

## **NGHIÊN CỨU CHẾ ĐỘ THỦY LỰC VÀ PHƯƠNG ÁN CẢI TẠO TRÀN XẢ LŨ MỸ LÂM - PHÚ YÊN BẰNG MÔ HÌNH FLOW 3D**

**Lê Thị Thu Hiền<sup>1</sup>, Nguyễn Văn Chiến<sup>2</sup>**

**Tóm tắt:** Bài báo sử dụng mô hình thủy lực 3 chiều Flow 3D trong mô phỏng dòng chảy qua tràn, bể tiêu năng Mỹ Lâm, Phú Yên. Mô hình thủy động lực học Flow 3D dựa trên hệ phương trình Navier-Stokes là công cụ hữu hiệu trong mô phỏng các đặc tính thủy lực phức tạp của dòng chảy qua các công trình thủy lợi. Cao độ mặt thoáng của dòng chảy tính với các cấp lưu lượng khác nhau được so sánh với số liệu thí nghiệm. Bên cạnh đó, chỉ ra những đặc điểm thủy lực trên từng hạng mục công trình được chỉ ra như sóng xiên trên dốc, tách dòng tại đoạn uốn cong mở rộng, giao thoa dòng chảy. Đề xuất phương án cải tạo mô tiêu năng trong bể tiêu năng.

**Từ khóa:** Flow-3D, tràn xả lũ, bể tiêu năng, đặc tính thủy lực.

### **1. ĐẶT VẤN ĐỀ**

An toàn đập và các công trình phụ trợ như tràn xả lũ, cống, v.v... luôn đóng một vai trò quan trọng trong quản lý lưu vực, hồ chứa ở Việt nam. Sự hư hỏng của các dạng công trình này sẽ dẫn tới những thiệt hại, hậu quả khó lường cả con người và vật chất ở hạ lưu công trình do sóng lũ vỡ đập gây nên. Vì vậy, việc nghiên cứu đặc tính thủy lực của dòng chảy qua các công trình này ứng với các cấp làm việc khác nhau luôn cần được xem xét. Mô hình toán và mô hình vật lý đã và đang là công cụ hữu ích trong nghiên cứu các hiện tượng thủy lực phức tạp xuất hiện trong dòng chảy qua các công trình thủy lợi (Kumcu, 2016). Demeke và nnk (2019) sử dụng mô hình Flow 3D mô phỏng dòng chảy qua hệ thống công trình tràn xả lũ, kênh dẫn hạ lưu. Salmasi và nnk (2018) lại dùng mô hình Fluent kết hợp thực nghiệm nghiên cứu dòng chảy qua các bậc nước. Mô hình toán, từ lâu luôn được coi là công cụ hữu hiệu trong mô phỏng các bài toán thủy động lực học. Đặc biệt, với sự phát triển của công nghệ thông tin, các phần mềm tính thủy lực ra đời có khả năng mô phỏng dòng chảy có độ chính xác lớn khi có kế tới tính rối, tính nhớt của chất lỏng, kể tới sự

tương tác giữa pha lỏng với pha rắn hay hiện tượng trộn khí. Gần đây, Flow 3D được coi là một công cụ hữu hiệu trong nghiên cứu các bài toán thủy lực phức tạp. Flow 3D mô phỏng dòng chảy dạng 3 chiều dựa trên mô hình toán RANs để giải hệ phương trình Navier-Stokes. Đỗ Xuân Khánh và nnk (2018) đã dùng mô hình này mô phỏng dòng chảy qua tràn Ophixerop Đồng Nai hay Lê Thị Thu Hiền và nnk (2018) lại tính toán lực tác dụng vào vật cản dựa vào kết quả áp suất tính bằng Flow 3D. Tràn xả lũ Mỹ Lâm, Phú Yên là một trong những hạng mục công trình quan trọng của hồ chứa nước Mỹ Lâm. Năm 2007, dự án xây dựng thí nghiệm mô hình của tràn ở trường Đại học Thủy lợi được thiết lập nhằm thí nghiệm tìm ra những sai sót trong phương án thiết kế tràn. Trong nội dung bài báo này, các tác giả dùng mô hình toán xác định các đặc trưng thủy lực của dòng chảy qua tràn xả lũ này bằng mô hình Flow 3D. Các kết quả tính theo mô hình toán được so sánh với giá trị đo đạc bằng mô hình vật lý. Bên cạnh đó, căn cứ vào các kết quả mô phỏng thủy lực chỉ ra một số bất hợp lý của khoảng cách các mô tiêu năng, sự tách dòng tại phần dốc uốn cong v.v... của phương án thiết kế, từ đó đề ra phương án cải tạo, sửa chữa.

