

NGHIÊN CỨU LƯU TỐC MẠCH ĐỘNG VÀ ÁP SUẤT MẠCH ĐỘNG Ở HẠ LƯU TRÀN XẢ LŨ THỦY ĐIỆN HÒA BÌNH

Nguyễn Thế Hùng¹, Trần Vũ¹, Lê Nguyên Trung¹, Nguyễn Văn Sơn²

Tóm tắt: Dòng chảy sau hạ lưu công trình luôn là một chủ đề phức tạp do sự biến động về phương chiều cũng như giá trị. Sự biến động hình thành nên lưu tốc mạch động của cả vận tốc và áp suất. Trong nghiên cứu này, lưu tốc mạch động và áp suất mạch động hạ lưu tràn xả lũ thủy điện Hòa Bình được xác định thông qua việc mô phỏng bằng mô hình vật lý. Dựa trên số liệu đo đạc được vận tốc không xói và áp suất cực đại dọc theo hạ lưu tràn xả lũ sẽ được xác định. Đây sẽ là cơ sở để lựa chọn vật liệu cũng như tính toán ổn định cho các công trình chống xói lở hạ lưu tràn xả lũ.

Từ khóa: Áp suất mạch động, lưu tốc mạch động, mô hình vật lý, thủy điện Hòa Bình.

1. MỞ ĐẦU

Việc thiết kế công trình bảo vệ bờ hạ lưu các tràn xả lũ là một vấn đề quan trọng đối với mọi công trình hồ chứa. Tuy nhiên việc xác định các thông số để thiết kế công trình gặp những thách thức lớn. Dòng chảy sau tràn xả lũ thường là dòng chảy rối, có vận tốc lớn và áp suất cao (M. R. Bhajantri, T. I. Eldho, and P. B. Deolalikar, 2006). Hơn nữa thành phần mạch động của vận tốc và áp suất sẽ làm tăng giá trị mà công trình cần thiết phải chống chịu. Thông thường, để nghiên cứu thành phần mạch động này thì các tiếp cận khả thi nhất là sử dụng mô hình vật lý (C. K. Novakoski, E. Conterato, M. Marques, E. D. Teixeira, G. A. Lima, and A. Mees, 2017) (V. Ivanov and M. M. Mukhammadiev, 1986) (A. Amador, Martí Sánchez-Juny, and J. Dolz, 2009). Các mô hình thủy lực vật lý thường được sử dụng trong các giai đoạn thiết kế để tối ưu hóa kết cấu và đảm bảo kết cấu hoạt động an toàn. Hơn nữa, nó có một vai trò quan trọng để hỗ trợ trong quá trình ra quyết định. Mô hình thủy lực có thể giúp người ra quyết định hình dung rõ hơn về trường dòng chảy, trước khi chọn một thiết kế phù hợp (Hubert Chanson, 2004).

Trong nghiên cứu này, các tác giả sử dụng mô hình vật lý để mô phỏng dòng chảy hạ lưu tràn xả lũ của thủy điện Hòa Bình. Thông qua quá trình mô phỏng dòng chảy, áp suất mạch động và lưu tốc mạch động sẽ được đo đạc để phân tích. Hình 1a thể hiện hình ảnh chụp từ Google Earth đoạn sông nghiên cứu, hình 1b thể hiện ảnh chụp thực tế từ thượng lưu xuống hạ lưu.



Hình 1. Hình ảnh đoạn sông nghiên cứu

¹ Trung tâm Thủy điện, Viện Năng lượng.

² Khoa Công trình, trường Đại học Thủy lợi

2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

Trong dòng chảy rối tốc độ tức thời của dòng chảy hay áp suất tức thời tại 1 điểm được phân thành hai thành phần như trong công thức (1) và (2)

$$u = \bar{u} + u' \quad (1)$$

$$p = \bar{p} + p' \quad (2)$$

Với u và p là lưu tốc tức thời và áp suất tức thời;

$\bar{u}$ và $\bar{p}$ là lưu tốc và áp suất trung bình;

u' và p' là lưu tốc mạch động và áp suất mạch động.

