

MÔ PHỎNG SỐ NGHIÊN CỨU ẢNH HƯỞNG CỦA KỸ THUẬT TIẾP KHÍ TỚI ĐẶC TRƯNG LƯU LƯỢNG CỦA XI PHÔNG THÁO LŨ

Phạm Văn Khôi¹, Phạm Thị Ngà¹, Đoàn Thị Hồng Ngọc¹

Tóm tắt: Bài báo trình bày kết quả mô phỏng số đặc trưng lưu lượng của xi phong tháo lũ ứng dụng trong công tác xả nước hồ chứa. Xi phong tháo lũ có ưu điểm là kết cấu đơn giản, lưu lượng xả nước tương đối lớn nhưng có nhược điểm khó kiểm soát lưu lượng khi xả lũ. Kỹ thuật tiếp khí được ứng dụng để điều chỉnh lượng khí vào trong ống xi phong, từ đó có thể điều khiển lưu lượng xả lũ theo ý muốn, tránh ngập lụt phía hạ lưu xi phong tháo lũ. Kết quả mô phỏng cho thấy lượng khí lấy vào ống xi phong tỷ lệ nghịch với lưu lượng xi phong tháo lũ. Tùy theo giá trị chiều cao cột nước tràn tại đỉnh xi phong, giá trị lưu lượng xả lũ biến thiên trong khoảng giá trị lưu lượng của kích bản kín khí và của kích bản đầy khí.

Từ khóa: Mô phỏng số, xi phong tháo lũ, lưu lượng xả nước, điều chỉnh khí, kỹ thuật tiếp khí.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Đập tràn xi phong được sử dụng phổ biến trên Thế giới (Babaeyan-Koopaei et al., 2002; Boatwright, 2014; Tadayon and Ramamurthy, 2013) nhưng khá hạn chế tại Việt Nam (Nguyễn Ty Niên, 2010) do thiếu những nghiên cứu ứng dụng và phát triển. Kết cấu đập tràn xi phong có nguyên lý hoạt động khá đơn giản, giảm khối lượng xây dựng đập mà vẫn có hiệu quả tháo nước cao. Tuy nhiên, khi xi phong ở trạng thái hoạt động hoàn toàn (chảy đầy), việc điều khiển lưu lượng xả nước khá khó khăn, gây ra ngập lụt phía hạ lưu đập. Điển hình là hai trận lụt năm 1939 và 1992 do đập tràn xi phong ở hồ Brent, nước Anh như Hình 1.

Kỹ thuật tiếp khí (thông qua van khí và ống thông khí – Hình 2) (Phạm Văn Khôi và nnk, 2022) được sử dụng để bổ sung áp suất không khí vào vị trí mà có áp suất nhỏ hơn áp suất không khí bên trong ống xi phong. Với dòng chảy qua chất lỏng không nén được, kỹ thuật này giúp điều chỉnh chiều cao đo áp và chiều cao lưu tốc (Nguyễn Tài, 1998). Một số nghiên cứu đã ứng

dụng kỹ thuật tiếp khí để bổ sung áp suất không khí cho áp suất âm tại đỉnh xi phong, từ đó giảm lưu lượng xả nước (Babaeyan-Koopaei et al., 2002; Boatwright, 2014; Jung et al., 2019). Tuy nhiên, các nghiên cứu dựa trên mô hình vật lý nên rất tốn kém chi phí xây dựng và vận hành mô hình. Mô hình số được xem là có ưu điểm hơn mô hình vật lý khi tiết kiệm chi phí nghiên cứu và dễ dàng mô phỏng đa dạng kết cấu xi phong. Tuy nhiên, theo hiểu biết của các tác giả, chưa có nghiên cứu nào thực hiện mô phỏng số hiện tượng thủy lực xi phong tháo lũ sử dụng kỹ thuật tiếp khí.



Hình 1. Xi phong tháo lũ ở hồ Brent, nước Anh (Babaeyan-Koopaei et al., 2002).

¹ Khoa Công trình, trường ĐH Hàng hải Việt Nam

Nghiên cứu này sử dụng công cụ mô hình dòng chảy ba chiều (Flow-3D model) để mô phỏng đặc trưng lưu lượng của xi phong tháo lũ trong trường hợp kín khí và đầy khí (chảy tràn). Kỹ thuật tiếp khí được sử dụng để điều chỉnh lượng khí vào trong ống xi phong, từ đó có thể điều khiển lưu lượng của xi phong tháo lũ trong khoảng giữa các đường đặc trưng lưu lượng trong trường hợp kín khí và đầy khí.

