

ỨNG DỤNG MÔ HÌNH FLOW3D ĐÁNH GIÁ PHƯƠNG ÁN XỬ LÝ THAY ĐỔI CAO TRÌNH HỒ XÓI DỰ ÁN HỒ CHỨA NƯỚC SÔNG THAN

Nguyễn Ngọc Nam, Tô Vĩnh Cường

Phòng Thí nghiệm trọng điểm Quốc gia về Động lực học sông biển

Tóm tắt: Khi thi công đào hố xói hạ lưu tràn xả lũ hồ chứa nước Sông Than, tỉnh Ninh Thuận đến cao trình +102,6m-103m (còn 4,6m đến cao trình thiết kế +98,0m) đã gặp nước ngầm và lớp đá cấp 1&2 nguyên khối dẫn đến rất khó khăn cho việc tiếp tục thi công. Do vậy, đơn vị thi công kiến nghị giữ cao trình đáy hố xói ở mức 102.6÷103m (như hiện trạng đang thi công gặp đá cứng). Phòng Thí nghiệm trọng điểm Quốc gia về động lực học sông biển (Phòng TNTĐ) đã xây dựng mô hình số trị Flow 3D để xác định các yếu tố thủy lực (vận tốc và mực nước) trên bài toán phân đoạn (1/2 khoang tràn) nhằm phân tích và so sánh 02 phương án xử lý thay đổi hố xói ở cao trình 98.0m và 103.0m. Kết quả nghiên cứu này giúp đơn vị Tư vấn thiết kế và Chủ đầu tư có cơ sở khoa học cho việc cân nhắc, xem xét kỹ hơn để có phương án xử lý thích hợp, đảm bảo an toàn, phát huy hiệu quả công trình. Dưới đây là một số kết quả nghiên cứu chính của bài toán trên.

Từ khóa: Đập tràn, hố xói, mô hình FLOW-3D.

Summary: During the construction of digging erosion holes in downstream of the flood discharge spillway of Song Than reservoir, Ninh Thuan province to the elevation of +102.6m÷103m (4.6m to the design elevation of +98.0m), encountered underground water and Monolithic rock layers of grade 1&2 that made it very difficult to continue the construction. Due to the current construction situation facing hard rock, the construction unit propose to keep the bottom elevation of the scour hole at 102.6m ÷ 103.0m. The Key Laboratory of River and coastal engineering had built a numerical model of Flow 3D to determine hydraulic parameters (velocity and water level) on the plane problem (1 /2 of floodgates) to analyze and compare 02 options for handling change the erosion holes at elevations of 98.0m and 103.0m. The results of this research help the Design Consulting unit and the Investor have a scientific basis for further consideration and review to have appropriate treatment plans, ensuring safety and promoting project efficiency. Some of the main research results of the above problem are presented in this paper.

Keywords: Spillway, scour hole, FLOW-3D model.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Dự án Hồ chứa Nước Sông Than, tỉnh Ninh Thuận [1] là công trình thủy lợi đa mục tiêu, nhiệm vụ chính của công trình là cấp nước tưới, cấp nước sinh hoạt, nuôi trồng thủy sản, cắt lũ giảm lũ cho hạ lưu, có quy mô dự án gồm:

Đập đất: Chiều dài đập 1350m, cao trình đỉnh đập +141,0m; cao trình đỉnh tường chắn sóng +141.500m; bề rộng đỉnh đập 6,0m; chiều cao đập lớn nhất 33,0m. Hồ chứa có dung tích toàn

bộ là 85,04 triệu m³, trong đó dung tích hiệu dụng là 82,8 triệu m³. Lưu lượng thiết kế $Q_{TK}= 1398,53m^3 /s$ (P=1%); Lưu lượng kiểm tra $Q_{KT}= 1625,33m^3 /s$ (P=0,2%).