### **2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU**

#### **2.1. Mô hình vật lý**

Công trình tràn Mỹ Lâm gồm có các hạng

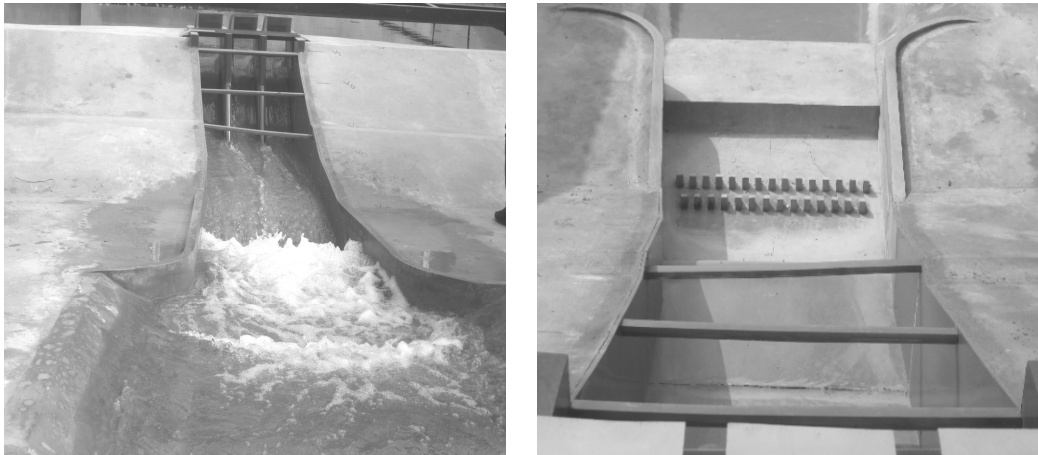
---

<sup>1</sup> Bộ môn Thủy lực - Trường Đại học Thủy lợi

<sup>2</sup> Viện Thủy công - Viện Khoa học Thủy lợi Việt Nam

mục chính như sau: Phần đập tràn cong có 3 khoang, bề rộng mỗi khoang là 8m; cao trình đỉnh tràn là 26,4m. Sau tràn là dốc nước có độ dốc 7%, bề rộng của dốc là 28m. Cuối dốc có đoạn vừa uốn cong vừa mở rộng đi vào bể tiêu năng hạ lưu. Bể hạ lưu có bố trí hai hàng mô tiêu năng. Cuối bể tiêu năng có tường tiêu năng cao 5m. Chiều dài toàn bộ công trình là 145m. Dự án xây dựng mô hình vật lý tràn xả lũ Mỹ Lâm do trường Đại học Thủy lợi thực hiện năm

2014 tại phòng Thí nghiệm Thủy lực. Mô hình được xây dựng với tỷ lệ 1/40 nhằm kiểm tra các đặc tính thủy lực như mực nước, lưu tốc, áp suất trên tràn, dốc nước, bể tiêu năng và phát hiện những yếu tố thủy lực bất lợi trước khi đề xuất điều chỉnh phương án thiết kế kỹ thuật, (Hình 1) (Nguyễn Văn Tài, 2008). Các điểm đo đặc ở trên tràn và dốc nước được lấy ở tim tràn, các điểm đo ở bể tiêu năng lấy trước và sau các hàng mô tiêu năng.



Hình 1. Mô hình thí nghiệm tràn Mỹ Lâm

Các giá trị thực đo trên mô hình được nhân với tỷ lệ mô hình để ra các kích thước trên nguyên hình, sau đó so sánh với các kết quả

tương ứng trong mô hình toán. Bốn trường hợp thí nghiệm được lấy để so sánh với kết quả của Flow 3D là:

**Bảng 1. Các trường hợp thí nghiệm**

Trường hợp	Lưu lượng Q (m <sup>3</sup> /s)	Tần suất P(%)	Cao trình mực nước thượng lưu Z <sub>TL</sub> (m)	Cao trình mực nước hạ lưu, Z <sub>HL</sub> (m)
1	800		33,48	10,68
2	1177	1,0	34,89	12,00
3	1642	0,2	36,62	13,12
4	1803	0,2	37,23	14,29

Trong đó:  $Q = 1177 \text{ m}^3/\text{s}$  ở trường hợp 2 là lưu lượng thiết kế bể tiêu năng.

