

Monitoring i diagnostyka **budowli hydrotechnicznych, cz. 2**



■ **prof. nadzw., dr hab. inż. Zbigniew Kledyński**, Zakład Budownictwa Wodnego i Hydrauliki, Politechnika Warszawska

Ze względu na rozmiary masywnych budowli hydrotechnicznych z betonu i ich blokową strukturę lokalizacja spękań, szczególnie od strony odwodnej budowli, oraz spękań wewnętrznych wymaga zastosowania skomplikowanych technik diagnostycznych.

Zagadnienie diagnostyki budowli hydrotechnicznych stanowi kontynuację tematu podjętego w poprzednim numerze czasopisma, gdzie omówiono problematykę monitorowania tego rodzaju budowli.

1. Diagnostyka budowli hydrotechnicznych

1.1. Zasady ogólne

Budowle hydrotechniczne są obiektami masywnymi, o dużych kubaturach. Ich specyficzną cechą jest kontakt z wodami, zwłaszcza powierzchniowymi, a funkcja piętrzenia wód sprawia, że istotnym oddziaływaniem na obiekt i jego podłoże staje się filtracja.

Filtracja w nasypach hydrotechnicznych i w podłożu budowli wodnych może być przyczyną erozji wewnętrznej (sufozja mechaniczna i chemiczna, przebicie hydrauliczne, wyparcie) bądź kolmatacji filtrów i drenaży. Oprócz filtracji na stan budowli wodnych wpływa kontakt z wodą płynącą, co jest przyczyną rozmryć, abrazji, uszkodzeń kawitacyjnych lub zamuleń.

Ponadto betonowe, ziemne i metalowe konstrukcje hydrotechniczne ulegają w większym lub mniejszym stopniu tym samym czynnikom destrukcyjnym i oddziaływaniom, jak i większość innych obiektów budowlanych, zwłaszcza infrastrukturalnych. Z tego powodu gros metod badań diagnostycznych tych konstrukcji jest analogiczna do stosowanych w budownictwie betonowym, ziemnym lub metalowym. Metody te muszą być jednak adaptowane do skali obiektu hydrotechnicznego oraz warunków jego pracy. Na przykład w badaniach sklerometrycznych betonów hydrotechnicznych są stosowane młotki Schmidta typu M oraz młotki w obudowach wodoodpornych, gdy mają być stosowane pod wodą.

Obiekt hydrotechniczny – w swojej części podwodnej – musi być zwykle specjalnie udostępniany do badań. Nawet proste oględziny wiążą się z koniecz-

nością zaangażowania nurków, aparatów fotograficznych i kamer do zdjęć podwodnych lub koniecznością odwodnienia obiektu, co może wymagać budowy kosztownych gródz. Badania pod wodą są możliwe tylko przy użyciu specjalistycznego sprzętu. W tym zakresie rozwijane są metody z użyciem podwodnych robotów [14].

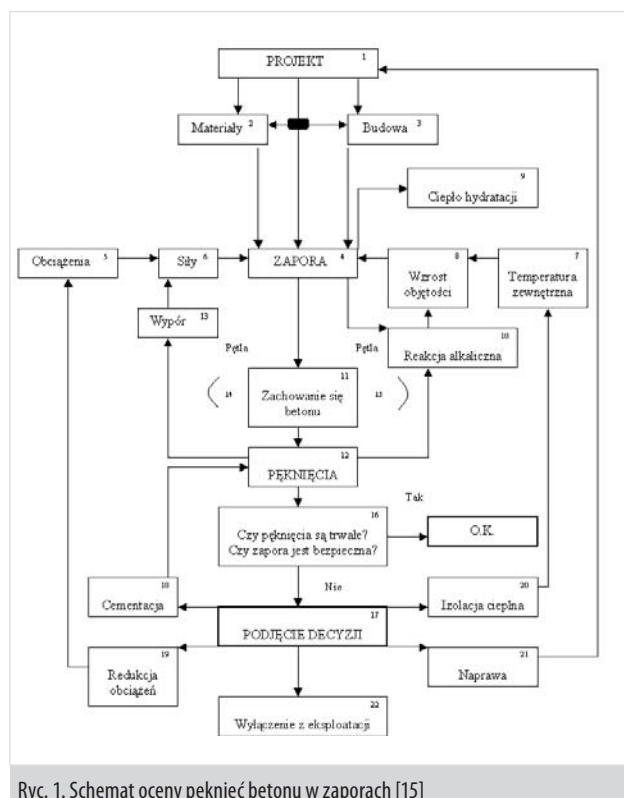
Masywność budowli hydrotechnicznych sprawia, że w ich badaniach znajdują zastosowanie geofizyczne metody badań.

Poniżej omówiono tylko wybrane, specyficzne techniki diagnostyczne budowli wodnych.

