

# MỘT SỐ KẾT QUẢ ỨNG DỤNG MÔ HÌNH TOÁN MINH GIẢI SỐ LIỆU TỪ TRƯỜNG CẢM ỨNG XÁC ĐỊNH VỊ TRÍ DÒNG RÒ QUA ĐẬP ĐẤT

LÊ THANH TÀI, HUỖNH THỊ THU HƯƠNG, LẠI VIỆT HẢI,  
NGUYỄN HỮU QUANG, BÙI TRỌNG DUY

*Trung tâm Ứng dụng kỹ thuật hạt nhân trong công nghiệp,*

*Số 1 DT 723 - Phường 12 - Đà Lạt*

*Email: [taitl@canti.vn](mailto:taitl@canti.vn); [lethanhtai.obkaru@gmail.com](mailto:lethanhtai.obkaru@gmail.com)*

## Tóm tắt

Rò rỉ qua đập và hồ chứa có thể gây ra mất ổn định cấu trúc đập và dẫn đến phá hủy đập. Việc khảo sát sự rò rỉ của nước hồ qua đập không chỉ gói gọn vào xác định các thông số đặc trưng cho lưu lượng thấm mà còn phải xác định được vị trí dòng rò, từ đó giúp cơ quan quản lý khắc phục sự cố mất an toàn đập kịp thời. Báo cáo này giới thiệu mô hình toán ECF (Electric Current Flow) xác định vị trí dòng dẫn ưu tiên dựa trên số liệu từ trường cảm ứng. Mô hình toán được viết lại dưới dạng phần mềm tính MDA và ứng dụng thử nghiệm trên số liệu mô phỏng trên phần mềm Maxwell 3D. Kết quả tính độ sai lệch trung bình giữa các tọa độ đường khớp với dòng rò mô hình  $\delta x = \pm 2,3\%$  và  $\delta z = \pm 6,0\%$  là tương đối nhỏ. Ngoài ra, mô hình ngược sau đó được xây dựng dựa trên vị trí dòng dẫn vừa xác định để so sánh từ trường tạo ra giữa mô hình giả định và mô hình ngược. Kết quả sai số căn quân phương chuẩn hóa (Normalized root-mean-square deviation – NRMSD) giữa từ trường của hai mô hình bằng 0,2 là chấp nhận được. Từ đó, báo cáo cho thấy khả năng xác định vị trí dòng dẫn ưu tiên bằng mô hình toán ECF là khá khả quan.

Các nghiên cứu tiếp theo, Nhóm nghiên cứu sẽ được tiếp tục để hoàn thiện mô hình toán ECF, xây dựng hoàn chỉnh phần mềm xử lý số liệu từ trường MDA, nhằm triển khai ứng dụng cho số liệu thực địa, phục vụ nhu cầu khảo sát dòng rò, góp phần tích cực vào công tác xử lý, đảm bảo an toàn đập.

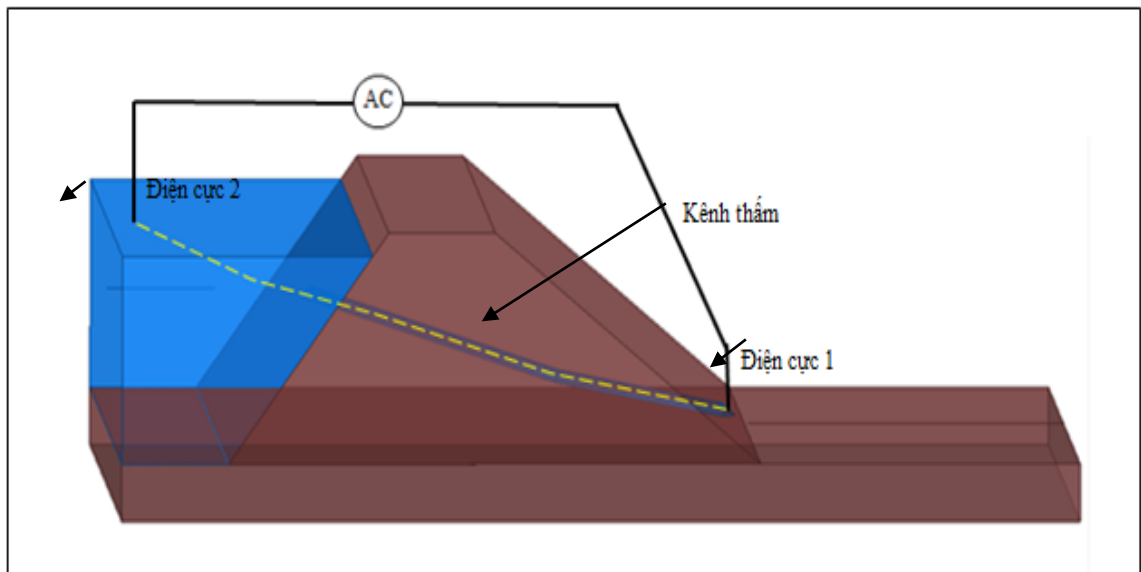
**Từ khóa:** Từ trường, ECF, Đập, dòng thấm, MDA

