

prof. dr hab. inż. Jerzy Hoła<sup>1\*)</sup>  
dr inż. Krzysztof Schabowicz<sup>1)</sup>

# Diagnostyka obiektów budowlanych

*Diagnostics of civil structures*

DOI: 10.15199/33.2015.05.01

**Streszczenie.** Artykuł odnosi się do zagadnień dotyczących diagnostyki obiektów budowlanych wykonywanej nie tylko w trakcie ich użytkowania, ale również podczas wznoszenia. Dokonano podziału oraz syntetycznego przeglądu i opisu wybranych metod. Dużą uwagę zwrócono przede wszystkim na przydatne do tego celu najnowsze metody nieniszczące i seminieniszczące. Podkreślono, że aktualnie rozwój metod badawczych jest ukierunkowany na ocenę w elementach i konstrukcjach innych cech niż wytrzymałość. Zauważono, że rozwój ten postępuje wyraźnie w kierunku konstruowania aparatury pozwalającej otrzymywać precyzyjne obrazy „wnętrza” badanego elementu. Umożliwia to m.in. pełniejszą ocenę jakości wykonania poszczególnych elementów obiektu i jego konstrukcji, także przy wykorzystaniu systemów bezprzewodowych.

**Słowa kluczowe:** obiekty budowlane, diagnostyka, metody badawcze, metody niszczące, metody seminieniszczące.

**Abstract.** This paper presents a review of test methods for diagnosing civil structures. Diagrams and tables showing the classification of the methods are included. The most interesting of the methods are described. A special focus is on the latest nondestructive and seminondestructive methods. Attention is also drawn to the fact that today the development of test methods is oriented towards the evaluation of the characteristics of structures and structural components other than strength. The following trends are apparent: the development of equipment enabling one to obtain an accurate image of the inside of the tested element, the use of wireless systems and the automation of measurements. An extensive survey of the literature on the subject, which researchers and experts in the diagnostics of civil structures may find useful, is included.

**Keywords:** civil structures, diagnostics, test methods, nondestructive methods, seminondestructive methods.

Obiekty budowlane wymagają diagnostyki nie tylko w trakcie ich użytkowania, ale również podczas wznoszenia. Do tego celu przydatnych może być wiele metod badawczych, które można podzielić na niszczące i nieniszczące [1 + 10]. W literaturze wyróżnia się ponadto metody seminieniszczące [7]. Badaniom niszczącym są poddawane przede wszystkim próbki pobierane z obiektu, sporadycznie całe elementy. Zarówno jedne, jak i drugie w trakcie badania ulegają zniszczeniu. Badaniom seminieniszczącym poddaje się próbki oraz elementy i konstrukcje w skali naturalnej. Podczas tych badań następuje niewielka, lokalna i zazwyczaj przypowierzchniowa, ingerencja w strukturę materiału wbudowanego w badany element [23, 28]. Natomiast w badaniach niszczących nie dochodzi do takiej ingerencji. Można więc tym badaniom poddawać próbki, elementy i konstrukcje w skali naturalnej wielokrotnie i w różnym czasie. Dzięki temu te metody są szczególnie przydatne na użytek diagnostyki [7, 11, 12].

W artykule omówiono nieniszczące metody badawcze przydatne w diagnostyce elementów, konstrukcji i obiektów budowlanych.

## Metody nieniszczące

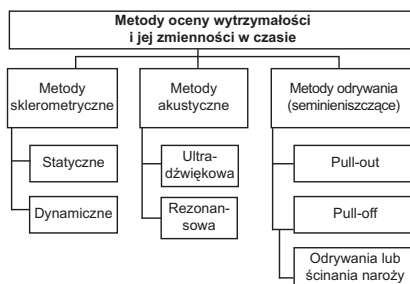
Na rysunku 1 zamieszczono metody nieniszczącej oceny wytrzymałości i jej zmienności w czasie przydatne w diagnostyce obiektów budowlanych m.in. za [5, 7, 11], na rysunku 2 podział metod do oceny innych cech niż wytrzymałość, a na rysunku 3 ogólną klasyfikację metod seminieniszczących. W tabeli 1 podano podstawowe metody i parametry oceniane metodami seminieniszczącymi, natomiast w tabeli 2 krótko scharakteryzowano kilka przykładowo wybranych nienisz-

czących metod badawczych. Metody te służą do badania elementów i konstrukcji betonowych oraz żelbetowych, w tym płyt fundamentowych, posadzek, posadzek przemysłowych, płyt stropowych, słupów, belek, elementów murowych, drewnianych itp.

