

Quan trắc nhiệt (thermal monitoring) – một phương pháp hữu hiệu trong quan trắc hiện tượng rò rỉ và xói mòn trong lòng đê và đập đất.

TS. KS Krzysztof Radzicki

Trường Đại học Bách khoa Cracow

Tel: +48 12 628 28 53

email: radzicki@hotmail.fr

Tóm tắt: Phương pháp quan trắc nhiệt các hiện tượng rò rỉ và xói lở đã nâng cao chất lượng công tác quan trắc các công trình đê đập bằng đất trong việc phát hiện cũng như phân tích sự biến đổi và phát triển của hiện tượng rò rỉ và xói lở trong lòng đê và đập. Điểm quan trọng là việc đưa vào ứng dụng các Cảm biến nhiệt độ phân bố (eng. *Distributed Temperature Sensing*) và sự phát triển của các phương pháp và mô hình phân tích tính toán truyền nhiệt. Hiện tượng xói lở trong thân đê đập là một trong những nguyên nhân chính ảnh hưởng tới kết cấu và độ an toàn của các công trình đê đập mới. Việc quan trắc một cách chính xác hiện tượng này là chìa khóa để đảm bảo và nâng cao độ an toàn đối với các công trình đê đập, đồng thời giảm thiểu tối đa các chi phí duy tu sửa chữa

Trong bài này tác giả đã mô tả những kiến thức cơ bản cũng như các yếu tố quan trọng nhất trong phương pháp quan trắc nhiệt. Tác giả cũng giới thiệu việc phân chia các mô hình quan trắc nhiệt thụ động đối với các công trình đập thủy lợi. Đặc biệt trong bài tác giả đặt trọng tâm vào việc ứng dụng phương pháp quan trắc nhiệt với các mô hình trong thực tế.

Summary The thermal method for monitoring seepage and erosion processes qualitatively changed the monitoring of earth hydraulic structures in the scope of the detection and analysis of seepage and erosion processes. The introduction of Distributed Temperature Sensing and the development of new methods and models for temperature analysis were particularly important. Internal erosion is one of the basic threats for dams and dikes. Appropriate monitoring of this process is of key importance for ensuring the safety of these structures and minimising the costs of their possible repairs.

This article describes the basics and most important issues of the thermal method for monitoring seepage and erosion processes. *Inter alia*, it presents a classification of models for passive analysis of temperature measurements in earth hydraulic structures. Particular consideration is given to essential aspects of the application of the thermal monitoring method and related recommendations

1. Giới thiệu chung

Xói lở bên trong thân đê, đập là một trong những nguyên nhân chính gây mất an toàn và ổn định của đê, đập. Công tác quan trắc nhiệt để hiện tượng này là chìa khóa để đảm bảo độ an toàn của đê, đập cũng như giảm thiểu tối đa các chi phí vận hành, duy tu sửa chữa các công trình này. Các tai họa xảy ra với các công trình thủy lợi này trong thời gian vừa qua đã gây ra nhiều tổn thất về người và của. Một trong những phương pháp quan trắc các hiện tượng rò rỉ và xói lở đang được quan tâm và đánh giá rất cao với độ chính xác vượt trội so với các phương pháp cổ điển đó chính là quan trắc nhiệt - termomonitoring.

Trong bài này tác giả sẽ giới thiệu các thông tin và kiến thức cơ bản về phương pháp quan trắc nhiệt đồng thời giới thiệu sự tương quan giữa truyền nhiệt với dòng nước chảy, giới thiệu các loại cảm biến nhiệt, các mô hình và sơ đồ thiết kế thi công hệ thống quan trắc nhiệt. Đồng thời tác giả cũng giới thiệu chi tiết các mô hình quan trắc nhiệt thụ động với các đặc điểm ưu thế nhất. Và cuối cùng tác giả cũng trình bày các nghiên cứu thử nghiệm ứng dụng quan trọng của phương pháp quan trắc nhiệt cùng với các khuyến cáo cho phương pháp này.