## 1. MỞ ĐẦU

Trong thực tế, việc khảo sát sự rò rỉ của nước hồ qua đập bằng phương pháp đánh dấu chủ yếu chỉ xác định được các thông số đặc trưng cho lưu lượng thấm như vận tốc trung bình, số kênh thấm,... mà không cho các thông tin về vị trí dòng rò rỉ ngầm trong thân đập cũng như trong nền đập. Việc xử lý khắc phục rò rỉ vì thế vẫn gặp nhiều khó khăn và thiếu hiệu quả do không xác định được vị trí dòng rò.

Ứng dụng từ trường cảm ứng trong khảo sát dòng thấm qua đập là một phương pháp mới, tiết kiệm thời gian và chi phí được nhóm nghiên cứu của Willowstick (Hoa Kỳ) phát triển [1, 2, 3]. Phương pháp dựa trên nguyên tắc: nước thấm qua đập từ hồ chứa sẽ làm tăng độ dẫn điện của vật liệu đập. Khi một dòng điện xoay chiều được đặt vào hai bên đập, dòng điện sẽ đi qua các vùng thấm trong thân đập, bằng cách đo các thành phần của từ trường được tạo ra bởi dòng điện, vị trí của dòng rò sẽ được xác định.

Báo cáo này giới thiệu mô hình toán ECF (Electric Current Flow) xây dựng vị trí dòng dẫn ưu tiên dựa trên số liệu từ trường cảm ứng. Mô hình toán được viết lại dưới dạng phần mềm tính MDA và ứng dụng thử nghiệm trên số liệu mô phỏng trên phần mềm Ansys Maxwell 3D. Mức độ tương quan giữa vị trí của dòng rò trong mô hình mô phỏng và dòng rò được xây dựng bằng phần mềm MDA sẽ được đánh giá bằng mức độ sai lệch tọa độ trung bình  $\pm \delta x$  và  $\pm \delta z$  giữa tọa độ không gian của hai dòng rò. Ngoài ra, Nhóm nghiên cứu đã xây dựng mô hình ngược bằng phần mềm mô phỏng Maxwell 3D, dựa trên vị trí dòng dẫn vừa xác định bằng phần mềm MDA. Mục đích của việc xây dựng mô hình ngược là để so sánh tương quan giữa hai bộ số liệu từ trường, được tạo ra bởi mô hình ban đầu và mô hình ngược. Sai số căn quân phương chuẩn hóa (Normalized root-mean-square deviation – NRMSD) được sử dụng để đánh giá độ tương quan giữa hai bộ số liệu từ trường, từ đó đánh giá được mức độ phù hợp của dòng rò được xây dựng bằng phần mềm MDA so với dòng rò mô hình giả định ban đầu.



Hình 1. Minh họa phương pháp từ trường cảm ứng xác định dòng rò rỉ đập

## II. CƠ SỞ LÝ THUYẾT

### Cơ sở lý thuyết

Theo định luật Ampere, độ lớn vector cảm ứng từ tại điểm cách dây dẫn một khoảng  $R$  (m) được tạo ra bởi dây dẫn thẳng, dài vô hạn :

$$B = \frac{\mu_0 \cdot I}{2\pi \cdot R} \quad (1)$$

Với  $B$  là độ lớn vector cảm ứng từ (T)

$\mu_0$  là hằng số từ môi ( $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$  (T.m/A)

$I$  là cường độ dòng điện (A)

Khi một hiệu điện thế xoay chiều được đặt vào hai bên đập, dòng điện sẽ đi qua các vùng thẩm trong thân đập theo con đường ứng với trở kháng nhỏ nhất. Dòng điện có tần số biến thiên sẽ tạo ra từ trường cảm ứng theo định luật Faraday. Từ phân bố cường độ từ trường cảm ứng trên mặt đập, bằng cách minh giải số liệu thích hợp sẽ thiết lập được bản đồ biểu diễn vị trí dòng rò ở dạng hình ảnh 2D.

