

KRZYSZTOF RADZICKI*

MODELE ANALIZY POMIARÓW TEMPERATURY
W TERMODETEKCJI PRZECIEKÓW
I W TERMOMONITORINGU PROCESÓW FILTRACYJNYCHTHE MODELS FOR TEMPERATURE MEASUREMENTS
ANALYSIS FOR THERMAL DETECTION
OF THE LEAKAGES AND FOR THERMAL MONITORING
OF THE SEEPAGE PROCESSES

Streszczenie

W ostatnich latach nastąpił kolejny skok w rozwoju metod termodetekcji przecieków i termomonitoringu procesów filtracyjnych. Od ponad dziesięciu lat stosuje się do pomiarów temperatury światłowody jako czujniki temperatury, umożliwiające ciągły w przestrzeni, na długości obiektu pomiar temperatur. Natomiast na przestrzeni czterech ostatnich lat, powstały nowe, zaawansowane metody i modele analizy pomiarów temperatury umożliwiające wczesną detekcję przecieku, oraz pozwalające na precyzyjny monitoring i określanie zaawansowania procesów filtracyjnych. W artykule zawarto wprowadzenie do termomonitoringu ziemnych obiektów hydrotechnicznych oraz omówiono pokrótce przedmiotowe modele.

Słowa kluczowe: filtracja, przeciek, zapora, wał, termodetekcja, termomonitoring filtracji przecieków

Abstract

We observe successive progress of the seepage process thermal monitoring methods and leakages thermal detection methods. More than ten years, the fiber optic cable are being used as the sensor of the temperature. It allows for continuous in space temperature measurements along the earth hydraulic structure. On the other hand, during the last four years, new, advanced methods and models were developed for temperature measurements analysis. They enable the precise monitoring of the seepages and leakages and determination of their dynamic. In the paper we present an introduction to the topic of the thermal monitoring of the earth hydraulic structures and we describe the relevant models and methods.

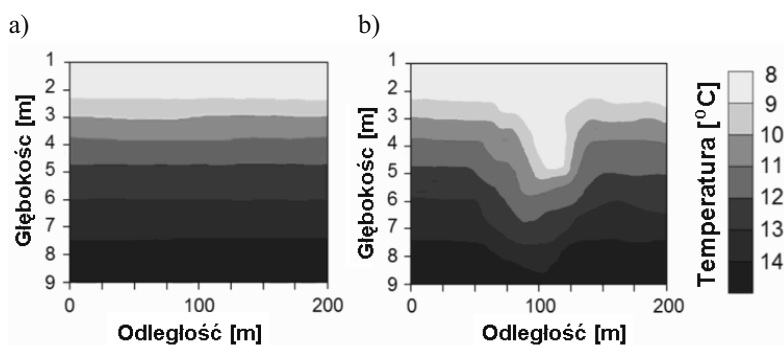
Keywords: seepage, leakage, dam, levee, thermal detection of the leakage, thermal monitoring of the seepage

* Dr inż. Krzysztof Radzicki, Instytut Inżynierii i Gospodarki Wodnej, Wydział Inżynierii Środowiska, Politechnika Krakowska.

1. Wstęp

Metody termodetekcji oraz termomonitoringu procesów filtracyjnych i przecieków opierają się na wykorzystaniu zależności opisujących sprzężony transport ciepła i wody w korpusie zapory ziemnej. Zmiana temperatury wody wpływa na zmianę gęstości oraz lepkości cieczy, jednakże jest to wpływ pomijalnie mały w aspekcie zastosowania metod termicznych w ziemnych obiektach piętrzących. Natomiast przepływ wody powoduje bardzo wyraźne zaburzenie pola termicznego obiektu związane z napływem w głąb korpusu zapory, ciepła ze zbiornika wraz z masą wody. Im większa prędkość przepływu, tym zaburzenie termiczne będzie bardziej znaczące. Fakt ten pozwala obserwować zmienność dynamiki procesu filtracji. Przykład zaburzenia pola temperatury w podłużnym przekroju zapory wywołanego przeciekiem zaprezentowano na rys. 1.

Co więcej, już sama zmiana wilgotności gruntu spowodowana dyfuzją wilgoci lub podsiąkiem z przecieku skutkuje zmianami parametrów termicznych ośrodka porowatego gruntu i wpływa na prędkość przewodzenia ciepła, w konsekwencji pozwalając na detekcję przecieku, nawet jeśli czujnik nie znajduje się bezpośrednio w polu filtracji [6].



Rys. 1. Przykład wpływu przecieku na rozkład temperatury w poprzecznym przekroju zapory: a) brak przecieku, b) zaburzenie termiczne spowodowane przeciekiem

Fig. 1. Example of the leakage influence on the temperature distribution in the longitudinal profile of the dam

Zdecydowany wpływ na rozwój metod termicznych miał rozwój nowych sposobów pomiaru temperatury. Klasyczne metody pomiaru temperatury są to pomiary za pomocą pojedynczych czujników zainstalowanych w korpusie obiektu oraz pomiary temperatury wody w piezometrze. W tym ostatnim przypadku przy założeniu braku konwekcji w piezometrze, temperatura mierzona w wodzie odpowiada temperaturze gruntu przylegającego do piezometru na danej jego wysokości [2].