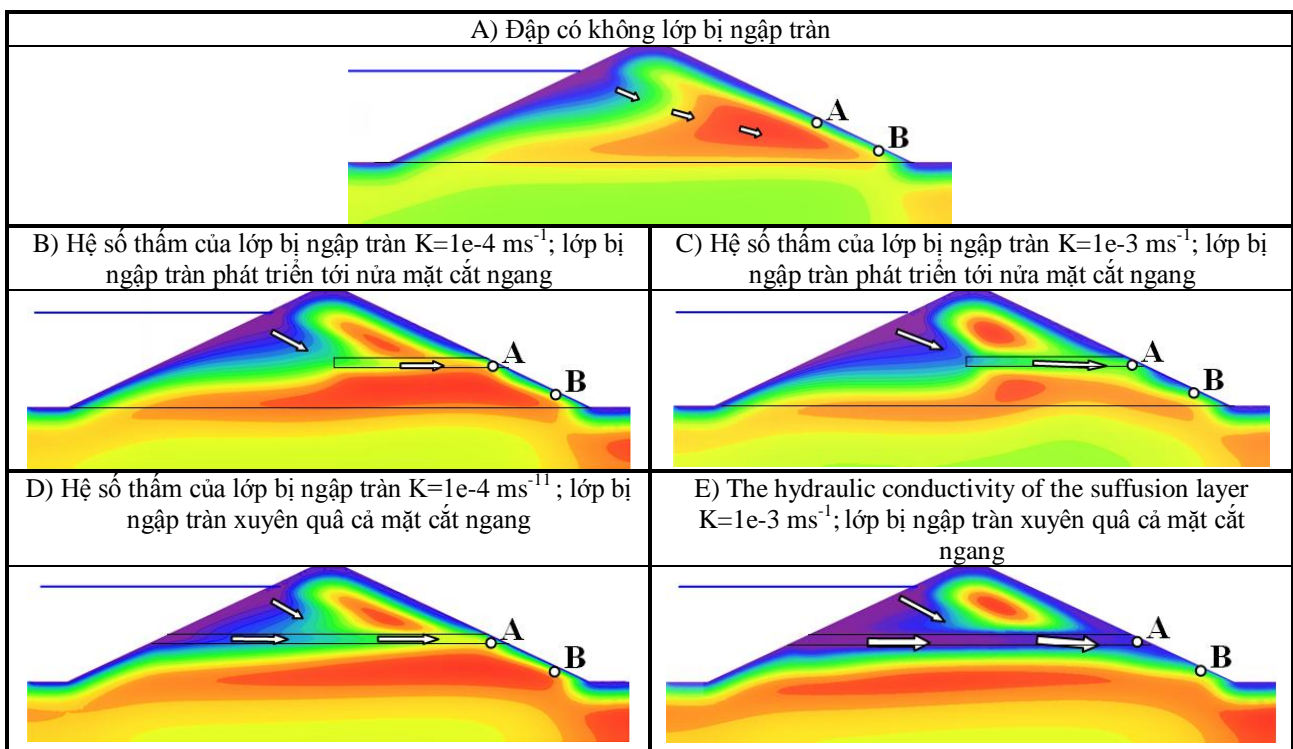
2. Những nguyên tắc cơ bản của quan trắc nhiệt hiện tượng rò rỉ và xói lở

2.1 Tương tác trong truyền nhiệt với dòng nước chảy

Các phương pháp nhiệt lượng phân tích dòng chảy của nước trong đất dựa trên cơ sở sự tương tác giữa hiện tượng truyền nhiệt với dòng chảy của nước. Sự tương tác này được thể hiện trong định luật bảo toàn năng lượng. Khi tốc độ dòng chảy là bằng không thì chỉ xảy ra hiện tượng truyền nhiệt một cách tự do, rất chậm. Nhưng chỉ cần một sự thay đổi nhỏ trong độ ẩm của môi trường đất đã có thể có ảnh hưởng tới tốc độ truyền nhiệt cục bộ. Và ngược lại trong trường hợp dòng chảy của nước (thấm, rò rỉ) thì nhiệt lượng cũng được truyền theo cùng với dòng chảy. Hiện tượng này được gọi là hiện tượng **bình lưu** (eng. **advection**) và hiện tượng này gây ra mức độ truyền nhiệt lớn hơn nhiều so với hiện tượng **truyền dẫn nhiệt** (eng. thermal conduction), và càng lớn hơn khi tốc độ dòng chảy của nước lớn hơn.

Quá trình xói lở bên trong sẽ ảnh hưởng trực tiếp giá trị và hướng đi của các véc tơ dòng chảy và qua đó ảnh hưởng gián tiếp đến truyền nhiệt. Ngoài ra các hiện tượng xói mòn khác nhau (Xói mòn theo lớp (suffosion), xói mòn theo các khe rãnh, xói mòn ở các bề mặt tiếp xúc...) có các đặc điểm đặc trưng phát triển khác nhau trong không gian và theo thời gian, điều này cũng sẽ được thể hiện qua phổ quang nhiệt (Radzicki and Bonelli, 2010 and 2012). Sự tương tác giữa hiện tượng truyền nhiệt và dòng nước chảy đã cho phép phương pháp quan trắc nhiệt có thể phát hiện và phân tích các hiện tượng thấm, rò rỉ và xói lở trong thân đê đập một cách hiệu quả.

Trên hình 1 là ví dụ phân tích sự ảnh hưởng của quá trình phát triển hiện tượng xói lở theo lớp đến phổ quang nhiệt trong mặt cắt thân đê trong cùng một thời điểm và dưới tác động của tải trọng nhiệt và áp lực của cột nước tương tự. Qua các hình ảnh ta có thể thấy sự tăng trưởng của việc truyền nhiệt vào sâu trong thân đê tại khu vực có độ dốc tủy lực lớn nhất.



Hình 1: Những trường nhiệt độ của mặt cắt ngang đập tại cùng thời điểm khi lớp bị ngập tràn có chiều dài khác nhau và hệ số thấm khác nhau (Radzicki and Bonelli, 2012).

Trong bước khởi đầu của phương pháp quan trắc nhiệt thì việc quan trắc được thực hiện bởi các cảm biến đơn lẻ được lắp đặt trong thân đê hoặc trong nền móng của đê đập trong quá trình thi công hoặc duy tu bảo dưỡng của công trình và bằng cách đo nhiệt độ của nước trong các cột “piezometer”. Trong phương pháp thứ 2 thì nhiệt độ đo được trong cột nước của piezometer sẽ phản ánh nhiệt độ trong thân đê, đập tại khu vực xung quanh cột piezometer với một điều kiện là sự ảnh hưởng của hiện tượng lưu chuyển nước trong thân đê đập là rất nhỏ và có thể bỏ qua.

Nhưng một trong những nền tảng của sự thành công của phương pháp quan trắc nhiệt là việc ứng dụng phương pháp quan trắc tuyến tính. Khả năng quan trắc liên tục nhiệt độ thân đập suốt chiều dài của đập đã mang lại một chất lượng mới trong việc quan trắc và phát hiện các hiện tượng rò rỉ và xói lở so với phương pháp truyền thống quan trắc từng điểm trước đó.