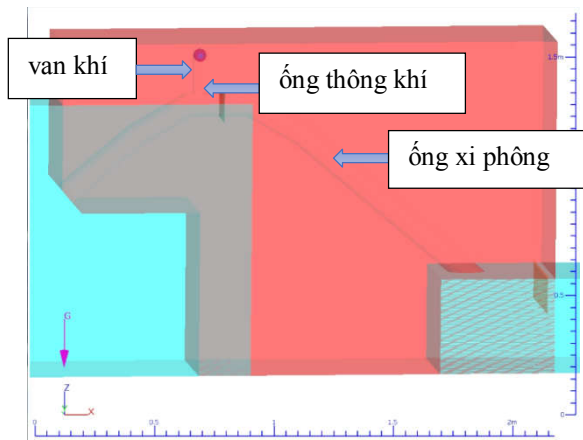
2. MÔ PHỎNG SỐ DÒNG CHẢY QUA XI PHÔNG THÁO LŨ

2.1. Thiết lập mô hình số mô phỏng

a. Kết cấu xi phong tháo lũ

Trong các nghiên cứu trước của tác giả (Phạm Văn Khôi và nnk, 2022; Phạm Văn Khôi và Vũ

Văn Nghi, 2021), các đặc trưng thủy lực (áp suất, lưu lượng...) của xi phong tháo lũ được mô phỏng bằng mô hình dòng chảy ba chiều. Mô hình dòng chảy ba chiều cho thấy thể mạnh trong mô phỏng tương tác dòng chảy qua đập tràn (Kumcu, 2017; Đỗ Xuân Khánh và nnk, 2018; Nguyễn Công Thành và Hà Đình Phương, 2014) và các kết cấu công trình thủy lợi khác (Hien and Duc, 2020). Phạm Văn Khôi và Vũ Văn Nghi, 2021 đã thực hiện thiết lập kết cấu mô hình số để kiểm chuẩn với thí nghiệm vật lý. Vì thế trong nghiên cứu này, để tăng độ tin cậy, kết cấu xi phong tháo lũ đã thực hiện trong nghiên cứu trước tiếp tục được lựa chọn như Hình 2.



Hình 2. Kết cấu xi phong trong thí nghiệm vật lý (Phạm Văn Khôi và Vũ Văn Nghi, 2021) và trong thí nghiệm mô phỏng

Ống xi phong có đường kính trong là 0,1m được bẻ cong 5 lần với tổng chiều dài là 2,44m. Trong thí nghiệm mô phỏng này, kết cấu ống xi phong được bổ sung ống thông khí có đường kính trong 0,03m đặt trên đỉnh xi phong (Phạm Văn Khôi và nnk, 2022). Mức nước hạ lưu được cố định, mức nước thượng lưu thay đổi sao cho chiều cao cột nước tràn nhỏ hơn đường kính trong của ống xi phong. Lưới chia được lấy đều theo 3 phương X (chiều dài), Y (chiều rộng), Z (chiều cao) là 2cm. Điều kiện biên được thiết lập theo các phương như sau: phương X: biên trái là áp suất cố định (specified pressure) với cao độ chất

lỏng (fluid elevation) là mực nước thượng lưu, biên phải tương tự biên trái nhưng cao độ chất lỏng là mực nước hạ lưu; phương Y là tường (wall); phương Z: biên dưới là tường, biên trên là áp suất không khí (101.325 Pa) với tỷ lệ chất lỏng (fluid fraction) là 0. Điều kiện ban đầu thiết lập hai khối nước phía thượng lưu và hạ lưu theo mực nước thượng lưu và mực nước hạ lưu (Hình 2).

