

Tematyka artykułu *Metody diagnostyczne przydatne podczas wykonywania przeglądów obiektów budowlanych* była omawiana podczas drugiej Ogólnopolskiej Konferencji *Problemy techniczno-prawne utrzymania obiektów budowlanych* (15 – 16 stycznia br.) zorganizowanej przez Głównego Inspektora Nadzoru Budowlanego.

prof. dr hab. inż. Jerzy Hola*
dr inż. Krzysztof Schabowicz*

Metody diagnostyczne przydatne podczas wykonywania przeglądów obiektów budowlanych

Diagnostic methods helpful in conducting surveys of building structures

Obiekty budowlane wymagają przeglądów w celu oceny ich przydatności do użytkowania. Wynika to z zapisów ustawy Prawo budowlane [36], a przede wszystkim artykułów 61 i 62 rozdziału 6 *Utrzymanie obiektów budowlanych*. Brak takich przeglądów i w konsekwencji wykonywania na tej podstawie stosownych remontów wpływa negatywnie na trwałość obiektu budowlanego, przez którą należy rozumieć okres liczony w latach, w ciągu którego dany obiekt lub jego część zachowują swoje właściwości użytkowe w normalnych warunkach eksploatacji [7]. Trwałość obiektu zależy od wielu czynników, m.in. od jakości wykonania i sposobu użytkowania poszczególnych jego elementów, od rodzaju i jakości materiałów, technologii wykonania czy niekorzystnych wpływów środowiska zewnętrznego [7, 41].

Do wykonywania przeglądów obiektów budowlanych uprawnione są osoby pełniące samodzielne funkcje techniczne w budownictwie na mocy art. 12 pkt 1 ust. 5 ustawy Prawo budowlane (zwana dalej ustawą). Zgodnie z pkt 2 art. 12 ustawy mogą to być wyłącznie osoby posiadające odpowiednie uprawnienia budowlane.

Z przepisów jednoznacznie wynika, że **przeгляд obiektu budowlanego powinien być wykonany rzetelnie, ponieważ ma to istotny wpływ na jego trwałość i przydatność do dalszego użytkowania**. Dotyczy to zarówno przeglądów rocznych, jak i pięcioletnich. W przypadku przeglądów rocznych z reguły wystarczająca jest ocena wizualna, natomiast pięcioletnich wskazane jest za-

stosowanie metod badawczych dobranych odpowiednio do ocenianego obiektu budowlanego. Nieodłącznym elementem takiego przeglądu powinna być diagnostyka określająca stan elementów obiektu najbardziej narażonych na niekorzystne wpływy otoczenia. Szczególnie predysponowane są do tego celu metody nieniszczące [1, 11, 20, 33].

Podczas przeglądu obiektu budowlanego najczęściej stosowana jest **metoda wizualna** m.in. dlatego, że nie jest kosztowna. W przypadku niewielkich obiektów o prostej konstrukcji, np. niskie budynki wznoszone metodami tradycyjnymi, często może być ona wystarczająca. Natomiast w przypadku obiektów o konstrukcji bardziej złożonej (np. mostów, hal widowiskowych, budynków wysokich o konstrukcji szkieletowej monolitycznej czy zespolonej) metoda wizualna może być przydatna tylko w początkowej fazie wykonywania przeglądu. W zależności od stanu obiektu oceniający powinien posługiwać się innymi metodami badawczymi, ponieważ daje to większą gwarancję rzetelności wykonania oceny.

Metody badawcze przydatne podczas wykonywania przeglądów i badań obiektów budowlanych można podzielić na **niszczące, seminiszczące i nieniszczące** [11, 12, 20, 22, 25, 27, 31, 33, 34]. Badaniom niszczącym są poddawane przede wszystkim próbki pobierane z obiektu, rzadziej całe elementy. Badaniom seminiszczącym poddaje się zazwyczaj elementy i konstrukcje w skali naturalnej. Podczas tych badań następuje jednak lokalna i zazwyczaj przypowierzchniowa ingerencja w strukturę materiału [11, 22]. Natomiast w badaniach

nieniszczących nie dochodzi do takiej ingerencji i można tym nieinwazyjnym badaniami poddawać obiekty i elementy w skali naturalnej wielokrotnie i w różnym czasie [1 – 9, 12, 17 – 19, 21, 23, 32]. Z tego powodu są to metody szczególnie przydatne do wykonywania przeglądów, diagnostyki i monitoringu.

Na rysunku 1 zamieszczono ogólny podział metod badawczych przydatnych podczas wykonywania przeglądów obiektów budowlanych [1, 2, 4 – 9, 20, 37], natomiast na rysunku 2 podział metod do oceny innych niż wytrzymałość cech materiału wbudowanego w oceniany element.