1.2. Budowle z betonu

W większości konstrukcji betonowych występują niezamierzone nieciągłości – rysy i spękania, które w wypadku budowli wodnych, szczególnie zapór betonowych, mogą stanowić zagrożenie dla ich funkcjonowania (użyteczności) lub wręcz bezpieczeństwa. Rysy w budowli piętrzącej są zwykle miejscem występowania przecieków, a te – nawet gdy nie są groźne dla bezpieczeństwa obiektu – prowadzą do obniżenia jego trwałości, przyspieszonego niszczenia, np. w połączeniu z oddziaływaniem mrozu.

Z przytoczonych powodów szczególnego znaczenia nabierają wszelkie działania, podejmowane na etapie projektowania, ustalania składu betonu i technologii jego wbudowywania oraz w fazie eksploatacji, które pozwalają zapobiec pęknięciom budowli narażonych na działanie wysokich ciśnień wody. Stan zarysowania tych budowli jest często klu-



Ryc. 1. Schemat oceny pęknięć betonu w zapórach [15]

czowy w ocenie ich stanu bezpieczeństwa, a jego rozpoznanie i kontrola stanowią podstawę określenia warunków możliwej eksploatacji i niezbędnych działań remontowych [16]. Na rycinie 1 pokazano schemat oceny rys i pęknięć w zapórach betonowych.

Integralną częścią projektu zapory są rozstrzygnięcia konstrukcyjne (1), materiałowe (2) i technologiczne (3) dotyczące realizacji masywnej budowli betonowej. Na zapórę (4) działają obciążenia (5), które wraz z wyporem (13) generują w niej siły wewnętrzne (6), oraz temperatura otoczenia (7) wpływająca na zmiany objętości betonu (8). Te ostatnie są kształtowane również przez ciepło hydratacji cementu (9) lub – w dłuższym okresie – skurcz wilgotnościowy i reakcje chemiczne natury korozyjnej.

Obciążenia zewnętrzne i odkształcenia wymuszone w konkretnych warunkach statyczno-wytrzymałościowych

Tab. 1. Metody detekcji spękań wewnętrznych w zaporach betonowych [15]

Metoda	Zalety	Ograniczenia	Dokładność
1	2	3	4
Karotaż	Bezpośredni dostęp w głąb	Ograniczony zasięg badań	0,2 mm
Kamera telewizyjna w otworze wiertniczym		Wymaga czystej powierzchni otworu. Ograniczony zasięg badań	0,2 mm
Światłowody	Szeroki zasięg badań	Trzeba zaprojektować przed budową	0,05 mm
Iniekcja znacznika		Metoda wyłącznie jakościowa	Zgrubna
Badania przepuszczalności		Długi czas wykonywania	Zależy od metody
Akustyczne profilowanie otworowe	Można stosować w otworach wypełnionych wodą lub płuczką	Ograniczony zasięg badań. Otwór musi być wypełniony płynem	0,2 mm
Prześwietlenie akustyczne międzyotworowe	Szeroki zasięg badań	Trudno wykryć pojedyncze pęknięcia	Zgrubna
Tomografia akustyczna	Szeroki zasięg badań. Dobra rozdzielczość	Kosztowna. Długi czas wykonywania	Zależy od długości fali
Georadar	Dobra rozdzielczość	Nie można stosować w betonie nawodnionym	Zależy od częstotliwości

(właściwości mechaniczne betonu, 11) decydują o zachowaniu się konstrukcji, w tym także o jej ewentualnym zarysowaniu (12). Pęknięcia najczęściej zmieniają wielkości i układ sił działających na obiekt, np. generując zmiany wyporu, wpływając na redystrybucję naprężeń wymuszonych przez zmiany objętościowe itp. Jest to przyczyną możliwych dwóch pętli (14 i 15), które mogą prowadzić do wystąpienia sytuacji niestabilnych.

Ocena stanu budowli ma w tym przypadku dać odpowiedź na pytanie o stateczność i bezpieczeństwo budowli (16). Negatywna odpowiedź na to pytanie musi spowodować podjęcie działań zaradczych, takich jak np: cementacja uciążliwa (18), trwała redukcja obciążeń (19), redukcja obciążeń termicznych (izolacja, 20), naprawa modyfikująca projekt (21) lub wyłączenie z eksploatacji (22).

W tabelicy 1 zestawiono metody detekcji pęknięć w zaporach betonowych, stosowane zwłaszcza w diagnostyce nieciągłości wewnętrznych, oraz wady i zalety tych metod.

Pęknięcia widoczne na powierzchni można udokumentować, stosując pomiary geodezyjne, fotografię (ważne jest przy tym zapewnienie odpowiedniej skali

porównawczej na obrazie) lub fotogrametrię, a ostatnio – także naziemny skaningu laserowy [15].