Công lấy nước: Lưu lượng thiết kế $Q_{TK}=4,1m^3/s$, đặt tại vai bờ phải của đập nhánh phải là công hộp không áp bằng bê tông cốt thép M200, khẩu diện công (B×H)=(1,5×2,0)m và công ở phía vai bờ trái của đập nhánh trái là công chảy có áp bằng ống thép bọc bê tông cốt thép M200;

Tràn sự cố, tràn tự do, ngưỡng Ophixerov không chân không, tiêu năng mặt mũi phun không có cửa van điều tiết; cao trình ngưỡng

Ngày nhận bài: 20/9/2023

Ngày thông qua phản biện: 30/10/2023

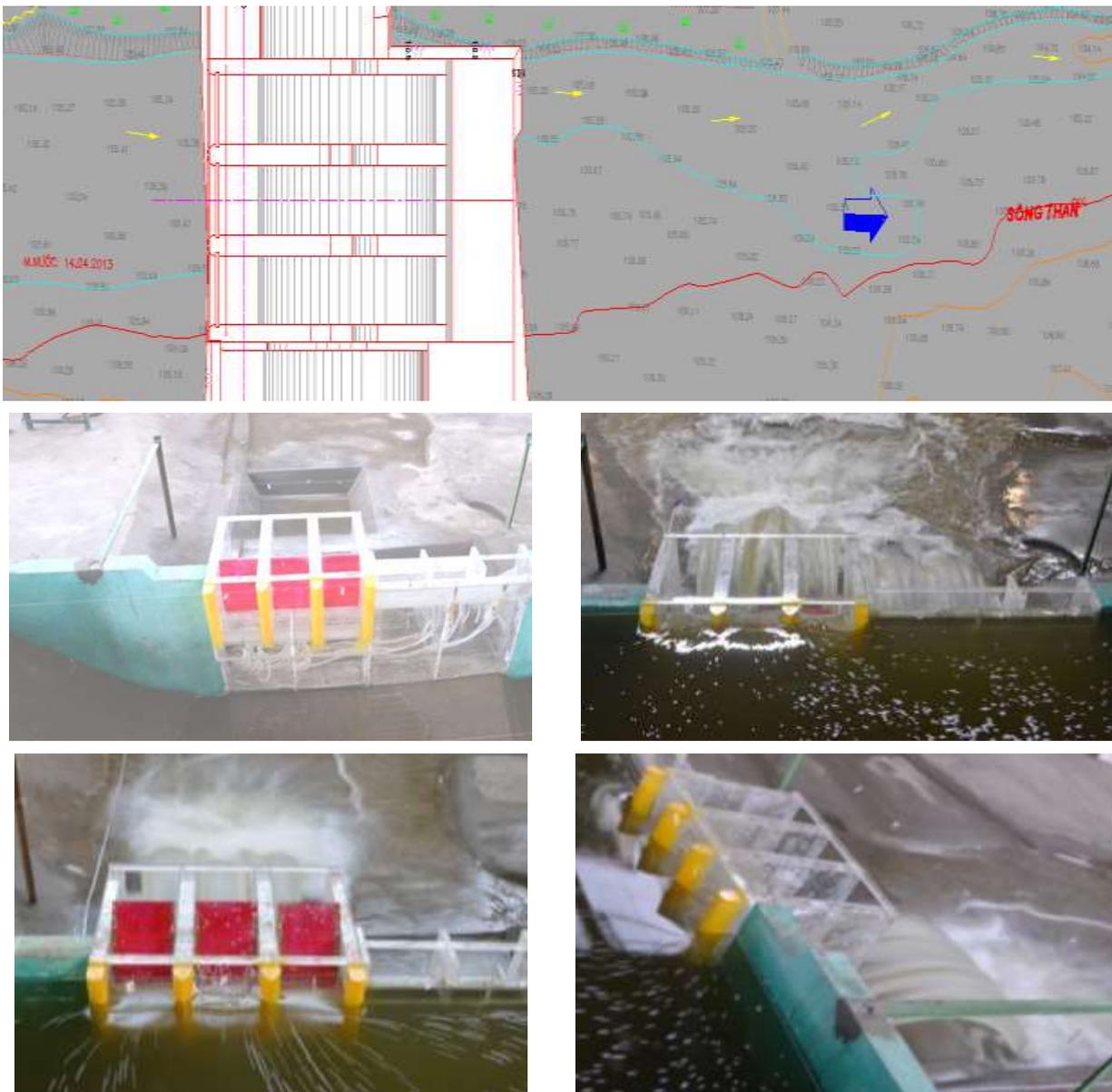
Ngày duyệt đăng: 06/11/2023

tràn +138,0m, bề rộng 30m; làm việc như một tràn sục nhằm đảm bảo mực nước hồ không vượt quá mực nước dâng bình thường.