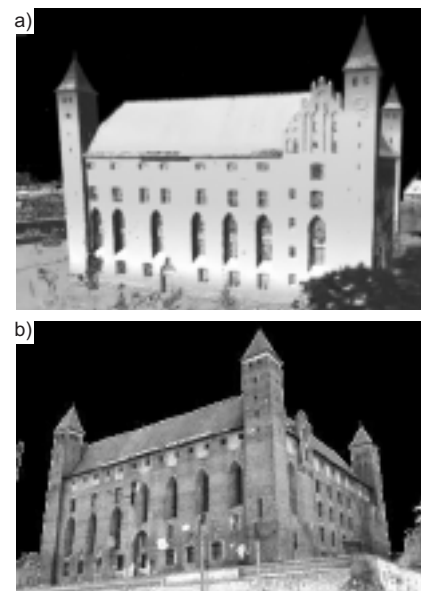
Opis wybranych metod

Ocena wizualna jest najprostszą i najczęściej stosowaną metodą badań obiektów budowlanych. Jak wynika z rysunku 1, można do niej zaliczyć zwykłe oględziny wzrokowe (okiem nieuzbrojonym) oraz badania wizualne. **Oględziny wzrokowe** wykonuje się najczęściej podczas wykonywania corocznych przeglądów. Dzięki nim można m.in. stwierdzić występowanie znacznych deformacji, pęknięć, rys itp. Jest to prosty sposób, niewymagający stosowania specjalistycznego sprzętu. Z kolei **badania wizualne** zalecane są podczas wykonywania pięcioletnich przeglądów obiektów budowlanych. Umożliwiają one lokalizację nieciągłości powierzchniowych, pozwalają na kontrolę miejsc konstrukcji zarówno dostępnych, jak i niedostępnych dla wzroku. Dzięki tym badaniom możliwe jest wykrywanie m.in. pęknięć i rys o niewielkich wymiarach. Wyróżniamy dwie zasadnicze grupy badań wizualnych: bezpośrednie (badana powierzchnia jest bezpośrednio dostępna do oglę-

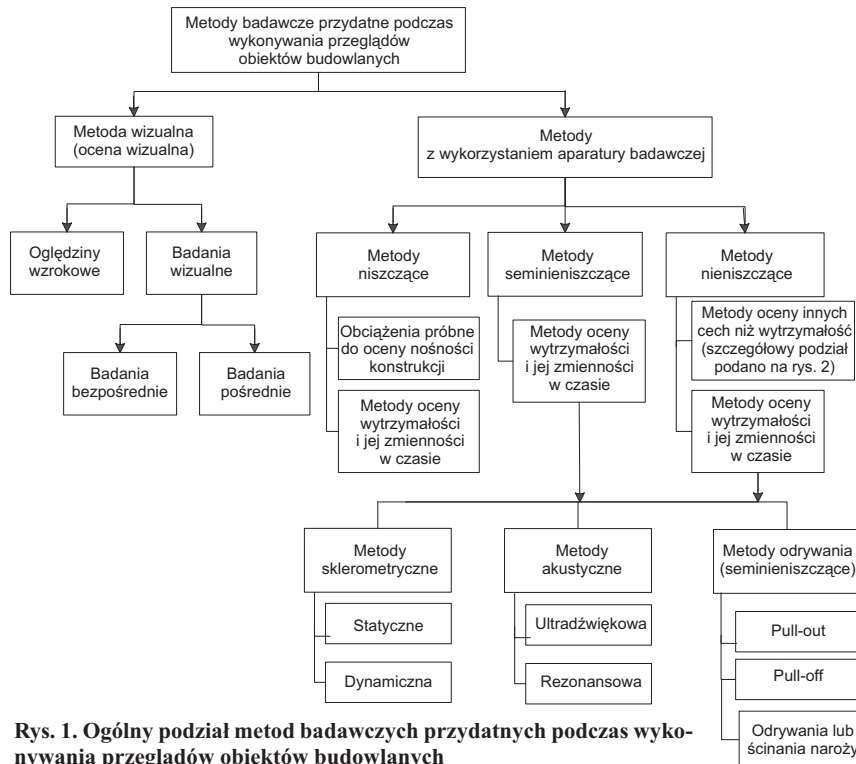
* Politechnika Wroclawska

dzin) oraz pośrednie (optyczne), podczas których badana powierzchnia nie jest dostępna bezpośrednio do oględzin. Do badania wykorzystywane są endoskopy, wideoskopy, peryskopy.