Một trong những công nghệ được ứng dụng trong quan trắc tuyến tính đó là công nghệ cáp quang. Tín hiệu laser sẽ được truyền vào trong cáp quang và trong quá trình phát tín hiệu trong cáp quang sẽ xảy ra hiện tượng phân tán các hạt foton ánh sáng. Một số các hạt foton sẽ quay ngược lại điểm xuất phát và hiện tượng này được gọi là phân tán ngược. Việc phân tích phổ ánh sáng phân tán ngược và so sánh với phổ ánh sáng phát đi cho phép xác định được chính xác nhiệt độ của cáp quang ở vị trí bị phân tán (Vogel, 2001). Hiện nay các thiết bị được ứng dụng trong công nghệ này cho phép quan trắc và đo đạc nhiệt độ trong phạm vi 1m cách cáp quang với độ chính xác là 0,1°C với chiều dài cáp quang lên đến 20km. Cáp quang sử dụng trong công nghệ quan trắc nhiệt có vỏ bọc chống thấm và chống va đập, điều này cho phép dễ dàng lắp đặt chúng trong thân đập, đập trong mọi điều kiện khắc nghiệt và đảm bảo độ bền, độ ổn định lên đến hàng chục năm (Radzicki, 2009).

Một công nghệ khác nữa là đôi trọng của công nghệ cáp quang đó là công nghệ cáp nhiều cảm biến „multi sensor cables”. Đó là một dây cáp mà bên trong nó được tích hợp thêm các cảm biến đơn lẻ suốt chiều dài của cáp cùng với các dây chuyên phát tín hiệu. Các cảm biến của cáp này sẽ được phân bố theo chiều dài của cáp theo một khoảng cách nhất định. Các khoảng cách đó phải được xác định một cách chính xác để đảm bảo quan trắc liên tục suốt chiều dài của cáp tương ứng với công nghệ cáp quang. Ưu điểm lớn nhất của công nghệ này ứng dụng cho các công trình đập ngăn và chi phí cho công nghệ này với những công trình đó là ít hơn vài lần so với công nghệ cáp quang. Cáp nhiều cảm biến (multi sensor cable) MCableS © của công ty Neostrein là một ví dụ điển hình của công nghệ này. Công nghệ cáp nhiều cảm biến „multi sensor cables” ngoài việc lắp đặt dọc theo chiều dài các đập còn có thể lắp đặt để quan trắc nhiệt độ của nước theo chu kỳ định sẵn tại các ống piezometer. Với kích thước nhỏ gọn thì các „multi sensor cables” không cản trở việc quan trắc định kỳ tại các ống piezometer để xác minh độ chính xác của các phép đo tự động.

Việc kết hợp các phép đo tự động theo suốt chiều dài đập cùng với các phép đo tại các ống piezometer tại các mặt cắt đặc trưng của đập cho phép chúng ta phân tích một cách kỹ lưỡng quá trình xói lở và rò rỉ trên suốt chiều dài của đập. Sau khi phát hiện những vị trí phát triển của quá trình xói lở và rò rỉ trong thân đập chúng ta có thể lắp đặt ở những vị trí đó những ống piezometer để quan trắc phổ nhiệt theo phương thẳng đứng.

2.3. Xác định vị trí của các cảm biến trong thân công trình thủy lợi

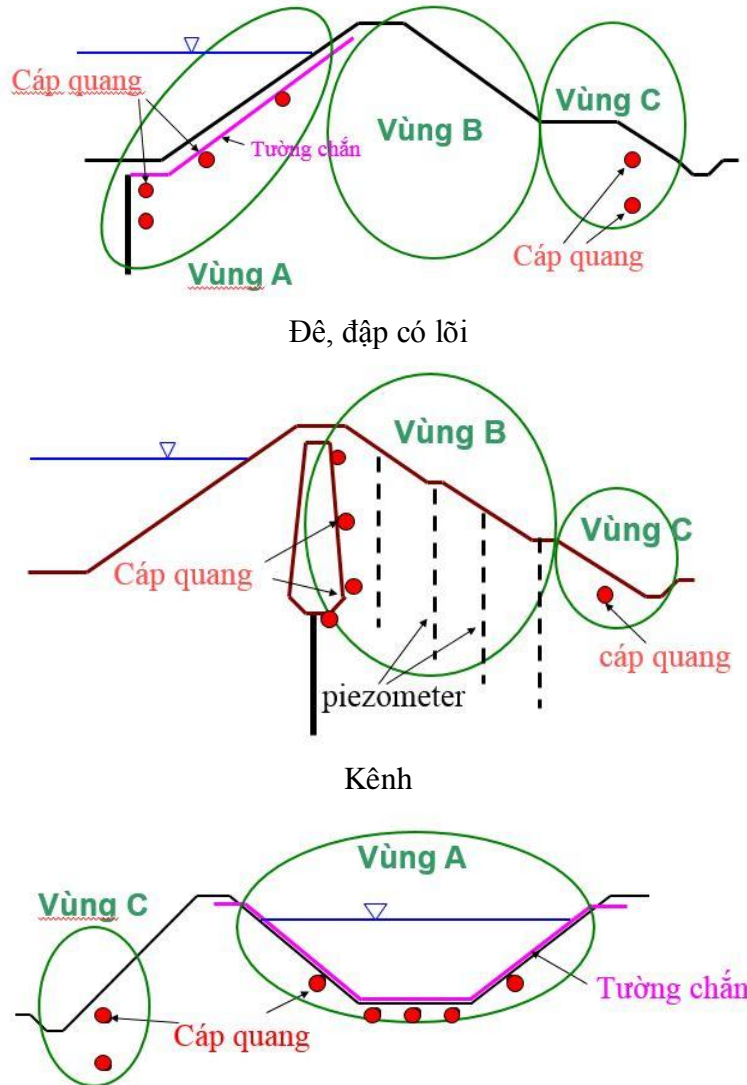
Thông thường các cảm biến nhiệt được lắp đặt trực tiếp tại những khu vực có khả năng xảy ra hiện tượng rò rỉ lớn nhất, đặc biệt tại những vị trí xung quanh hệ thống thoát nước và các bộ lọc cũng như các thành phần kín, chống thấm ví dụ lõi của thân đập.

