje te często ulegają niejednorodnemu osłabieniu i podlegają niszczeniu w wyniku

korozji elementów, zmian warunków posadowienia, zmian obciążenia, działania szkodliwego środowiska, działania czynników losowych itp. Przeprowadzenie prawidłowej diagnostyki konstrukcji wymaga znajomości jej pracy oraz umiejętności wykorzystania wiedzy z wielu dziedzin nauki i techniki.

3. Rodzaje ocen konstrukcji budowlanych

Wyróżnia się trzy rodzaje ocen konstrukcji budowlanych (rys. 1):

- okresowe (przeglądy techniczne);
- doraźne;
- docelowe.

Oceny okresowe są związane z wykonywaniem przeglądów technicznych, które powinny stanowić jeden z podstawowych warunków prawidłowej eksploatacji obiektu budowlanego zgodnie z wymaganiami ustawy Prawo budowlane. Przechodzenie harmonogramów przeglądów technicznych oraz ich realizacje powinny należeć do użytkowników (zarządców). Mogą być one wykonane jego siłami własnymi lub przez utworzone w tym celu zespoły specjalistów, przy czym powinny być przeprowadzane corocznie i wpisywane do książki obiektu.



Rys. 1. Systemy diagnostyk konstrukcji budowlanych [7].

Fig. 1. Diagnostics systems for building structures [7].

Oceny docelowe są najczęściej związane z oceną możliwości i warunków przeprowadzania planowanych zmian lub modernizacji konstrukcyjno-budowlanych, rozbudowy, nadbudowy oraz zmian technologicznych w obiektach.

Oceny doraźne i docelowe konstrukcji budowlanych wykonuje się najczęściej z powodu:

- występujących uszkodzeń lub lokalnych zniszczeń elementów konstrukcji;
- planowanych zmian sposobu użytkowania lub przedłużenia planowanego okresu eksploatacji;
- pogorszenia się stanu technicznego konstrukcji na skutek eksploatacji, czynników środowiskowych lub obciążeń

wyjatkowych (pożaru, wstrząsu, wybuchu itp.);

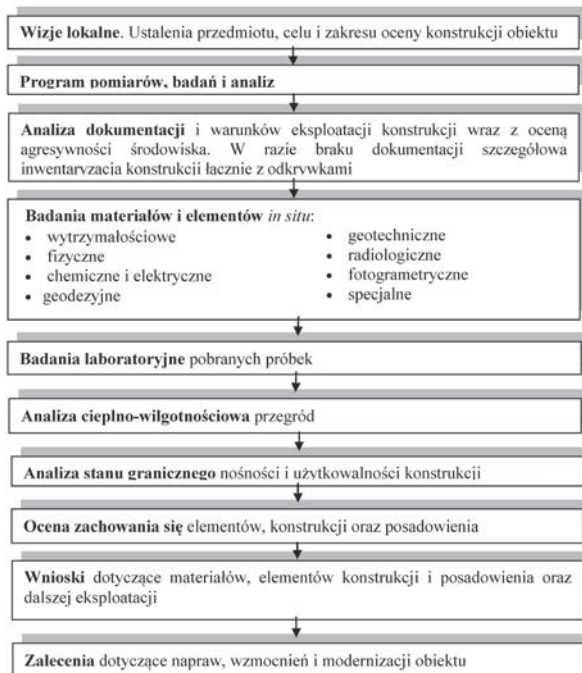
- planowanej modernizacji lub innych zmian, podczas których będą wymieniane lub wprowadzane nowe elementy konstrukcyjne, obok istniejących układów konstrukcyjnych przenoszących obciążenia;
- obniżonej niezawodności konstrukcji na skutek wstrząsów parasejsmicznych, zalania wodą, działania pożaru itp.;
- wymagań nadzoru budowlanego, firm ubezpieczeniowych, właścicieli, zarządów, użytkowników itp.

Oceny okresowe (przeglądy techniczne) mogą przeprowadzać własnymi siłami właściciele lub użytkownicy (zarządcy) obiektów budowlanych.