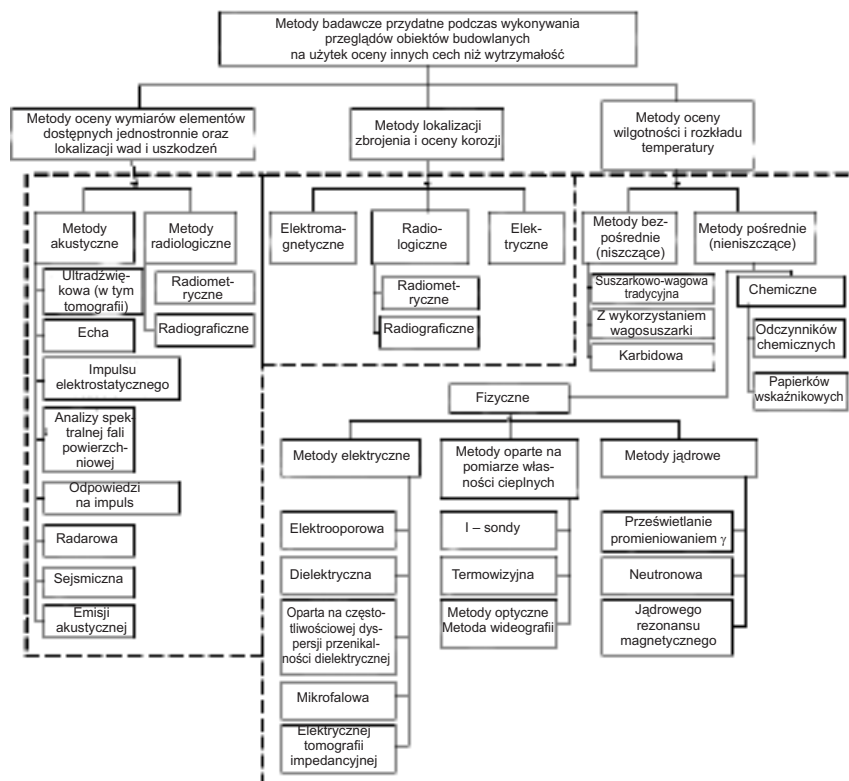
Szczególnym rodzajem badań wizualnych pośrednich jest skanowanie laserowe 3D. Umożliwia ono wykonanie inwentaryzacji całego obiektu budowlanego lub jego konstrukcji, np. dachu, i uzyskanie



Fot. 1. Rezultaty uzyskane za pomocą skanera 3D: a) skan obiektu, b) wirtualna fotografia przestrzenna obiektu [38]



Rys. 1. Ogólny podział metod badawczych przydatnych podczas wykonywania przeglądów obiektów budowlanych



Rys. 2. Schemat podziału metod badawczych przydatnych podczas wykonywania przeglądów obiektów budowlanych do oceny innych cech niż wytrzymałość

trójwymiarowego modelu. Pozwala to na szybkie, efektywne i dokładne pozyskanie spójnych i precyzyjnych danych przestrzennych umożliwiających zbudowanie komputerowego obrazu (modelu) realnie istniejącego obiektu (fotografia 1).

Porównując komputerowe modele 3D zinventaryzowanego całego obiektu lub pojedynczych elementów konstrukcji (np. przekrycia), wykonane w dowolnych odstępach czasu (np. 5-letnich), można ocenić postępującą jego deformację lub poszczególne elementy. Skanowanie laserowe jest szczególnie przydatne i polecane podczas wykonywania przeglądów obiektów budowlanych o dużym znaczeniu historycznym, obiektów szczególnie ważnych oraz obiektów o konstrukcji trudno dostępnej do oceny, np. kolektorów kanalizacyjnych, komór elektrowni wodnych itp.

Metoda sejsmiczna (parallel seismic) zaliczana jest do metod akustycznych i zalecana do oceny elementów betonowych i żelbetonowych, prefabrykowanych oraz wykonanych w miejscu wbudowania, m.in. pali fundamentowych [11, 14].

Metoda odpowiedzi na impuls (impulse response), zaliczana również do metod akustycznych, jest przydatna przede wszystkim do wykrywania pustek pod płytami betonowymi i żelbetonowymi ułożonymi na gruncie (np. pod płytą fundamentową lub pod posadzką przemysłową), do lokalizacji braku zespolenia (delaminacji) warstw w układach wielowarstwowych (np. w podłogach betonowych), lokalizacji obszarów wadliwych i niejednorodności

(tzw. *honeycombing*) [8 – 11, 15, 20]. Zaletami metody są: prosty sposób badania; przydatność do szybkiego badania elementów o dużej powierzchni; natomiast wadą niezbyt duża dokładność lokalizacji obszaru wadliwego.