Tràn xả lũ: Tràn có cửa van cung, xả mặt, tiêu năng mặt mũi phun và hố xói ở $\nabla + 98,0\text{m}$, tại vị trí giữa sông Than. Kích thước 3 cửa $8 \times 9\text{m}$, cao trình ngưỡng tràn +129,0m, rộng 24,0m.

Năm 2018, nhóm tác giả Nguyễn Ngọc Nam và nnk [1] thuộc Phòng Thí nghiệm trọng điểm

Quốc gia về Động lực học sông biển (Phòng TNTĐ) thực hiện gói thầu số 13: Thí nghiệm mô hình thủy lực thuộc dự án Hồ chứa nước sông Than, xã Hòa Sơn, huyện Ninh Sơn, tỉnh Ninh Thuận. Kết quả nghiên cứu thí nghiệm trên mô hình vật lý – tỷ lệ 1/40 đã lựa chọn kết cấu tiêu năng hạ lưu tràn (mũi phun + hố xói) hợp lý cho đặc thù công trình tràn xả lũ sông Than, thể hiện Hình 1.



Hình 1: Tiêu năng sau công trình xả lũ sông Than (theo phương án sửa đổi) [1]

Theo hồ sơ thiết kế dự án được duyệt, hồ tiêu năng hạ lưu tràn bên phía có cửa được thiết kế

là hố xói tiêu năng có kích thước mặt bằng hố xói (BxL) = (29,00x34,00)m ở cao trình

+98,0m, chiều sâu bình quân so với cao trình đáy lòng sông tự nhiên $h=7,90\text{m}$. Trong giai đoạn thi công đào phá hố xói hạ lưu tràn đã gặp địa chất là đá cấp 1&2 nguyên khối, nằm dưới hố móng, nước ngầm ở vị trí đào lớn. Hố xói đã thi công đến cao trình +102,6m/+98,0m còn 4,6m đến cao trình thiết kế +98,0m rất khó khăn cho việc tiếp tục thi công. Đơn vị thi công đề xuất giữ cao trình đáy hố xói tại mức đang thi công là $\nabla 102.6\div 103\text{m}$.

Để điều chỉnh hồ sơ thiết kế theo như đề xuất, cần thiết phải có nghiên cứu, tính toán đảm bảo cơ sở khoa học cho an toàn tiêu năng và chống xói lở hạ lưu công trình.

Do gói thầu mô hình thủy lực đã được Phòng TNTĐ hoàn thành, kết quả đã được nghiệm thu thanh lý từ năm 2018 và các hạng mục xây dựng đã phá dỡ hoàn toàn nên không thể kiểm tra trên mô hình vật lý.

Vì vậy, để kiểm tra phương án thiết kế xử lý thay đổi hố xói, đơn vị Phòng TNTĐ sử dụng cách tiếp cận mô hình số trị CFD (Flow 3D) để mô phỏng đánh giá tác dụng của các phương án thay đổi hố xói ở cao trình +98.0m và +103.0m của tràn xả lũ sông Than trên bài toán phân đoạn (1/2 khoang tràn). Độ chính xác của kết quả mô phỏng vận tốc và mực nước trên bài toán phân đoạn được kiểm tra thông qua các số liệu đo đạc trên mô hình vật lý đã thực hiện năm 2018.

2. CƠ SỞ DỮ LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

Trong những năm gần đây, với sự phát triển của các phương pháp số, đặc biệt là sự ra đời của CFD (Computational Fluid Dynamic) họ RANS - phương pháp số được sử dụng kết hợp với công nghệ mô phỏng trên máy tính để giải quyết các bài toán về cơ học và môi trường, đã giúp các nghiên cứu về dòng chảy qua đập tràn đạt được kết quả đáng tin cậy. Những phần mềm thuộc họ RANS như Flow-3D là công cụ hữu hiệu giúp cho việc mô phỏng dòng chảy trên mặt tràn, dòng xáo trộn trong hố xói được chi tiết và chính xác hơn. Flow-3D là phần mềm thương mại, mô phỏng dòng chảy 3 chiều (3D) được phát triển bởi công ty Flow Science,

