

MÔ HÌNH VẬT LÝ TRONG NGHIÊN CỨU GIẢI PHÁP TĂNG KHẢ NĂNG THÁO BẰNG TRÀN KIỂU PHÍM PIANO

Đoàn Thị Minh Yến, Lê Văn Nghị, Đặng Thị Hồng Huệ, Nguyễn Tiến Hải

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

Tóm tắt: Trong những năm gần đây, các giải pháp công trình mới luôn không ngừng được nghiên cứu, ứng dụng thực tiễn, trong đó có tràn xả lũ dạng phím piano (PKW). Các tính toán lý thuyết cho tràn PKW còn nhiều hạn chế như xác định khả năng tháo, bố trí tổng thể PKW trong công trình đầu mối như tràn piano bố trí kết hợp với tràn có cửa van hoặc tràn piano đặt trên đỉnh ngưỡng thực dụng. Qua kết quả nghiên cứu trên một số mô hình vật lý tràn xả lũ dạng piano được thực hiện tại Phòng Thí nghiệm trọng điểm Quốc gia về động lực học sóng biển, đã đưa ra được giải pháp bố trí tổng thể, giải pháp hình dạng, cấu tạo hình học PKW hợp lý giúp công trình đảm bảo nhiệm vụ thoát lũ, giúp giảm chênh lệch/ phân bố đều tỉ lưu trên mặt cắt ngang, giảm/ tối ưu bề rộng ngưỡng tràn/ chiều cao đập dâng, giảm chiều cao tường bên dốc nước, giúp giảm chi phí xây dựng, đảm bảo công trình làm việc an toàn, hiệu quả khi đi vào vận hành. Bài báo này trình bày hiệu quả mô hình vật lý trong nghiên cứu giải pháp tăng khả năng tháo bằng tràn kiểu phím piano - ứng dụng điển hình trong thực tiễn, áp dụng cho tràn xả lũ dạng kết hợp tràn có cửa và tràn tự do – tràn xả lũ Đạ Sĩ, tỉnh Lâm Đồng và tràn xả lũ PKW đặt trên đỉnh tràn thực dụng - tràn Cao Ngõi tỉnh Tuyên Quang.

Từ khóa: Mô hình vật lý, tràn piano, thủy lực, đập tràn.

Summary: In recent years, the new construction solutions have been constantly researched, applied and built, including piano key weir. The piano solution specifically arranged in the work including the free spillway and the gated spillway or the free spillway placed on top of Ogee spillway. Because of a fairly new problem, theoretical calculation is still limited. Therefore, research on physical models brings great technical and economic efficiency for the projects. Through research results on a number of physical models of piano key weir that conducted at the Key Laboratory of River and Coastal Engineering, helped the project ensure flood discharge tasks, reducing flow rate differences on the cross-section, reducing/ optimum the width of the spillway threshold/height of the weir, reducing the height of the wall on the water slope, helping to reduce construction costs, ensuring the project works safely and effectively in operation. This article is presented the effectiveness of the physical model in PKW researching solutions to increase discharge capacity - typical applications in practice, applied to flood discharge spillway combined with gate spillway and free spillway in Da Si, Lam Dong province and PKW placed on top of the Ogee spillway - Cao Ngoi, Tuyen Quang province.

Keywords: Experiment model, Piano key weir, hydraulic, spillway

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Tràn piano – PKW (Piano Key Weir), tiền thân là tràn Labyrinth. Xuất phát từ ý tưởng tăng chiều dài thoát nước, tràn truyền thống có

tuyến thẳng được phát triển dạng tuyến cong, trở thành tràn mỏ vịt, tràn cánh quạt, tràn chữ Y, tràn hoa cúc, và tràn Labyrinth – dạng tràn có tuyến hình zic zắc (Hình 1). Tiếp tục cải tiến tràn Labyrinth, với các phím nước vào, phím nước ra dạng chữ nhật, tường bên thẳng đứng, bản đáy phím có mái dốc, như hình phím đàn piano nên gọi là tràn Piano (Hình 2).