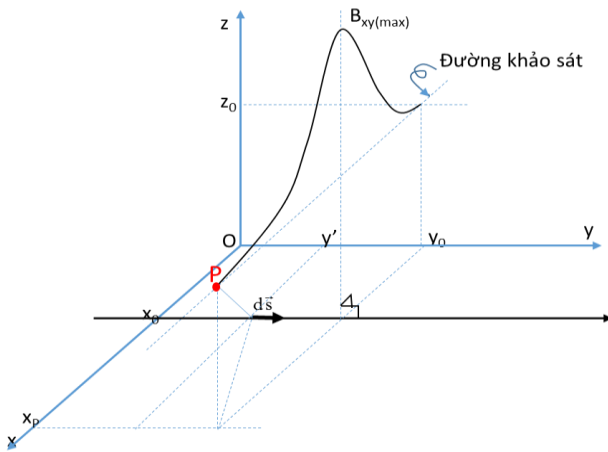
### Mô hình toán ECF

Để xác định được vị trí dòng rò theo độ sâu cần xây dựng mô hình toán phù hợp, trong báo cáo này sử dụng mô hình toán ECF.

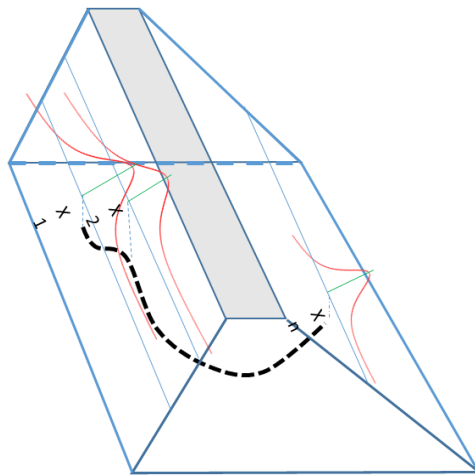
Theo định luật Biot-Sarvat, vector từ trường  $d\vec{B}$  tạo ra bởi phần tử dòng điện  $I ds$  tại điểm  $P$  cách đó một khoảng  $r$ :

$$d\vec{B} = \frac{\mu_0 I}{4\pi} \cdot \frac{d\vec{s} \times \vec{r}}{r^2} \quad (2)$$

Với  $\vec{r}$  là vector đơn vị khoảng cách từ phần tử dòng điện đến điểm  $P$



Hình 2. Từ trường ngang  $B_{xy}$  cực đại gây ra bởi các phần tử mang điện

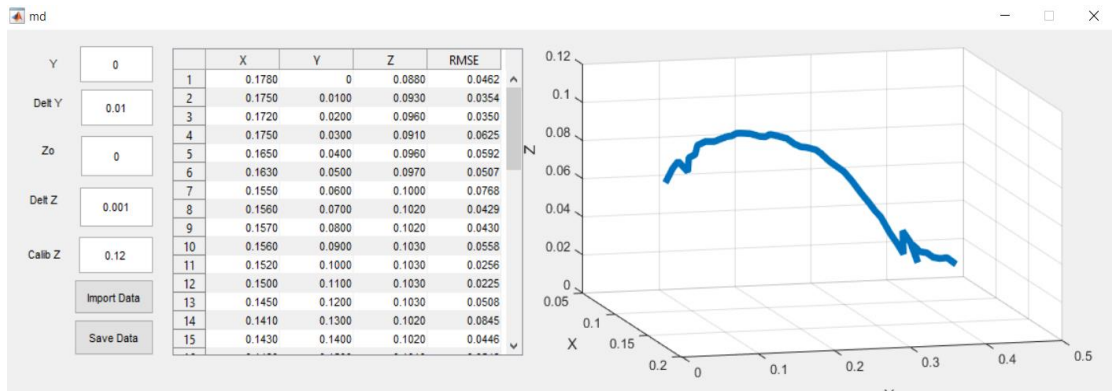


Hình 3. Hình ảnh từ trường ngang  $B_{xy}$  cực đại tại mỗi lát cắt dọc thân đập

Trong các thuật toán hồi quy không tuyến tính, báo cáo sử dụng thuật toán Levenberg–Marquardt (LM) vì tính ổn định cũng như tối ưu khi tính toán [4], với hàm khớp là hàm phân bố từ trường ngang - dọc  $B_{xy}$

### Phần mềm MDA

Phần mềm MDA được xây dựng dựa trên thuật toán LM, với nguyên lý làm khớp số liệu từ trường  $B_{xy}$  của kết quả mô phỏng hoặc thực nghiệm với nghiệm giải tích của mô hình toán ECF. Kết quả nhận được từ phần mềm MDA sẽ là các giá trị tọa độ không gian của vị trí dòng rò, từ đó, xây dựng hình ảnh 3D cho vị trí dòng rò, như Hình 4.