Inc, Mỹ. Phần mềm này được sử dụng trong các nghiên cứu trong nước như tác giả Lê Văn Nghi và nnk, 2017 [2] hay Phạm Văn Song và nnk, 2014 [3]. Tuy nhiên, các nghiên cứu cũng chỉ ra nhược điểm chính của loại mô hình này cần thời gian tính toán rất lớn. Do vậy, nghiên cứu chỉ lựa chọn mô phỏng chi tiết bài toán phân đoạn cho 1/2 khoang tràn với thời gian tính toán khoảng 1,5÷2 ngày.

2.1 Mô hình toán Flow-3D

2.1.1 Mô hình thủy động lực học

Mô hình thủy động lực được phát triển dựa trên các phương trình cơ bản gồm: phương trình động lượng và phương trình liên tục.

$$V_F \frac{\partial p}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(\rho u A_x) + R \frac{\partial}{\partial y}(\rho v A_y) + \frac{\partial}{\partial z}(\rho w A_z) = R_{\text{SOR}} \quad (1)$$

$$\frac{\partial u}{\partial t} + \frac{1}{V_F} (u A_x \frac{\partial u}{\partial x} + v A_y R \frac{\partial u}{\partial y} + w A_z \frac{\partial u}{\partial z}) - \xi \frac{A_x v^2}{x V_F} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + G_x + f_x \quad (2)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + \frac{1}{V_F} (u A_x \frac{\partial v}{\partial x} + v A_y R \frac{\partial v}{\partial y} + w A_z \frac{\partial v}{\partial z}) - \xi \frac{A_y u v}{x V_F} = -\frac{R}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} + G_y + f_y \quad (3)$$

$$\frac{\partial w}{\partial t} + \frac{1}{V_F} (u A_x \frac{\partial w}{\partial x} + v A_y R \frac{\partial w}{\partial y} + w A_z \frac{\partial w}{\partial z}) = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} + G_z + f_z - b_z \quad (4)$$

Trong các công thức này: V_F là thể tích; ρ là tỷ trọng; (u, v, w) thành phần vận tốc theo trục (x, y, z) ; R_{SOR} hàm nguồn; (A_x, A_y, A_z) diện tích; (G_x, G_y, G_z) lực hấp dẫn; (f_x, f_y, f_z) gia tốc nhớt; (b_x, b_y, b_z) tổn thất cột nước; A là diện tích trung bình; U là vận tốc trung bình theo các hướng (x, y, z) và F là hàm lượng chất lỏng. Khi các ô chứa đầy chất lỏng, giá trị $F=1$ và khi ô trống $F=0$. Trong Flow-3D, có 02 phương pháp được sử dụng mô phỏng được gọi là phương pháp thể tích khối (VOF- Hirt and Nichols 1981) được sử dụng để bắt được bề mặt tiếp xúc chất lỏng - khí hoặc chất lỏng - lỏng. Thể tích khối trong mỗi ô được ghi và so sánh thể tích các ô lưới xung quanh để xác định độ dốc và đường cong của chất lỏng với ô lưới. Phương pháp mô hình hóa vật cản phân số diện tích/thể tích (FAVOR-Flow Science 2010) là một kỹ thuật sử dụng cho mô phỏng bề mặt và các khối vật rắn xác định đường biên hình học, cho phép các lưới hình chữ nhật được thiết lập mà không gây biến dạng đặc tính của vật cản.

2.1.2 Các phương pháp mô phỏng dòng rối

Để giải gần đúng được hệ phương trình Navier Stoke một số phương pháp mô phỏng dòng rối thường được dùng như sau:

- Phương pháp mô phỏng dòng rối bằng cách tính toán trực tiếp, Direct Numerical Simulation (DNS).
- Phương pháp mô phỏng dòng xoáy, Large Eddy Simulation (LES).
- Phương pháp trung bình hóa Reynolds (RANs).
- Mô hình một phương trình (*K equation*)
- Mô hình hai phương trình (*K epsilon equation*)
- Mô hình RNG (*Renormalization-Group*)

Trong Flow 3D, mô hình RNG được khuyến khích sử dụng và được cho rằng có độ chính xác hơn so với các mô hình dòng rối khác (Kermani et al. 2014 [4], KuMCu et al. 2016 [5], Tô Vĩnh Cường, LATS. 2023 [6]).