**Metody stosowane do oceny wizualnej** są najprostszymi metodami badania obiektów budowlanych. Należą do nich zwykłe oględziny wzrokowe (okiem nieuzbrojonym) oraz badania wizualne. Metodę wzrokową stosuje się najczęściej podczas wykonywania corocznych przeglądów. Dzięki niej można ocenić stan techniczny obiektu budowlanego, np. stwierdzić występowanie znacznych deformacji, pęknięć i rys o dużych wymiarach itp.

Metody wizualne zalecane są podczas wykonywania pięcioletnich przeglądów obiektów budowlanych. Umożliwiają one lokalizację nieciągłości powierzchniowych, pozwalają na kontrolę miejsc konstrukcji dostępnych dla wzroku, jak i niedostępnych do obserwacji bezpośredniej. Dzięki tym badaniom możliwe jest wykrywanie m.in. pęknięć i rys o niewielkich wymiarach. Istnieją dwie zasadnicze grupy metod wizualnych:

- bezpośrednie – badana powierzchnia jest bezpośrednio dostępna do oględzin, a wykonanie badania nie wymaga



**Rys. 1. Metody nieniszczące przydatne do oceny cech wytrzymałościowych i ich zmienności w czasie**

*Fig. 1. Nondestructive methods useful for evaluating strength characteristics and their variation over time*

<sup>1)</sup> Politechnika Wroclawska, Wydział Budownictwa Lądowego i Wodnego

<sup>\*)</sup> Autor do korespondencji: jerzy.hola@pwr.edu.pl

użycia specjalnych przyrządów; używane są np. lupy;

- pośrednie – badania optyczne; badana powierzchnia nie jest dostępna bezpośrednio do oględzin, do badania wykorzystywane są endoskopy, wideoskopy, peryskopy.

Szczególnym przypadkiem metod wizualnych pośrednich jest skanowanie

laserowe 3D. Porównując komputerowe modele 3D zinventaryzowanego obiektu, jego części lub pojedynczych elementów konstrukcji, wykonane w dowolnych odstępach czasu (np. pięcioletnich), możliwa jest ocena postępujących deformacji obiektu jako całości lub poszczególnych jego fragmentów. Skanowanie laserowe jest szczególnie przy-

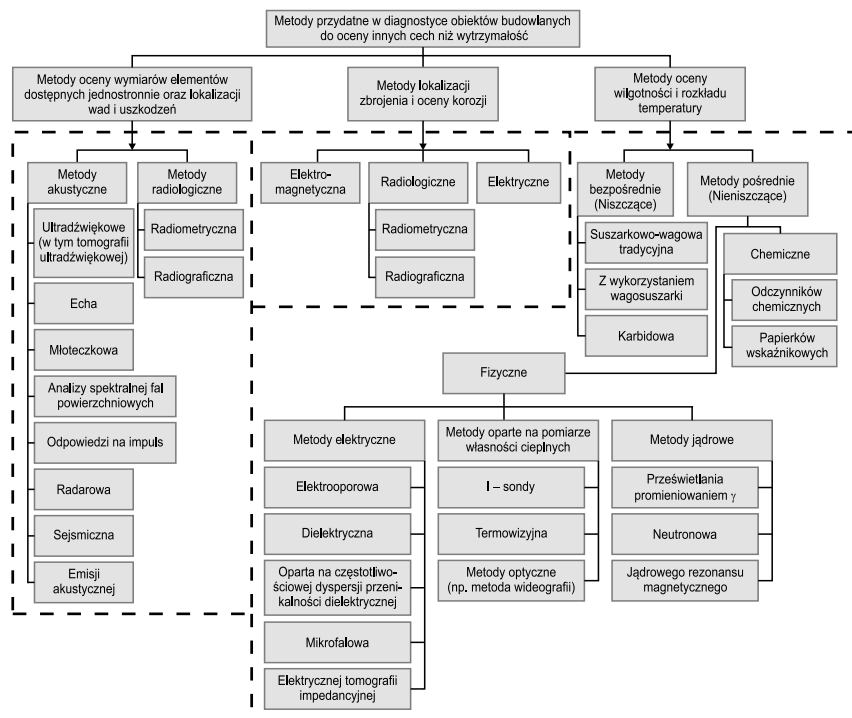
żystej, rozprzestrzeniającej się w badanym elemencie, w układzie amplituda-czas, a następnie przekształcenie tego obrazu w widmo amplitudowo-częstotliwościowe za pomocą szybkiej transformaty Fouriera. Widmo to podlega dalszej analizie.