Ngày nhận bài: 21/9/2023

Ngày thông qua phản biện: 16/10/2023

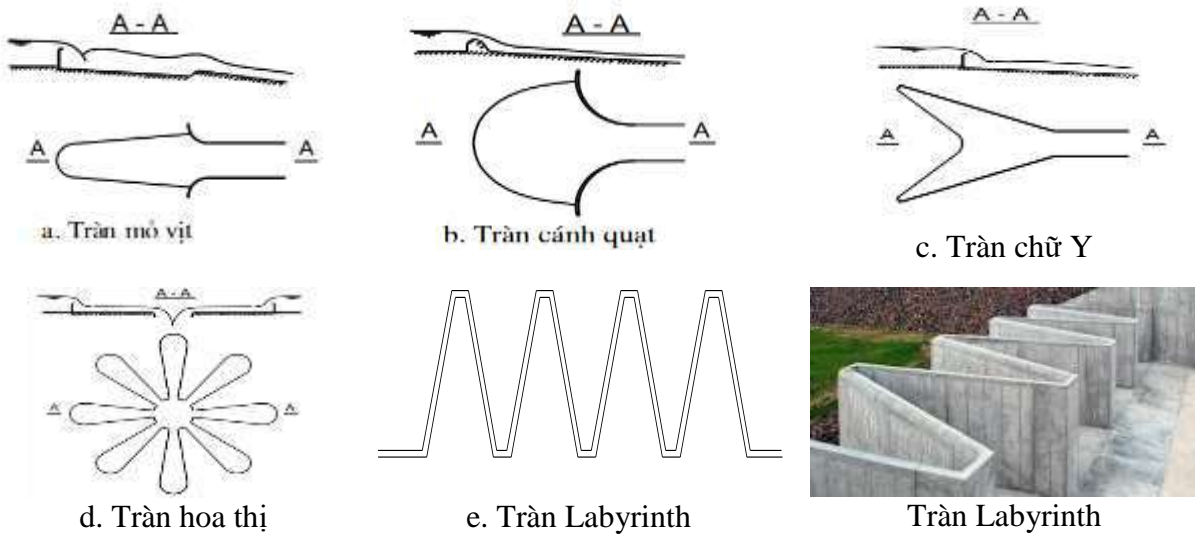
Ngày duyệt đăng: 03/11/2023

Với các cải tiến cùng hình dạng đường tràn zic zắc này giúp khả năng thoát qua tràn PKW tăng tới 4 lần so với tràn truyền thống.

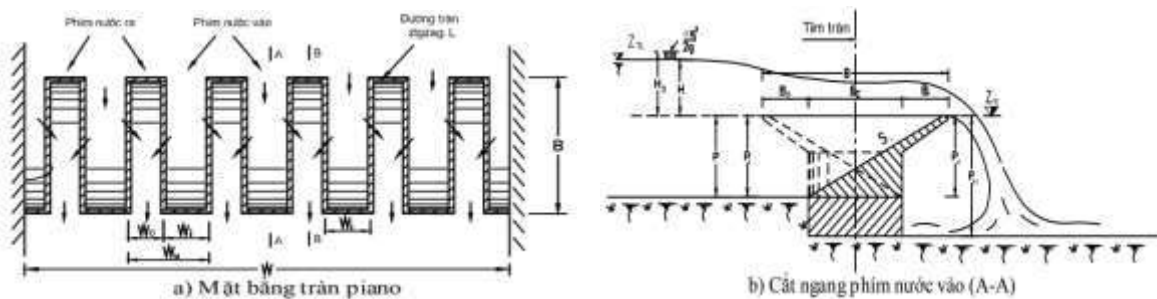
Tràn PKW được nghiên cứu từ những năm 1990, đi đầu bởi nhóm nghiên cứu HydroCoop, Điện lực Pháp....Tràn được xây dựng lần đầu tiên ở Pháp (trên đỉnh đập Goulours) vào năm 2006, đập Saint Marc (2008), đập Etroit (2009), đập Gloriettes (2010), đập đá đổ Dartmouth trên sông Mitta Mitta, Australia (2013)... [9]. Đến nay, trên thế giới đã có trên 30 công trình ứng dụng, trên 20 tạp chí và hơn 100 bài báo công bố các

nghiên cứu về loại tràn này.