Do u' và p' là một đại lượng biến đổi theo

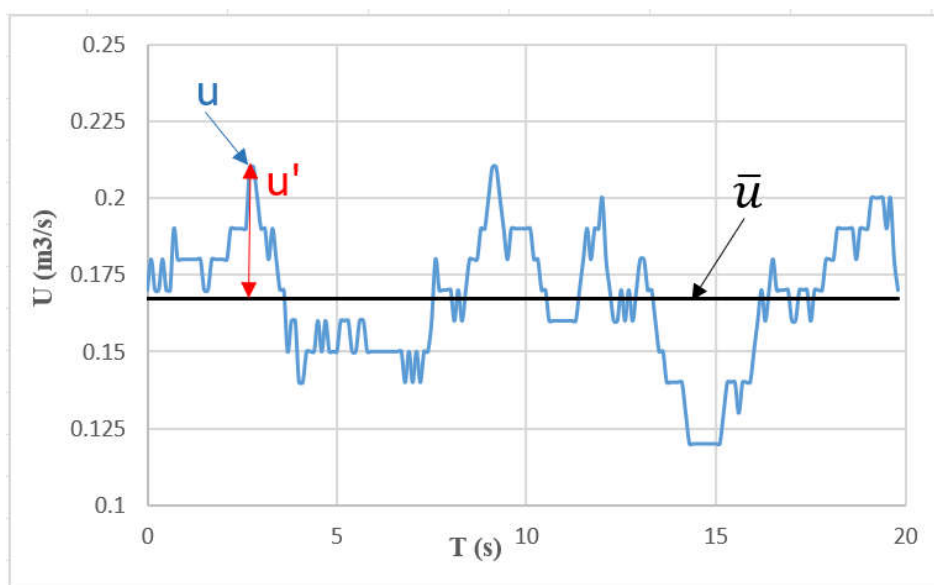
thời gian như hình 2. Theo một số các tài liệu tham khảo (H. Mouri, M. Takaoka, A. Hori, and Y. Kawashima, 2002) (M. Lin, B. Su, S. C. Li, Y. T. Yin, Q. W. Wang, and Y. T. Chen, 2018) quy luật phân phối của u' và p' tuân theo hàm phân phối chuẩn Gauss. Hàm mật độ phân bố xác suất của nó có dạng như phương trình (3)

$$f(u') = \frac{1}{\sigma_{u'} \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(u' - \mu_{u'})^2}{2\sigma_{u'}^2}} \quad (3)$$

- Trong đó:

+ $\mu_{u'}$: kỳ vọng của lưu tốc mạch động;

+ $\sigma_{u'}$: phương sai lưu tốc mạch động



Hình 2. Lưu tốc tức thời, lưu tốc trung bình và lưu tốc mạch động

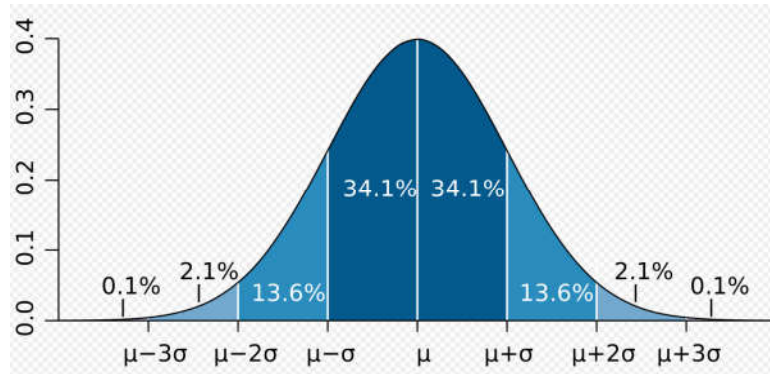
Trong phương trình (3) có hai tham số thống kê là kỳ vọng $\mu_{u'}$ và phương sai $\sigma_{u'}$. Với lưu tốc mạch động u' , do giá trị lưu tốc tức thời u sẽ dao động xung quanh giá trị trung bình $\bar{u}$, do vậy $\mu_{u'} = 0$. Như vậy, tham số thống kê duy nhất còn lại sẽ là phương sai $\sigma_{u'}$. Tương tự như vậy với áp suất mạch động.

Để tính giá trị tức thời của vận tốc và áp suất thay vì sử dụng một giá trị biến đổi u' hay p' , người ta thường đưa về dạng công thức với những giá trị cố định như phương trình (4) và (5):

$$u = \bar{u} \pm k\sigma_{u'} \quad (4)$$

$$p = \bar{p} \pm k\sigma_{p'} \quad (5)$$

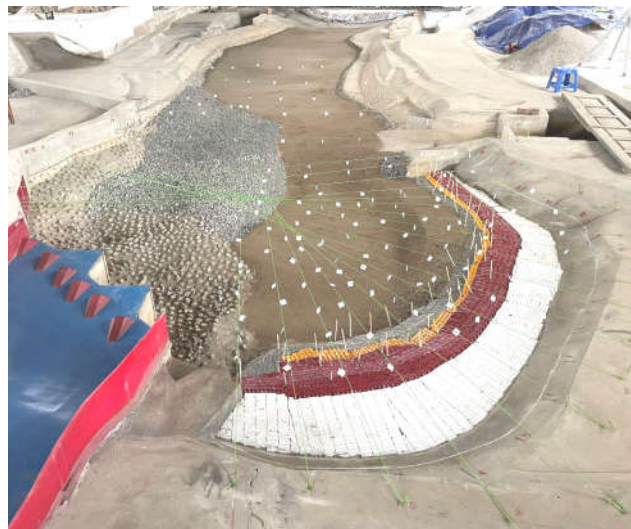
Trong đó: σ_u và σ_p lần lượt là phương sai lưu tốc mạch động u' và phương sai áp suất mạch động p' ; k được gọi là hệ số tin cậy. Giá trị k càng tăng thì mức độ tin cậy sẽ càng tăng. Theo quy luật thống kê của phân phối chuẩn, với k lần lượt bằng 1, 2 và 3 thì mức độ tin cậy lần lượt là 68.2%, 95.4% và 99.7% (hình 3). Với $k = 3$ mức độ tin cậy đã gần đạt tới 100%. Do vậy giá trị $k=3$ thường được lựa chọn.