Do zalet metody należy prosty sposób badania, bez konieczności stosowania środka sprzęgającego głowicę pomiarową z powierzchnią i duża dokładność. Natomiast wady metody to: pracochłonność badań wynikająca z konieczności zachowania niewielkich odległości między punktami pomiarowymi oraz brak możliwości oceny rozmiarów niektórych wad, np. pęknięć wypełnionych wodą.

**Metoda tomografii ultradźwiękowej** jest przydatna przede wszystkim do badania dostępnych jednostronnie elementów z betonu, żelbetu, muru w celu określenia ich grubości, wykrycia pęknięć, obcych wtrąceń, pustek powietrznych i miejsc, które mogą być albo puste, albo wypełnione cieczą lub materiałem różniącym się gęstością od otaczającego go materiału, jak również mającego inne fizyczne i mechaniczne właściwości [6, 9, 10, 12, 15 – 17, 20]. Metoda ta bazuje na wzbudzeniu fali sprężystej w badanym elemencie. Nie jest w niej wymagane stosowanie środka „sprzęgającego” powierzchnię badanego elementu z głowicami ultradźwiękowymi. Stosowany jest suchy styk (dry point contact). Zaletą jest także szybki sposób badania, natomiast wadą trudność interpretacji uzyskanych rezultatów wynikająca z niewielkiego jeszcze doświadczenia badacza oraz to, że minimalny wymiar (szerokość) badanego elementu powinien wynosić 500 mm.

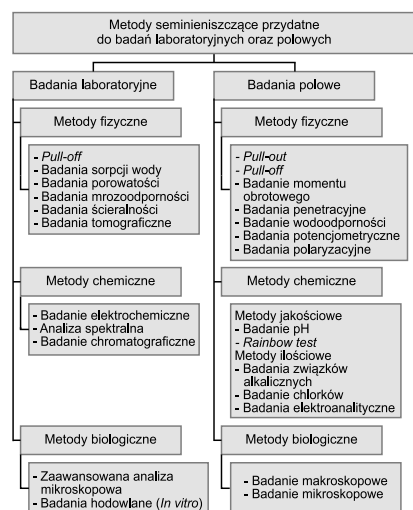
**Metoda radarowa** w skrócie GPR (Ground Penetrating Radar), wykorzystywana jest do określania i wykrywania grubości, rozwarstwień, dużych pustek powietrznych, rozległych wad, prętów zbrojeniowych w dostępnych jednostronnie betonowych i żelbetowych elementach, zwłaszcza płytowych. Z doniesień literaturowych wynika, że jest ona przydatna także do oceny wilgotności betonu [5, 11, 21].

Zaletą tej metody jest możliwość szybkiego badania elementów o dużych powierzchniach, natomiast wadą mała dokładność w określeniu średnicy zbrojenia i grubości otuliny betonowej.



Rys. 2. Metody niszczące przydatne w diagnostyce obiektów budowlanych do oceny innych cech niż wytrzymałość

Fig. 2. Nondestructive methods useful for evaluating other characteristics than strength in diagnostics of civil structures



Rys. 3. Ogólna klasyfikacja metod seminiszczących przydatnych do badań laboratoryjnych oraz polowych [12]

Fig. 3. General classification of seminon-destructive methods useful for laboratory and field tests [12]

datne i polecane do stosowania w przypadku obiektów budowlanych o dużym znaczeniu historycznym lub szczególnie ważnych, albo o konstrukcji trudno dostępnej do oceny, zlokalizowanych np. na terenach narażonych na wpływy parasejsmiczne, drgania powodowane ruchem komunikacyjnym itp.