Ở Việt Nam, một số công trình xây mới ứng dụng kiểu PKW như: thủy điện Đắk Mi 4B, Đắk Mi 2, Đắk Mi 3, tỉnh Quảng Nam; Vĩnh Sơn 3, đập dâng Văn Phong, Bình Định (2010) - tràn piano lớn nhất trên thế giới cho đến thời điểm hiện nay; tràn xả lũ Xuân Minh, tỉnh Thanh Hóa (2015). Từ 2018 đến nay, một số công trình hồ chứa lựa chọn tràn xả lũ dạng PKW như: Tràn xả lũ Đa Sĩ, tỉnh Lâm Đồng (2018), Tràn xả lũ Kazam, tỉnh Lâm Đồng (2021), Tràn xả lũ Cao Ngỗi, tỉnh Tuyên Quang (2023), ...



Hình 1: Các dạng tràn tuyến cong – tiền thân tràn Piano



Hình 2: Cấu tạo tràn piano [5]

Hiện nay, tình hình biến đổi khí hậu, mưa lũ cực đoan ngày càng khó lường, nhiệm vụ đảm bảo an toàn, hiệu quả cho các công trình tháo lũ ngày càng được quan tâm sát sao. Quy chuẩn kỹ thuật Quốc gia QCVN 04-05: 2022/BNNPTNT quy định những công trình từ

cấp I trở lên hoặc công trình cấp thấp hơn khi trong thực tế chưa có hình mẫu xây dựng tương tự cần nghiên cứu thực nghiệm để đối chứng, hiệu chỉnh, chính xác hóa các thông số kỹ thuật, tăng thêm độ tin cậy cho tính toán thiết kế công trình. Tiêu chuẩn Quốc gia

TCVN 8214-2009 cũng quy định các công trình Thủy lợi - Thủy điện từ cấp I, II hoặc từ cấp III trở xuống mà chưa có luận cứ xác đáng hoặc số liệu thí nghiệm của công trình tương tự thì cũng khuyến nghị cần thiết phải tiến hành thí nghiệm mô hình thủy lực.

Với dạng công trình đặc thù như tràn có cửa dạng truyền thống kết hợp với tràn tự do dạng piano, tràn tự do kiểu phím piano đặt trên đỉnh tràn thực dụng,... các tính toán lý thuyết hiện nay còn hạn chế, chưa có công trình tương tự. Do vậy, việc kiểm chứng trên mô hình vật lý đã đem lại hiệu quả to lớn, không chỉ giúp các nhà nghiên cứu, nhà thiết kế phát hiện, đề ra giải pháp hiệu quả, khắc phục các hiện tượng thủy lực bất lợi mà thậm chí các phát hiện kịp thời trên mô hình mô phỏng còn liên quan tới các an toàn của công trình hồ chứa, đập dâng trong thực tế như: tràn chỉ tháo được 50% lưu lượng thiết kế, mực nước hồ chứa vượt đỉnh đập, mực nước vượt tường bên dốc nước, dòng chảy phóng xa trong bể tiêu năng, dòng chảy xiết trên kênh hạ lưu... Những sự sai khác lớn theo hướng rất bất lợi so với tính toán thiết kế dẫn tới thực tế lũ về sẽ gây tràn đỉnh đập, mất an toàn cho đập, tràn xả lũ, gây nguy hiểm tới hạ du.