Hình 4. Giao diện phần mềm xử lý số liệu từ trường MDA

Xét:

+ dây dẫn thẳng dài vô hạn thuộc mặt phẳng ngang Oxy và song song với Oy ( $x = x_0$ )

+ P là điểm đo thuộc đường khảo sát nằm song song với mặt phẳng Oxy ( $y = y_0; z = z_0$ ) và vuông góc với Oy

Phân bố cường độ từ trường ngang, dọc theo đường khảo sát vuông góc với mặt phẳng chứa dòng điện ( $x_p$  thay đổi) phụ thuộc vào vị trí dòng điện  $x_0$  (đỉnh phân bố) và khoảng cách từ đường khảo sát đến mặt phẳng chứa dòng điện  $z_0$ . Mối liên hệ giữa các giá trị  $x_0, z_0, B_{xy}$  thể hiện bởi công thức (3).

$$B_{xy} = \frac{\mu_0 I}{2\pi} \cdot \frac{z_0}{(x_0 - x_p)^2 + z_0^2} \quad (3)$$

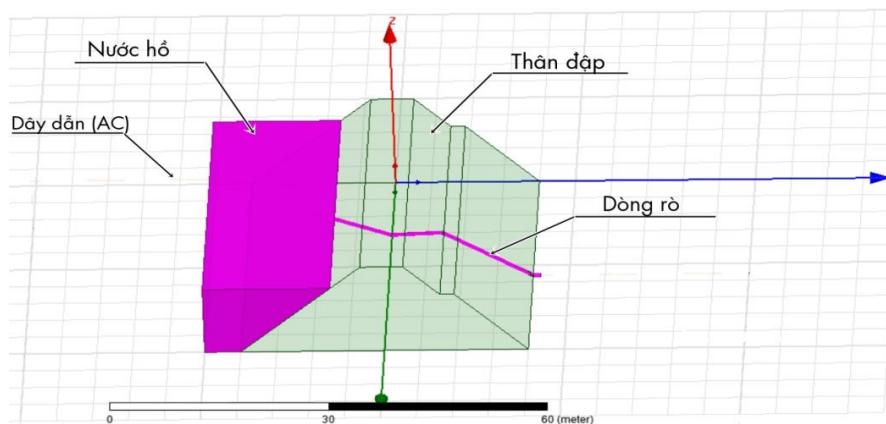
### III. MÔ PHỎNG

Maxwell 3D là một gói phần mềm của ANSYS Maxwell, sử dụng phương pháp phần tử hữu hạn (Finite Element Analysis - FEA) để giải quyết các vấn đề về điện-từ trường, dòng điện xoáy..., bằng cách giải các phương trình của Maxwell trong một vùng không gian hữu hạn với các điều kiện biên, điều kiện ban đầu do người dùng chỉ định[5].

Trong báo cáo này, Nhóm nghiên cứu đã sử dụng phần mềm Maxwell 3D mô phỏng từ trường cảm ứng gây ra bởi dòng điện chạy qua dòng rò trong mô hình đập 3D giả định. Mô hình đập giả định được thiết lập với các thông số cơ bản như Bảng 1. Từ trường được tạo ra bởi dòng điện của dòng rò sẽ được đo và ghi nhận trên các đường thẳng dọc thân đập cách bề mặt đập 1,0 m.