Oceny doraźne lub docelowe, które wymagają przeprowadzenia badań technicznych i analiz, mogą wykonać zespoły specjalistów lub uprawnieni rzeczoznawcy.

W zależności od specyfiki poszczególnych przypadków, oceny (diagnozy) można realizować jednoetapowo lub dwuetapowo.

Jednoetapowe oceny stanów konstrukcji budowlanych można wykonać w normalnym trybie postępowania (niewymuszonym wyjątkowo złym stanem technicznym konstrukcji lub koniecznością podjęcia szybkich decyzji w związku z planowaną modernizacją lub innymi czynnościami administracyjno-technicznymi (rys. 2).



Rys. 2. Schemat jednoetapowej oceny konstrukcji budowlanych [7].
Fig. 2. Scheme of a one-step evaluation of building structures [7].

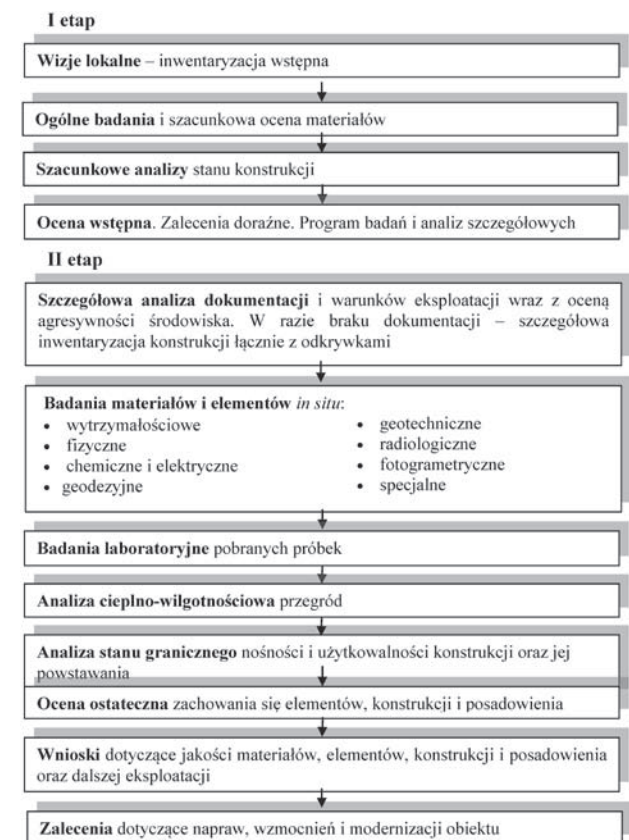
Dwuetapowe oceny stanu technicznego konstrukcji budowlanych należy przeprowadzać głównie w razie potrzeby podejmowania decyzji o doraźnym wzmocnieniu lub zabezpieczeniu konstrukcji znajdujących się w wyjątkowo złym stanie technicznym, a także w celu ukierunkowania dalszych działań (rys. 3). Te systemy ocen mogą być również przydatne w sytuacjach, gdy są konieczne szybkie orientacje dotyczące możliwości adaptacji obiektów w razie planowanych

zmian funkcji obiektów lub przewidywanych wprowadzeń istotnych zmian technologicznych i organizacyjnych.

Dwuetapowe oceny konstrukcji budowlanych składają się z ocen wstępnych i ostatecznych.

Bezpieczeństwo i niezawodność budowlanych konstrukcji eksploataowanych mogą być (w zależności od wymagań) określane dla sytuacji:

- trwałych, odpowiadających normalnym warunkom użytkowania;
- przejściowych, odpowiadających warunkom występującym w czasie remontów, modernizacji lub wzmocnień;
- wyjątkowych, odpowiadających warunkom losowym (wypadkowym), nie ujętych normami, jak pożar, uderzenie, wichura, zalanie, wybuch.



Rys. 3. Schemat dwuetapowej oceny konstrukcji budowlanych [7].
Fig. 3. Scheme of a two-stage assessment of building structures [7].