b. Lựa chọn mô hình và kích bản tính toán

Mô hình dòng chảy rối kết hợp trộn khí (Lê Thị Thu Hiền và nnk, 2020) được sử dụng trong nghiên cứu này. Ngoài ra, kỹ thuật tiếp khí (Phạm Văn Khôi và nnk, 2022) được điều chỉnh bởi hệ số

lưu lượng khí (C_0) được ứng dụng để điều khiển lưu lượng khí vào ống xi phông, từ đó có thể điều khiển được lưu lượng dòng chảy qua xi phông. Nghiên cứu này thực hiện 4 kịch bản (KB) mô

phỏng: kín khí (7 trường hợp-TH), đầy khí - chảy tràn (6TH), ít khí (5TH), nhiều khí (4TH). Các kịch bản mô phỏng trong nghiên cứu này được thể hiện trong bảng sau:

Bảng 1. Các kịch bản mô phỏng dòng chảy qua xi phông tháo lũ

Kịch bản	Hệ số lưu lượng van khí (C_0)	Số trường hợp mực nước thượng lưu	Cao trình mực nước thượng lưu (m)	Cao trình mực nước hạ lưu (m)	Chiều cao cột nước tràn (mm)
Kín khí	0	7	1,15-1,13-1,11-1,09 - 1,073-1,07-1,067	0,4	85-65-45-25-8-5-2
Đầy khí	1	6	1,15-1,14-1,13-1,12-1,111-1,10	0,4	85-75-65-55-46-35
Ít khí	0,2	5	1,15-1,13-1,11-1,09 - 1,073	0,4	85-65-45-25-8
Nhiều khí	0,7	4	1,15-1,13-1,11-1,09	0,4	85-65-45-25

c. Kiểm chuẩn mô hình

Mô hình số dòng chảy qua xi phông tháo lũ được kiểm chuẩn trong trường hợp không có van khí với lời giải giải tích (Phạm Văn Khôi và nnk, 2022) và số liệu thí nghiệm vật lý (Phạm Văn Khôi và Vũ Văn Nghi, 2021). Kết quả cho thấy các giá trị lưu lượng mà mô hình mô phỏng chênh lệch nhỏ so với giá trị lưu lượng từ lời giải giải tích (0,07%) và từ thí nghiệm vật lý (2,81%). Từ đó, mô hình được xem là phù hợp khi mô phỏng dòng chảy qua xi phông tháo lũ.

2.2. Kết quả mô phỏng

a. Kịch bản xi phông kín khí ($C_0 = 0$)

Hình 3 (a, b, c) thể hiện kết quả mô phỏng số dòng chảy qua xi phông tháo lũ trong trường hợp kín khí dùng mô hình dòng chảy ba chiều. Trong Hình 3, trục hoành và trục tung có đơn vị là mét (m), thang chia áp suất bên trên có đơn vị là Pa. Tại thời điểm ban đầu (Hình 3.a), chiều cao cột nước tràn $h = 8,5\text{cm}$. Ngay sau đó 5s (Hình 3.b), dòng chảy trong ống xi phông đã đẩy hết khí trong ống ra ngoài và chảy ngập hoàn toàn trong ống. Dòng chảy ngập hoàn toàn tiếp tục ổn định sau đó như Hình 3.c và được gọi là dòng chảy kín khí. Kết quả mô phỏng lưu lượng dòng chảy thay đổi theo thời gian trong trường hợp này được thể hiện