Hình 3. Độ tin cậy của phân phối chuẩn ứng với các giá trị k

Từ công thức (3) cho thấy giá trị cực đại của u và p có thể xác định nếu xác định được giá trị trung bình và phương sai. Do vậy trong nghiên cứu này, phương pháp mô hình vật lý sẽ được thực hiện để đo đạc các giá trị trung bình và phương sai của vận tốc và áp suất ở hạ lưu tràn xả lũ nhà máy thủy điện Hòa Bình. Mô hình thí nghiệm hạ lưu hồ chứa thủy điện Hòa Bình

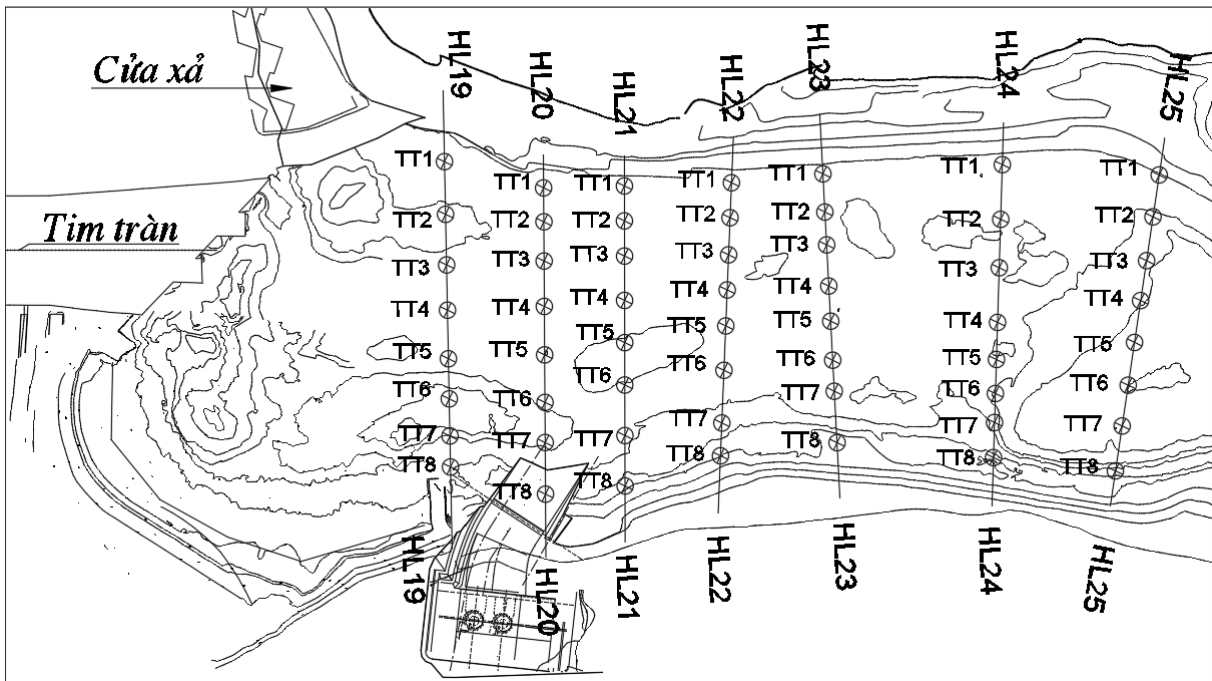
được xây dựng là mô hình lòng mềm vật liệu rời, tỷ lệ mô hình: nguyên hình là 1:100 (Viện Năng lượng, 2021). Theo (Hubert Chanson, 2004) với tỷ lệ này thì ảnh hưởng trọng lực trong mô hình sẽ chiếm ưu thế. Ảnh hưởng này rất quan trọng trong các mô hình mô phỏng dòng chảy mặt. Hình 4 thể hiện hình ảnh hiện trạng mô hình trước khi mở nước thí nghiệm.