4. Postępowania diagnostyczne

Ogólne zasady postępowania

Postępowaniom diagnostycznym mogą być poddane, w zależności od potrzeb, całe konstrukcje budowlane albo tylko wybrane ich elementy, np. uszkodzone lub przewidziane do zmian konstrukcyjnych, napraw albo do modernizacji. W takich przypadkach zakresem diagnostyki powinny być objęte również inne elementy konstrukcji, w stosunku do których istnieje podejrzenie, że poziom ich niezawodności i bezpieczeństwa użytkowania mógł ulec obniżeniu.

W badaniach diagnostycznych konstrukcji budowlanych lub elementów składowych tych konstrukcji należy uwzględnić rzeczywisty stan i rzeczywiste warunki ich pracy, a przy

ocenie stosować aktualne normy. Dawne normy stanowiące podstawę projektowania tych konstrukcji powinny być traktowane jedynie jako wiedza techniczna. Poziomy bezpieczeństwa i niezawodności konstrukcji, powinny być nie niższe od poziomów wymaganych przy projektowaniu nowych konstrukcji.

Wybór metod i technik diagnostycznych należy dostosować do warunków i stanu technicznego diagnozowanych konstrukcji. Szczególnie polecane są metody nieniszczące i seminieniszczące. W wyjątkowych sytuacjach można zastosować obciążenia próbne. Stosowane metody powinny zapewnić uzyskanie wyników o wymaganej dokładności i na tyle licznych, aby możliwa była ocena statystyczna wymagana przez przepisy normowe.

Wizje lokalne i badania wizualne konstrukcji budowlanych, zarówno eksploatowanych, jak i wyłączonych z użytkowania powinno się poprzedzić analizą zarówno dostępnej dokumentacji technicznej, jak i innych dokumentów, do których należy zaliczyć między innymi: projekty budowlane, projekty wykonawcze, projekty przeprowadzonych w przeszłości remontów albo modernizacji lub adaptacji, dzienniki budowy, książki obiektów, opinie, orzeczenia i ekspertyzy dotyczące konstrukcji. Źródłem informacji mogą być też wywiady przeprowadzone z wykonawcami konstrukcji, z jej użytkownikami i zarządcami, państwowym nadzorem budowlanym itp.

Podczas wizji lokalnych oraz badań należy zwracać uwagę na czynniki, które aktualnie nie wpływają bezpośrednio na stany graniczne nośności lub użyteczności ocenianych konstrukcji budowlanych, ale pośrednio, w dłuższym okresie mogą istotnie wpłynąć na ich bezpieczeństwo i niezawodność. Przykładami takich czynników mogą być: agresywne środowisko, brak zabezpieczeń przeciwwilgociowych, drgania przenoszące się przez podłoże.

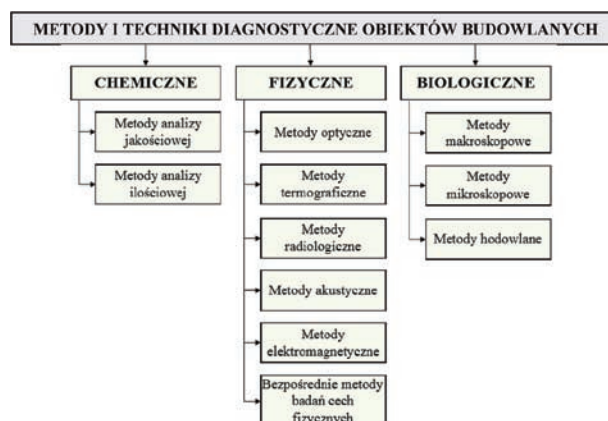
Dla bezpieczeństwa i niezawodności konstrukcji budowlanych oceny dokonuje się w oparciu o aktualne rzeczywiste dane obejmujące m.in.: wymiary elementów, właściwości i cechy materiałów, w tym ich wytrzymałości i jednorodności, właściwości i cechy stali zbrojeniowych, w tym ich rozmieszczenie, otulenia betonem, skorodowanie, parametry elementów prefabrykowanych, obciążenia i ich charakter, modele (schematy) pracy, odkształcenia, lokalizację uszkodzeń i wad, parametry podłoża gruntowego.