Vì vậy, nghiên cứu này lựa chọn sử dụng Mô hình RNG (*Renormalization-Group*).

2.2 Thiết lập mô hình

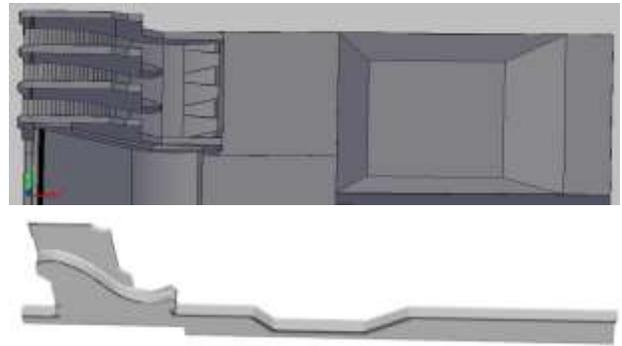
2.2.1 Mô tả mô hình toán Flow 3D

Các chỉ số được sử dụng trong Flow-3D. Đơn vị lựa chọn là SI, nhiệt độ Celsius và nước được coi là không nén được, gia tốc trọng trường 9.807m/s^2 . Mô hình rối Renormalized group (RNG) đã được sử dụng trong nghiên cứu này.

2.2.2 Xây dựng 3D cho tràn sông Than

Phần mềm hỗ trợ 3dmax đã được sử dụng để dựng 3D cho công trình tràn Sông Than như Hình 2, sau đó xuất file dưới dạng *.stl và nhập trực tiếp vào mô hình Flow-3D.

Thiết lập 3D cho tràn sông Than cho phân đoạn $\frac{1}{2}$ khoang tràn, xem Hình 2.



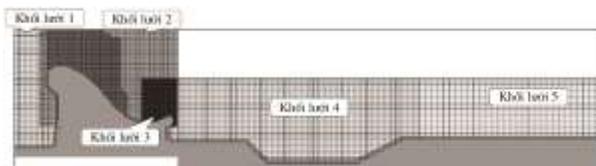
Hình 2: Thiết lập 3D cho mô hình nghiên cứu cho $\frac{1}{2}$ khoang tràn

2.2.3 Kích thước mô hình

Khu vực các mũi phun được đặc trưng bởi thay đổi đột ngột của chuyển động và hình khối mỏng (mũi phun nhỏ). Điều này đòi hỏi một lưới mịn để giải quyết. Theo nghiên cứu [7] tạo lưới lồng nhau sẽ dẫn đến kết quả mô phỏng tốt các xoáy và cũng cho kết quả khớp với dữ liệu thí nghiệm, để giảm các lỗi đề nghị tỷ lệ thiết lập hai lưới là bội số của 2. Ở bài toán này, sẽ tạo 05 khối lưới, kích thước khối lưới thể hiện Bảng 1 và Hình 3.

Bảng 1: Kích thước các khối lưới

TT	Khối lưới 1 (m)	Khối lưới 2 (m)	Khối lưới 3 (m)	Khối lưới 4 (m)	Khối lưới 5 (m)
1	1	0,5	0,25	0,75	1.5



Hình 3: Tạo lưới tính toán trong Flow-3D

2.2.4 Điều kiện biên

Trong nghiên cứu: xem xét 02 trường hợp cao

trình hồ xói khác nhau khi vận hành công trình Sông Than, chi tiết xem Bảng 2.