Do đó, Phòng thí nghiệm trọng điểm không ngừng chủ động đi sâu nghiên cứu về học thuật cũng như nghiên cứu trên mô hình thực nghiệm ứng dụng cho các công trình thực tế nhất là với các công nghệ, giải pháp công trình mới như tràn xả lũ kiểu phím piano. Trong nhiều năm qua, công tác nghiên cứu mô hình vật lý trong xác định giải pháp tăng khả năng tháo bằng tràn piano đã đạt nhiều kết quả nổi bật, nhiều công trình đã ứng dụng kết quả nghiên cứu này triển khai trong thiết kế, xây dựng và đã vận hành, đem lại hiệu quả to lớn, góp phần đảm bảo công trình làm việc an toàn, hiệu quả, tiết kiệm kinh phí đầu tư xây dựng, như:

+ Nghiên cứu học thuật về tràn piano.

+ Nghiên cứu mô hình vật lý công trình ứng dụng tràn PKW điển hình từ 2018 - nay:

- Tràn xả lũ hồ chứa nước Đạ Sị tỉnh Lâm Đồng (2018), công trình đã vận hành;

- Tràn xả lũ hồ Kazam, tỉnh Lâm Đồng (2021)
- giai đoạn bản vẽ thi công;

- Tràn xả lũ thủy điện Nậm Mô 2, CHDCND Lào – giai đoạn thiết kế cơ sở (2021);

- Tràn xả lũ Cao Ngõi, tỉnh Tuyên Quang (2023) – giai đoạn bản vẽ thi công;

- Tràn PKW thủy điện Xuân Minh, tỉnh Thanh Hóa (2015) - công trình đã vận hành.

Hiệu quả từ nghiên cứu mô hình vật lý giúp xác định được thông số cấu tạo tràn piano hợp lý, không chỉ đảm bảo khả năng tháo lũ ứng với các tần suất của công trình mà còn giúp giảm thiểu các hiện tượng bất lợi về dòng xiên, giao thoa, dòng tập trung trên dốc nước, giúp đưa ra giải pháp tiêu năng hợp lý, giảm chi phí xây dựng, đem lại hiệu quả to lớn về kỹ thuật, kinh tế cho công trình.

2. MÔ HÌNH NGHIÊN CỨU THÍ NGHIỆM

2.1. Giới thiệu về công trình

a. Tràn xả lũ Đạ Sị

Hồ chứa nước Đạ Sị được xây dựng tại huyện Cát Tiên, tỉnh Lâm Đồng là công trình cấp 2 theo quy chuẩn Việt Nam QCVN 04-05:2012, được phê duyệt dự án đầu tư theo Quyết định số 4431/QĐ-BNN-XD ngày 30/10/2017 của Bộ Nông nghiệp và PTNT [8], các thông số chính như sau (Hình 3):

+ Hồ chứa:

- Dung tích toàn bộ $W_{tb} = 21,77.10^6 m^3$

- Dung tích $W_{hi} = 20,50.10^6 m^3$

+ Đập dâng: Hình thức Đập đất;

- Cao trình đỉnh đập +164,55m.

+ Các mực nước thiết kế:

- Lũ thiết kế $Z_{TK1\%} = +163,67m$

- Lũ kiểm tra $Z_{KT0,2\%} = +164,06m$

- MNDBT: $Z_{MNDBT} = +162,50m$.

+ Lưu lượng xả:

- Lũ thiết kế $Q_{TK1\%} = 96,8 m^3/s$;

Lũ kiểm tra $Q_{KT0,2\%} = 126,8 m^3/s$

+ Tràn xả lũ

- **Hình thức:** Trần có cửa kết hợp trần tự do.

- Trần có cửa van: $Z_{ng} = +159,5m$, $B = 5m$.