Obie metody umożliwiają wyłącznie lokalny pomiar temperatury. Przełomem w termometrii obiektów piętrzących było zastosowanie światłowodowego pomiaru temperatury. W metodzie tej światłowód stanowi czujnik temperatury pozwalający na jej pomiar standardowo co 1 m na całej swojej długości. Zainstalowanie kabla na długości obiektu, na przykład za elementem szczelnym, umożliwia więc ciągły w przestrzeni monitoring. Do pomiaru temperatury światłowodem wykorzystuje się impuls laserowy. Światło porusza się w rdzeniu światłowodu, odbijając się od jego otoczki. Przy każdym odbiciu część fotonów wraca

do punktu nadania impulsu (rozproszenie wsteczne). Znając stałą prędkości światła, można określić lokalizację punktu jego odbicia w światłowodzie. Z kolei analiza spektralna światła odbitego pozwala na określenie temperatury punktu odbicia. Instalacja montowana w korpusie obiektu, służąca światłowodowemu pomiarowi temperatury, składa się zwykle z jednego światłowodu (lub maksymalnie kilku kabli), będącego jednocześnie czujnikiem, wymaga więc tylko pojedynczej kalibracji. Kabel światłowodowy do termomonitoringu posiada zbrojony płaszcz zewnętrzny, który zapewnia mu minimalną żywotność rzędu kilkudziesięciu lat. Zalety te są bardzo istotne w porównaniu z innymi systemami monitoringu obiektów piętrzących, składającymi się czasem z kilkudziesięciu lub nawet kilkuset czujników wraz z kilometrami kabli, co wpływa znacząco na komplikacje tych systemów i ich awaryjność [1].

Metody termiczne są stosowane w monitoringu zapór od ponad dwudziestu lat [2]. Jednakże w pierwszym dziesięcioleciu interpretacja pomiarów temperatur opierała się na analizie „intuicyjnej”, lub na prostych metodach graficznych, umożliwiających porównanie wartości danych pomiarowych. Ograniczało to w znacznym zakresie możliwość odczytania zawartych w sygnale termicznym informacji.

Milowym krokiem w zastosowaniu metod termicznych było opracowanie w kilku ostatnich latach zaawansowanych modeli i metod pozwalających na szeroki zakres analizy pomiarów temperatury. Są to: model IRFTA oraz metoda oddzielania źródeł sygnału.

W niniejszym artykule omówimy te modele. Ponadto opiszemy również tzw. model amplitudy [3], który powstał w końcu lat dziewięćdziesiątych i mimo licznych ograniczeń jest do dzisiaj użyteczny do analizy pomiarów temperatury w długim okresie, przy warunku instalacji czujnika głęboko w korpusie zapory.

Autor artykułu jest współtwórcą (wraz z S. Bonelli) modelu IRFTA [6, 7], jak również ma duże doświadczenie w aplikacji i współpracuje w szerokim zakresie z twórcami i użytkownikami pozostałych omawianych w artykule modeli i metod analizy pomiarów temperatury.

2. Modele i metody analizy pomiarów temperatury

Model amplitudy [3]

Model amplitudy umożliwia określenie prędkości filtracji w warstwie gruntu o zwiększonym współczynniku filtracji w stosunku do pozostałej części korpusu. Może więc być stosowany na przykład przy problemie warstwy sufozycznej gruntu. Model ten opracowano pod koniec lat 90. ubiegłego stulecia. Aplikacja modelu amplitudy ma znaczne ograniczenia. Analiza pomiarów dotyczy pomierzonego w korpusie obiektu ciągu temperatur w funkcji temperatur zbiornika. Obydwa ciągi temperatur muszą posiadać zarówno roczne minimum, jak i maksimum temperatury, co oznacza konieczność długich, prawie rocznych pomiarów. Analiza modelem amplitudy może być zrealizowana wyłącznie dla pomiarów uzyskanych z czujnika znajdującego się w strefie nasyconej ośrodka porowatego, w której ponadto wpływ temperatury powietrza na temperaturę gruntu jest pomijalnie mały. Może zatem być zastosowana wyłącznie dla czujnika położonego głęboko w korpusie obiektu. Do przeprowadzenia obliczeń konieczna jest również znajomość wysokości strefy sufozycznej gruntu, którą jednakże można odczytać w profilu pionowym przy zastosowaniu prostych, klasycznych, graficznych metod analizy termicznej. Przy spełnieniu powyższych warunków model pozwala z dużą dokładnością obliczyć prędkość filtracji. Model od kilkunastu lat jest stosowany do analizy pomiarów temperatur zapór oprzyrządowanych termometrycznie na całym świecie.