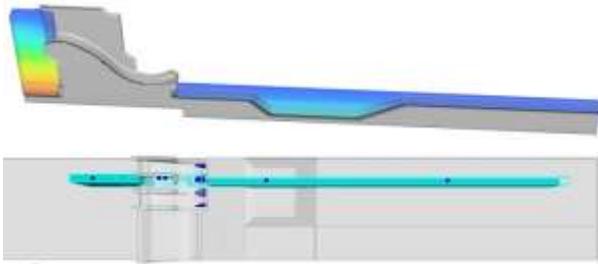
Xác định các điều kiện biên được gán trong Flow 3D như sau: dòng chảy trong miền tính toán được đặt trong hệ tọa độ Đề các 6 mặt, với thứ tự lần lượt là: biên thượng lưu (X_{min}) được gán là điều kiện biên áp suất với chiều cao cụ thể của cột nước H : $X_{min} \equiv P$ (Hydrostatic Pressure), biên hạ lưu (X_{max}) là

biên của dòng chảy ra (Outflow) sẽ được gán: $X_{max} \equiv O$ (Outflow), biên thấp nhất trên trục Z (đáy) sẽ được gán điều kiện biên như một tường cứng: $Z_{min} \equiv W$ (Wall), biên cao nhất trên trục Z sẽ được gán như một biên đối xứng: $Z_{max} \equiv S$, biên theo phương Y gồm tường

bên trái với $Y_{min} \equiv W$ (Wall) và tường bên phải $Y_{max} \equiv W$ (Wall). Trong đó: X là phương dọc theo chiều dòng chảy từ thượng đến hạ lưu tràn; Y là phương vuông góc với dòng chảy; Z là phương thẳng đứng theo độ sâu dòng chảy, thể hiện Bảng 2 và Hình 4.

Bảng 2: Các trường hợp tính toán với cao trình hố xói khác nhau

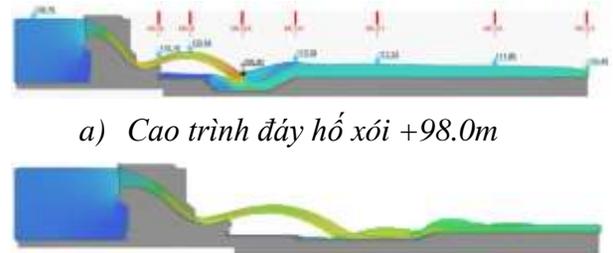
TT	Trường hợp	Mức nước hồ (m)	Ký hiệu
1	Hố xói ở cao trình 98.0m	139.76	MNLTK (P=1%)
2	Hố xói ở cao trình 103.0m	139.76	MNLTK (P=1%)



Hình 4: Các điều kiện biên trong mô hình Flow-3D

3. CÁC KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU VÀ THẢO LUẬN

3.1 Kết quả mô phỏng đường mặt nước:



a) Cao trình đáy hố xói +98.0m

b) Cao trình đáy hố xói +103.0m

Hình 5: Kết quả mô phỏng đường mặt nước

Bảng 3: Giá trị đường mực nước trung bình dọc tuyến công trình (m), ứng lưu lượng QTK

Mặt cắt	Vị trí mặt cắt	Thí nghiệm (Hố xói ở cao trình +98.0m)	Mô hình số Flow 3D (Hố xói ở cao trình +98.0m)	Chênh lệch (m)	So sánh kết quả TN và Flow 3D với Hố xói ở cao trình +98.0m	Mô hình số Flow 3D (Hố xói ở cao trình +103.0m)
MC7	Đỉnh bán kính cong ngược	113.51	113.36	-0.15	Tương đồng với thí nghiệm	
MC8	Mũi phun	115.05	115.16	0.11		
MC9	Đỉnh dòng phun	120.56	120.54	-0.02		
MC9A	Chân dòng phun	103.64	106.00	2.36	Chênh lệch p vênh lệch phun	105.85
MC10	Hạ lưu sau tràn, cách tim đập dâng 115.00m	109.70	113.28	3.58		109.97
MC11	Hạ lưu sau tràn, cách tim đập dâng 160.00m	108.38	112.33	3.95		110.32
MC12	Hạ lưu sau tràn, cách tim đập dâng 220.00m	110.43	111.80	1.37		110.41
MC13	Hạ lưu sau tràn, cách tim đập dâng 275.00m	110.49	110.45	-0.04	(mặt cắt thủy vãn)	110.47

Kết quả mô phỏng đường mặt nước cho 02 phương án thay đổi thiết kế hố xói ở cao trình +103.0m và +98.0m được thể hiện Bảng 3 và Hình 5.