- Trần tự do PATK:

Ngưỡng thực dụng kiểu Ofixerop;

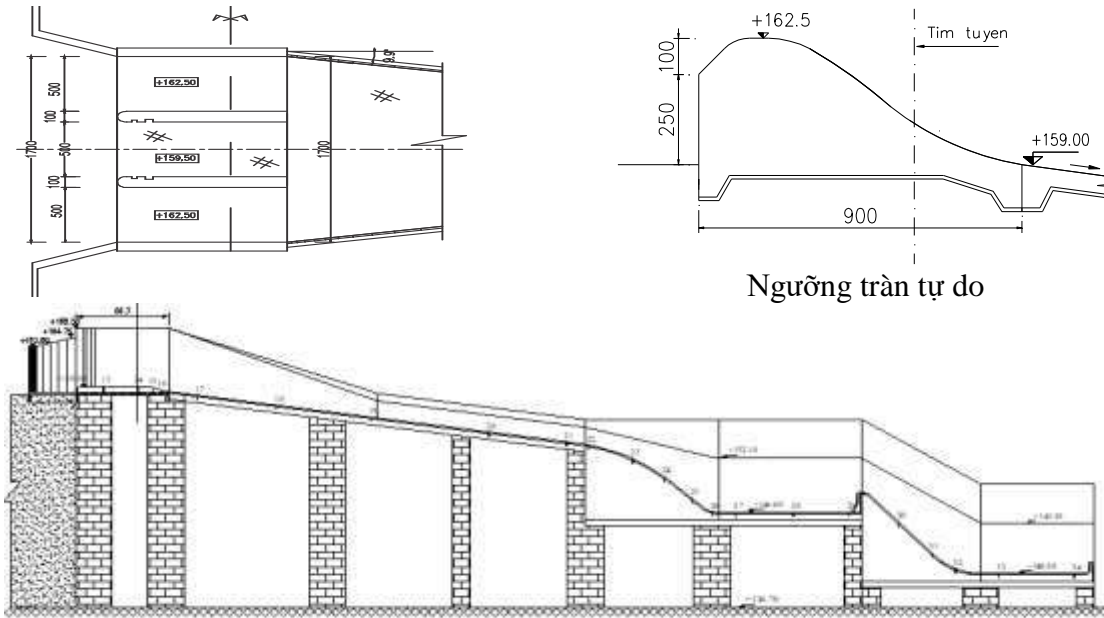
Cao trình ngưỡng $Z_{ng} = 162,5m$;

Chiều cao ngưỡng $P = 3,5m$.

02 khoang, kích thước: $n \cdot B = 2 \cdot 5m$.

- Nối tiếp dốc nước (dài $L = 40m$, độ dốc $i = 13,5\%$);

Tiêu năng: Bề tiêu năng: 2 cấp.



Hình 3: Mặt bằng, cắt dọc tràn xả lũ Đa Sĩ [2]

b. Tràn xả lũ Cao Ngõi

Công trình đầu mối hồ chứa nước Cao Ngõi nằm trên trên suối Cao Ngõi, xã Đông Lợi, huyện Sơn Dương, tỉnh Tuyên Quang, là công trình cấp II theo quy chuẩn Việt Nam QCVN 04-05:2022, theo quyết định số 4989/QĐ-BNN-XD ngày 22/12/2022 về việc phê duyệt dự án đầu tư xây dựng Dự án Hồ Cao Ngõi tỉnh Tuyên Quang [9]. Các thông số cơ bản của dự án như sau (Hình 4):

+ Hồ chứa:

- Dung tích toàn bộ $W_{tb} = 2,18.10^6 m^3$,
- Dung tích $W_{hi} = 2,05.10^6 m^3$.

+ Các mực nước thiết kế:

- Lũ thiết kế $Z_{TK1\%} = +131,83m$;
- Lũ kiểm tra $Z_{KT0,2\%} = +132,25m$;
- Lũ vượt kiểm tra $Z_{VKT0,1\%} = 132,43m$;
- MNDBT: $Z_{MNDBT} = +130,5m$.