Metoda impulsu elektrostatycznego (*impact-echo*). Ta akustyczna metoda badań przydatna jest do określania grubości płyt betonowych i żelbetonowych dostępnych jednostronnie, wykrywania defektów w takich płytach i posadzkach (rozwarstwień, odspojień, wad lokalnych, pęknięć), do oceny zespolenia betonowych warstw podłogowych oraz przyczepności do podłoża betonowych warstw naprawczych, a także do określania głębokości pęknięć, do kontroli otulenia kabli zaczynem cementowym w dźwigarach kablo-betonowych oraz w diagnostyce betonowych i żelbetonowych kolektorów kanalizacyjnych [1, 16, 20, 26, 30, 35].

Zalety metody to m.in.: prosty sposób badania i duża dokładność w zlokalizowaniu wady, natomiast wady: duża pracochłonność badań wynikająca z konieczności zachowania niewielkiej odległości między punktami pomiarowymi oraz brak możliwości oceny rozmiarów wad (np. pęknięć) wypełnionych wodą.

Metoda tomografii ultradźwiękowej to nowa ultradźwiękowa metoda bardzo przydatna w ocenie stanu technicznego elementów wykonanych z betonu i żelbetu, do badania dostępnych jednostronnie elementów w celu oceny ich grubości, wykrycia pęknięć, obcych wtrąceń, pustek powietrznych i miejsc, które mogą być puste albo wypełnione cieczą lub materiałem różniącym się gęstością od otaczającego go betonu, jak również mającego inne właściwości fizyczne i mechaniczne [13, 20, 22].

Zalety metody: możliwość badania elementów grubości do 250 mm i powierzchni o dużym stopniu „nierówności”; szybki sposób badania. Wadą jest natomiast trudność, w niektórych sytuacjach, jednoznacznej interpretacji uzyskanych rezultatów wynikająca m.in. z niewielkiego doświadczenia badacza.

Metoda radarowa w skrócie GPR (*Ground Penetrating Radar*), przeznaczona jest do oceny stanu technicznego dostępnych jednostronnie elementów betonowych i żelbetonowych, szczególnie płytowych, do wykrywania lub określania grubości, rozwarstwień, dużych pustek powietrznych, rozległych wad, usytuowania prętów zbrojeniowych. Z doniesień li-

teraturowych wynika, że ta metoda przydatna jest także do oceny wilgotności betonu [6, 11, 12, 20, 25]. Jej zaletą jest możliwość szybkiego badania elementów o dużej powierzchni, natomiast wadą mała dokładność określenia średnicy zbrojenia i grubości otuliny betonowej.

Metody badania korozji zbrojenia stosowane m.in. w przypadku elementów żelbetonowych, w tym maszynowych. Zaletą metody jest możliwość szybkiego wykonania badań, natomiast wadą dość skomplikowana procedura interpretacji wyników.

Metoda termowizyjna, czyli termografia w podczerwieni, jest przydatna m.in. do oceny poprawności doboru izolacji cieplnej przegród budowlanych, wskazania miejsc nieciągłości lub braku izolacji cieplnej (mostki cieplne), lokalizacji rozszczelnionych zespolonych zestawów sztabowych w elewacjach budynków, pomiaru wartości temperatury na powierzchni przegrody oraz wskazania obszaru jej występowania. Dzięki bardzo znacznej miniaturyzacji aparatury metoda ta stała się przydatna również do: wykrywania fragmentów zawilgoconych przegród, lokalizacji awarii rur wodnych przebiegających w murach i w posadzkach, badania stanu technicznego kominów i kanałów odprowadzających spaliny, lokalizacji uszkodzeń i oceny jakości izolacji cieplnej w sieciach grzewczych i wodociągowych, lokalizacji podziemnych sieci ciepłowniczych i energetycznych [29].

Metody do oceny wilgotności [17 – 19] są bardzo różne i dobierane w zależności od warunków pomiarowych. Każda z metod ma zalety, wady oraz uwarunkowania pozwalające na zastosowanie jej tylko w danych okolicznościach.

Przykłady zastosowania

W artykule przedstawimy dwa przykłady pokazujące konieczność i zasadność zastosowania niektórych z omówionych metod badawczych w celu rzetelnej oceny obiektów budowlanych po rocznej eksploatacji.