## 2.2. Mô hình toán

Mô hình thương mại thủy động lực học 3 chiều Flow-3D được xây dựng bởi công ty Flow Scien INc. Trong những năm gần đây, mô hình này được sử dụng rộng rãi do khả năng xử lý được nhiều vấn đề thủy lực của dòng chảy. Flow 3D dựa trên phương pháp thể tích hữu hạn giải hệ phương trình bảo toàn khối lượng và

động lượng Navier-Stokes 3 chiều. Sự thay đổi mạch động lưu tốc và mạch động áp suất là đặc trưng điển hình của dòng chảy rối. Để mô phỏng được chính xác thành phần vận tốc hay áp suất tức thời là điều rất khó khăn. Vì vậy các đại lượng này trong hệ phương trình Navier-Stokes được thay bằng các giá trị trung bình thời gian. Ví dụ thành phần vận tốc tức thời:

$$u_i = \bar{u}_i + u_i'$$

trong đó  $u_i'$  là thành phần mạch động lưu tốc.

Hệ phương trình Reynolds- trung bình Navier-Stokes (RANS) được viết dưới dạng:

$$\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_i} = 0 \quad (1)$$

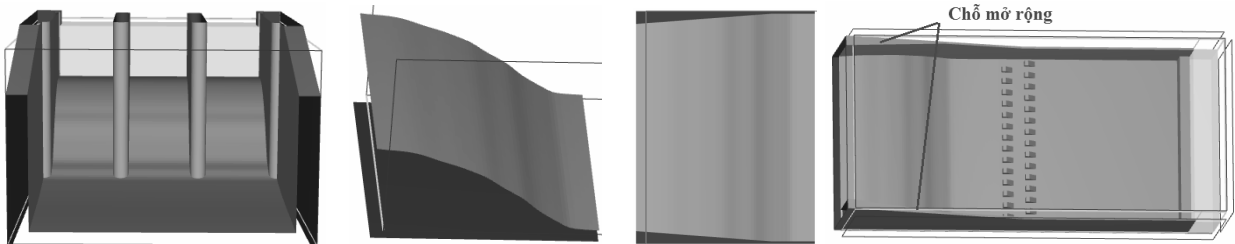
$$\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial t} + \bar{u}_j \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial \bar{p}}{\partial x_i} + \nu \frac{\partial^2 \bar{u}_i}{\partial x_j \partial x_j} - \frac{\partial \bar{u}_i' \bar{u}_j'}{\partial x_j} + g_i$$

trong đó:

$\bar{u}; \bar{p}$  là thành phần vận tốc và áp suất trung bình thời gian; I,j là chỉ số chỉ phương; g: gia tốc trọng trường.

Trong nhiều mô hình dòng rối của Flow 3D như mô hình một phương trình k, hai phương trình k- $\omega$  hay Renormalization Group (RNG) thì mô hình RNG được coi là hữu hiệu hơn cả khi mô phỏng đặc tính của dòng chảy qua các công trình thủy lợi như đập tràn, dốc nước (Kumcu, 2016). Vì vậy, trong bài báo này mô hình dòng rối RNG được sử dụng.

Mô hình Flow-3D version 11 được sử dụng để mô phỏng dòng chảy qua tràn Mỹ Lâm ở nguyên hình. Dùng AutoCAD-3D mô phỏng công trình, sau đó xuất ra file dạng stl rồi đưa vào Flow 3D (Hình 2). Chi tiết các hạng mục công trình được chỉ ra trong hình 3.



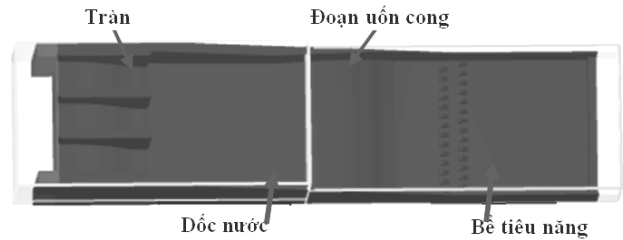
Hình 3. Tràn hình cong, trụ pin; đoạn dốc uốn cong và phần hạ lưu

### 3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

#### 3.1. So sánh với số liệu thực đo

Để kiểm tra độ tin cậy của mô hình Flow 3D trong mô phỏng dòng chảy qua tràn, các số liệu cao độ mực nước tính toán tại 10 điểm đo tại tim tràn được so sánh với số liệu thực nghiệm trong cả 4 phương án tính, (bảng 2).