Pęknięcia na ścianie odwodnej można udokumentować przy użyciu wodoszczelnych aparatów fotograficznych lub kamer, zdalnie sterowanych lub obsługiwanych przez nurków.

Ważnym celem badań jest powiązanie spękań widocznych na powierzchni budowli z pęknięciami wewnętrznymi w masywie. Oznakami występowania nieciągłości we wnętrzu są zwykle przecieki widoczne w czasie opróżniania lub napełniania wewnętrznych galerii, sztolni hydrotechnicznych, przewodów spustowych itp. Uzupełnieniem spostrzeżeń powinny być w takich wypadkach badania znacznikowe, umożliwiające określenie łączności hydraulicznej między spękaniami i dróg przepływu wody, oraz badania szczelności masywu, np. wodochłonności.

Zasięg spękań można określić, stosując profilowanie otworowe (karotaż), w którym do określenia położenia, kierunków, upadów i szerokości pęknięć można wykorzystać rdzeniowanie otworów, techniki endoskopowe z rejestracją obrazu lub metodę akustyczną.

Ze względu na koszty wierceń ogranicza się ich liczbę, zastępując informację z otworów, których wykonania zaniechano, wynikami pomiarów nieniszczących, np. pomiarami prędkości fal sprężystych w zakresie akustycznym – metoda IMPACT ECHO – lub sygnałów ultradźwiękowych między otworami (prześwietlenie międzyotworowe). Możliwe jest wykorzystanie kilku parametrów sygnału akustycznego (obok prędkości dźwięku także stopień jego tłumienia) – tomografia akustyczna.

Wpływ nieciągłości ośrodka betonowego na propagację fal elektromagnetycznych pozwala na stosowanie georadaru. Zmiany przenikalności magnetycznej i elektrycznej ośrodka, spowodowane obecnością pęknięć, wywołują odbicia i ugięcia fal elektromagnetycznych, co pozwala na lokalizację zaburzeń w profilowaniu otworowym (nadajnik i odbiornik fal są zlokalizowane w jednym otworze na różnych głębokościach), prześwietleniu międzyotworowym lub z wykorzystaniem odbicia wewnętrznego fal od powierzchni bloku. Włączenie do analizy stopnia tłumienia fal elektromagnetycznych prowadzi do metody tomograficznej.

Nie wszystkie pęknięcia hydrotechnicznych masywów betonowych są na tyle groźne, aby podejmować natychmiastowe środki zaradcze. Wtedy ważny staje się, często wieloletni, monitoring stanu zarysowania budowli.

1.3. Budowle ziemne

Podstawowe metody badań stanu ziemnych budowli hydrotechnicznych to obserwacje w ramach rutynowych przeglądów, pomiary odkształceń (przede wszystkim osiadań), poziomów piezometrycznych wody gruntowej w korpusie i podłożu oraz badania filtracji (wydatki drenaży, oznaczenia składu chemicznego filtratów, rzadziej badania wskaźnikowe). Podany wyżej zakres uzupełniają w razie potrzeby badania geotechniczne (w odkrywkach, wiercenia z poborem próbek do badań laboratoryjnych, sondowania dynamiczne lub statyczne, z pomiarem ciśnień porowych lub bez, badania przepuszczalności hydraulicznej, badania presjometryczne).

Mimo rozwoju technik badań geotechnicznych najczęściej wykorzystywane jest tradycyjny ich zakres [6], czasami uzupełniany badaniami geofizycznymi, które mogą mieć charakter nieinwazyjny lub wymagać wykonania otworów badawczych. Stosowane są georadary, pomiary sejsmiczne, np. tzw. prześwietlenie sejsmiczne, prowadzące do mapo-

wania prędkości fal w badanym obszarze ośrodka gruntowego, pomiary potencjału i przewodności elektrycznej, badania geotermiczne itp. [10]. Metody geofizyczne dają możliwość pośredniego określania różnych wielkości geotechnicznych i ich zmian. Wykazują przy tym określone dokładności, co wpływa na zakres skutecznego ich wykorzystania (ryc. 2).

2. Zakończenie

Specyfika hydrotechnicznych budowli piętrzących sprawia, że obiekty te powinny być szczególnie starannie monitorowane, a pozyskiwane stąd dane wykorzystywane do oceny stanu bezpieczeństwa obiektu, najlepiej w czasie rzeczywistym, a także do oceny stanu technicznego i wspomaganie decyzji dotyczących utrzymania budowli, w tym analiz ryzyka [4]. Postęp techniczny w zakresie aparatury kontrolno-pomiarowej oraz rozwój systemów przetwarzania danych stwarzają możliwość tworzenia wysoko zautomatyzowanych systemów technicznej kontroli zapór.