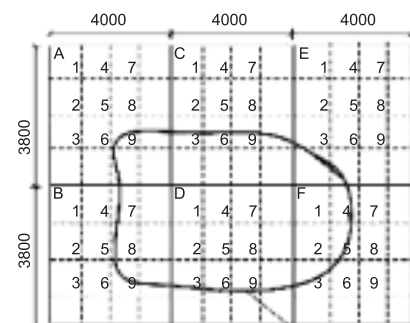
Ocena posadzki budynku parkingowego. W wyniku pierwszego rocznego przeglądu, dokonywanego w okresie zimowym, stwierdzono w trakcie oceny wizualnej uszkodzenia posadzki, m.in. pęknięcia (fotografia 2) i podnoszenie się niektórych naroży pól. Podczas przejazdu samochodów obserwowano w tych miejscach oznaki świadczące o klawiszowaniu posadzki. Po stopieniu śniegu wwożonego na kołach samochodów



Fot. 2. Przykładowy widok pęknięcia powstałego w posadzce
Fot. Autorzy

w pęknięcia wnikała woda. Przejazdy samochodów powodowały, że woda była również wyciskana z pęknięć na powierzchnię posadzki, aby z powrotem wnikać w rysy. Pojawiło się więc uzasadnione podejrzenie istnienia w posadzce „delaminacji”, tzn. obszarów, w których nie ma przyczepności na styku warstwy wierzchniej i podkładu. W celu ustalenia przyczyn powstania pęknięć wykonujący przegląd zalecił wykonanie szczegółowych badań, podczas których zastosowano metody akustyczne odpowiedzi na impuls i impulsu elektrostatycznego [21]. Badaniom poddano posadzkę betonową grubości 55 mm. Na najniższym poziomie garażu warstwa ta została ułożona na betonowej płycie fundamentowej grubości 850 mm, a na wyższych poziomach na płycie żelbetonowej grubości 250 mm pełniącej rolę stropu.

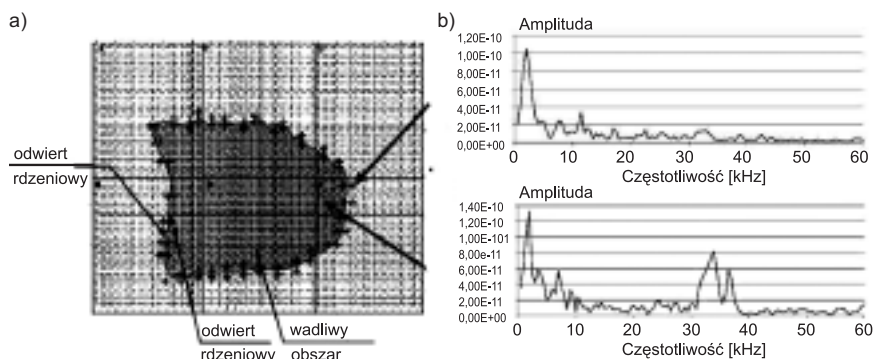
Zgodnie z opracowaną metodyką badań [21], w pierwszej kolejności przeprowadzono badania całej powierzchni posadzki metodą odpowiedzi na impuls. W artykule przedstawiono jedynie ich fragment, obejmujący 6 pól oznaczonych literami A-E, każde o wymiarach 3800 x 4000 mm (rysunek 3), położony na najniższym poziomie garażu. Naniesiono punkty pomiarowe na siatce o boku od 800 do 1000 mm. W każdym z tych punktów dokonano wzbudzenia fali sprę-



Rys. 3. Naniiesiona numeracja pól i rozmieszczenie punktów pomiarowych do metody odpowiedzi na impuls

żystej. Na podstawie analizy otrzymanych wyników zgrubnie zlokalizowano obszar wadliwy.

Następnie przeprowadzono badania metodą impulsu elektrostatycznego. W badanym obszarze rozplanowano siatkę punktów pomiarowych w rozstawie 100 x 100 mm, tak jak pokazano to na rysunku 4a. W punktach pomiarowych przyległych do zgrubnie zlokalizowanej granicy obszaru wadliwego dokonano wzbudzenia fali sprężystej. Następnie, korzystając ze specjalistycznego oprogramowania, dokonano przekształcenia sygnałów tak, aby otrzymać widmo amplitudowo-częstotliwościowe zarejestrowanej fali sprężystej, przedstawione przykładowo na rysunku 4b. Dokonując analizy otrzymanych wyników, wyznaczono dokładnie wadliwy obszar posadzki.



Rys. 4. Widok wadliwego obszaru posadzki badanego metodą impulsu elektrostatycznego [21]: a) badania w rejonie granic obszaru wadliwego, b) przykładowe widmo amplitudowo-częstotliwościowe fali sprężystej uzyskane poza obszarem wadliwym (rysunek u góry) i w obszarze wadliwym (rysunek dolny)

Stwierdzono, że zaniechanie lub niezetelne wykonanie przeglądu nowego budynku po rocznej eksploatacji, jak również niewykonanie zalecanych przez wykonującego przegląd szczegółowych badań, mogło doprowadzić do powstania znacznie bardziej rozległych uszkodzeń posadzki, istotnego obniżenia jej trwałości oraz utraty przydatności do dalszego bezpiecznego użytkowania.