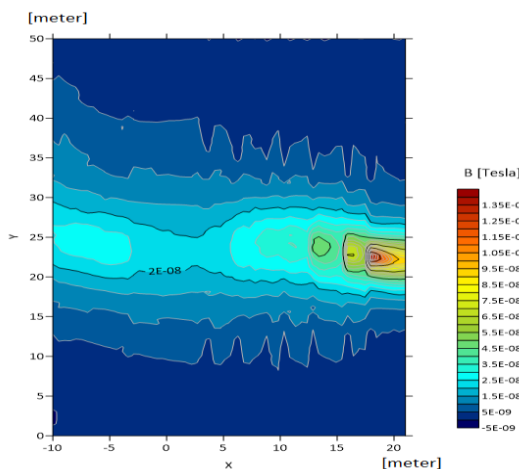
Bảng 1. Thông số mô hình đập

Thông số	Giá trị	Đơn vị
Chiều dài thân đập khảo sát	50	m
Bề dày đáy đập từ thượng lưu đến hạ lưu	40	m
Đường kính dòng rò	0.4	m
Cường độ dây dẫn (dòng điện AC)	0.1	A
Tần số dòng điện (f)	380	Hz



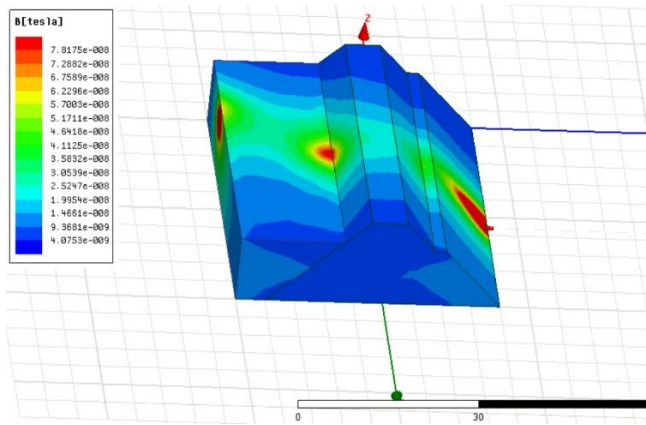
Hình 5. Mô hình đập ba chiều trên phần mềm Maxwell 3D

### IV. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN



Hình 6. Contour  $B_{xy}$  trong mặt phẳng 2D

Các thành phần từ trường dọc và ngang  $B_{xy}$  được tạo ra bởi dòng điện trong dòng rò sẽ được ghi nhận trên các đường thẳng dọc thân đập cách mặt đập 1,0 m. Thông qua minh giải số liệu mô phỏng bằng phần mềm Suffer 15, một bản đồ cơ sở biểu diễn vị trí dòng rò và sự phân bố từ trường  $B_{xy}$  được biểu thị tại Hình 6.



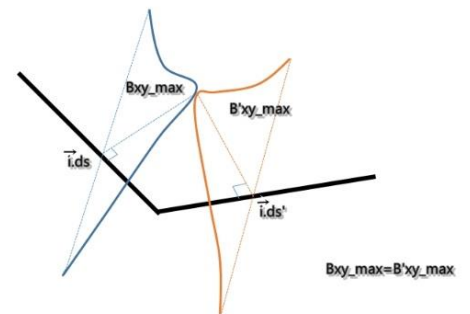
Sự phân bố từ trường không gian  $B_{xyz}$  trong không gian đập và nước hồ được hiển thị trên phần mềm Maxwell 3D như Hình 7.

Hình 7. Phân bố từ trường  $B_{xyz}$  trong mô hình đập 3D

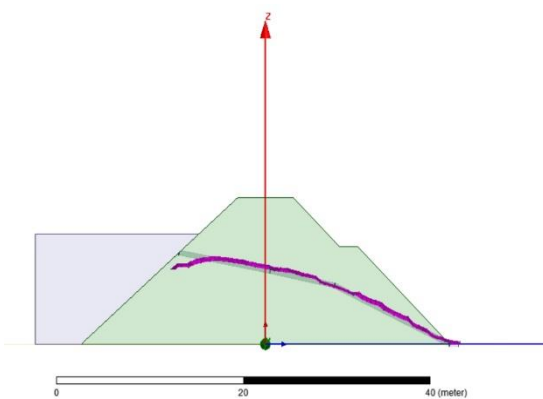
Đường khớp dòng rò được xây dựng bằng phần mềm MDA cho kết quả định tính về vị trí dòng rò là tương đối chính xác thể hiện ở Hình 8, Hình 10. Các tọa độ của đường khớp có giá trị x sai lệch nhất định, nguyên nhân có thể do hiện tượng có chung một giá trị từ trường  $B_{xy}$  cực đại do hai hoặc nhiều phần tử mang điện gây nên, được minh họa ở Hình 9.