1) Cao trình đường mặt nước ở cao trình đáy hố xói +98.0m:

- Phần tràn (MC7 đến MC9): cao trình đường mặt nước có kết quả tương đồng giữa mô phỏng số và thí nghiệm, chênh lệch nhỏ $0.11 \div 0.15$ m.
- Phần hạ lưu: cao trình đường mặt nước chênh lệch lớn giữa mô phỏng số và thí nghiệm, chênh lệch lớn từ $1.37 \div 3.95$ m. Điều này có thể giải thích, trên mô hình số mới chỉ mô phỏng bài toán phân đoạn (1/2 khoang tràn) do đó luồng phun rơi xuống hố xói không phân tán theo phương ngang sang hai bên mà chỉ phân tán theo phương dọc xuống hạ lưu đã làm tăng cao trình đường mặt nước lớn hơn so với thí nghiệm trên mô hình tổng thể.

2) Cao trình đường mặt nước ở cao trình đáy hố xói +103.0m:

- Phần tràn (MC7 đến MC9): giống nhau trong các trường hợp mô phỏng.
- Phần hạ lưu: luồng phun rơi xuống hố xói

hầu như chưa được tiêu hao được năng lượng, dòng chảy ra khỏi hố xói còn xiết mạnh về phía hạ lưu gây ra sóng lớn.

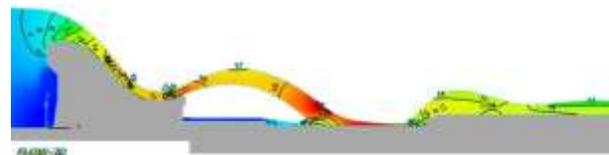
3.2 Kết quả mô phỏng vận tốc dòng chảy

Kết quả mô phỏng vận tốc dòng chảy cho 02 phương án xử lý thay đổi thiết kế hố xói ở cao trình +103.0m và +98.0m được thể hiện Bảng 4 và Hình 6.

Phần tràn (MC7 đến MC9): giá trị vận tốc có kết quả tương đồng giữa mô phỏng số và thí nghiệm, chênh lệch nhỏ $0.10 \div 0.70$ m/s. Điều này thể hiện độ tin cậy của mô hình Flow-3D trong nghiên cứu này.



a) Cao trình đáy hố xói +98.0m



b) Cao trình đáy hố xói +103.0m

Hình 6: Kết quả mô phỏng vận tốc dòng chảy

Bảng 4: Giá trị lưu tốc lớn nhất tại một số vùng ứng với Q_{tk} (m/s)

Mặt cắt	Vị trí mặt cắt	Thí nghiệm (Hố xói ở cao trình +98.0m)	Mô hình số Flow 3D (Hố xói ở cao trình +98.0m)	Chênh lệch (m)	So sánh kết quả TN và Flow3D với Hố xói ở cao trình +98.0m	Mô hình Flow3D (Hố xói ở cao trình +103.0m)
MC7	Đỉnh bán kính cong ngược	19.43	20.13	+0.70	Tương đồng với thí nghiệm	20.0
MC8	Mũi phun	19.17	19.54	+0.37		19.2
MC9	Đỉnh dòng phun	19.1	19.0	+0.10		19.0
MC9A*	Chân dòng phun	13.06	11.52	-1.54	Chênh lệch với	22.18
MC10	Hạ lưu sau tràn, cách	11.09	8.10	-2.99		17.03

	tim đập dâng 115.00m				thí nghiệm	
MC11	Hạ lưu sau tràn, cách tim đập dâng 160.00m	10.45	7.40	-3.05		15.04
MC12	Hạ lưu sau tràn, cách tim đập dâng 220.00m	6.85	6.68	-0.12		11.41
MC13	Hạ lưu sau tràn, cách tim đập dâng 275.00m	6.03	6.10	+0.07	(mặt cắt thủy văn)	9.98

Tại hồ xói: Vận tốc lớn nhất khi cao trình đáy hồ xói +103.0m có giá trị $V_{max}=22.18\text{m/s}$ xấp xỉ bằng 2 lần vận tốc khi đáy hồ xói +98.0m có giá trị $V_{max} = 11.52\text{m/s}$.

Như vậy, có thể nói khả năng tiêu hao năng lượng của hồ xói ở cao trình +103.0m giảm đi khoảng 50% so với hồ xói ở cao trình +98.0m. Vì vậy, cần thiết phải có các biện pháp bảo vệ an toàn cho vùng lòng dẫn hạ lưu khi xử lý thay đổi cao trình hồ xói.