**Metoda młoteczkowa** (ang. *impact-echo*) przydatna jest m.in. do określania w obiektach budowlanych grubości płyt fundamentowych betonowych i żelbetowych dostępnych jednostronnie, do wykrywania defektów w takich płytach oraz w posadzkach. Bazuje ona na wzbudzeniu w badanym elemencie fali sprężystej przez uderzenie w jego powierzchnię wzbudnikiem w postaci kulki stalowej. Częstotliwość wygenerowanych drgań zależy od średnicy kulki i wynosi od ok. 10 kHz do 150 kHz. Specjalistyczne oprogramowanie umożliwia zapis graficznego obrazu fali spręż-

**Tabela 1. Podstawowe metody badań stosowane w diagnostyce obiektów budowlanych, z przyporządkowaniem ocenianej cechy [13]**

Table 1. Principal test methods used in diagnosis of civil structures, with assigned evaluated characteristics [13]

Metody badań		Geometria			Właściwości materiału					Uszkodzenia			
		Ocena wymiarów elementów	Ocena wiązania muru	Ocena grubości powłok ochronnych	Ustalenie rodzaju materiału	Ocena wytrzymałości	Ocena porowatości	Ocena mrozoodporności	Ocena wilgotności	Badanie składu chemicznego	Ocena deformacji	Ocena destrukcji materiału	Ocena ubytków materiału
Fizyczne	Metoda oceny wizualnej	□	■		■				□	■	□	■	■
	Metoda laserowa	■								■			
	Metoda termowizyjna							■			■		
	Metoda młoteczkowa	■	■							■	■	■	■
	Metoda ultradźwiękowa	■	■		■						■	■	■
	Metoda radarowa	■									□	■	■
	Pomiary potencjału elektrycznego				□				□		□		
	Pomiary oporności elektrycznej				□				□		□		
	Bezpośrednie pomiary geometryczne	■	■	■						■	□	■	■
	Metoda sklerometryczna					■					□		
	Polowe metody badań cech fizycznych				□						□		
	Laboratoryjne metody badań cech fizycznych				■	■	■	■	■	■	■	■	■
Chemiczne	Metody jakościowej analizy chemicznej				□				□		□		
	Metody ilościowej analizy chemicznej				■				■	■			
Biologiczne	Metody makroskopowe										■		
	Metody mikroskopowe										■		
	Metody hodowlane	□									□		

Oznaczenia: ■ – podstawowa metoda badań, □ – dodatkowa metoda badań

**Metody sklerometryczne** pozwalają m.in. na ocenę twardości, wytrzymałości na ściskanie betonu i elementów murew wbudowanych w elementy konstrukcyjne oraz jednorodności rozkładu wytrzymałości w elementach betonowych, murowych i w tynkach [14]. W praktyce diagnostycznej dominuje obecnie technika dynamiczna, a powszechnie stosowanym urządzeniem są sklerometry Schmidta. Stosując tę metodę w celu określenia wytrzymałości na ściskanie materiałów wbudowanych w daną konstrukcję, konieczne jest opracowanie zależności korelacyjnej  $f_c-L$ , gdzie L jest parametrem (liczbą odbicia) mierzonym w tej metodzie.

**Metoda termowizyjna** jest przydatna m.in. do jakościowej oceny przegród budowlanych pod względem poprawno-

ści doboru izolacji cieplnej, wskazania miejsc nieciągłości lub braku izolacji cieplnej (mostki cieplne), lokalizacji rozszczelnionych zespolonych zestawów szybowych w elewacjach budynków, pomiaru wartości temperatury na powierzchni przegrody oraz wskazania obszaru jej występowania. Dzięki bardzo dużej miniaturyzacji aparatury metoda ta stała się przydatna również m.in. 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 wodociagowych [22].

**Metody do oceny wilgotności.** Nie ma jednej uniwersalnej metody oceny wilgot-

**Tabela 2. Wybrane metody nieniszczącej diagnostyki obiektów budowlanych**

Table 2. Selected methods of nondestructive diagnosis of civil structures

Metoda	Grupa metod	Mierzona wielkość fizyczna
Metody stosowane do oceny wizualnej	ocena wizualna	parametry geometrii
Metoda młoteczkowa (ang. <i>impact-echo</i> )	akustyczna	częstotliwość drgań
Metoda tomografii ultradźwiękowej	akustyczna	prędkość fal ultradźwiękowych
Metoda radarowa	elektromagnetyczna	strumień magnetyczny
Metody sklerometryczne	sklerometryczne	twardość
Metoda termowizyjna	pośrednie, fizyczne	właściwości cieplne
Metody przydatne do oceny wilgotności	elektryczne	stałe elektryczne