Model IRFTA (impulse response function analysis) [6, 7]

Model umożliwia analizę ciągu temperatur mierzonych w korpusie obiektu w funkcji temperatury powietrza i temperatury wody w zbiorniku. Parametry modelu określają tłumienie oraz czas przejścia każdego z wymienionych sygnałów obciążeń termicznych do punktu pomiarowego. W powiązaniu z relacjami w sprzężonym transporcie wody i ciepła, analiza wartości parametrów modelu oraz ich zmienności na długości światłowodu umożliwia określenie stopnia nasilenia filtracji oraz identyfikację przecieków. Do identyfikacji przecieku wystarczająca jest już sama zmienność wilgotności gruntu spowodowana przeciekiem lub jego bliską lokalizacją. Aplikacja modelu dotyczy całego przekroju korpusu, ale zwłaszcza jest przeznaczona do analizy pomiarów z odpowietrznej stopy obiektu, gdzie kabel światłowodowy może być położony w już istniejącym obiekcie. W rzadko występujących przypadkach bardzo dużego nasilenia oraz zmienności na długości obiektu innych niż temperatura powietrza obciążeń termicznych, np. słońca, zmian w pokrywie roślinności, wiatru, konieczne jest zainstalowanie pod powierzchnią skarpy odpowietrznej dodatkowego światłowodu pozwalającego na uwzględnienie powyższych obciążeń w funkcji obciążeń termicznych korpusu. Model IRFTA od kilku lat stosuje się do analizy termicznej ziemnych obiektów piętrzących we Francji.

Metoda oddzielania źródeł sygnału [4, 5]

Metoda oddzielania źródeł sygnału jest metodą wyłącznie statystyczną, niepozwalającą na określenie fizycznych parametrów analizowanych procesów filtracyjno-erozyjnych. Metoda ta pozwala na rozróżnienie czynników wpływających na temperaturę światłowodu, takich jak: odpowiedź gruntu (współczynnik filtracji, skład mineralny), zjawiska pogodowe i sezonowe (opad, sezonowa zmienność temperatur), struktura obiektu (położenie drenaży) oraz anomalie spowodowane przeciekami. W metodzie identyfikuje się wpływ każdego ze źródeł sygnału na temperaturę światłowodu w funkcji przemieszczania się odpowiedzi na dany sygnał wzdłuż światłowodu. W rezultacie otrzymujemy informacje, w których punktach światłowodu występują zaburzenia termiczne, które mogą pochodzić od przecieku. Metoda ta stosowana jest do analizy pomiarów francuskich obiektów piętrzących od około dwóch lat.

3. Wnioski

Istniejące modele analizy pomiarów temperatury pozwalają na bardzo skuteczną identyfikację przecieków oraz monitoring procesów filtracyjnych w ziemnych obiektach piętrzących. Instalacja systemów światłowodowego monitoringu jest prosta w realizacji na zarówno budowanych, jak i również istniejących zaporach i wałach. Wartość omówionych w artykule metod potwierdza rekomendacje Europejskiego Zespołu do spraw Erozji Wewnętrznej Komitetu Wielkich Zapór, jak również bardzo duża liczba istniejących i planowanych przedmiotowych instalacji w ziemnych obiektach piętrzących.

Literatura

- [1] Guidoux C., *Développement et validation d'un système de détection et de localisation par fibres optiques de zones de fuites dans les digues en terre*, PGD, Joseph Fourier University, Grenoble 2007.
- [2] Johansson S., *Localization and quantification of water leakage in ageing embankment dams by regular temperature measurements*, 17eme Congrès des Grands Barrages, Q.65-R.54, 991-1005, Vienna 1991.
- [3] Johansson S., Barmen G., Bartsch M., Dahlin T., Landin O., Ulrikson P., *Nyare metoder för tillståndskontroll av dammar*, VASO Dammkommitté rapport nr 21, Stockholm 1995, 71.
- [4] Koelewijn A., *Ijkdijk Piping experiments-four large-scale field tests leading to failure by seepage erosion, instrumented with both traditional and experimental detection techniques*, Workshop of European Working Group in Internal Erosion of ICOLD, Granada, Spain 2010.
- [5] Pinette P., *Return on experience from the 2009 Ijkdijk piping tests : early detection of Internal Erosion precursors with Fiber Optics Early Warning Systems*, Workshop of European Working Group in Internal Erosion of ICOLD, Granada, Spain 2010.
- [6] Radzicki K., *Analyse retard des mesures de températures dans les digues avec application à la détection de fuites (Zastosowanie analizy odpowiedzi opóźnionej w pomiarach temperatury ziemnych obiektów hydrotechnicznych do identyfikacji przecieków)*, Praca doktorska, AgroParisTech, Paryż 2009.
- [7] Radzicki K., Bonelli S., *Thermal seepage monitoring in the earth dams with Impulse Response Function Analysis model*, Dam safety sustainability in a changing environment. Proceedings of the 8th ICOLD European Club Symposium, 22-23 września, Innsbruck 2010, 624-629.