+ Đập dâng:

- Hình thức: Đập bê tông trọng lực;
- Cao trình đỉnh: $+133,10m$;
- Chiều cao đập lớn nhất: $30,1m$;
- Chiều dài đập: $128,0m$.

+ Lưu lượng xả:

- Lũ thiết kế $Q_{TK1\%} = 229,0m^3/s$;
- Lũ kiểm tra $Q_{KT0,2\%} = 307,0m^3/s$;
- Lũ vượt kiểm tra $Q_{VKT0,1\%} = 341,0m^3/s$.

+ Đập Tràn - Tràn xả lũ:

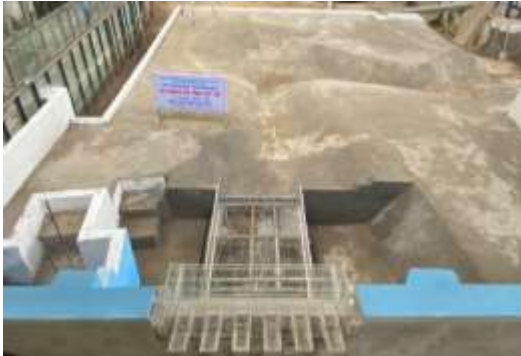
- **Hình thức:** tràn giữa lòng sông, trần tự do, kiểu PKW đặt trên đỉnh tràn thực dụng;

- Trần thực dụng cao $P = 24m$;
- Ngưỡng PKW cao $1,93m$;
- Cao trình ngưỡng: $Z_{ng} = +1305,0m$,
- Chiều rộng tràn- PATK: $B = 20m$;
- Chiều rộng tràn – PAHT: $B = 24m$

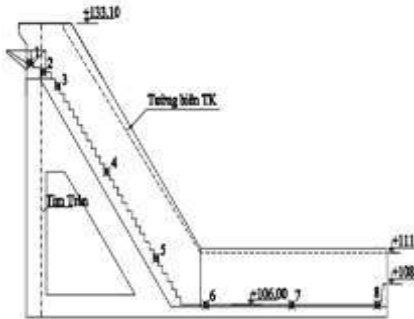
+ Hình thức tiêu năng

- PATK: Tiêu năng bằng bề tiêu năng;
- Chiều dài bể: $L=20m$;

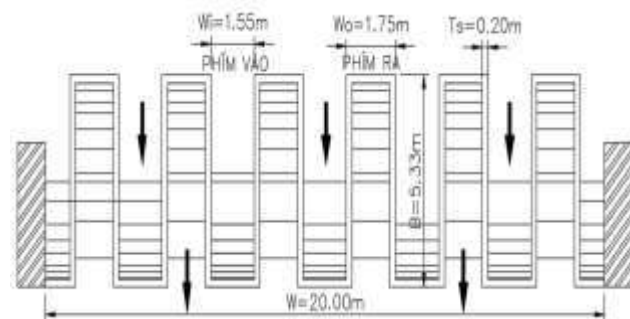
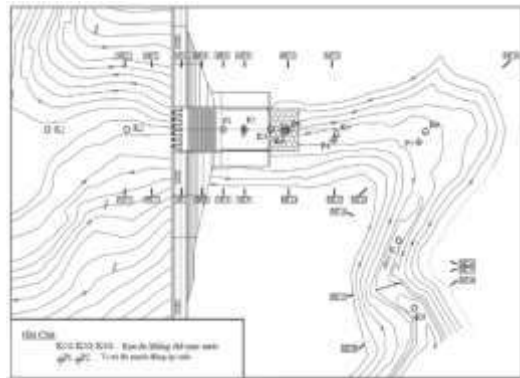
- Chiều sâu bể: $d=2,0m$.
- PAHT: Tiêu năng mũi phun.