ności, która może być wykorzystana w różnych warunkach pomiarowych. Każda z metod ma zalety, wady i uwarunkowania pozwalające na zastosowanie jej tylko w danych okolicznościach. Badania wilgotności murów przeprowadza się, stosując metody bezpośrednie oraz pośrednie. Metodami bezpośrednimi, wymagającymi pobierania próbek materiału, są: **tradycyjna metoda suszarkowo-wagowa, metoda suszarkowo-wagowa z wykorzystaniem urządzenia zwanego wagosuszarką oraz metoda karbidowa**. Natomiast metodami pośrednimi, niewymagającymi pobierania próbek wilgotnego materiału, są metody nieniszczące.

W tabeli 3 przedstawiono nieniszczące metody badania wilgotności materiałów budowlanych wraz z parametrami mierzonymi tymi metodami. Nieniszcząca ocena wilgotności materiałów budowlanych polega na pośrednim określeniu jej wielkości przez pomiar innej cechy fizycznej bądź chemicznej wilgotnego materiału [14]. Spośród tego typu metod nieniszczących w praktyce najczęściej stosowane są **metody elektryczne**. Mierniki wykorzystywane w tych metodach wskazują bezpośrednio wilgotność masową materiału lub wielkość bezwymiarową, na podstawie której wyznacza się wilgotność za pomocą opracowanych zależności korelacyjnych, będących wynikiem „skalowania” mierników. Należy wziąć pod uwagę fakt, że na wskazanie miernika, poza zawartością wilgoci, wpływają czynniki takie jak



**Tabela 3. Nieniszczące metody badania wilgotności materiałów budowlanych i parametry określone tymi metodami [14]**
*Table 3. Nondestructive methods of testing moisture content of building materials and parameters measured by them [14]*

Rodzaj metody	Mierzony parametr
<b>METODY CHEMICZNE</b>	
Metoda odczynników chemicznych (metoda Fischera)	ilość odczynnika Fischera (jod, dwutlenek siarki, pirydyna, metanol) zużytego przy miareczkowaniu
Metoda papierków wskaźnikowych	zmiana zabarwienia papierka wskaźnikowego
Metoda karbidowa (CM)	ciśnienie $C_2H_2$ powstałego w reakcji $CaO_2$ z wodą zawartą w badanych materiałach
<b>METODY FIZYCZNE</b>	
Metody elektryczne	
Metoda opornościowa	opór elektryczny badanego ośrodka lub absorbenta wilgoci
Metoda dielektryczna	stała dielektryczna badanego ośrodka bądź absorbenta wilgoci
Metoda częstotliwościowej dyspersji przenikalności dielektrycznej	zmiana przenikalności dielektrycznej przy różnych częstotliwościach prądu
Metoda mikrofalowa	łtłumienie fali mikrofalowej
Metody oparte na pomiarach wielkości cieplnych	
Metoda $\lambda$ - sondy	zmiana przewodności cieplnej materiału pod wpływem zmiany zawilgocenia
Metoda termowizyjna	zmiana temperatury na powierzchni elementu pod wpływem zmiany zawilgocenia
Metody optyczne	
Metoda wideografii	analiza obrazów wykonanych w świetle widzialnym, w bliskiej podczerwieni, bliskim ultrafiolecie, luminescencji wzbudzonej
Metody jądrowe	
Metoda prześwietlania promieniowaniem $\gamma$	zmiana natężenia promieniowania $\gamma$
Metoda neutronowa	liczba spowolnionych neutronów po przejściu przez badany materiał
Metoda jądrowego rezonansu magnetycznego	szerokość lub amplituda krzywej pochłaniania energii zmiennego pola elektromagnetycznego przez jądra wodoru

np. rodzaj i stężenie soli. Z tego m.in. powodu mierniki stosowane w metodach elektrycznych powinny być „skalowane” bezpośrednio na badanym obiekcie, a nie w laboratorium [14, 23, 24].