Vì các công trình thủy lợi có các kích thước khác nhau với nhiều kết cấu khác nhau trên các nền đất vì thế việc xác định các vị trí lắp đặt các cảm biến quan trắc nhiệt cần được phân tích và tính toán bởi các chuyên gia lâu năm có nhiều kinh nghiệm trong lĩnh vực quan trắc nhiệt đối với các công trình thủy lợi. Việc phân tích được dựa trên cơ sở thiết lập các mô hình tính toán các hiện tượng truyền dẫn nhiệt của nước.

Nhưng về cơ bản chúng ta có thể chia ra làm 3 khu vực cơ bản để lắp đặt thiết bị quan trắc (hình 2). Việc triển khai lắp đặt các thiết bị quan trắc ở nhiều các khu vực cùng một lúc sẽ nâng cao khả năng sớm phát hiện chính xác vị trí xuất hiện hiện tượng rò rỉ trong thân đập.

Một điều nữa cần phải nhấn mạnh rằng, giá thành của các thiết bị quan trắc và cảm biến là nhỏ hơn nhiều so với giá trị sửa chữa đập. Các hệ thống này được khuyến cáo lắp đặt ở những công trình đập được xây dựng mới hoặc ở những công trình đang tiến hành thi công sửa chữa, đặc biệt những công trình đang sửa chữa hệ thống thoát nước hay lớp chống thấm bề mặt.

Sơ đồ đê, đập chống lũ với tường chắn chống thấm ở phía hồ nước



Hình 2. Những vùng khác nhau nhằm xác định vị trí của các cảm biến nhiệt trong phương pháp quan trắc nhiệt.

Vùng A – Quan trắc ở vùng này có thể được áp dụng cho tất cả các công trình đê đập đất có màn chắn chống thấm bên phía hồ nước. Các cảm biến nhiệt có thể được lắp đặt trong thời gian sửa chữa hoặc thi công công trình mới, các cảm biến được lắp đặt bên dưới màn chắn chống thấm để kịp thời phát hiện các hiện tượng rò rỉ ngay phía sau lớp chống thấm. Quan trắc nhiệt trong khu vực này cho phép sớm phát hiện hiện tượng rò rỉ thậm chí là rất nhỏ, khoảng 0,2 l/min/1m dài (Cunat 2010, Radzicki 2009).

Vùng B – việc lắp đặt các thiết bị quan trắc trong khu vực này có thể được thực hiện trong quá trình xây mới công trình hoặc trong quá trình đại tu công trình. Nếu như trong khu vực này có các cấu kiện chống thấm như lõi thân đê đập thì các thiết bị quan trắc được lắp đặt phía sau của các cấu kiện đó, thông trường trong khu vực bộ lọc hoặc hệ thống thoát nước. Còn nếu trong trường hợp không thể lắp đặt được các thiết bị quan trắc tuyến tính thì quan trắc nhiệt có thể thực hiện được bằng cách dẫn các thiết bị quan trắc vào trong các cột piezometer.

Vùng C – trong trường hợp với các công trình đã được xây dựng, các thiết bị quan trắc nhiệt tuyến tính có thể được lắp đặt tại chân đê đập. Đó là giải pháp kinh tế nhất cho phép quan trắc phổ nhiệt liên tục suốt chiều dài đê đập với khối lượng thi công xây lắp và đào đắp thấp nhất, vì thế cũng ít chi phí nhất. Thông thường đây là khu vực tụ điểm của các hiện tượng rò rỉ, đặc biệt nếu như ở đó

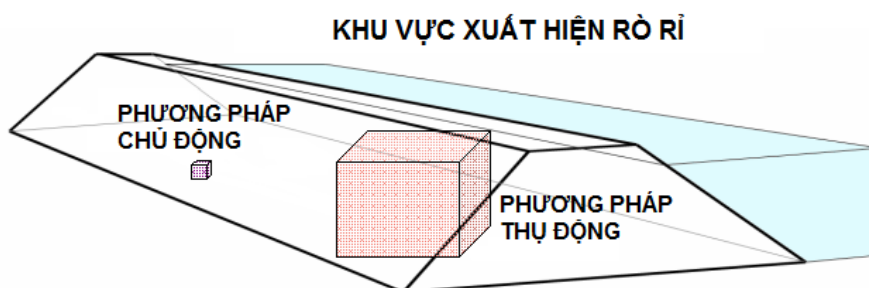
có các hệ thống thoát nước. Các nghiên cứu trên công trình thử nghiệm với tỉ lệ 1:1 đã cho thấy khả năng phát hiện được rõ rĩ với lưu lượng 2l/min/m dài (Cunat, 2010; Radzicki and Bonelli, 2010a).