Nhìn chung, các sai số giữa mô hình toán và mô hình vật lý khoảng 5-7%, ở các cấp



Hình 2. Mô hình tràn trong Flow 3D

Miền tính toán được chia thành 2 block như hình 2. Block 1 gồm tràn và đoạn dốc không kể đoạn uốn cong. Block 2 là phần còn lại. Biên trên của Block 1 có dạng Specific pressure là mực nước thượng lưu, biên dưới Block 1 là symmetry, hai bên là wall. Phương z: Trên và dưới tương ứng là symmetry. Block 2 cũng có biên trên là symmetry, biên dưới là Flow out. Độ nhám bề mặt công trình là  $n = 0,017$ . Điều kiện ban đầu của bài toán là cao trình mực nước thượng lưu đập tràn và hạ lưu bể tiêu năng như số liệu trong bảng 1.

Chia miền tính toán thành các ô lưới dạng Catersian, kích thước theo các phương đều bằng 0,5m. Tổng số ô lưới lên tới 800.000 ô. Thời gian tính toán là 100s để dòng chảy đạt tới trạng thái ổn định. Thời gian chạy máy tính là 10 giờ mỗi phương án. Kích thước mỗi file kết quả lên tới 7-8 GB.

lưu lượng nhỏ, các cấp lưu lượng lớn hơn sai số lớn hơn. Tại điểm đo V8, sai số ở cả 4 cấp lưu lượng lần lượt là 2,97%; 0,7%; -2,83% và -0,14%. Tuy nhiên, tại một số điểm đo, giá trị này vẫn thiên lớn như tại V10. Kết quả này chỉ ra rằng, mô hình Flow 3D hoàn toàn phù hợp trong việc mô tả dòng chảy qua các công trình thủy lợi có chế độ thủy lực phức tạp.

**Bảng 2. Cao độ mực nước tính toán và thực đo**

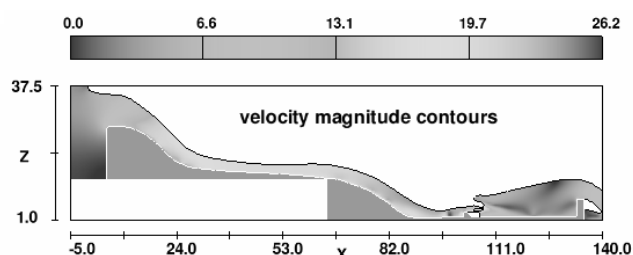
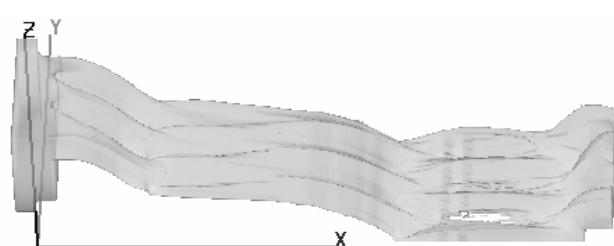
Điểm đo	Toạ độ X(m)	Q = 1803 m <sup>3</sup> /s			Q = 1642 m <sup>3</sup> /s			Q = 1177 m <sup>3</sup> /s			Q = 800m <sup>3</sup> /s		
		Z <sub>đo</sub> (m)	Z <sub>MH</sub> (m)	Sai số(%)	Z <sub>đo</sub> (m)	Z <sub>MH</sub> (m)	Sai số(%)	Z <sub>đo</sub> (m)	Z <sub>MH</sub> (m)	Sai số(%)	Z <sub>đo</sub> (m)	Z <sub>MH</sub> (m)	Sai số (%)
V1	7,4	36,9	35,6	3,52	36,0	35,0	2,89	34,5	33,4	3,16	33,0	32,2	2,42
V2	10,5	35,6	34,5	3,20	34,3	33,8	1,54	32,0	32,0	-0,13	30,8	30,8	-0,03
V3	16,7	33,7	30,5	9,41	32,3	29,5	8,73	28,6	28,5	0,35	27,6	27,0	2,32
V4	20,2	29,6	27,5	7,16	28,5	26,0	8,60	24,8	24,5	1,09	23,2	23,0	0,95
V5	29,4	21,4	19,3	9,85	20,6	19,0	7,59	18,3	17,9	2,40	16,9	17,0	-0,71
V6	30,0	20,5	19,0	7,36	19,5	18,7	4,00	18,0	17,8	1,28	16,5	16,9	-2,30
V7	38,9	19,3	17,0	11,86	19,0	16,8	11,55	16,8	16,2	3,81	15,6	15,7	-0,32
V8	60,8	17,5	17,0	2,97	17,2	17,1	0,70	15,6	16,0	-2,83	14,5	14,5	-0,14
V9	76,3	14,3	14,3	0,14	13,2	13,0	1,52	14,0	12,4	11,64	13,3	11,8	11,45
V10	83,3	10,2	11,0	-7,83	9,1	9,0	0,77	9,6	8,6	10,20	8,5	8,0	5,33