Mankamentem niektórych metod elektrycznych i stosowanych w tej metodzie mierników jest brak możliwości precyzyjnego określenia obszaru muru, który odpowiedzialny jest za wskazanie miernika. O ile w miernikach opornościowych jest to stosunkowo proste do określenia, ponieważ przepływ prądu zachodzi między elektrodami, o tyle w miernikach dielektrycznych i mikrofalowych nie „widzimy” obszaru muru, który ma wpływ na wskazanie miernika.

W badaniach wilgotności murów jest obecnie brak aparatury pozwalającej na określenie przestrzennego rozkładu wilgotności na grubości muru, bez konieczności pobierania próbek. Wówczas „ob-

raz” rozkładu zawilgocenia wewnątrz muru mógłby być archiwizowany na nośniku informatycznym i porównywany z kolejnymi uzyskiwanymi w dowolnym czasie wynikami badań wilgotności. Byłaby więc możliwa m.in. kontrola jakości i skuteczności działania zabezpieczeń przeciwwilgociowych, a także skuteczności przyspieszonego osuszania szczególnie murów grubych, po wykonaniu w nich zabezpieczeń przeciwwilgociowych. Metodą nieniszczącą dającą takie możliwości jest **elektryczna tomografia impedancyjna** [14]. Zaletą tej metody jest możliwość ustalenia rozkładu wilgotności w objętości muru ceglanego, natomiast wadą brak aparatury produkowanej seryjnie.

### Metody seminieniszczące

Wśród laboratoryjnych metod fizycznych powszechnie stosowane są metody badania: wytrzymałości; sorpcji

wody; porowatości; mrozoodporności; ścieralności. Najnowocześniejsza w tej grupie jest **mikrotomografia komputerowa** [25]. Z kolei **spośród laboratoryjnych metod chemicznych na uwagę zasługuje test szybkiego przepuszczania chlorków** (*rapid chloride permeability test* – RCPT).

**Laboratoryjne metody biologiczne**, takie jak zaawansowana analiza mikroskopowa i metody hodowlane, oprócz identyfikacji typu organizmów żywych, mają na celu określenie sposobu ich oddziaływania na konstrukcje betonowe [26].

**Seminieniszczące metody polowe.** Spośród metod fizycznych do najpopularniejszych należą te, które umożliwiają ocenę parametrów wytrzymałościowych betonu, czy muru. Chodzi przede wszystkim o ocenę wytrzymałości na ściskanie  $f_c$ , na podstawie pomiaru siły wyrrywającej zabetonowanej uprzednio lub nawierconej kotwy z wykorzystaniem metod *pull-out* i *torque tests* oraz przyczepności na odrywanie  $f_o$ , z wykorzystaniem metody *pull-off*, polegającej na pomiarze siły odrywającej metalowy krążek od badanego podłoża. Metody fizyczne pozwalają również ocenić odporność betonu na penetrację soli chlorkowych (*penetration tests*) oraz jego wodoszczelność (*water resistance tests*). Wśród metod penetracyjnych na uwagę zasługują metody opisane szeroko w [27] i znormalizowane. Najczęściej stosowana jest, znana od lat sześćdziesiątych XX wieku, **metoda Windsor probe**, która pozwala oszacować parametry fizyczne betonu na bazie oceny głębokości penetracji skalibrowanej próbki nawierconej w betonie [28]. Nowszą wersją tej metody jest **metoda Pin Penetration Test** opracowana w latach osiemdziesiątych ub. wieku [29].

**Nieniszczące techniki elektrochemiczne**, przydatne przede wszystkim do oceny skorodowania zbrojenia w konstrukcjach żelbetowych, można podzielić na: potencjometryczne (*potentiometric technique*) [30]; opornościowe (*resistance technique*) [31] oraz liniowej polaryzacji (*linear polarization technique* – LPR) zgodnie z [32]. Metodą LPR, która w sposób bezpośredni może dać wiarygodny wynik, jest **metoda pomiaru natężenia prądu korozyjnego**. Aparatura stosowana w tej metodzie wymaga jednak bezpośredniego kontaktu ze stałą zbrojenią. Mankament ten niwelują metody pomiaru potencjału i rezystancji beto-

nowej otuliny, w tym **nieniszcząca metoda czterech punktów Wennera** [31, 33, 34].