4. KẾT LUẬN

4.1 Nhận xét chung

Bài báo đã trình bày kết quả mô phỏng tính toán đường mặt nước và vận tốc qua công trình tràn xả lũ sông Than, với 02 cao trình hồ xói thay đổi ở cao trình +103.0m và +98.0m bằng phần mềm Flow-3D. Qua mô phỏng các phương án xử lý thay đổi cao trình hồ xói dự án hồ chứa nước sông Than, có thể rút ra các kết luận chính sau:

Hồ xói ở cao trình +103.0m có vận tốc xấp xỉ bằng 2 lần vận tốc khi đáy hồ xói +98.0m và khả năng tiêu hao năng lượng của hồ xói ở cao trình +103.0m có thể giảm đi khoảng ÷50% so với hồ xói ở cao trình +98.0m.

4.2 Một số tồn tại

Việc tính toán mô phỏng bằng Flow3D kiểm chứng kết quả so với thí nghiệm với trường hợp hồ xói ở cao trình 98.0m là tương đồng

trên mặt tràn, còn có một số sai lệch ở phần hạ lưu.

Nguyên nhân sai lệch so với thí nghiệm:

- Mô hình 3D thích hợp với bài toán cục bộ;

- Tính cho bài toán phân đoạn $\frac{1}{2}$ khoang tràn (năng lực của máy tính hiện có của nhóm nghiên cứu không cho phép chạy phạm vi lớn hơn và thời gian xử lý thì công không cho phép kéo dài quá trình tính toán, nghiên cứu trên mô hình) nên không thể hiện được phần dòng chảy không gian của dòng nước lan truyền ngang sang 2 bên bờ, dẫn đến kết quả đường mặt nước và lưu tốc dòng chảy phần hạ lưu còn một số sai lệch so với số liệu thí nghiệm.

4.3 Kiến nghị

Trên đây là một số kết quả nghiên cứu cơ bản khi áp dụng mô hình số trị Flow 3D cho công trình sông Than. Mặc dù kết quả nghiên cứu còn một số tồn tại do điều kiện thực tế chưa cho phép. Kết quả nghiên cứu này đã đưa ra nhưng cơ sở khoa học mang tính tiền đề cho các phương án thiết kế, phương án thi công để xử lý hồ xói sau tràn phù hợp với điều kiện thực tế, đảm bảo an toàn, phát huy hiệu quả công trình tràn xả lũ Sông Than.

Đề nghị TVTK và Chủ đầu tư cân nhắc, xem xét kỹ để có phương án xử lý thích hợp, đảm bảo an toàn, phát huy hiệu quả công trình.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Nguyễn Ngọc Nam, B.V.H.v.n., Báo cáo kết quả xây dựng, thí nghiệm mô hình thủy lực tràn xả lũ sông Than, tỉnh Ninh Thuận. Phòng TNTĐ, 2018.

- [2] Lê Văn Nghi, P.H.C. and Đ.T.M. Yên, *Mô phỏng tác động của dòng chảy qua Tuynel TN1 tới ổn định lòng dẫn và trụ cầu Ngàn Trươi trên đường Hồ Chí Minh bằng mô hình toán 3D*. 2017.
- [3] Phạm Văn Song, *Nghiên cứu cải tiến mô tiêu năng sau cống vùng triều có khẩu diện lớn – áp dụng cho trường hợp cống Thủ Bộ*. Tạp chí khoa học kỹ thuật Thủy lợi và Môi trường, 45, 146-156, 2014.
- [4] Kerami and nnk, *Numerical simulation of flow over spillway based on the CFD method*. 2014.
- [5] Kumcu, *Investigation of flow over spillway modeling and comparison between experimental data and CFD analysis*. KSCE Journal of Civil Engineering, No 3, pp 1-11, 2016.
- [6] Tô Vĩnh Cường, *Nghiên cứu tác động của bố trí không gian hệ thống mở hàn đến đoạn sông vùng ảnh hưởng triều*. LATS. 2023, Viện Khoa học Thủy lợi Việt Nam.
- [7] *Exercises-water & environment training on flow-3d v11*. 2017.