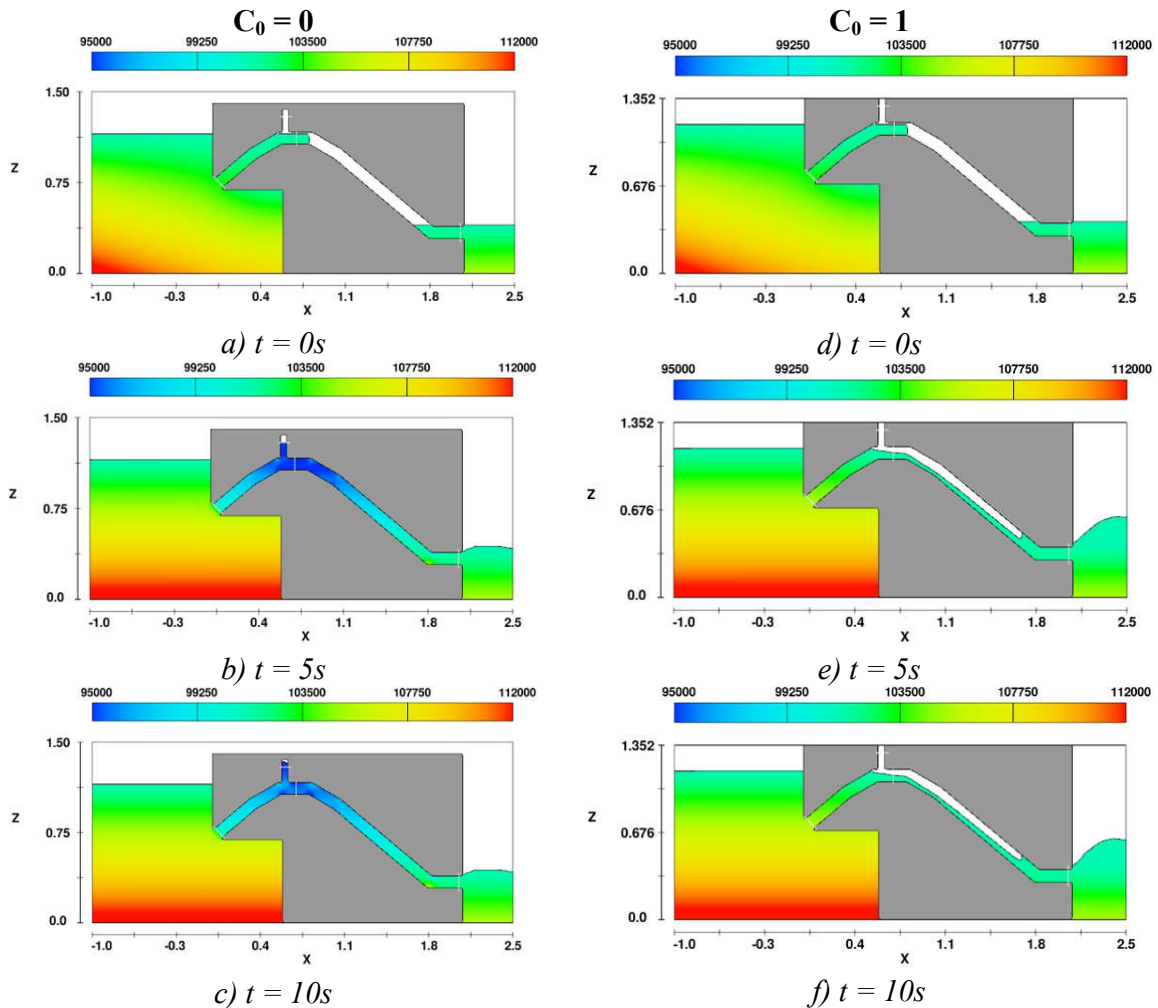
là đường cong trên cùng ($C_0 = 0$) trong Hình 5. Trên đường cong kín khí, lưu lượng đạt giá trị ổn định ($73,44\text{ m}^3/\text{giờ}$) sau thời gian $t = 5\text{s}$. Tương ứng mỗi giá trị chiều cao cột nước tràn sẽ thu được giá trị lưu lượng tương ứng. Do đó, các giá trị lưu lượng cho 7 TH trong KB1 được thể hiện như trên Hình 6 (đường cong kín khí). Như kết quả mô phỏng trên Hình 5 và Hình 6, lưu lượng tương ứng với chiều cao cột nước tràn của kịch bản dòng chảy kín khí là lớn nhất. Kết quả mô phỏng cho thấy phù hợp với đặc trưng thủy lực của xi phông tháo lũ.

b. Kịch bản xi phông đầy khí - chảy tràn ($C_0 = 1$)

Hình 3 (d, e, f) thể hiện kết quả mô phỏng số dòng chảy qua xi phông tháo lũ trong trường hợp đầy khí tương ứng tại các thời điểm như trên Hình 3 (a, b, c). Trong kịch bản này, ống thông khí (đặt tại đỉnh đập tràn) mở hoàn toàn để lấy không khí vào bên trong ống xi phông trong suốt quá trình mô phỏng. Sau thời điểm ban đầu (Hình 3. d), nước sẽ chảy tràn qua đỉnh xi phông sau 5s (Hình 3.e) và sau 10s (Hình 3.f). Lưu lượng tràn thay đổi theo thời gian nhanh chóng ổn định sau 2s với giá trị rất nhỏ ($10,84\text{ m}^3/\text{giờ}$) thể hiện trên Hình 5 tại đường cong đầy khí. Tương tự, giá trị lưu lượng của 6