Z kolei **metody chemiczne** pozwalają określić skład i parametry chemiczne betonu na podstawie analizy próbek materiału pobranych podczas badań w obiekcie. Najpopularniejsze techniki to: **pH test, rainbow tests i chloride tests**.

Prostym sposobem oceny stopnia skarbonatyzowania betonowej otuliny prętów zbrojeniowych jest pobranie betonu i oznaczenie wielkości pH za pomocą pehametru [35]. *Rainbow test* służy z kolei do oceny zasięgu procesu karbonatyzacji przypowierzchniowej warstwy betonu. Pomiar głębokości karbonatyzacji oraz określenie profilu rozkładu stopnia karbonatyzacji na głębokości badanego elementu ma zastosowanie przede wszystkim do oceny przyczyny korozji, określenia pozostałego czasu eksploatacji w sytuacji, gdy stopień korozji jest czynnikiem krytycznym, a także monitorowania efektywności procesu realkalizacji otuliny betonowej. Z kolei zestaw pomiarowy do oznaczania chlorków (*chloride test*) umożliwia określenie w prosty sposób, bezpośrednio w obiekcie, zawartości chlorków, głębokości penetracji oraz profilu ich rozkładu w przekroju elementu betonowego.

**Metody biologiczne** są stosowane w przypadku występowania organizmów żywych, takich jak bakterie, grzyby itp. lub rośliny. Do ich identyfikacji wykorzystywane są w badaniach terenowych techniki makro- i mikroskopowe [27].

## Podsumowanie

Od pewnego czasu działania twórców i konstruktorów koncentrują się na opracowywaniu nowych metod diagnostyki obiektów i budowie aparatury badawczej pozwalającej otrzymywać precyzyjne obrazy „wnętrza” betonowych, żelbetonowych i murowanych elementów budowlanych na wzór stosowanych w medycynie. Przykładem są sygnalizowane w artykule najnowsze metody, takie jak: tomografia ultradźwiękowa; tomografia impedancyjna i mikrotomografia komputerowa, umożliwiające bardzo dokładną kontrolę wykonania elementów i konstrukcji. Ponadto rozwój metod badawczych, w tym szczególnie nieniszczących, przydatnych inżynierom budownictwa do diagnostyki obiektów budowlanych zmierza m.in. w kierunku miniaturyzacji aparatury badawczej,

uproszczenia pomiarów przez ich automatyzację i stosowania systemów bezprzewodowych.

## Literatura

- [1] Bień J., Uszkodzenia i diagnostyka obiektów mostowych. Wydawnictwo Komunikacji i Łączności, Warszawa 2010.
- [2] Conyers, Lawrence B., and Goodman D., Ground-penetrating radar. AltaMira Press, 1997.
- [3] Czarnecki L., Emmons P., Naprawa i ochrona konstrukcji betonowych. Polski Cement, Kraków, 2002.
- [4] Davis A. G., The non-destructive impulse response test in North America: 1985-2001, Vol. 36, NDT&E International. 2003.
- [5] Garbacz, A., Courard, L., Bissonnette, B., A surface engineering approach applicable to concrete repair engineering. Bulletin of The Polish Academy of Sciences: Technical Sciences, Vol. 61, No. 1, 2013.
- [6] Gorzelańczyk T., Hoła J., Sadowski Ł., Schabowicz K., Methodology of nondestructive identification of defective concrete zones in unilaterally accessible massive members. Journal of Civil Engineering and Management, 19 (6) (2013) 775-786.
- [9] Schabowicz K., Suvorov V., Nondestructive testing and constructing profiles of back walls by means of ultrasonic tomography. Russian Journal of Nondestructive Testing, 50 (2) (2014).
- [10] Schabowicz K., Ultrasonic tomography – the latest nondestructive technique for testing concrete members – description, test methodology, application example. Archives of Civil and Mechanical Engineering, 14 (2) (2014) 295-303.
- [11] Drobiec Ł., Jasiński R., Piekarczyk A., Diagnostyka konstrukcji żelbetonowych. Metodologia, badania polowe, badania laboratoryjne betonu i stali, t. 1. Wydawnictwo Naukowe PWN, Warszawa 2010.
- [12] Hoła J., Bień J., Sadowski Ł., Schabowicz K., Non-destructive and minor-destructive diagnostics of concrete structures in assessment of their durability. Bulletin of the Polish Academy of Sciences, Technical Sciences, (1) 2014.
- [13] Sansalone M., Streett W.: Impact-echo: Nondestructive Evaluation of Concrete and Masonry. Bullbrier Press, Ithaca, 1997.
- [14] Hoła J., Sikora J., Filipowicz S., Matkowski Z., Nita K., Schabowicz K., Wójtowicz S., Biernat K., New tomographic method of brickwork damp identification: collective work. Wrocław: Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, 2010. 106 s.
- [15] Hoła J., Schabowicz K., Nondestructive elastic-wave tests of foundation slab in office building. Materials Transactions. 2012, Vol. 53, nr 2.
- [16] 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, X (3) (2010) 5-18.
- [17] Hoła J., Sadowski Ł., Schabowicz K., Nondestructive identification of delaminations in concrete floor toppings with acoustic methods. Automation in Construction, 20 (7), 2011, 799-807.
- [18] Santos, P., Julio, E., A state-of-the-art review on roughness quantification methods for concrete surfaces. Construction and Building Materials, 38 (2013), pp. 912-923.