Metody i techniki diagnozowania (badania)

Rodzaje stosowanych metod i technik diagnozowania (badania) zależą w dużym stopniu od warunków i stanów technicznych diagnozowanych konstrukcji. Przyjęte metody badań powinny umożliwiać uzyskanie wyników o wymaganych dokładnościach, pozwalających na statystyczną ich ocenę i na scharakteryzowanie aktualnych stanów ocenianych konstrukcji [3-5]. Podstawowe grupy metod i technik diagnozowania przedstawiono na rysunku 4 [2].

Każdej grupie metod i technik diagnostycznych przyporządkowano stosunkowo dużą liczbę technik pomiarowych (tablica 2). Określono dla tych metod obszary przydatności w badaniach geometrii, w badaniach właściwości materiałów konstrukcji, w wykrywaniu oraz identyfikacji

uszkodzeń, wraz z podaniem informacji, czy dane metody są podstawowe w rozumieniu powszechności stosowania czy uzupełniające.



Rys. 4. Podstawowe metody i techniki diagnostyczne obiektów budowlanych [2].

Fig. 4. Basic methods and diagnostic techniques of building objects [2].

Metody i techniki nieniszczące stosowane w diagnostyce obiektów o konstrukcjach żelbetowych

W diagnostyce obiektów konstrukcji żelbetowych istotna jest ocena wytrzymałości i jednorodności betonu. Zestawienie metod nieniszczących i seminieniszczących przydatnych do tej oceny przedstawiono, za [6], na rysunku 5.



Rys. 5. Metody nieniszczące i seminieniszczące stosowane do oceny wytrzymałości i jednorodności betonu w konstrukcjach budowlanych [6].

Fig. 5. Nondestructive and seminon-destructive methods used to assess the strength and homogeneity of concrete in building constructions [6].

Metody badawcze stosowane w laboratorium

Badania wytrzymałości betonu na ścisnienie mogą być realizowane bezpośrednio na próbkach pobranych z konstrukcji albo pośrednio z wykorzystaniem metod nieniszczących, np. ultradźwiękowej [9] lub sklerometrycznej [8, 11,12]. Szczegółowe procedury badania wytrzymałości betonu na ścisnienie in situ na próbkach oraz oceny tej wytrzymałości w konstrukcji na podstawie wyniku badania próbek określa norma [10].

Procedura badania wytrzymałości betonu na próbkach pobranych z konstrukcji obejmuje: pobieranie rdzeni betonowych z konstrukcji i ich przygotowanie do badań, oznaczenie wytrzymałości na ścisnienie próbek pobranych

Tab. 2. Metody i techniki pomiarowe stosowane w diagnozowaniu obiektów budowlanych.
Tab. 2. Measurement methods and techniques used in diagnosing buildings.

Metody i techniki badań	Geometria			Właściwości materiału						Uszkodzenia						
	Ukształtowanie przestrzenne	Wymiary elementów	Identyfikacja zbrojenia	Rodzaj materiału	Wytrzymałość/jednorodność	Moduł odkształcalności	Porowatość/nasiąkliwość	Mrozoodporność	Wilgotność	Skład chemiczny	Deformacje	Destrukcja materiału	Ubytki materiału	Utrata ciągliwości materiału	Zanieczyszczenia	Zmiany położenia
CZYNNIKI FIZYCZNE																
Badania wizualne	•	o		•					o		•	o	•	•	•	•
Metody geodezyjne	•	•									•		o			•
Metody laserowe	•	•									•					•
Metody termograficzne			o						o			o	o	o		
Metody radiograficzne			•									o	•	•		
Tomografia komputerowa			•									o	•	•		
Metody impulsowe		•					•	•				o	•	•		
Metody ultradźwiękowe		•					•	•				o	•	•		
Tomografia ultradźwiękowa			o									o	•	•		
Emisja akustyczna														•		
Metody magnetyczne			•													
Metody radarowe	o	o	•									o	•	•		
Metody indukcji elektromagnetycznej			•													
Pomiary potencjału elektrycznego									o			•	•			
Pomiary oporności elektrycznej									o			•	•			
Bezpośrednie pomiary geometryczne	•	•	o								•	o	•	•	•	•
Metody penetracyjne					•							o				
Metody sklerometryczne					•	o						o				
Metody badań cech fizycznych				•	•	•	•	•	•			•				
CZYNNIKI CHEMICZNE																
Metody analizy chemicznej				•						•		•			•	
CZYNNIKI BIOLOGICZNE																
Metody makroskopowe												•			•	
Metody mikroskopowe												•			•	
Oznaczenie: • – mechanizm podstawowy; o – mechanizm dodatkowy																