**3.2. Các đặc trưng thủy lực trên các hạng mục công trình**

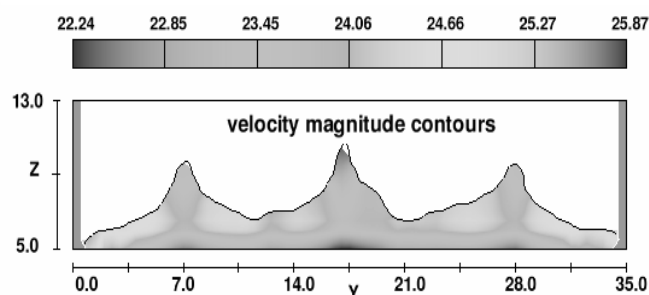
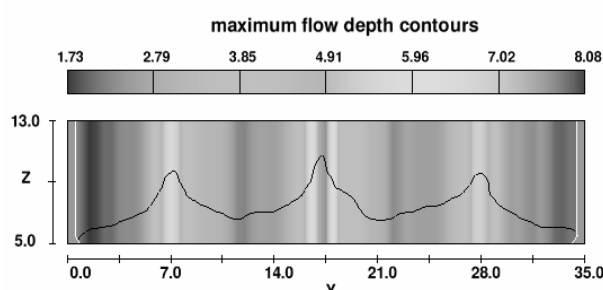
**3.2.1. Trường dòng chảy trên dốc nước**

Do ảnh hưởng của các trụ pin mà trên dốc nước hình thành các sóng xiên và đập với nhau và va đập với thành bên ở gần cuối dốc. Đặc tính này được thấy trên cả mô hình vật lý (Hình

1) và mô hình toán (Hình 4). Ngoài ra, cũng do tính chất này mà không phải ở tim tràn độ sâu hay vận tốc là lớn nhất mà tại vị trí xuất hiện gân nước độ sâu là lớn nhất, vận tốc là nhỏ nhất (hình 4, 5). Hình 5 cũng cho thấy có sự chênh lệch đáng kể giữa độ sâu tại gân nước với mép tường (8,08m so với 0,2m).

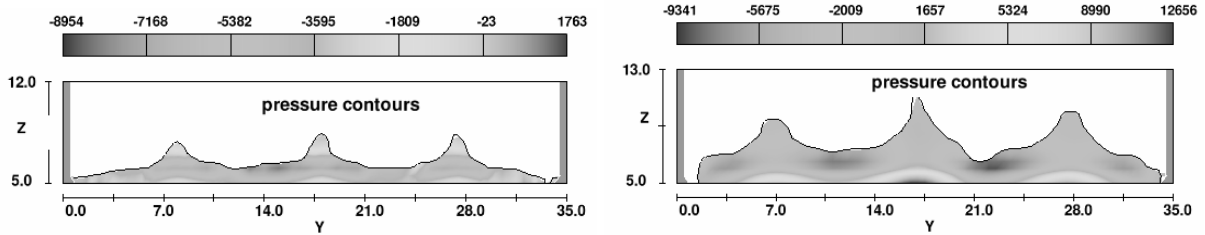


Hình 4. Sóng xiên trên tràn và cắt dọc tràn



Hình 5. Độ sâu và vận tốc trung bình tại mặt cắt x = 82,25m, trường hợp Q = 1642m<sup>3</sup>/s.