[19] Schabowicz K., Methodology for non-destructive identification of thickness of unilaterally accessible concrete elements by means of state-of-the-art acoustic techniques. Journal of Civil Engineering and Management, 19 (3) (2013) 325-334.

[20] Schabowicz K., Modern acoustic techniques for testing concrete structures accessible from one side only. Archives of Civil and Mechanical Engineering, DOI: 10.1016/j.acme.2014.10.001.

[21] Malhotra, V.M., & Carino, N.J. (Eds.), Handbook on nondestructive testing of concrete. CRC Press, 2004.

[22] Nowak H., Zastosowanie badań termowizyjnych w budownictwie. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wrocławskiej, Wrocław, 2012.

[23] Pala A., Badania wilgotności zasolonej cegły ceramicznej nieniszcząca metodą dielektryczną. Materiały Budowlane 10, 2014.

[24] Pala A., Hoła J., Badania wilgotności zasolonej cegły ceramicznej nieniszcząca metodą opornościową. Materiały Budowlane 7, 2013.

[25] Lu S., Landis E. N., Keane D. T., X-ray microtomographic studies of pore structure and permeability in Portland cement concrete. Materials and Structures, 2006, Vol. 39, pp. 611-620.

[26] El-Reedy, Mohamed., Advanced materials and techniques for reinforced concrete structures. CRC Press, 2010.

[27] Verbeck, G. J., Field and laboratory studies of the sulphate resistance of concrete. Portland Cement Association. Research and Development Laboratories 1967.

[28] Malhotra, V. M., Preliminary Evaluation of Windsor Probe Equipment for Estimating the Compressive Strength of Concrete. Mines Branch Investigation Rep. IR 71-1, Department of Energy, Mines and Resources, Ottawa, December 1970.

[29] Nasser, K. W. and Al-Manaseer, A., New non-destructive test for removal of concrete forms. Concr. Int. ACI, 9 (1), 41, 1987.

[30] De Marco, R., Clarke, G., and Pejčić, B., Ion-Selective Electrode Potentiometry in Environmental Analysis. Electroanalysis, 19 (19-20) 2007, 1987-2001.

[31] Angst, U. M., & Elsener, B., On the Applicability of the Wenner Method for Resistivity Measurements of Concrete. ACI Materials Journal, 111, 2014 (1-6).

[32] Monteiro J. M., Morrison F., Frangos W., Nondestructive measurement of corrosion state reinforcing steel in concrete. ACI Materials Journal/ November-December 1998.

[33] Gowers K. R., Millard S. G., Measurement of concrete resistivity for assessment corrosion severity of steel using Wenner technique. ACI Materials Journal/September – October 1999.

[34] Millard S. G., Harrison J. A., Edwards A. J., Measurement of the electrical resistivity of reinforced concrete structures for the assessment of corrosion risk. ACI Materials Journal 1989.

[35] Grubb, J. A.; Limaye, H. S.; and Kakade, A. M., Testing pH of Concrete. Concrete International, V. 29, No. 4, Apr. 2007, pp. 78-83.

[36] Książek, M., Biological corrosion of the sandstone of the quay of the river of Odra in Wrocław. Engineering Failure Analysis, 44, 2014, 338-344.

Otrzymano 02.02.2015 r.