Ocena stanu technicznego płyty fundamentowej w budynku biurowym. W wyniku przeglądu rocznego budynku biurowego stwierdzono obecność wody w kondygnacji podziemnej na posadzce położonej na żelbetowej płycie fundamentowej grubości 0,80 m. Płytę posadowiono 3 m poniżej zwierciadła wody gruntowej, a na niej ściany zewnętrzne i słupy nośne. Część podziemna budynku została zabezpieczona, przed wodą gruntową, izolacją przeciwwodną, ułożoną pod płytą fundamentową i na zewnętrz-

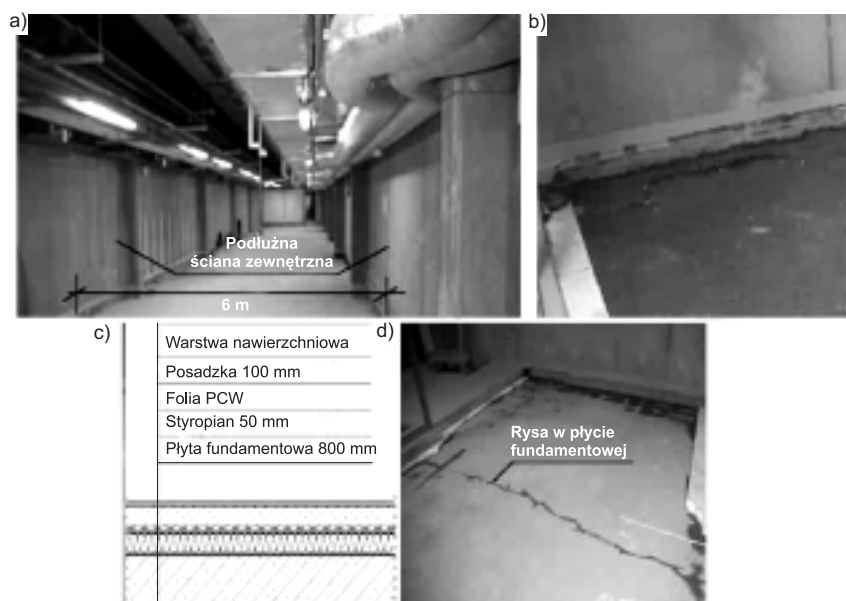
nej powierzchni ścian zewnętrznych. Styki płyty i ścian zabezpieczono specjalnymi taśmami uszczelniającymi. Na górnej powierzchni płyty fundamentowej ułożono warstwy wykończeniowe w postaci styropianu grubości 0,05 m, folii PCW, posadzki betonowej grubości ok. 0,10 m, a na niej antypoślizgową epoksydową warstwę nawierzchniową. Woda była obecna w jednym z dużych pomieszczeń (fotografia 3) długości 100 m i szerokości 6 m.

Oceniający zaobserwował, że wycieki wody mają miejsce na styku posadzki betonowej ze ścianami podłużnymi. W celu ustalenia przyczyny wycieku zalecił przeprowadzenie szczegółowych badań. Wykonano odkrywkę obejmującą całą szerokość pomieszczenia (6 m) i długość (3 m). Po usunięciu warstw wykoń-

zeniowych (fotografia 3) oraz wody i szybkim intensywnym osuszeniu powierzchni płyty fundamentowej na całej długości odkrywki (3 m), w okolicy środka rozpiętości płyty ujawniła się rysa w betonie o rozwarciu ok. 1,0 mm, z której wysączała się woda. W celu ustalenia długości rysy wykonano (w „linii” rysy) pasmową odkrywkę płyty fundamentowej o szerokości ok. 1 m na całej długości pomieszczenia. W ten sposób stwierdzono, że rysa w płycie fundamentowej biegnie na długości ok. 50 m. Stało się więc więc jasne, że przecieki wody nastąpiły wskutek pęknięcia płyty fundamentowej. Po tych ustaleniach pojawiło się pytanie, dlaczego doszło do pęknięcia elementu konstrukcyjnego na tak znacznej długości. Aby uzyskać odpowiedź, wykonujący badania szczegółowe zbadał pękniętą płytę metodą tomografii ultradźwiękowej.

Na podstawie analizy uzyskanych zbrazowań ustalono, że grubość płyty fundamentowej w strefie środkowej szerokości ok. 4 m wynosi ok. 0,40 m zamiast 0,80 m zgodnie z projektem. Pocienienia płyty dokonano na etapie wykonawczym. To istotne odstępstwo od projektu zaskutkowało pęknięciem płyty i w konsekwencji przeciekiem wody do wnętrza ocenianego budynku.