Mô hình tràn xả lũ Cao Ngõi



Cắt dọc tràn xả lũ Cao Ngõi



Mặt bằng tràn PKW Cao Ngõi

Hình 4: Mặt bằng, cắt dọc, chi tiết tràn xả lũ Cao Ngõi [3]

2.2. Phương pháp nghiên cứu

Các công trình này được thực hiện nghiên cứu trên mô hình vật lý. Các sai số, mô phỏng tương tự nhám trong quá trình xây dựng, chế tạo mô hình, đo đạc thông số thí nghiệm nằm trong các giá trị cho phép, tuân thủ Tiêu chuẩn Việt Nam TCVN 8214 (2009) thí nghiệm mô hình thủy lực công trình thủy lợi, thủy điện [2], [3].

Mô hình thiết kế theo tiêu chuẩn Froude. Dòng chảy trong mô hình là dòng chảy rối ở khu bình phương sức cản, tương tự chế độ chảy ở ngoài thực tế trên các công trình tràn xả lũ. Số Reynold trong mô hình Re đảm bảo lớn hơn số Reynold giới hạn Re_{gh} .

Nghiên cứu tràn xả lũ Đạ Sị trên mô hình tổng thể, chính thái, lòng cứng; tỉ lệ mô hình 1/16;

Mô hình tràn xả lũ Cao Ngõi trên mô hình tổng thể, chính thái, lòng cứng; tỉ lệ mô hình 1/20;

Trước khi tiến hành thí nghiệm, các mô hình đã được kiểm định, đánh giá sai số đảm bảo các tiêu chuẩn, quy chuẩn quy định hiện hành, đủ điều kiện tin cậy trong học thuật cũng như đối chứng, hiệu chỉnh, chính xác hóa các thông số kỹ thuật cho đồ án thiết kế, đưa vào triển khai thi công thực tế.

3. KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU VÀ THẢO LUẬN

3.1. Giải pháp PKW cho tràn xả lũ Đạ Sị

Tràn xả lũ Đạ Sị là dạng tràn kết hợp, gồm 01 khoang tràn có cửa bố trí ở giữa, rộng 5,0m và 2 khoang tràn tự do bố trí hai bên, tổng chiều rộng tràn tự do $B=10m$. Nối tiếp sau tràn là dốc nước có chiều rộng B thu hẹp dần từ $B=17,0m$ về $B=10,0m$. Chiều dài đoạn thu hẹp là $L=20m$, chiều dài đoạn dốc có B không đổi là $L=20m$.

Thí nghiệm trên mô hình vật lý phương án thiết kế (theo đồ án thiết kế) cho thấy dòng chảy qua tràn tồn tại rất nhiều đặc trưng thủy lực bất lợi (Hình 5) [2]:

+ Ngưỡng tràn không đảm bảo khả năng thoát lũ kiểm tra. Mực nước hồ thực tế cao hơn mực nước tính toán 0,1m.

+ Tình hình thủy lực dòng chảy dọc theo công trình:

- Tồn tại hiện tượng dòng xiên, giao thoa chuyển tiếp liên tục trên suốt chiều dài dốc nước ($L=40\text{m}$). Dòng tập trung cục bộ, chênh lệch tỉ lưu rất lớn giữa các bó dòng trên cùng mặt cắt ngang;

- Mực nước lớn nhất vượt chiều cao tường bên dốc nước từ $2,9 \div 4,5\text{m}$ ở khu vực cuối bể tiêu năng thứ 1 và đoạn chuyển tiếp thứ 2;

- Dòng chảy tách hoàn toàn khỏi đoạn chuyển tiếp thứ 2, áp suất trung bình đạt giá trị âm ($-3,1\text{mH}_2\text{O}$) vượt mức giá trị cho phép, gây xâm thực bề mặt công trình.

- Nổi tiếp cuối dốc nước xuống hạ lưu là nước nhảy phóng xạ trong cả 2 bể tiêu năng;

- Dòng chảy trên kênh hạ lưu xiết, lưu tốc lớn $v_{\max}=3,7 \div 7,36\text{m/s}$.