z konstrukcji, opracowanie zestawienia wyników badań wytrzymałości tych próbek wraz z opracowaniem raportu z badań. Z kolei procedura oceny wytrzymałości betonu w konstrukcji na próbkach pobranych z konstrukcji obejmuje m.in.: obliczanie wartości średniej i odchylenia standardowego wytrzymałości betonu na ściskanie w konstrukcji, oszacowanie niepewności obliczonej wartości średniej, ocenę charakterystycznej wytrzymałości na ściskanie betonu w konstrukcji.

Bezpośrednia ocena parametrów stali zbrojeniowej zazwyczaj obejmuje określenie granicy plastyczności, wytrzymałości na rozciąganie, wydłużenia i w tym celu pobierane są z konstrukcji żelbetowych, z miejsc najmniej wyężonych, odcinki prętów konstrukcyjnych danego zbrojenia, które badane są następnie w laboratorium.

Spośród metod stosowanych w laboratorium najnowocześniejsza jest rentgenowska mikrotomografia komputerowa,

pozwalająca na rekonstrukcję trójwymiarowego obrazu próbki betonu pobranej z badanej konstrukcji, na podstawie dwuwymiarowych projekcji uzyskanych w trakcie jej skanowania wiązką promieni rentgenowskich. Metoda ta daje możliwość określenia wielu parametrów charakteryzujących strukturę betonu, m.in. porowatości, rozkładu porów pod względem wielkości, rozmieszczenia ziaren kruszywa, rozmieszczenia mikrouszkodzeń, rozmieszczenia zbrojenia rozproszonego, dla betonu skarbonatyzowanego również określenia wartości modułu sprężystości. Wyniki badań uzyskane tą metodą mogą być bardzo przydatne na przykład w interpretacji przyczyn powstania uszkodzeń konstrukcji.

Obciążenia próbne konstrukcji

W uzasadnionych przypadkach obciążenia próbne są stosowane do wiarygodnej oceny bezpieczeństwa i niezawodności elementów konstrukcji żelbetowych. Wykonuje się je

z reguły w sytuacji, gdy zachodzi potrzeba upewnienia się co do aktualnego stanu granicznego nośności albo stanu granicznego użytkowalności elementu konstrukcyjnego, a nie można tego - z różnych przyczyn - dokonać wiarygodnie na drodze badawczej i obliczeniowej. Przyczyną tego może być na przykład pożar, któremu obiekt uległ w przeszłości. Zazwyczaj obciążenia próbne mają charakter nieniszczący i mogą być realizowane w warunkach polowych lub w laboratorium na elementach pobranych z konstrukcji.

Obciążenia próbne, ze względu na cele i sposoby prowadzenia badań, mają m.in. za zadanie [5, 13]:

- wykazanie czy elementy lub konstrukcje zostały wykonane prawidłowo i zachowują się zgodnie z założeniami projektów;
- sprawdzenie zachowania się konstrukcji pod obciążeniami projektowymi z tym, że nośności określone są na podstawie pomiaru odkształceń;
- ocenę możliwości przenieszenia obciążeń przez testowany element konstrukcyjny lub też przez inne współpracujące z nimi elementy konstrukcyjne;
- ocenę zachowania się całej konstrukcji.

W trakcie realizowanych obciążeń próbnych przedmiotem pomiarów mogą być ugięcia badanych elementów żelbetowych, szerokości rozwarcia rys lub też rozwój procesów destrukcyjnych w betonie i na styku betonu z prętami zbrojeniowymi, powodowany narastającym obciążeniem próbnym. W zależności od przedmiotu pomiaru należy dobrać odpowiednią metodę badawczą (aparaturę), zapewniającą taki pomiar. Przykładowo do „śledzenia” rozwoju ww. procesów destrukcyjnych przydatna jest metoda emisji akustycznej.