2.4 Quan trắc nhiệt thụ động và chủ động

Trong quan trắc nhiệt có hai biện pháp cơ bản để đo đạc và quan trắc nhiệt độ trong lòng đê, đập đó là phương pháp thụ động và chủ động. Bằng phương pháp thụ động thì chúng ta phân tích nhiệt độ tự nhiên của công trình. Nhiệt độ tại vị trí đo đạc được cấu thành trước hết từ ảnh hưởng của nhiệt độ bên ngoài và khi nhiệt độ đo đạc được ở vị trí cần đo đạc đã biến đổi khi truyền qua thân đê, điều này còn phụ thuộc vào môi trường vật liệu của thân đê và các yếu tố khác nữa, vì thế sự thay đổi nhiệt độ trong thân đê phản ánh các điều kiện môi trường, vật liệu cũng như các hiện tượng xảy ra trong thân đê, ví dụ như hiện tượng xói mòn hay rò rỉ trong thân đê. Bằng cách này phương pháp quan trắc nhiệt thụ động cho phép chúng ta quan trắc toàn bộ thân đê và phân tích các hiện tượng rò rỉ và xói mòn trong thân đê hay đập (Radzicki 2009).

Trong quan trắc nhiệt bằng phương pháp chủ động thì ngoài các cảm biến nhiệt bằng cáp quang được thi công trong thân đê còn có thiết bị „tạo nhiệt”, đó có thể là một thanh sắt được làm nóng lên bằng điện trở. Việc áp dụng các phương pháp hiệu chỉnh thích hợp trong nghiên cứu truyền nhiệt cho phép chúng ta xác định tốc độ thấm nước xung quanh cáp quang (Pelzmaier et al. 2006). Nhưng phạm vi hoạt động của phương pháp này bị hạn chế bởi nhiều yếu tố, như môi trường của thân đê, đập hay nguyên vật liệu của thân đê đập và trước hết đó là thời gian đo đạc và quan trắc. Thông thường phạm vi đó chỉ là vài cm, với thời gian „tạo nhiệt” dài thì phạm vi có thể lên tới vài chục cm.

Việc lựa chọn biện pháp quan trắc – chỉ áp dụng phương pháp thụ động hay phương pháp chủ động bổ sung phương pháp chủ động cần được nghiên cứu, phân tích một cách kỹ lưỡng bởi các chuyên gia trong lĩnh vực này kết hợp với các mô hình chuyên dụng để phân tích các biến đổi cũng như các hiện tượng thủy-nhiệt của công trình được quan trắc.



Hình 3. Mô hình so sánh phạm vi phát hiện và hoạt động của biện pháp thụ động và biện pháp chủ động quan trắc nhiệt

2.5 Phương pháp thụ động và mô hình để phân tích đo lường

Quan trắc nhiệt các hiện tượng rò rỉ trong đập đất đã được sử dụng trong hơn hai mươi năm (Johansson, 1997). Tuy nhiên, trong một thời gian dài ứng dụng này bị hạn chế chủ yếu để phân tích các khối lõi nằm sâu bên trong đập, trong đó tác động của nhiệt độ không khí là không đáng kể. Tác động đồng thời của nhiệt độ nước và không khí vào nhiệt độ đo được thậm chí có thể làm ảnh hưởng đến kết quả chính xác. Việc phân tích các phép đo nhiệt độ chủ yếu dựa trên các phương pháp đơn giản, cho phép so sánh các dữ liệu đo có xét đến vị trí khác nhau của các thiết bị cảm biến hoặc sự khác biệt giữa chuỗi thời gian nhiệt độ đo được, hoặc việc so sánh nhiệt độ thân đập với những nhiệt độ được tính toán trong trường hợp không có rò rỉ, ví dụ như (Konrad et al. 2000). Kết quả là, các phương pháp phân tích tín hiệu chưa tiên tiến kéo theo những hạn chế đáng kể ảnh hưởng đến khả năng đọc các thông tin trong một tín hiệu nhiệt (Radzicki, 2009).

Hiện nay, phương pháp quan trọng để phân tích các phép đo nhiệt độ bao gồm các mô hình chuyên gia hầu hết trong số đó được xây dựng trong sáu năm qua. Sự khác biệt cơ bản giữa các mô hình

liên quan đến độ dài tối thiểu của loạt đo nhiệt độ và phạm vi phân tích kết quả. Bảng 1 thể hiện phân loại một cách có hệ thống các mô hình được xem xét như đề xuất của Radzicki (2010) và các đặc trưng cơ bản của chúng.

Một mặt, có những mô hình thống kê dựa trên phương pháp phân tích tín hiệu mà chỉ cho phép xác định vị trí rò rỉ. Một ví dụ về loại mô hình này là các Mô hình Phân tích Hàng ngày được phát triển bởi EDF để phân tích các phép đo nhiệt độ, cho phép phát hiện rò rỉ tự động và nhanh chóng, bao gồm các tuyến đề chống lũ.

Mặt khác, cũng có những mô hình đòi hỏi các phép đo nhiệt độ được thực hiện trong một thời gian dài hơn, nhưng cho phép xác định các thông số của quá trình rò rỉ, điều này có ý nghĩa rất quan trọng để các chuyên gia đánh giá tình trạng của các đê và đập đất. Ví dụ về loại mô hình này là mô hình IRFTA. Mô hình này cho phép xác định rò rỉ, nhưng quan trọng là nó có thể xác định cường độ của quá trình rò rỉ trong đập và đánh giá động lực học của quá trình rò rỉ.