### 3.2.2. Sự tách dòng tại đoạn dốc uốn cong, mở rộng

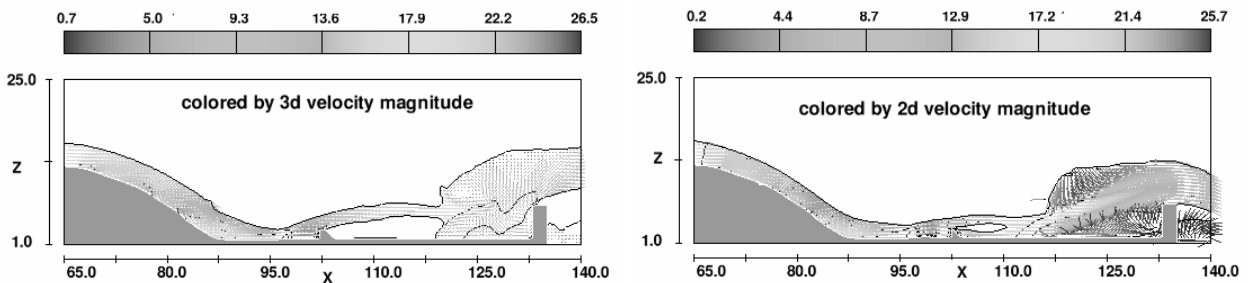


Hình 6. Sự tách dòng tại đoạn mở rộng. a)  $Q = 800\text{m}^3/\text{s}$ ; b)  $Q = 1803\text{m}^3/\text{s}$

Hình 6 chỉ ra ảnh hưởng của đoạn mở rộng khi lưu lượng dòng chảy thay đổi. Khi lưu lượng dòng chảy nhỏ, dòng chảy vẫn bám sát thành dốc nước, tuy nhiên trong trường hợp  $Q = 1803\text{m}^3/\text{s}$ , hiện tượng tách dòng xảy ra cả hai bên thành. Vì vậy, lựa chọn góc mở hợp lý của đoạn mở rộng này để giảm thiểu hiện tượng tách dòng cũng như giảm kích thước bể tiêu năng phía dưới cần được lưu ý.

### 3.2.3. Bể tiêu năng

Bể tiêu năng có các mô nhám gia cường, vì vậy dòng chảy từ trên dốc xuống va đập với các đầu mô nhám gây ra sự nhiễu động lớn. Ngoài ra, mực nước hạ lưu bể cao hơn thành bể nên trong khoảng thời gian đầu nước từ hạ lưu tràn vào trong bể, sau đó gây nên sự giao thoa giữa hai dòng chảy này (hình 7).

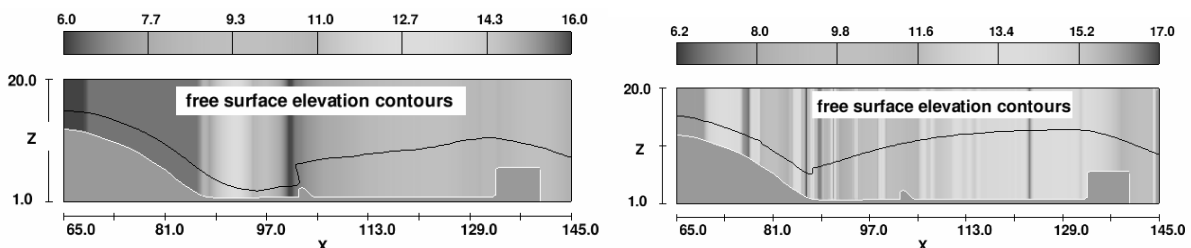


Hình 7. Sự giao thoa giữa dòng chảy thượng và hạ lưu trong bể tiêu năng

### 3.3. Phương án cải tạo

Trong phương án thiết kế của tràn xả lũ Mỹ Lâm, mô trên 2 hàng được xếp so le với hàng trên có 14 mô và hàng dưới có 15 mô. Dùng điều kiện ban đầu ở trường hợp 3 là trường hợp thiết kế công trình để kiểm tra và đề xuất phương án cải tạo. Sau khoảng thời gian tính toán 100s, dòng chảy trên công trình đạt ổn

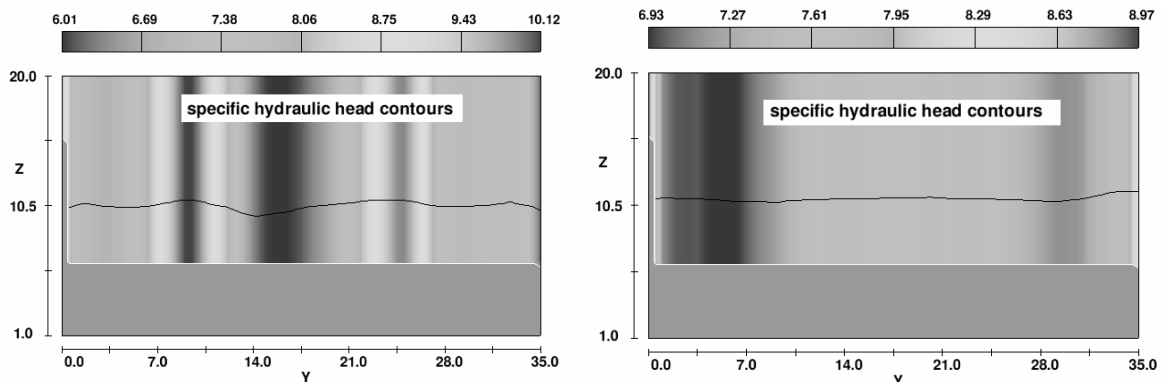
định, nước nhảy xuất hiện trong bể tiêu năng không phải là nước nhảy ngập. Cần có phương án cải tạo để tạo ra nước nhảy ngập trong bể để tổng năng lượng tiêu hao trong bể là nhiều nhất. Vì vậy, các tác giả đề xuất phương án giảm số lượng mô trên mỗi hàng đi hai mô và sắp xếp lại, nước nhảy xuất hiện trong bể hoàn toàn ngập, (Hình 8).