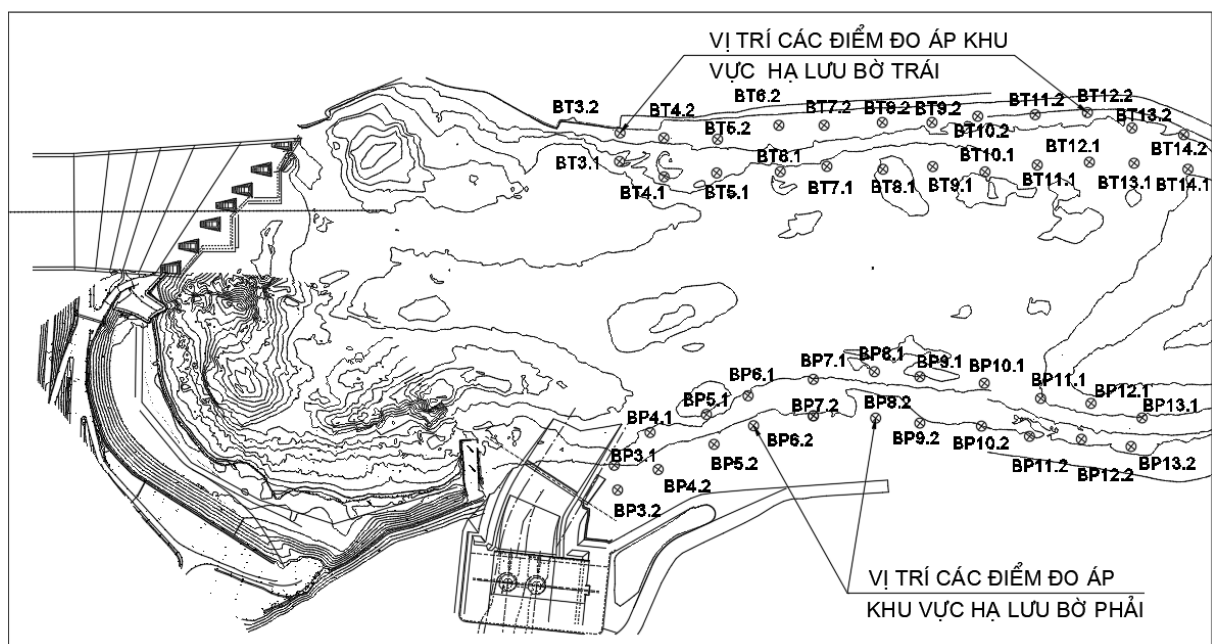
Hình 4. Hình ảnh mô hình thí nghiệm hạ lưu hồ chứa thủy điện Hòa Bình

Nghiên cứu tập trung phân tích số liệu đo đạc vận tốc và áp suất tại đoạn sông hạ lưu tràn từ mặt cắt HL19 đến HL25 (hình 5). Ứng với mỗi mặt cắt có 08 điểm thủy trực đo vận tốc ở đáy sông được thiết lập. Trong đó, 2 điểm thủy trực TT1 và TT2 đại diện cho vận tốc ở bờ trái, 2 điểm thủy trực TT7 và TT8 đại diện cho vận tốc

bờ phải. Các điểm thủy trực còn lại thể hiện vận tốc ở lòng sông. Đối với yếu tố áp suất, nghiên cứu chỉ tiến hành đo đạc ở 2 bờ sông nhằm đánh giá áp suất mạch động lên hệ thống kè bảo vệ bờ. 22 điểm đo áp suất bên bờ phải và 24 điểm áp suất đo bên bờ trái được nghiên cứu tiến hành đo đạc như trong hình 6.



Hình 5. Sơ đồ vị trí đo vận tốc trong mô hình



Hình 6. Sơ đồ vị trí đo áp suất trong mô hình

Lưu tốc trung bình $\bar{u}$ và mạch động lưu tốc u' được đo bằng thiết bị điện tử nhãn hiệu P. EMS do Hà Lan chế tạo với 2 đầu đo E30 và E40 kết hợp với bộ thu thập xử lý tín hiệu điện tử DaqBook200/2005, tương ứng với từng phạm vi trị số lưu tốc cần đo. Đầu đo lưu tốc dòng chảy E30, E40 cho phép xác

định phương và chiều của lưu tốc. Áp suất trung bình $\bar{p}$ và mạch động áp suất p' được đo bằng thiết bị điện tử nhãn hiệu DaqBook200/260; DaqBook200/2005 với các đầu đo áp suất điện tử PCDR được gắn với điểm đo thông qua hệ thống ống dẫn và kết nối với máy tính thu thập dữ liệu tự động do

Hà Lan chế tạo. Áp suất trung bình thời gian $\bar{P}$ còn được đo bằng ống đo áp kết hợp với đo bằng thiết bị điện tử nói trên. Các thiết bị điện tử đã được kiểm định theo tiêu chuẩn trước khi đưa vào sử dụng.

Nghiên cứu tiến hành 06 thí nghiệm tương

ứng các cấp lưu lượng như ở bảng 1. Dựa trên kết quả đo đặc lưu tốc trung bình, lưu tốc mạch động, áp suất trung bình, áp suất mạch động của các điểm đo, nghiên cứu sẽ xác định được vận tốc cực đại và áp suất cực đại ứng với các cấp dòng chảy.