TH trong KB2 được thể hiện trên đường cong đầy khí trên Hình 6. Như vậy, trong trường hợp xi phông chảy tràn, đặc điểm dòng chảy tương tự như đặc điểm dòng chảy qua đập tràn thông thường và giá trị lưu lượng tương ứng với chiều

cao tràn là nhỏ nhất. Các đường cong lưu lượng (Q) - chiều cao cột nước tràn (h) trong trường hợp kín khí và đầy khí được xem là các đường đặc trưng thủy lực của xi phông tháo lũ (Babaeyan-Koopaei et al., 2002).

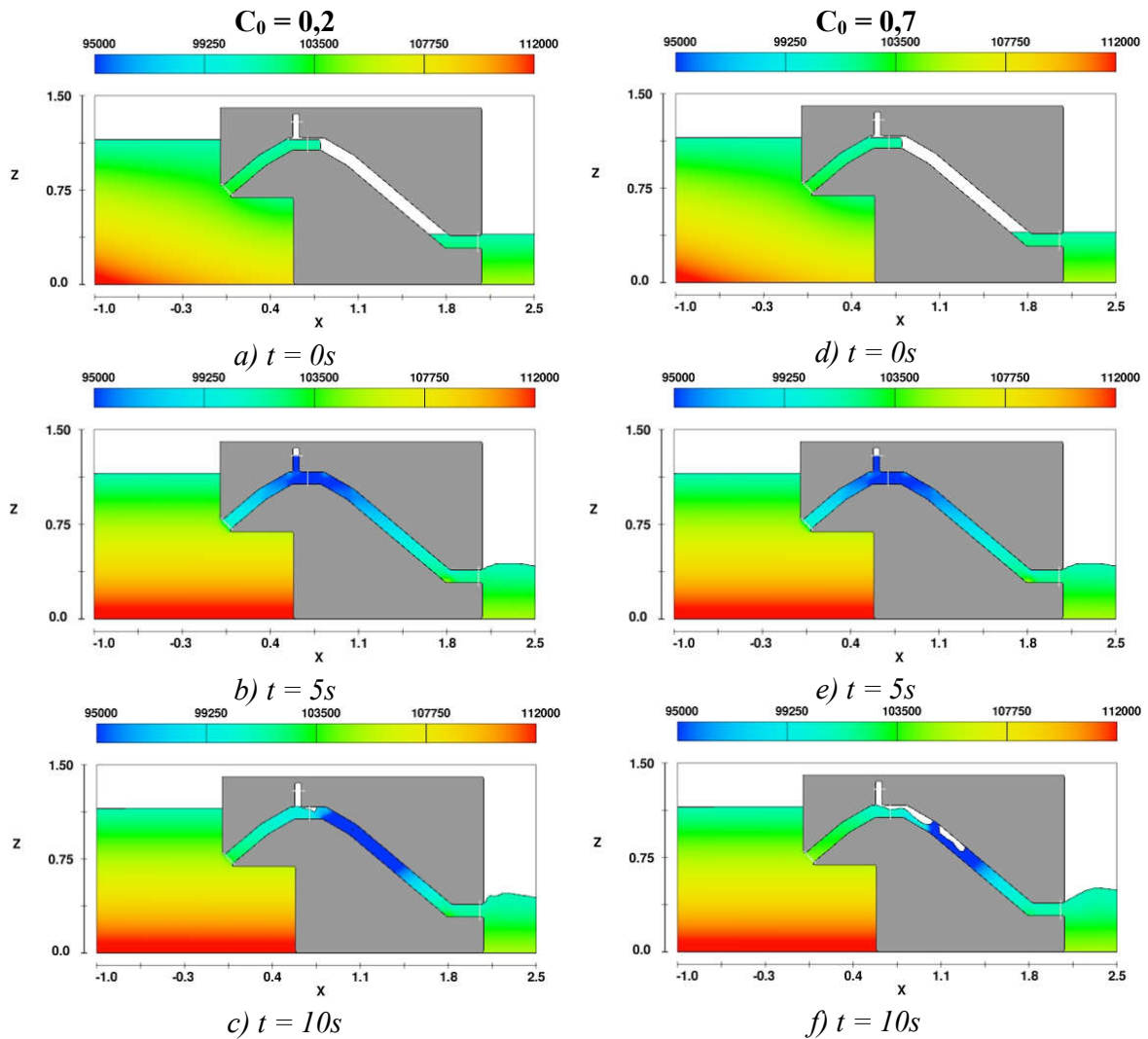


Hình 3. Áp suất dòng chảy trong xi phông tháo lũ trường hợp kín khí và đầy khí ứng với chiều cao cột nước tràn ban đầu 8,5cm