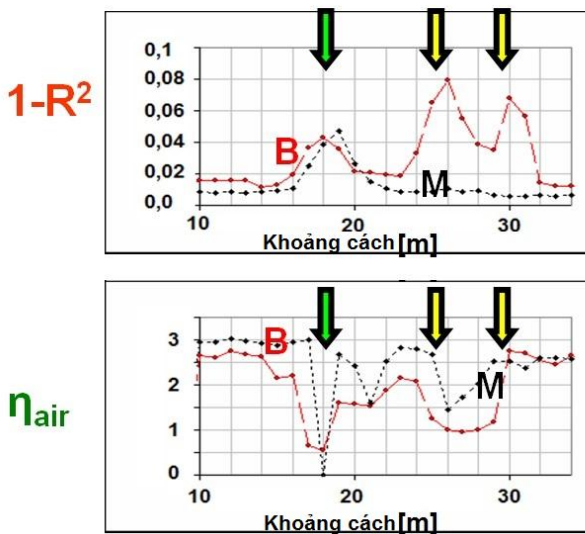
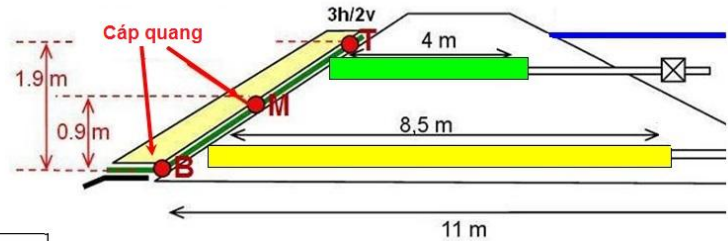
Mô hình biên độ được phát triển vào năm 1997, đòi hỏi phải đo nhiệt độ một năm và dẫn đến nhiều hạn chế trong việc ứng dụng mô hình, bao gồm những yếu tố khác, giả thuyết không có tác động của nhiệt độ không khí đến các phép đo; thì nó vẫn cho phép ước lượng vận tốc rò rỉ trong lớp bị xói lở của đập đất.

<i>Phân loại các mô hình phổ biến</i>		<i>Các mô hình xử lý tín hiệu</i>		<i>Các mô hình với ý nghĩa của các thông số vật lý</i>	
Mô hình Nazwa	Mô hình phân tích hàng ngày	Mô hình tách nguồn	Mô hình phân tích chức năng phản ứng xung lực		Mô hình biên độ
			IRFTA	MORITO	
Thời gian thu dữ liệu nhiệt độ tối thiểu	Khoảng 1 ngày	Khoảng 2-3 tháng		1 năm	
Phạm vi ứng dụng	Loại kết cấu thủy lực	Đê đập đất của các sông và các đê chống lũ	Đê và đập đất của các sông		
	Các điều kiện thủy lực	Vùng bão hòa và chưa bão hòa			Chỉ vùng bão hòa
	Điều kiện nhiệt	Phân tích dữ liệu liên quan đến nhiệt độ hồ chứa và nhiệt độ không khí cũng như là các nguồn nhiệt khác.	Phân tích liên quan đến nhiệt độ hồ chứa và nhiệt độ không khí.	Chỉ phân tích ảnh hưởng của nhiệt độ hồ chứa; bỏ qua ảnh hưởng của nhiệt độ không khí	
Nguyên tắc cơ bản	Phân tích dữ liệu hàng ngày sử dụng phương pháp phân tích tín hiệu	Phương pháp tách nguồn	Mô hình hóa với kết quả đánh giá gần đúng theo luật số mũ của chức năng phản ứng xung lực của hệ thống.	Đánh giá giải pháp đúng cho vấn đề liên quan đối với lớp rò rỉ	
Các ưu điểm chính	Phương pháp phát hiện rò rỉ nhanh nhất. Có khả năng cảnh báo sớm, lắp đặt hệ thống phát hiện rò rỉ tự động	Phương pháp phát hiện rò rỉ	Đánh giá Parametrical của nhiệt được ghép và vận chuyển nước, bao gồm khả năng phát hiện rò rỉ và đánh giá mức độ của nó Mô hình MORITO cho phép lọc ra các biến đổi nhiệt độ theo hình sin, theo mùa và theo năm	Ước tính tốc độ thấm trong lớp bị xói ngầm	
Ví dụ mô tả ứng dụng mô hình	Beck et al., 2010	Beck et al., 2010; Khan et al., 2008	Radzicki, 2009; Radzicki and Bonelli, 2010; Artières et al., 2007	Beck et al., 2010; Cunat, 2012	Johansson, 1997

Bảng 1. Phân loại và các đặc điểm chính của các mô hình phân tích nhiệt độ thụ động (Radzicki, 2010)

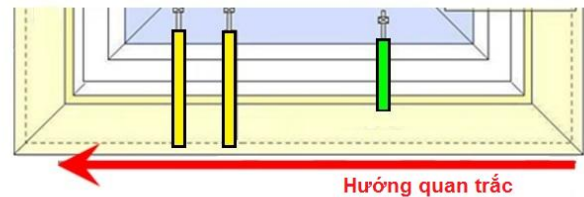
3 Sự cần thiết của việc ứng dụng phương pháp quan trắc nhiệt

Tính hiệu quả và thực tiễn của phương pháp quan trắc nhiệt đã được xác nhận bởi một số lượng lớn các ứng dụng của nó trên các kết cấu thủy lực hiện có và thử nghiệm thực tế tại các lưu vực nghiên cứu. Nhiều ví dụ về các ứng dụng này đã được trình bày trong các tài liệu chuyên ngành. Một thực tế đặc biệt quan trọng là việc xác nhận về hiệu quả của việc phát hiện và phân tích các quá trình rò rỉ và xói mòn đối với các thiết bị cảm biến nhiệt độ được bố trí tại vị trí chân bị sạt lở của kết cấu, tức là nơi mà tốn ít chi phí và dễ dàng để lắp đặt một thiết bị cảm biến ở kết cấu hiện có, nhưng, đồng thời, đây thường là khu vực chưa bão hòa hoặc bão hòa một phần, thường thì không bị ảnh hưởng lớn bởi nhiệt độ đến nhiệt độ của khu vực này.