Bảng 1. Các kịch bản thí nghiệm

STT	Trường hợp	Q xả (m^3/s)
1	Mở 10 tổ máy	3024
2	Mở 10 tổ máy và 2 cửa xả sâu ($7\div 8$)	5772
3	Mở 10 tổ máy và 5 cửa xả sâu ($5\div 9$)	11924
4	Mở 10 tổ máy và 9 cửa xả sâu ($4\div 9$)	19044
5	Mở 10 tổ máy, 12 cửa xả sâu và 4 cửa xả mặt số ($3\div 6$)	26600
6	Mở 10 tổ máy, 12 cửa xả sâu và 6 cửa xả mặt	37800

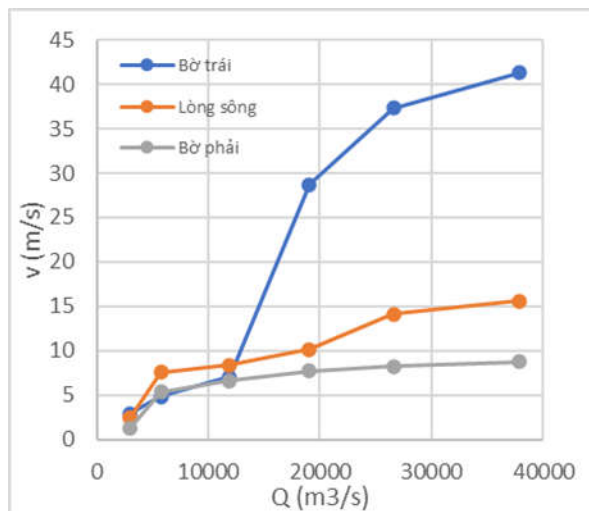
* Giá trị lưu lượng đã được quy về giá trị của nguyên hình

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

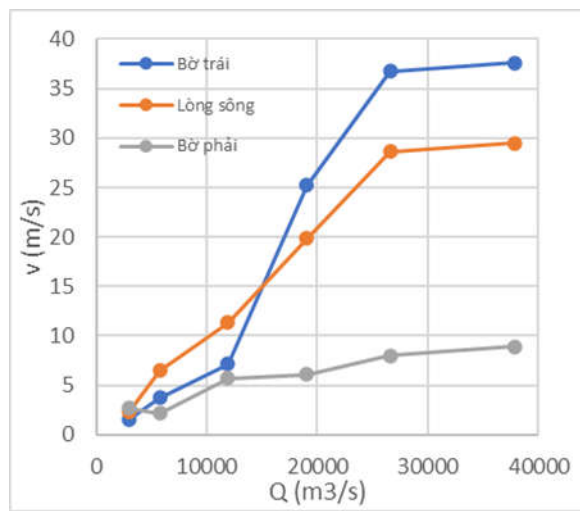
Dựa trên số liệu đo đặc từ các điểm thủy trực đo, tiến hành xác định vận tốc cực đại tại điểm đo theo công thức (4). Vận tốc cực đại tại từng khu vực được lấy là vận tốc cực đại của nhóm điểm đặc trưng cho khu vực (bờ trái: điểm TT1, TT2; bờ phải điểm TT7, TT8 và lòng sông TT3÷TT6). Kết quả lưu tốc cực đại dọc theo nhánh sông theo từng mặt cắt cho bởi các hình dưới đây (hình 7a÷g). Nhìn chung lưu tốc cực đại có xu hướng tăng khi lưu lượng xả tăng, tuy nhiên cũng có một số điểm đo ngoài quy luật này. Điều này thể hiện sự phức tạp của dòng chảy sau tràn xả lũ, tuy nhiên cũng có thể do sai số của thiết bị đo. Dọc theo đoạn sông, vận tốc cực đại đạt giá trị lớn nhất tại vị trí hồ xói (mặt cắt HL19, HL20). Theo số liệu tính toán vận tốc lớn cực đại ứng với cấp xả lưu lượng lớn nhất có thể đạt đến khoảng 40m/s (hình 7a, 7b). Tại khu

vực sâu sau (mặt cắt HL21, HL22, HL23) vận tốc cực đại dòng chảy giảm mạnh xuống < 20m/s (ứng với cấp lưu lượng lớn nhất).

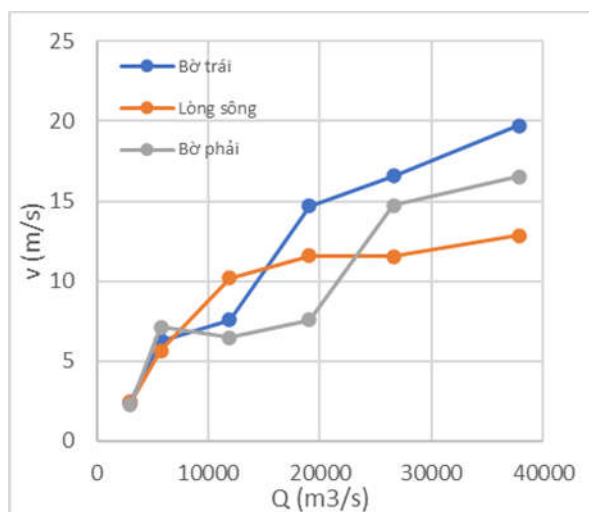
Nhận thấy, tại các cấp lưu lượng thấp lưu tốc cực đại ở 2 bờ cũng như lòng sông không có sự chênh lệch nhiều. Tuy nhiên, khi lưu lượng tăng lên, sự chênh lệch lớn về vận tốc cực đại xuất hiện. Sự chênh lệch này cũng không giống nhau dọc theo nhánh sông. Do đặc điểm vị trí của tràn xả lũ đặt lệch, sát bờ trái sông. Điều này dẫn đến vận tốc dòng chảy tại bờ trái ngay sau tràn xả lũ là lớn nhất. Tuy nhiên càng xuôi về phía hạ lưu, sự khác biệt vận tốc cực đại giữa hai bờ dòng chảy càng giảm. Đến đoạn sông tiếp giáp sông tự nhiên (hình 7f và 7g), tốc độ dòng chảy cực đại giữa 2 bờ tương đương nhau. Giá trị này giao động từ 4÷6 m/s trong mọi cấp lưu lượng. Đây là giá trị quan trọng trong việc lựa chọn vật liệu đảm bảo không bị xói cho tuyến kè bảo vệ bờ tại hạ lưu đoạn sông này.