W przypadku gdyby dokonujący przeglądu rocznego budynku nie zalecił wykonania badań szczegółowych, w wyniku których zaszła konieczność wzmoc-



Fot. 3. Widok pomieszczenia i lokalizacja odkrywki w posadzce [20, 22]: a) widok ogólny; b) zbliżenie zawilgoconej posadzki; c) przekrój poprzeczny przez warstwy posadzki; d) widok odkrywki

Fot. Autorzy

nienia uszkodzonej płyty fundamentowej, nastąpiłoby z pewnością istotne obniżenie trwałości fundamentu i w konsekwencji zagrożenie bezpieczeństwa użytkowania budynku.

Abstract

The paper deals with diagnostic methods helpful in conducting surveys of building structures aimed at evaluating their usability. Attention is drawn to the fact that diagnostic methods need to be used as part of such surveys since they increase the reliability and quality of the evaluation made. A concise survey, classification and description of selected diagnostic methods are presented. The focus is on the state-of-the-art nondestructive methods highly suitable for the purpose. Examples of their practical application are provided. It is emphasized that the current development of test methods is oriented towards the evaluation of other than strength characteristics of members and structures. It is pointed out that this development clearly tends towards the design of equipment enabling one to obtain precise images of the "inside" of the investigated member. Owing to this the workmanship of the particular members of a building structure and of the whole structure can be more fully evaluated, which is great consequence for their durability.