Planując obciążenia próbne żelbetowego elementu konstrukcyjnego, należy w dużej mierze polegać na własnej wiedzy inżynierskiej, gdyż brak jest szczegółowych wytycznych ustalania wartości tych obciążeń. Pewne praktyczne wskazówki w tej kwestii można znaleźć w pracach [3, 5, 13] oraz normach zagranicznych. Obciążenia próbne powinny być poprzedzone szczegółową diagnostyką elementów lub konstrukcji m. in. w zakresie: określenia charakterystyk materiałowych betonu i stali zbrojeniowej, otulenia zbrojenia betonem, ustalenia rzeczywistych wymiarów geometrycznych, rozpoznania warunków podparcia, połączenia itd.

5. Wnioski

Przedstawiona w artykule tematyka, dotycząca zasad wykonywania ocen (diagnostyk) konstrukcji budowlanych za pomocą metod nieniszczących i seminieniszczących, kwalifikuje się - zdaniem autorów - do kluczowych starań o zapewnienie należytego bezpieczeństwa, niezawodności i trwałości tych konstrukcji. Prawidłowe postępowanie diagnostyczne jest bardzo ważne, niezbędne i konieczne do należytego sporządzenia opracowania ekspertyzowego, przydatnego do celu, któremu ma służyć.

6. Literatura/References

- [1] L. Czarniecki, P. Łukowski, A. Garbacz, "Naprawa i ochrona konstrukcji z betonu. Komentarz do PN-EN 1504", Wydawnictwo Naukowe PWN SA, Warszawa 2017.
- [2] J. Bień, "Uszkodzenia i diagnostyka obiektów mostowych", Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa 2010.
- [3] L. Runkiewicz, "Wzmacnianie konstrukcji żelbetowych. Poradnik", Instytut Techniki Budowlanej, Warszawa 2016.
- [4] Ustawa z dnia 7 lipca 1994 roku. Prawo budowlane (Dz. U. nr 89 z 1994 r. z późniejszymi zmianami).
- [5] Ł. Drobiec, R. Jasiński, A. Piekarczyk, "Diagnostyka konstrukcji żelbetowych", tom 1, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2010.
- [6] J. Hoła, K. Schabowicz, "Diagnostyka obiektów budowlanych" Materiały Budowlane, 2015, 5, 3 – 7.
- [7] L. Runkiewicz, "Badania konstrukcji żelbetowych", Biuro Gamma, Warszawa 2002.
- [8] L. Brunarski, L. Runkiewicz L, "Instrukcja stosowania metody ultradźwiękowej do nieniszczącej kontroli jakości betonu w konstrukcji", Instrukcja nr 209, Instytut Techniki Budowlanej, Warszawa 1997.
- [9] PN-EN 12504-4:2005. Badania betonu. Część 4. Oznaczanie prędkości fali ultradźwiękowej.
- [10] PN-EN 13791:2008. Ocena wytrzymałości betonu na ściskanie w konstrukcjach i prefabrykowanych wyrobach betonowych.
- [11] L. Runkiewicz, J. Sieczkowski, "Ocena wytrzymałości betonu w konstrukcji na podstawie badań sklerometrycznych. Poradnik" Instytut Techniki Budowlanej, Warszawa 2018.
- [12] PN-EN 12504-2:2013-03. Badania betonu w konstrukcjach. Część 2. Badania nieniszczące. Oznaczenie liczby odbicia.
- [13] B. Lewicki, "Obciążenia próbne konstrukcji istniejących budynków", Prace Naukowe Instytutu Techniki Budowlanej, ITB, Warszawa 1997.

Badania Nieniszczące i Diagnostyka

Nondestructive Testing and Diagnostics

SPIS REKLAM

REKLAMY NA OKŁADCE

TÜV Rheinland	1
OLYMPUS	2
TELEMOND HOLDING	3
EVEREST POLSKA	4

REKLAMY W NUMERZE

Instytut Spawalnictwa	2
CASP	12
EVEREST POLSKA	24
NDT Systems	35
TÜV SÜD Polska	52