Hình 8. Hình chiếu bằng của đường khớp biểu diễn trên mô hình đập



Hình 9. Minh họa trường hợp một giá trị từ trường  $B_{xy}$  cực đại do hai phần tử mang điện gây ra



Hình 10. Hình chiếu đứng của đường khớp biểu diễn trên mô hình đập

Trong hình 10, vị trí điểm đầu vào của đường khớp có sự sai lệch lớn so với dòng rò mô hình, nguyên nhân là do phương pháp ECF áp dụng cho dòng điện có tính tập trung, trong khi đó, hành vi của dòng điện trong vùng nước hồ rộng lớn lại có sự phân bố phức tạp hơn.

Độ sai lệch trung bình giữa vị trí của dòng rò tính toán và vị trí dòng rò mô hình là tương đối nhỏ, lần lượt theo phương x, phương z là  $\delta x = \pm 2,3\%$  và  $\delta z = \pm 6,0\%$ . 6,0 Kết quả tính độ sai lệch

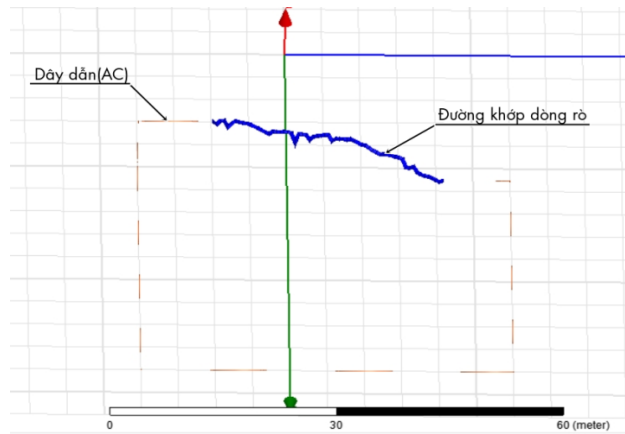
của các vị trí đường khớp với dòng rò mô hình thể hiện trên Bảng 2.

Bảng 2. Kết quả tính độ lệch của các tọa độ đường khớp với dòng rò mô hình

x	y	z	x'	y'	z'	± δX, %	± δZ, %
24.00	-10.00	7.68	25.29	-10.00	9.23	± 5.4%	± 20.2%
24.30	-9.00	8.08	25.59	-9.00	9.04	± 5.3%	± 11.9%
25.90	-8.00	8.26	25.89	-8.00	8.85	± 0.0%	± 7.1%
24.90	-7.00	8.58	26.20	-7.00	8.66	± 5.2%	± 0.9%
25.50	-6.00	8.72	26.50	-6.00	8.46	± 3.9%	± 2.9%
25.90	-5.00	8.74	26.80	-5.00	8.27	± 3.5%	± 5.4%
26.50	-4.00	8.62	27.10	-4.00	8.08	± 2.3%	± 6.3%
27.20	-3.00	8.48	27.40	-3.00	7.89	± 0.7%	± 7.0%
26.80	-2.00	8.28	27.70	-2.00	7.69	± 3.4%	± 7.1%
26.70	-1.00	8.08	28.00	-1.00	7.50	± 4.9%	± 7.2%
26.50	0.00	7.92	28.21	0.00	7.61	± 6.5%	± 4.0%
28.50	1.00	7.66	27.79	1.00	7.39	± 2.5%	± 3.5%
26.60	2.00	7.58	27.36	2.00	7.18	± 2.8%	± 5.3%
27.70	3.00	7.44	26.93	3.00	6.97	± 2.8%	± 6.3%
26.40	4.00	7.14	26.50	4.00	6.76	± 0.4%	± 5.4%
25.90	5.00	6.92	26.07	5.00	6.54	± 0.6%	± 5.4%
26.60	6.00	6.38	25.64	6.00	6.33	± 3.6%	± 0.8%
25.80	7.00	6.08	25.21	7.00	6.12	± 2.3%	± 0.6%
25.60	8.00	5.76	25.12	8.00	5.77	± 1.9%	± 0.1%
25.30	9.00	5.36	25.36	9.00	5.29	± 0.3%	± 1.4%
26.00	10.00	5.18	25.60	10.00	4.81	± 1.5%	± 7.2%
26.00	11.00	4.62	25.84	11.00	4.33	± 0.6%	± 6.4%
26.50	12.00	4.24	26.08	12.00	3.85	± 1.6%	± 9.3%
26.20	13.00	3.66	26.32	13.00	3.36	± 0.5%	± 8.1%
25.90	14.00	3.16	26.56	14.00	2.88	± 2.6%	± 8.7%
25.80	15.00	2.72	26.80	15.00	2.40	± 3.9%	± 11.6%
27.20	16.00	2.02	27.04	16.00	1.92	± 0.6%	± 4.8%
26.50	17.00	1.58	27.28	17.00	1.44	± 2.9%	± 8.7%
27.50	18.00	0.94	27.52	18.00	0.96	± 0.1%	± 2.3%
27.60	19.00	0.62	27.76	19.00	0.58	± 0.6%	± 5.9%
27.90	20.00	0.28	28.00	20.00	0.26	± 0.4%	± 7.9%
27.80	21.00	0.12	28.00	21.00	0.12	± 0.7%	± 3.4%