Literatura

- [1] American Concrete Institute Report 228.2R-98. *Nondestructive Test Methods for Evaluation of Concrete in Structures*. ACI. Farmington Hills, 1998.
- [2] Beutel R., Reinhardt H., Grosse C., A. Glaubitt, Krause M., Maierhofer C., Algernon D., Wiggenhauser H., Schickert M. *Comparative performance tests and validation of NDT methods for concrete testing*. Journal of Nondestructive Evaluation. Vol. 27, No. 1-3, 2008.
- [3] Brunarski L., Runkiewicz L., *Podstawy i przykłady stosowania metod nieniszczących w badaniach konstrukcji z betonu*. ITB, Warszawa, 1983.
- [4] Budownictwo betonowe. Tom VIII. *Badania materiałów, elementów i konstrukcji*. Arkady, Warszawa, 1970.
- [5] Bungey J., Millard S., Gratham M.: *Testing of concrete in structures*. Taylor & Francis, London and New York, 2006.
- [6] Carino N. J.: *Nondestructive test methods, Concrete Construction Engineering Handbook*, CRC Press, 1999.
- [7] Czarnecki L., Emmons P. H.: *Naprawa i ochrona konstrukcji betonowych*, Polski Cement. Kraków 2002.
- [8] Davis A. G., Hertlein B. H., Lim M. K., Michols K.: *Impact-echo and impulse response stress wave methods: advantages and limitations for the evaluation of highway pavement concrete overlays*, Proc. Conference on Non-destructive Evaluation of Bridges and Highways, 1996.
- [9] Davis A. G., Hertlein B. H.: *Nondestructive testing of concrete pavement slabs and floors with the transient dynamic response method*. Proc Int Conf Struct Faults Repair, London, 1987.
- [10] Davis A. G.: *The non-destructive impulse response test in North America: 1985 – 2001*, Vol. 36, NDT&E International. 2003.
- [11] Drobiec Ł., Jasiński R., Piekarczyk A.: *Diagnostyka konstrukcji żelbetowych. Metodologia, badania polowe, badania laboratoryjne betonu i stali*, t. 1, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2010.
- [12] Garbacz A.: *Nieniszczące badania betonopodobnych kompozytów polimerowych za pomocą fal sprężystych – ocena skuteczności napraw*. Prace naukowe. Budownictwo z. 147, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, 2007.
- [13] Gorzelańczyk T., Hoła J., Schabowicz K.: *Nondestructive tests aimed at determining the thickness of the concrete shell of a heat pipe carrying tunnel*. 18th World Conference on Nondestructive Testing, Durban, RPA, 2012.
- [14] Gwiżdżała K.: *Kontrola nośności i jakości pali fundamentowych*. Geoinżynieria i Tunelowanie nr 01, 2004.
- [15] Hertlein B. H., Davis A. G.: *Fall Convention Locating concrete consolidation problems using the nondestructive impulse response test*. ACI, 1998.
- [16] Hoła J., Schabowicz K.: *Nondestructive elastic-wave tests of post-tensioned concrete girders in road bridge*. 17th World Conference on Nondestructive Testing, Shanghai, China, 2008.
- [17] Hoła J., Matkowski Z., Schabowicz K. i in.: *New method of investigation of rising damp in brick walls by means of impedance tomography*. 17th World Conference on Nondestructive Testing, Shanghai, China, 2008.
- [18] Hoła J., Matkowski Z.: *Wybrane problemy dotyczące zabezpieczeń przeciwwilgociowych ścian w istniejących obiektach murowanych*. Awarie budowlane, XXIV Konferencja naukowo-techniczna, Międzyzdroje, 2009.
- [19] Hoła J., Sikora J., i in.: *New tomographic method of brickwork damp identification*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław, 2010.
- [20] Hoła J., Schabowicz K.: *Nieniszcząca diagnostyka obiektów budowlanych: przegląd wybranych najnowszych metod z przykładami zastosowań*. 56 Konferencja Naukowa Komitetu Inżynierii Lądowej i Wodnej PAN i Komitetu Nauki PZITB, Krynica, Wydawnictwo Politechniki Świętokrzyskiej, 2010.
- [21] Hoła J., Sadowski Ł., Schabowicz K.: *Non-destructive identification of delaminations in concrete floor toppings with acoustic methods*. *Automation in Construction*. 2011, vol. 20, nr 7.
- [22] Hoła J., Schabowicz K.: *Nondestructive elastic-wave tests of foundation slab in office building*. *Materials Transactions*. 2012, Vol. 53, nr 2.
- [23] Jerga J., Pokorny M.: *Damage detection of concrete by nonlinear acoustic testing methods*. Civil and Environmental Engineering. Vol. 3, No. 1, 2007.
- [24] Łakomy T.: *Rozprawa doktorska, Korozja zbrojenia w obiektach mostowych w zależności od stanu betonu w konstrukcji*, Wydział Inżynierii Lądowej Politechniki Warszawskiej, Warszawa, 2009.
- [25] Lewińska-Romicka A.: *Badania nieniszczące*. WNT, Warszawa, 2001.
- [26] Madryas C., Moczko A., Wysocki L.: *Utilizing the Impact-Echo method for nondestructive diagnostics of atypical located pipeline*, Underground Infrastructure of urban areas, Balkema, Taylor&Francis Group, London 2009.
- [27] Malhotr V. M., Carino N. J., *Handbook on nondestructive testing of concrete*, CRC Press, 2004.
- [28] Millard S. G., Law D., Bungey J. H., Cairns J.: *Environmental influences on linear polarisation corrosion rate measurements in reinforced concrete*. NDT&E International Vol. 3, 2001.
- [29] Nowak H.: *Zastosowanie badań termowizyjnych w budownictwie*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław, 2012.
- [30] Petersen C. G., Davis A., Delahaza A.: *Impact-echo testing of steel cable ducts for injection grouting quality*. Symposium Non-Destructive Testing in Civil Engineering. NDT-CE, Berlin, 2003.
- [31] Piekarczyk A., Drobiec Ł., Jasiński R.: *Wykrywanie wad wewnętrznych w konstrukcjach żelbetowych*. Inżynier budownictwa, nr 4, 2010, 48-52.
- [32] Rucka M., Wilde K.: *Application of continuous wavelet transform in vibration based damage detection method for beams and plates*. Journal of Sound and Vibration, Vol. 297, 2006.
- [33] Runkiewicz L.: *Badania konstrukcji żelbetowych*, Biuro Gamma, Warszawa, 2002.
- [34] Runkiewicz L.: *Wzmacnianie konstrukcji żelbetowych*, ITB, Warszawa, 2011.
- [35] Sansalone M., Streett W.: *Impact-echo: Nondestructive Evaluation of Concrete and Masonry*, Bullbrier Press, Ithaca, 1997.
- [36] Ustawa z 7 lipca 1994 r. Prawo budowlane (Dz.U. z 2010 r. nr 243, poz. 1623 z późn. zm.).
- [37] Zybura A., Jaśniok M., Jaśniok T.: *Diagnostyka konstrukcji żelbetowych. Tom 2. Badania korozji zbrojenia i właściwości ochronnych betonu*, Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2011.
- [38] Materiały informacyjne ze strony <http://www.3deling.pl>.
- [39] Materiały informacyjne ze strony <http://www.olimus-ims.com>.
- [40] Materiały informacyjne ze strony <http://www.lerm.fr> (materiał opublikowany w: Bouteiller V., Cremona Ch. i in. Degradation par corrosion des ouvrages en beton arme: de la comprehension des phenomenes a la surveillance des ouvrages, Routes-Roads 2012, No. 355, 60 – 67).
- [41] Norma PN-EN 1992-1-1 Eurokod 2. Część 1-1. Reguły ogólne i reguły dla budynków.