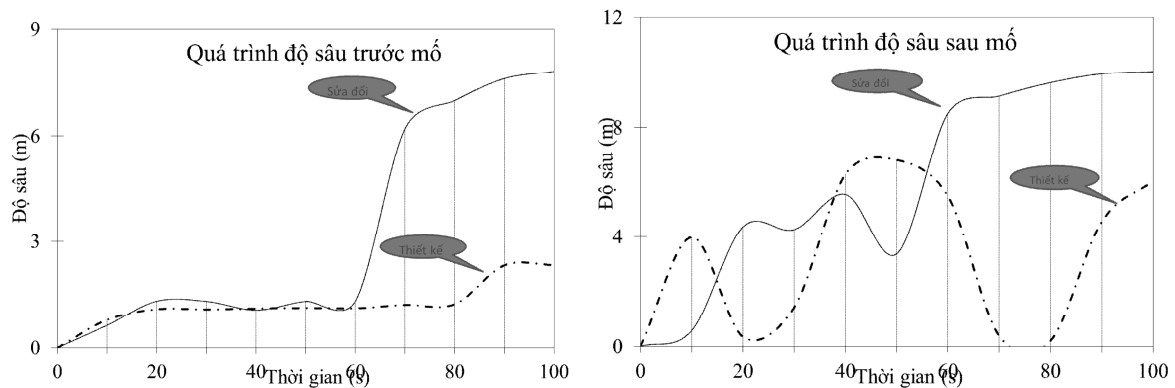
Hình 8. Nước nhảy trong bể tiêu năng- phương án thiết kế (trái); sửa đổi (phải)

Kết quả trên hình 9 cho thấy, khi giảm số lượng mô nhám đi, năng lượng đơn vị mất mát sau bể tiêu năng. Dòng chảy hạ lưu bề khá ổn định trong khi ở

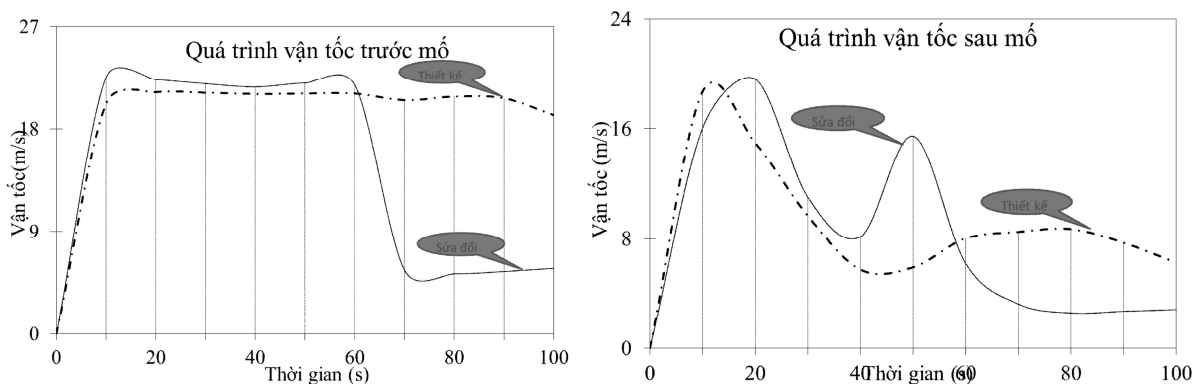
phương án thiết kế vẫn còn sự nhiễu động. Điều này cho thấy phương án cải tạo sửa chữa đã làm có hiệu quả trong tiêu hao năng lượng dòng chảy sau bể tiêu năng.