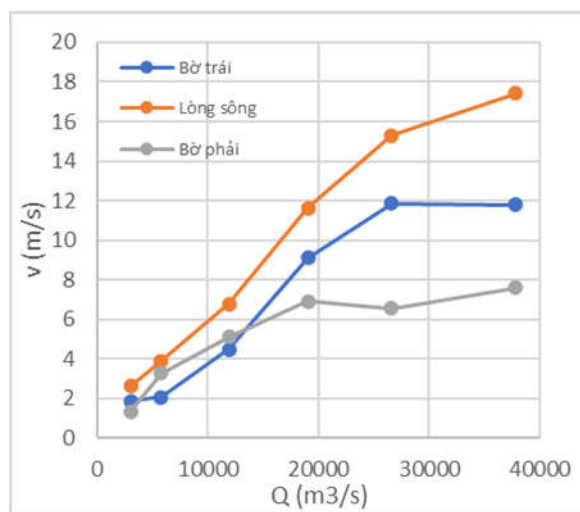
(a)



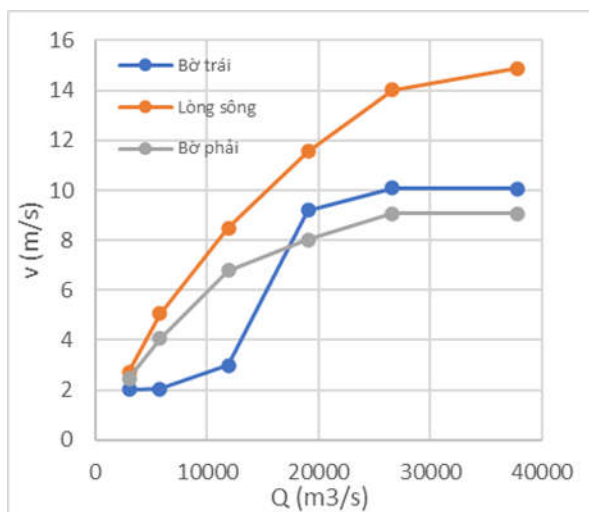
(b)



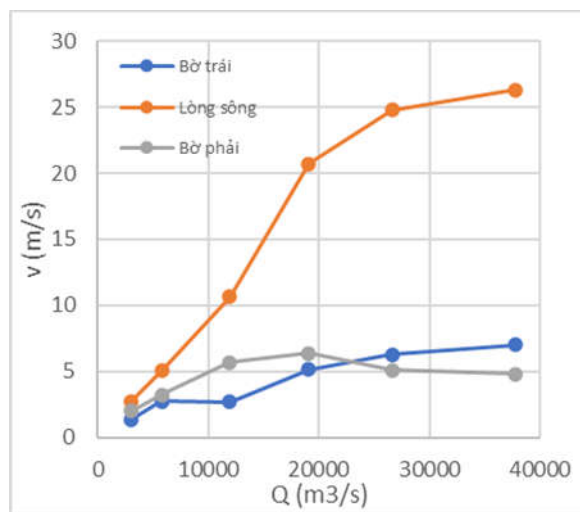
(c)



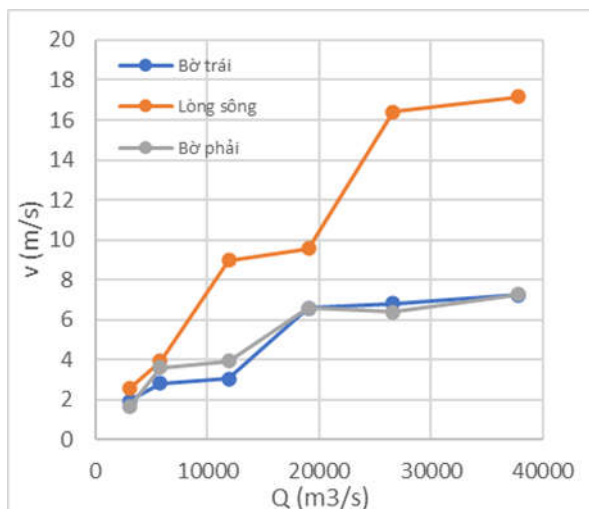
(d)