3. KẾT QUẢ MÔ PHỎNG KỸ THUẬT TIẾP KHÍ ĐIỀU KHIỂN LƯU LƯỢNG XI PHÔNG THÁO LŨ

Như vậy, tương ứng với mỗi chiều cao tràn, lưu lượng qua xi phông tháo lũ sẽ đạt giá trị lớn nhất trong trường hợp kín khí và nhỏ nhất trong trường hợp đầy khí. Trong thực tế, xi phông tháo lũ thường gây lũ lụt nghiêm trọng phía hạ lưu khi xi phông ở trạng thái làm việc kín khí, lưu lượng đạt giá trị lớn nhất. Để khắc phục nhược điểm này,

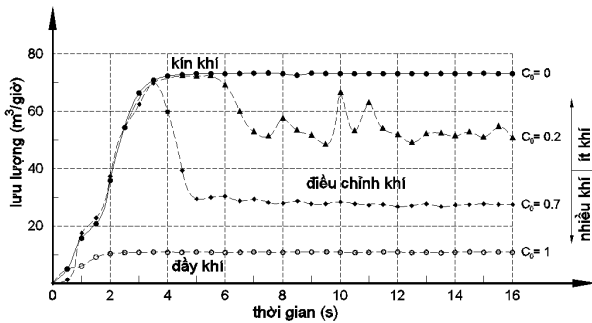
kỹ thuật tiếp khí được ứng dụng sẽ lấy một lượng khí nhất định vào đỉnh ống xi phông để điều khiển lưu lượng xả lũ xuống mức mong muốn. Do đó, vì lượng khí lấy vào nằm trong khoảng giữa của kích bản đầy khí và kín khí, giá trị lưu lượng đạt được cũng sẽ nằm trong khoảng đặc trưng lưu lượng như đã mô phỏng ở phần 2. Hai kích bản ít khí (KB3) và nhiều khí (KB4) với các trường hợp chiều cao tràn tương ứng được lựa chọn để thể hiện kết quả nghiên cứu (Bảng 1).



Hình 4. Áp suất dòng chảy trong xi phông tháo lũ kích bản ít khí ($C_0 = 0,2$) và nhiều khí ($C_0 = 0,7$) ứng với chiều cao cột nước tràn ban đầu 8,5cm

Hình 4 (a, b, c) và (d, e, f) thể hiện kết quả mô phỏng cho kích bản ít khí ($C_0 = 0,2$) và nhiều khí ($C_0 = 0,7$) của dòng chảy qua xi phông. Tại thời điểm ban đầu (Hình 4.a và Hình 4.d), chiều cao cột nước tràn $h = 8,5\text{cm}$ được thiết lập như mô phỏng ở phần 2. Đến thời điểm $t = 5\text{s}$ (Hình 4.b và Hình 4.e), trước khi van khí mở, nước chảy ngập trong ống và xi phông ở trạng thái làm việc hoàn toàn như trên Hình 3.b. Tại thời điểm $t = 10\text{s}$, sau khi van khí mở, một lượng nhỏ không khí chiếm chỗ nước khi người sử dụng thiết lập một lượng nhỏ không khí ($C_0 = 0,2$) vào trong ống xi phông (Hình 4.c). Tương tự như trên Hình 4.f, khi lượng không khí được

đưa vào lớn hơn ($C_0 = 0,7$), kết quả cho thấy một lượng lớn không khí chiếm chỗ lớn trong ống xi phông. Trong cả hai trường hợp trên, áp suất âm tại đỉnh xi phông đã được thay thế bằng áp suất không khí (101.325Pa) như thể hiện trên bảng màu áp suất trên Hình 4.c và Hình 4.f. Hình 5 thể hiện giá trị lưu lượng thay đổi theo thời gian trong kích bản ít khí ($C_0 = 0,2$) và nhiều khí ($C_0 = 0,7$). Có thể thấy giá trị lưu lượng giảm dần khi tăng lượng khí và nằm giữa miền giá trị lưu lượng kín khí và đầy khí. Nghĩa là lượng khí được lấy vào trong ống xi phông tỷ lệ nghịch với giá trị lưu lượng xả lũ đạt được. Đặc trưng này cũng được thể hiện rõ trong Hình 6.