Hình 9. Năng lượng đơn vị mất mát sau bể tiêu năng. - phương án thiết kế (trái); sửa đổi (phải)



Hình 10. Quá trình độ sâu trước và sau mô  $Q = 1177\text{m}^3/\text{s}$



Hình 11. Quá trình vận tốc trước và sau mô  $Q = 1177\text{m}^3/\text{s}$ .

Kết quả trong hình 10, 11 lại là quá trình mực nước và vận tốc trước và sau mô lấy ở tim dòng chảy ở cả hai trường hợp thiết kế và sửa đổi. Độ sâu dòng chảy trước mô và sau mô phương án sửa đổi tăng nhanh chóng và ổn định ở 100s, trong khi ở trường hợp thiết kế độ sâu

nhỏ hơn nhiều. Điều này cho thấy nước nhảy không tới được vị trí mô tiêu năng. Mặt khác, vận tốc dòng chảy trước mô lúc đạt 100s nhỏ hơn rất nhiều so với phương án thiết kế (5,78m/s và 19,21m/s). Ở sau mô cũng thấy xu thế tương tự (2,87m/s và 6,25m/s).

#### 4. KẾT LUẬN

Tràn xả lũ Mỹ Lâm là công trình có nhiều hạng mục nên chế độ thủy lực của dòng chảy qua các hạng mục này xảy ra khá phức tạp. Mô hình Flow 3D có khả năng mô tả đặc tính thủy lực của dòng rối 3 chiều trên công trình chính xác và trực quan. Các hiện tượng thủy lực như sóng xiên, tách dòng hay sự giao thoa

dòng chảy đã được mô tả bằng Flow 3D. Kết quả mực nước tính theo mô hình toán đã được so sánh với số liệu thực đo trong cả 4 cấp lưu lượng cho thấy sự phù hợp cao. Ngoài ra, sửa chữa phần cấu trúc của mô tiêu năng trong bể tiêu năng đã làm giảm năng lượng dòng chảy đi đáng kể, dòng chảy tập trung vào giữa bể nhiều hơn.

#### TÀI LIỆU THAM KHẢO

- Đỗ Xuân Khánh, Lê Thị Thu Nga, Hồ Việt Hùng (2018). *Ứng dụng phần mềm Flow 3D tính toán vận tốc và áp suất trên đập tràn thực dụng mặt cắt hình cong*. Tạp chí Khoa học kỹ thuật Thủy lợi và Môi trường. 61, 99-106.
- Nguyễn Văn Tài (2008). *Báo cáo thí nghiệm mô hình tràn xả lũ hồ chứa Mỹ Lâm, tỉnh Phú Yên*.
- Kermani. E. F. and Barani. G. A (2014). *Numerical simulation of flow over spillway based on CFD method*. Scientia Iranica A. 21(1). 91-97.
- Serfe Yurdagul Kumcu (2016). *Investigation of flow over spillway modeling and comparison between experimental data and CFD analysis*. KSCE Journal of Civil Engineering. 21(3). 994-1003.
- Getnet Kebede Demeke, Dereje Hailu Asfaw and Yilma Seleshi Shiferaw (2019). *3D Hydrodynamic Modelling Enhances the Design of Tendaho Dam Spillway, Ethiopia*. Water 2019, 11, 82; doi:10.3390/w11010082.
- Farzin Salmasi, Aylar Samadi (2018). *Experimental and numerical simulation of flow over stepped spillways*.
- Le Thi Thu Hien; Do Xuan Khanh (2018). *2D and 3D numerical evaluation of dam-break wave on an obstacle*. Tạp chí Khoa học kỹ thuật Thủy lợi và Môi trường. 62. 105-111.

#### Abstract:

#### STUDY HYDRAULIC CHARACTERISTICS FLOW OVER MY LAM SPILLWAY AND PROPOSE A MODIFIED PROJECT BY FLOW 3D MODEL

*This paper is dedicated to simulate the flow over spillway and stilling basin of My Lam – Phu Yen. A commercial hydrodynamic software Flow 3D based on Navier-Stokes equations is an efficient tool to estimate the complicated hydraulic characteristics of this flow. The good agreement between computed water elevation and observed data is shown. Besides, the detail hydraulic features in each segment is indicated such as: oblique wave on spillway chute; separated flow at curve and enlarge segment and the interaction between upstream and downstream flow. Propose a modified project of dissipated obstacle on stilling basin.*

**Keywords:** Flow 3D; spillway; stilling basin, hydraulic characteristic.

---

Ngày nhận bài: 28/5/2019

Ngày chấp nhận đăng: 10/6/2019