Khu vực rò rỉ nhân tạo:

■ BÊN DƯỚI ■ BÊN TRÊN



Hình 5. Phát hiện rò rỉ dựa vào mô hình IRFTA tại lưu vực thử nghiệm PEERINE (Radzicki và Bonelli 2010)

Việc ứng dụng mô hình IRFTA để phân tích mức độ diễn biến rò rỉ trong các kết cấu thủy lực được thiết kế cho việc xây đập liên tục đã được trình bày bởi Radzicki và Bonelli (2010). Họ đã phân tích các dữ liệu nhiệt độ được đo tại một kênh phách sinh tại Oraison ở Pháp, của Công ty EDF, kênh đã lắp đặt cáp quang tại vị trí chân của kết cấu. Theo kết quả của mô hình, qua chiều dài của phần được kiểm tra, năm khu vực thủy nhiệt đã được xác định có liên quan trực tiếp đến mức độ tiến triển khác nhau của quá trình thấm. Phân tích các thông số của mô hình cho phép giải thích mang tính vật lý quá trình xem xét và tạo điều kiện để xác định mức độ của chúng. Hình 5 cho thấy một ví dụ về phát hiện rò rỉ bằng cách sử dụng mô hình IRFTA trong các thử nghiệm thực hiện tại lưu vực thử nghiệm PEERINE (Irstea, Aix-en-Provence, Pháp). Quan trọng hơn, trong trường hợp này Radzicki và Bonelli (2010) đã chứng minh rằng mô hình này cho phép phát hiện hiệu quả ngay cả các rò rỉ rất nhỏ mà thậm chí chỉ gây ra một sự thay đổi về độ ẩm của nền đất trong vùng sạt lở.

Một thử nghiệm rất quan trọng là dự án Ijkdijk thực hiện tại Hà Lan vào năm 2009. Nó bao gồm việc xác minh các phương pháp khác nhau để phát hiện và quan trắc hệ thống đường ống. Sử dụng mô hình đề thực tế, kiểm tra diễn biến của hệ thống đường ống đã được tiến hành tại khu vực tiếp xúc giữa thân đập và nền móng. Bốn thử nghiệm, dài từ 4-6 ngày đã được tiến hành, mỗi lần thử nghiệm kéo dài cho đến khi kết cấu bị sụp đổ, tức là đất bị vỡ. Trong các thử nghiệm này, việc ứng dụng các thiết bị cảm biến nhiệt độ sợi quang lần đầu tiên cho phép hình dung một cách chính xác diễn biến của hệ thống đường ống ở quy mô thực của kết cấu thủy lực đập. Việc phân tích dữ liệu đo nhiệt độ bằng Mô hình Phân tích Hàng ngày được phát triển bởi EDF (Pháp), mà đã được

thực hiện cho dữ liệu được đo bằng một sợi cáp quang được lắp đặt tại vị trí chân sạt lở của kết cấu (Beck et al., 2010), được chứng minh là đặc biệt có giá trị. Mô hình Phân tích Hàng ngày, có thể hoạt động theo chế độ tự động, các điểm được xác định của các khu vực có xói mòn, thậm chí vài ngày trước khi sụp đổ kết cấu.

Từ những thử nghiệm khả quan trong việc ứng dụng và thí nghiệm phương pháp quan trắc nhiệt, các phương pháp này đã được đề xuất, *inter alia*, bởi Ủy ban Quốc tế về các Đập lớn (ICOLD) trong Bản tin của mình (ICOLD, 2013) số 164, được chuẩn bị bởi Nhóm Công tác Châu Âu (EWG) về Xói ngầm của ICOLD: "...các phương pháp cổ điển có nhiều khả năng là có hiệu quả đối với xói mòn ngược, xói ngầm và xói mòn tiếp xúc. Xói mòn rò rỉ tập trung có thể phát triển nhanh chóng trong nhiều trường hợp. Hiện nay có nhiều phương pháp để phát hiện rò rỉ. Triển vọng nhất là đo nhiệt độ, phương pháp này có thể được sử dụng để luận ra dòng chảy cục bộ. Cáp quang giúp thu thập dữ liệu và làm cho nó có thể bao trùm hết phần lớn đập. Phương án cảm biến từ xa cũng có khả năng lớn trong việc phát hiện liệu rò rỉ có gây ra xói mòn không". Hơn nữa, Giáo sư Fry, người đã có nhiều năm làm Chủ tịch của Nhóm Công tác này đã viết rằng (Fry, 2012) " ... một phương pháp thích hợp để phát hiện xói ngầm bao gồm thực hiện một loạt các phép đo trong thời gian thực dọc theo toàn bộ chiều dài của đập. Mục đích là để phát hiện ra tất cả các vấn đề bất thường, làm sáng tỏ chúng trong thời gian thực với sự tham gia của hệ thống chuyên gia và so sánh chúng với một số các tiêu chí an toàn ... theo quan điểm của chúng tôi, phép đo Nhiệt độ Sợi quang Phân bố là phương pháp thích hợp nhất để đạt được những mục tiêu này" và "đo nhiệt độ trong thân đập là cách tốt nhất để phát hiện các rò rỉ ở độ sâu nhỏ và vừa "

Các trích dẫn ở trên giới thiệu phương pháp quan trắc nhiệt để phát hiện cả hai quá trình thấm (rò rỉ) và xói mòn. Họ nhấn mạnh tính liên tục về không gian quan trắc được thực hiện bằng phương pháp này.