(e)



(f)



- a: mặt cắt HL19
- b: mặt cắt HL20
- c: mặt cắt HL21
- d: mặt cắt HL22
- e: mặt cắt HL23
- f: mặt cắt HL24
- g: mặt cắt HL25

(g)

Hình 7. Lưu tốc cực đại ứng với các cấp lưu lượng tại đoạn sông hạ lưu tràn

Tại hầu hết các điểm đo, áp suất cực đại tăng theo các cấp lưu lượng xả lũ (bảng 2). Điều này có thể giải thích do thành phần áp suất thủy tĩnh đóng vai trò quan trọng trong tổng áp suất. Thành phần áp suất thủy tĩnh phụ thuộc vào độ sâu mực nước tại điểm đo. Khi lưu lượng tăng, mực nước sông cũng

tăng theo, điều đó kéo theo áp suất tăng theo. Dựa trên số liệu đo áp suất trung bình và áp suất mạch động, áp suất cực đại của đoạn sông hạ lưu tràn xả lũ thủy điện Hòa Bình được thể hiện trong bảng 2. Đây sẽ là cơ sở cho việc tính toán ổn định cho tuyến kè bảo vệ bờ ở hạ lưu tràn xả lũ.

Bảng 2. Giá trị áp suất cực đại tại các điểm đo (mH₂O)

Vị trí	Cao độ điểm đo (m)	Bờ trái						Vị trí	Cao độ điểm đo (m)	Bờ phải					
		Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6			Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6
BT3.1	11.70	3.10	4.90	7.39	12.04	12.51	11.43	BP3.1	12.4	2.64	5.38	7.88	10.27	10.90	14.12
BT3.2	14.20		3.15	5.78	10.39	11.89	9.94	BP3.2	15.8		2.77	5.28	8.50	12.56	12.12
BT4.1	12.50	3.10	4.50	7.42	10.16	12.28	12.96	BP4.1	12.9	2.24	4.73	7.15	9.94	10.63	13.70
BT4.2	13.80		3.57	5.86	9.02	13.32	13.28	BP4.2	16.1		2.01	3.28	6.14	7.68	9.76
BT5.1	12.50		4.37	7.46	9.04	14.50	14.69	BP5.1	12.2	3.04	5.65	8.00	10.95	11.03	15.08
BT5.2	13.90		3.09	6.43	8.95	12.71	13.94	BP5.2	16.7			4.07	6.68	6.90	10.53
BT6.1	16.00			4.07	7.44	12.49	11.30	BP6.1	11.8	3.38	5.65	9.08	11.90	12.62	16.22
BT6.2	16.40			3.64	6.39	10.17	11.06	BP6.2	14.1	1.12	3.70	9.50	9.85	10.51	14.53
BT7.1	15.00			5.05	8.70	11.65	13.57	BP7.1	11.8	3.35	5.41	9.04	11.86	13.76	17.41
BT7.2	15.20			4.83	8.12	11.69	13.45	BP7.2	11.8	3.41	5.68	9.54	12.73	14.66	16.20
BT8.1	12.80		3.88	7.38	10.91	12.29	16.06	BP8.1	12.1	3.07	5.23	9.02	11.62	14.70	16.48
BT8.2	12.90		3.44	6.89	10.66	12.23	15.03	BP8.2	12.1	3.04	5.19	9.13	11.85	17.46	16.71

Vị trí	Cao độ điểm đo (m)	Bờ trái						Vị trí	Cao độ điểm đo (m)	Bờ phải					
		Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6			Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6
BT9.1	11.80	3.06	4.85	8.08	12.22	14.44	16.66	BP9.1	12.1	3.04	5.01	10.69	12.11	16.68	16.79
BT9.2	12.10	2.86	4.42	7.88	11.94	15.13	15.64	BP9.2	12.1	3.04	4.84	9.14	12.07	14.68	17.24
BT10.1	11.90	3.10	4.79	8.15	11.21	14.93	16.51	BP10.1	12	3.14	5.11	8.79	11.56	15.12	17.45
BT10.2	13.40	2.97	4.32	8.34	10.63	13.69	15.32	BP10.2	12	3.32	5.35	9.57	12.22	14.61	17.43
BT11.1	12.10	2.70	4.21	7.79	11.83	16.31	16.56	BP11.1	12.2	4.59	5.07	8.70	11.81	14.26	17.34
BT11.2	12.30	2.73	4.28	7.89	11.59	14.76	15.66	BP11.2	12.2	3.30	4.97	8.75	12.16	13.90	18.01
BT12.1	12.30	2.73	3.89	7.97	11.83	15.18	16.91	BP12.1	12.2	3.42	5.04	10.74	12.08	13.52	18.95
BT12.2	12.30	2.83	4.29	8.15	11.90	14.40	17.36	BP12.2	12.2	3.03	5.33	9.16	12.04	13.63	17.69
BT13.1	9.90	5.29	7.20	9.28	12.52	16.90	17.23	BP13.1	11.00	4.18	6.32	10.12	13.10	14.85	18.61
BT13.2	13.60	2.76	3.80	6.99	8.75	13.15	16.04	BP13.2	14.20		2.88	5.54	9.24	12.20	15.21
BT14.1	9.60	6.24	6.58	9.99	14.17	17.35	19.25								
BT14.2	12.90	2.70	3.85	7.17	11.61	13.79	16.92								