Nhóm nghiên cứu tiếp tục xây dựng mô hình ngược từ các giá trị tọa độ dòng rò làm khớp, nhằm mô phỏng từ trường cảm ứng gây nên bởi dòng điện chạy qua dòng rò làm khớp. Sai số căn quân phương chuẩn hóa NRMSD là chỉ số đánh giá mức độ tương quan giữa hai bộ số liệu từ trường gây ra bởi dòng rò làm khớp và dòng rò mô hình ban đầu. NRMSD sẽ được tính toán theo công thức(4).

$$NRMSD = \frac{1}{B} \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (B_{xyz} - B'_{xyz})^2}{n}} \quad (4)$$



Hình 10. Mô hình ngược xây dựng trên Maxwell 3D

Kết quả tính sai số căn quân phương chuẩn hóa NRMSD giữa hai bộ số liệu từ trường của hai mô hình theo công thức (3) bằng 0,2 là kết quả chấp nhận được.

## V. KẾT LUẬN

Vị trí dòng rò trong mặt phẳng 2D có thể đánh giá một cách định tính là khá rõ nét, được thể hiện trên hình ảnh contour  $B_{xy}$  hiển thị bằng phần mềm Suffer 15 và hình ảnh từ trường không gian  $B_{xyz}$  hiển thị bằng phần mềm Maxwell 3D.

Để đánh giá độ chuẩn xác vị trí đường khớp dòng rò theo độ sâu cần tính toán các sai số như độ sai lệch trung bình giữa các tọa độ đường khớp với dòng rò mô hình  $\delta x = \pm 2,3\%$  và  $\delta z = \pm 6,0\%$  là tương đối nhỏ, sai số căn quân phương chuẩn hóa NRMSD giữa hai bộ số liệu từ trường của mô hình ban đầu và mô hình ngược bằng 0,2 là kết quả chấp nhận được. Kết quả nghiên cứu trên đã chứng minh được tính khả thi của mô hình toán ECF khi ứng dụng vào việc xác định vị trí dòng rò qua đập trong không gian.

Các nghiên cứu tiếp theo sẽ được tiếp tục để hoàn thiện mô hình toán ECF để khắc phục các nguyên nhân gây sai lệch theo các phương Ox, Oz như Hình 8, Hình 10. Nhóm nghiên cứu sẽ tiếp tục hoàn thiện và phát triển phần mềm xử lý số liệu từ trường MDA, nhằm triển khai ứng dụng xử lý số liệu thực địa, phục vụ nhu cầu khảo sát dòng rò, góp phần tích cực vào công tác xử lý, đảm bảo an toàn đập.

*Lời cảm ơn*

*Công trình được thực hiện tại Phòng Kỹ thuật hạt nhân của Trung tâm Ứng dụng kỹ thuật hạt nhân trong công nghiệp với kinh phí do Bộ Khoa học và công nghệ Việt Nam cấp thông qua đề tài mã số DTCB 10/17/TTUDKTHN-CN. Các tác giả xin trân trọng cảm ơn.*

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Willowstick Technologies LLC (2007), AquaTrack Technology Explained, White Paper, USA
- [2] Willowstick Technologies LLC (2011), Willowstick Geophysical Investigation of Recycle Tailings Pond Dam Pogo Mine, Alaska, USA
- [3] Willowstick Technologies LLC (2012), Willowstick Geophysical Investigation of Highgate Pond #2, USA
- [4] Rick Aster, Brian Borchers & Cliff Thurber, Parameter Estimation and Inverse Problems, Elsevier, 2003
- [5] ANSYS Inc. (2010), User's guide – Maxwell 3D, USA



# SOME RESULTS OF APPLICATION OF MATHEMATICAL MODEL OF INTERPRETATION OF INDUCED MAGNETIC FIELD DATA TO LOCATE LEAKAGE THROUGH EARTH DAM

LÊ THANH TÀI, HUỖNH THỊ THU HƯƠNG, LẠI VIỆT HẢI, NGUYỄN HỮU QUANG, BÙI TRỌNG DUY

*Trung tâm Ứng dụng kỹ thuật hạt nhân trong công nghiệp, Số 1 DT 723 - Phường 12 - Đà Lạt  
Email: tailt@canti.vn*

## Abstract

Leaks through dams and reservoirs can cause instability of the dam structure and lead to dam damage. The investigation of leakage not only includes in defining parameters for flow path but also must determine the location of leakage, which helps the agency to manage the unsafe incidents of a dam in time.