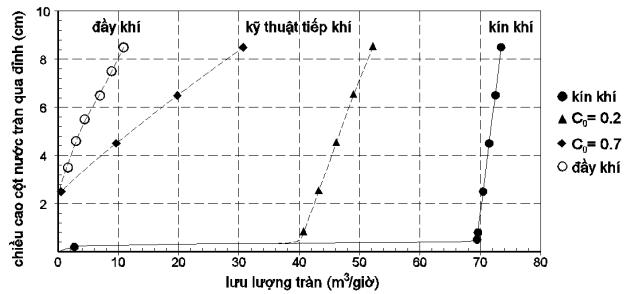


Hình 5. Lưu lượng xả nước xi phong tháo lũ thay đổi theo thời gian khi sử dụng kỹ thuật tiếp khí

Hình 6 thể hiện biến thiên lưu lượng (Q) theo chiều cao cột nước tràn (h) trong kịch bản điều chỉnh khí. Đường quan hệ $Q \sim h$ trong kịch bản ít khí ($C_0 = 0,2$) và nhiều khí ($C_0 = 0,7$) nằm trong miền giữa kịch bản kín khí ($C_0 = 0$) và đầy khí ($C_0 = 1$) cho thấy sự phù hợp nhất định của các kết quả mô phỏng. Kết quả còn cho thấy tính nhạy của kỹ thuật tiếp khí cho bài toán mô phỏng xi phong tháo lũ. Khi chiều cao cột nước tràn lớn, giá trị lưu lượng giảm khá rõ rệt khi điều chỉnh lượng khí. Nhưng khi chiều cao cột nước tràn nhỏ ($h = 2,5\text{cm}$), trong kịch bản lượng khí đưa vào lớn, giá trị lưu lượng giảm về tiệm cận với giá trị lưu lượng trong kịch bản đầy khí (xi phong chảy tràn thông thường). Điều này cho thấy sự phù hợp trong thực tế khi lượng khí lấy vào xi phong đủ lớn sẽ tương tự như trường hợp ống thông khí mở hoàn toàn (Hình 3.f). Hình 6 còn cho thấy sự phù hợp với đồ thị đường đặc trưng lưu lượng (Q) - chiều cao cột nước tràn (h) trong trường hợp có điều chỉnh khí trong các tài liệu của Babaeyan-Koopaei et al., (2002) và Khatsuria (2005).

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- Hiền L.T.T., Đức D.H., Đăng Đ.H., Phú N.Đ., (2020), “Nghiên cứu dòng chảy qua tràn xả lũ Tà Rục-Khánh Hoà bằng mô hình dòng rối kết hợp trộn khí”. Khoa học kỹ thuật Thủy lợi và Môi trường, 70, tr. 25-32.
- Khánh Đ.X, Nga L.T.T, Hùng H.V, (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, tr. 99–106.
- Khôi P.V., Nga P.T., Ngọc Đ.T.H., (2022), “Mô hình dòng chảy ba chiều: công cụ van khí và ứng dụng điều chỉnh lưu lượng xả nước đập tràn xi phong”, Tạp chí khoa học Công nghệ Hàng Hải, 69, tr. 57-61.



Hình 6. Đặc trưng lưu lượng xả nước của xi phong tháo lũ theo 4 kịch bản nghiên cứu

4. KẾT LUẬN

Trong bài báo này, dòng chảy qua xi phong tháo lũ được mô phỏng bằng mô hình dòng chảy ba chiều cho các trường hợp kín khí và đầy khí. Kỹ thuật tiếp khí được ứng dụng để điều khiển lưu lượng xả nước xi phong tháo lũ trong trường hợp kín khí. Khi cùng một chiều cao cột nước tràn, giá trị lưu lượng xả nước tỷ lệ nghịch với lượng tiếp khí và nằm trong khoảng đặc trưng lưu lượng của kịch bản kín khí và đầy khí. Người sử dụng có thể dùng mô hình dòng chảy ba chiều với kỹ thuật tiếp khí để điều khiển lưu lượng xả nước xi phong tháo lũ. Trong tương lai, mô hình vật lý đập tràn xi phong cho kỹ thuật phá chân không cần được thiết lập. Từ đó, xi phong tháo lũ sẽ được ứng dụng phổ biến hơn nữa tại Việt Nam để đem lại hiệu quả kinh tế - kỹ thuật trong lĩnh vực thủy lợi.