4. KẾT LUẬN

Nghiên cứu đã ứng dụng mô hình vật lý để mô phỏng dòng chảy hạ lưu tràn xả lũ thủy điện Hòa Bình. Thông qua kết quả nghiên cứu cho thấy sự biến động của lưu tốc và áp suất dọc theo lòng sông cũng như sự phân bố theo mặt cắt. Kết quả cho thấy vận tốc dòng chảy cực đại biến đổi mạnh theo chiều dọc và ngang sông. Giá trị vận tốc cực đại xuất hiện lớn nhất trong

khu vực hồ xói ngay hạ lưu tràn xả lũ. Sau phạm vi hồ xói, giá trị tốc độ tối đa giảm mạnh. Theo chiều ngang sông cũng có sự khác biệt lớn giữa vận tốc ở bờ và lòng sông. Nghiên cứu cũng đã đưa kết quả thí nghiệm áp suất cực đại dọc hai bờ đoạn sông hạ lưu tràn xả lũ. Các kết quả nghiên cứu về lưu tốc và áp suất cực đại là cơ sở hỗ trợ cho việc tính toán, lựa chọn các vật liệu, kết cấu kè bờ hạ lưu.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- Viện Năng lượng, “*Báo cáo kết quả thí nghiệm vùng chuyển tiếp gia cố hạ lưu chân đập thủy điện Hoà Bình*,” 2021.
- M. R. Bhajantri, T. I. Eldho, and P. B. Deolalikar, “*Hydrodynamic modelling of flow over a spillway using a two-dimensional finite volume-based numerical model*,” *Sadhana - Academy Proceedings in Engineering Sciences*, vol. 31, no. 6, pp. 743–754, 2006, doi: 10.1007/BF02716893.
- C. K. Novakoski, E. Conterato, M. Marques, E. D. Teixeira, G. A. Lima, and A. Mees, “*Macro-turbulent characteristics of pressures in hydraulic jump formed downstream of a stepped spillway*,” *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, vol. 22, 2017, doi: 10.1590/2318-0331.011716034.
- V. Ivanov and M. M. Mukhammadiev, “*Characteristics of pressure fluctuations beyond spillways with a ledge*,” *Hydrotechnical Construction*, vol. 20, pp. 28–33, Mar. 1986.

- A. Amador, Martí Sánchez-Juny, and J. Dolz, “Developing Flow Region and Pressure Fluctuations on Steeply Sloping Stepped Spillways,” *Journal of Hydraulic Engineering*, vol. 135, no. 12, 2009, doi: 10.1061/ASCEHY.1943-7900.0000118.
- Hubert Chanson, “Physical modelling of hydraulics,” in *Hydraulics of Open Channel Flow* (Second Edition), Butterworth-Heinemann, 2004, pp. 253–274.
- H. Mouri, M. Takaoka, A. Hori, and Y. Kawashima, “Probability density function of turbulent velocity fluctuations,” *Phys Rev E Stat Phys Plasmas Fluids Relat Interdiscip Topics*, vol. 65, no. 5, p. 7, 2002, doi: 10.1103/PhysRevE.65.056304.
- M. Lin, B. Su, S. C. Li, Y. T. Yin, Q. W. Wang, and Y. T. Chen, “Probability density function of velocity fluctuations in a rectangular T-junction duct,” *Journal of Turbulence*, vol. 19, no. 8, pp. 621–646, Aug. 2018, doi: 10.1080/14685248.2018.1481289.

LỜI CẢM ƠN

Nghiên cứu được thực hiện dưới sự hỗ trợ của đề tài “Nghiên cứu xác định vận tốc không xói có xét đến mạch động đối với vật liệu đá và khối bê tông gia cố hạ lưu đập tràn xả lũ ở nhà máy thủy điện.”

Abstract:

STUDY FLUCTUATION OF VELOCITY AND PRESSURE AT DOWNSTREAM HOA BINH’S SPILLWAY

Turbulent flow downstream of a spillway is always a complex topic due to variations in direction as well as value. These variations cause the fluctuations of velocity and pressure. In this study, the values of these fluctuations in Hoa Binh hydropower spillway were determined through the simulation in physical model. Based on observer data, the maximum velocity and pressure along the downstream of the spillway were determined. This is the basis to select materials as well as to calculate the stability of anti-erosion structures at downstream.

Keywords: Fluctuation of velocity, fluctuation of pressure, physical model, Hoa Binh reservoir.

Ngày nhận bài: 08/9/2022

Ngày chấp nhận đăng: 30/9/2022