This report introduces the ECF (Electric Current Flow) mathematical model to build the position of leakage based on induced magnetic field data. The mathematical model was rewritten as MDA software and tested on hypothetical simulation data on Maxwell 3D software. The result of calculating the average deviation between the coordinates of the line matching and the model leakage current  $\delta x = \pm 2.3\%$  and  $\delta z = \pm 7.4\%$  which are relatively small. In addition, the reverse model is then built based on the defined leakage position to compare the magnetic field created between the hypothetical model and the reverse model. The result shows that Normalized Root-Mean-Square Deviation (NRMSD) between the magnetic fields of the two models is equal to 0.2 is acceptable. Therefore, the report shows the ability to locate the leakage by ECF mathematical model is quite satisfactory.

The further studies will be continued to complete the ECF mathematical model and complete the data processing software, to deploy applications for field data, to serve the needs of leakage current survey, contributing positively to the treatment, ensuring dam safety.

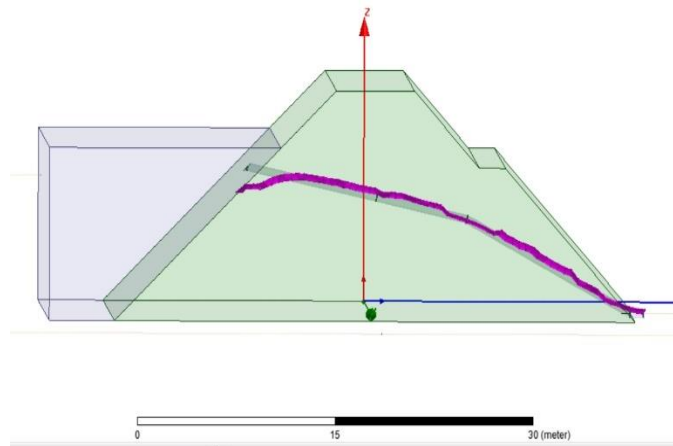


Figure 1. The simulation model hypothetical and reverse model is built based on ECF model

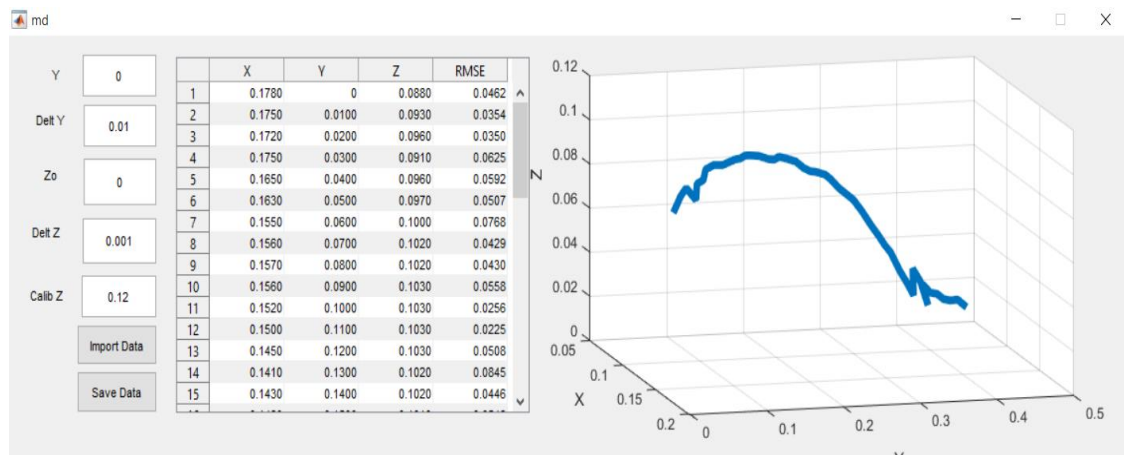


Figure 2. Interface of the MDA magnetic data processing software

**Keywords:** *Magnetic field, ECF, Dam, seepage flow, MDA*