Należy dążyć do zbudowania w Polsce ogólnokrajowego systemu nadzoru nad bezpieczeństwem wszystkich zapór, co można osiągnąć m.in. przez:

- utworzenie odpowiedniej instytucji centralnej o charakterze merytorycznym i nadzorującym
- certyfikowanie osób wykonujących oceny stanu i bezpieczeństwa obiektów hydrotechnicznych (uprawnienia budowlane, specjalizacja techniczno-budowlana)
- gromadzenie i weryfikowanie sporządzanych ocen oraz okresowe raportowanie władzom państwowym o stanie obiektów hydrotechnicznych (m.in. tworzących infrastrukturę przeciwpowodziową).



Ryc. 2. Głowica reperu ziemnego; punkt geodezyjnej obserwacji przemieszczeń pionowych



Ryc. 3. Niewielki obiekt piętrzący tzw. małej retencji

Wprowadzone ostatnio zmiany prawne w tym zakresie tylko w części można uznać za niedostateczny krok w stronę mniej więcej właściwą.

Literatura

1. *Dam failures. Statistical analysis.* "ICOLD Bulletin" 1995, No. 99.
2. Jankowski W.: *Ogólne wytyczne kontroli bezpieczeństwa budowli piętrzących wodę.* IMGW. Warszawa 2008.
3. Kledyński Z.: *Remonty budowli wodnych.* OWPW. Warszawa 2006.
4. Kledyński Z.: *Stan i perspektywy analizy ryzyka bezpieczeństwa zapór w Polsce.* XIII Międzynarodowa Konferencja Technicznej Kontroli Zapór, Stare Jabłonki, 24–27 czerwca 2009. Monografia IMGW. Warszawa 2009, s. 3–11.
5. *Ocena ryzyka w zarządzaniu bezpieczeństwem zapór. Przegląd korzyści, metod i najnowszych zastosowań.* "Bulletin CIGB-ICOLD" 2005, No. 130. „POLCOLD”, IMGW. Warszawa 2007.
6. Pisarczyk S., Rymsza B.: *Badania laboratoryjne i polowe gruntów.* OWPW. Warszawa 2003.
7. *Awarie i katastrofy zapór – zagrożenia, ich przyczyny i skutki oraz działania zapobiegawcze.* Red. K. Fiedler. IMGW. Warszawa 2007.
8. Radzicki K.: *Identyfikacja procesów erozyjnych i filtracyjnych w ziemnych obiektach hydrotechnicznych metodami termo detekcji.* HYDROTECHNIKA XII, Ustroń, 18–20 maja 2010.
9. Rozporządzenie Ministra Środowiska z 20 kwietnia 2007 r. w sprawie warunków technicznych, jakim powinny odpowiadać budowle hydrotechniczne i ich usytuowanie. DzU 2007, nr 86, poz. 579.
10. Thiel K. i Kledyński Z. (red.): *XXIV Konferencja Naukowo-Techniczna Podkomitetu Mechaniki Skal i Podłoża Polskiego Komitetu Wielkich Zapór Stabilizacja Masywów Skalnych w Podłożu Budowli Hydrotechnicznych, Żywiec, 9–11 października 2002. Materiały pokonferencyjne.* IMGW. Warszawa 2003, s. 100.
11. Ustawa Prawo budowlane z dnia 7 lipca 1994 r. DzU 2006, nr 156, poz. 1118 z późn. zm.
12. Ustawa Prawo wodne z dnia 19 lipca 2001 r. DzU 2001, nr 115, poz. 1229 z późn. zm.
13. Ustawa z dnia 5 stycznia 2011 r. o zmianie ustawy Prawo wodne oraz niektórych innych ustaw.
14. Wachowski W.: *Zasady wykonywania badań podwodnych dla oceny stanu technicznego budowli piętrzących.* IMGW. Warszawa (w przygotowaniu).
15. Zaczek-Peplińska J.: *Możliwości wykorzystania skanowania laserowego w ocenie stanu technicznego zapory betonowej.* Sekcja Konstrukcji Hydrotechnicznych KILiW PAN. Warszawa, 17 listopada 2009 (referat).
16. *Zapory betonowe. Kontrola i naprawa pęknięć. Przegląd metod i przykłady.* Tłumaczenie wyciągu w: "Bulletin ICOLD" 1997, No. 107. „POLCOLD”, IMGW. Warszawa 1999.

*

ARTYKUŁ JEST ZMIENIONĄ I ROZSZERZONĄ WERSJĄ REFERATU MONITORING I DIAGNOSTYKA BUDOWLI HYDROTECHNICZNYCH NA POTRZEBY OCENY ICH STANU TECHNICZNEGO I BEZPIECZEŃSTWA, WYGŁOSZONEGO W CZĘŚCI PROBLEMOWEJ 56. KONFERENCJI NAUKOWEJ KILiW PAN I KN PZITB KRYNICA 2010.