Việc phát hiện sớm và chính xác các quá trình phá hoại có tầm quan trọng then chốt nhằm giảm thiểu nguy cơ sụp đổ và hư hỏng kết cấu. Đồng thời nó cũng góp phần rất lớn làm giảm chi phí sửa chữa có thể có mà chỉ giới hạn trong khu vực xác định chính xác của quá trình xói mòn có tiến triển chậm. Phân tích về mức độ tiến triển và động lực học của quá trình xói mòn một cách kịp thời, được thực hiện bởi chuyên gia kỹ thuật đập, sử dụng phương pháp quan trắc nhiệt, cho phép đánh giá chính xác hơn trước khi tình trạng này xảy ra dọc theo toàn bộ chiều dài của kết cấu. Việc ứng dụng các phương pháp quan trắc nhiệt trên một nhóm hoặc hệ thống kết cấu thủy lực đập được quản lý bởi một đơn vị hoặc cơ quan điều hành sẽ cho phép tối ưu hóa và giảm chi phí quy hoạch và quản lý vận hành và sửa chữa các kết cấu này.

6. Kết luận

Tính hiệu quả của các phương pháp quan trắc nhiệt được trình bày ở trên là do sự phát triển đồng thời các phương pháp đo nhiệt độ, cũng như các phương pháp và mô hình để phân tích các dữ liệu đo nhiệt độ. Ưu điểm cơ bản của phương pháp này bao gồm việc phát hiện rò rỉ sớm và chính xác, quan trắc liên tục dọc theo kết cấu và khả năng thiết lập một lắp đặt quan trắc nhiệt ở các kết cấu hiện có, đặc biệt là ở vị trí chân sạt lở của kết cấu. Với số lượng lắp đặt hệ thống này ngày càng tăng trên toàn thế giới và thực tế là nó đã được khuyến cáo bởi ICOLD, có thể kỳ vọng một sự gia tăng lớn về số lượng các ứng dụng và sự phổ biến của phương pháp quan trắc nhiệt trong thực tế quan trắc các kết cấu thủy lực đập.

Tham khảo

1. Artières O., Bonelli S., Fabre J.-P., Guidoux C., Radzicki K., Royet P., Vedrenne C. *Active and passive defences against internal erosion, in Assessment of the Risk of Internal Erosion of Water Damming Structures: Dams, Dykes and Levees*. TUM Edt, pp 235-244, 2007
2. Beck Y.L., Cunat P., Guidoux C., Artieres O., Mars J., Fry J.J. *Thermal monitoring of embankment dams by fiber optics*. Proc. 8th ICOLD European Club Dam Symposium. Innsbruck, Austria, September 22-23, pp.461- 465, 2010
3. Cunat P. *Adaptation of a controlled site for leakage detection and quantification with fiber optics*. Workshop of European Working Group in Internal Erosion of ICOLD, 12-14 kwiecień, Granada, Hiszpania, 2010
4. Cunat P. *Détection et évaluation des fuites à travers les ouvrages hydrauliques en remblai, par analyse de températures réparties, mesurées par fibre optique*, PhD rapport,

5. Fry J.J., How to Prevent Embankments from Internal Erosion Failure?, International symposium on dams for a changing world, 5 czerwca, Kyoto, Japonia, 2013
6. ICOLD, *Internal erosion of existing dams, levees and dikes, and their foundations*, Bulletin no. 164, Volume 1: Internal erosion processes and engineering assessment, 2013.
7. Johansson S., *Localization and quantification of water leakage in ageing embankment dams by regular temperature measurements*, 17eme Congrès des Grands Barrages, Vienna, Q.65-R.54, pp.991-1005, 1991
8. Johansson S. *Seepage monitoring in Embankment Dams*. PhD Rapport, Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden, 1997.
9. Khan A.A, Vrabie V., Mars J.I., Girard A, D'Urso G. *A source separation technique for processing of Thermometric Data From Fiber-Optic DTS Measurements for Water Leakage Identification in Dikes*. IEEE Sensors J., Vol.8, no7, pp.1118-1129, 2008
10. Perzmaier S., Straßer K.H., Strobl T., Aufleger M. *Integral seepage monitoring on open channel embankment dams by the DFOT heat pulse method*. 74th Annual Meeting, Int. Comm. On Large Dams, Barcelona, Spain, 2006
11. 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)*, PhD rapport, Grenoble University (Grenoble), 2012
12. Radzicki K. Bonelli S. *Thermical seepage monitoring in the earth dams with Impulse Response Function Analysis model*, 8h ICOLD European Club Symposium, 22-25 september, pp. 649-654, Innsbruck, Austria, 2010.
13. Vogel L. B., Cassens C., Graupner A., Trostel A. Leakage detection systems by using distributed fiber optical temperature measurements. Proc. SPIE Smart Structures and Materials 2001, vol. 4328, pp. 23–34, 2001.