Lời cảm ơn: Nghiên cứu này được tài trợ bởi Trường Đại học Hàng hải Việt Nam trong đề tài mã số: DT21-22.63.

- Nguyễn Tài, (1998), “*Thủy lực*”, NXB Xây dựng.
- Thành N.C., Phương H.Đ., (2014), “*Tiêu hao năng lượng của dòng chảy qua bậc nước trên mái đập hạ lưu*”, Tạp chí khoa học kỹ thuật Thủy lợi và Môi trường, 46, tr. 63–70.
- Nguyễn Ty Niên, (2010), “*Hồ chứa nước Bàu Nhum: một công trình thủy lợi độc đáo*”.
- Khôi P.V., Nghi V.V., (2021), “*Mô hình dòng chảy ba chiều: lý thuyết, kiểm chuẩn và ứng dụng mô phỏng đập tràn kiểu xi phông*”. Tạp chí khoa học Công nghệ Hàng Hải, 67, tr. 73–77.
- Babaeyan-Koopaei, K., Valentine, E.M., Ervine, D.A., (2002), “*Case Study on Hydraulic Performance of Brent Reservoir Siphon Spillway*”. J. Hydraul. Eng. 128, 562–567. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9429\(2002\)128:6\(562\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9429(2002)128:6(562))
- Boatwright, J., (2014), “*Air-Regulated Siphon Spillways: Performance, Modeling, Design, and Construction (Thesis)*”. Clemson University.
- Hien, L.T.T., Duc, D.H., (2020), “*Numerical Simulation of Free Surface Flow on Spillways and Channel Chutes with Wall and Step Abutments by Coupling Turbulence and Air Entrainment Models*”. Water 12, 3036. <https://doi.org/10.3390/w12113036>
- Jung, J.-S., Jang, E., Lee, C., (2019), “*사이펀 여수로 공기혼입장치(air slot)의 방류량 조절 능력에 대한 실험 연구 (In Korean)*”. 대한토목학회논문집 39, 703–712. <https://doi.org/10.12652/KSCE.2019.39.6.0703>
- Khatsuria, R.M., (2005), “*Hydraulics of spillways and energy dissipators, Civil and environmental engineering*”, Marcel Dekker, New York.
- Kumcu, S.Y., (2017), “*Investigation of flow over spillway modeling and comparison between experimental data and CFD analysis*”, KSCE J. Civ. Eng. 21, 994–1003. <https://doi.org/10.1007/s12205-016-1257-z>
- Tadayon, R., Ramamurthy, A.S., (2013), “*Discharge Coefficient for Siphon Spillways*”. J. Irrig. Drain. Eng. 139, 267–270. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)IR.1943-4774.0000542](https://doi.org/10.1061/(ASCE)IR.1943-4774.0000542).

Abstract:

NUMERICAL INVESTIGATION OF AIR VENT TECHNIQUE TO THE OUTFLOW DISCHARGE CHARACTERISTIC OF SIPHON SPILLWAYS

This paper represents the numerical investigation of discharge characteristics of siphon spillways in application to simulate the outflow of reservoirs. Siphon spillways have simple structures and large outflow discharges, but it is difficult to control their outflow discharges. The air vent technique is applied to control the air quantities controlled inside the siphon, then it can control the desired outflow discharges and avoid the flood disaster at the spillway downstream. The simulations show that the more air quantities controlled inside siphons are, the less outflow discharges are. Depending on the water head, the outflow discharges vary in the range between the outflow discharges of the no air case and of the full air case.

Keywords: Numerical investigation, siphon spillways, outflow discharge, air-regulated, air vent technique.

Ngày nhận bài: 07/4/2022

Ngày chấp nhận đăng: 13/5/2022