Từ kết quả thí nghiệm cho thấy, công trình tràn xả lũ Đa Sĩ còn tồn tại các vấn đề trọng yếu:

1. Khả năng tháo chưa đảm bảo theo nhiệm vụ thiết kế của công trình;

2. Hiện tượng dòng xiên, dòng giao thoa dọc dốc nước xảy ra rất mạnh nếu không xử lý được thì dẫn đến phải nâng cao tường bên, tăng khối lượng xây dựng công trình;

3. Dòng chuyển tiếp xuống bể tiêu năng không bám sát thành;

4. Công trình chưa đảm bảo nước nhảy ngập ổn định trong bể tiêu năng;

5. Trên kênh hạ lưu còn dòng xiết, sóng lớn sẽ ảnh hưởng xói lở bờ, mất an toàn công trình.

Để giải quyết những vấn đề trên, giải pháp công trình mới được lựa chọn nghiên cứu áp dụng thay cho phương án ngưỡng tràn thực dụng truyền thống của đồ án thiết kế là giải

pháp tràn kiểu phím piano (PKW).

Nhóm nghiên cứu tiến hành tính toán, thí nghiệm dò tìm xác định kích thước cấu tạo ngưỡng tràn phù hợp, là tràn loại B, côn-xôn thượng lưu. Chiều cao tràn $P=3,5\text{m}$. Chiều rộng thông thủy 1 khoang $W=3\text{m}$ (giảm 2m so với hình thức tràn thực dụng trong PATK). Mỗi khoang bố trí một đơn phím, gồm 1 phím nước vào, chiều rộng $W_i=1,6\text{m}$; 01 phím nước ra, chiều rộng $W_o=1,4\text{m}$; chiều dài phím $a=11,0\text{m}$; chiều dài ngưỡng theo đường zic zắc $L=14\text{m}$; tỷ lệ giữa chiều dài zic zắc và chiều rộng tràn, $N=L/W=4,6$.

Với giải pháp sử dụng ngưỡng tràn tự do kiểu phím piano - PKW thay cho kiểu ngưỡng thực dụng truyền thống (PATK), đã đem lại hiệu quả lớn về kỹ thuật và kinh tế cho tràn Đa Sĩ, cụ thể:

+ **Đảm bảo khả năng tháo qua tràn** ứng với các tần suất lũ;

+ Tăng khả năng tháo qua 02 khoang tràn tự do. Giúp phân bố lại tỉ lưu dòng chảy qua tràn tự do và tràn có cửa, **giảm chênh lệch lưu lượng đơn vị** qua 02 ngưỡng tràn từ lớn nhất $n=17,6$ lần xuống còn $n=5,9$ lần (Hình 6.a); giảm chênh lệch lưu lượng đơn vị giữa các bó dòng trên dốc nước từ chênh lệch lớn nhất $n_d=5,9$ lần xuống còn $n_d=3,5$ lần (Hình 6.b), phân bố lại dòng chảy đều hơn trên mặt cắt ngang dọc theo công trình so với phương án thiết kế (PA1).

+ Giảm chiều rộng ngưỡng tràn tự do tới 40%, từ $B=10\text{m}$ xuống còn $B=6\text{m}$;

+ Giúp giảm góc thu hẹp của đoạn đầu dốc nước, từ góc thu 10^0 xuống góc thu $4,3^0$, giúp giảm góc xiên của dòng chảy qua ngưỡng tràn tự do, giảm mức độ dòng xiên, dòng giao thoa, tập trung cục bộ trên dốc nước, giảm chiều cao tường bên dốc nước, (Hình 5);

+ Giảm khối lượng xây dựng ngưỡng tràn, khối lượng xây dựng bản đáy đoạn dốc nước thu hẹp, khối lượng tường bên dốc nước.



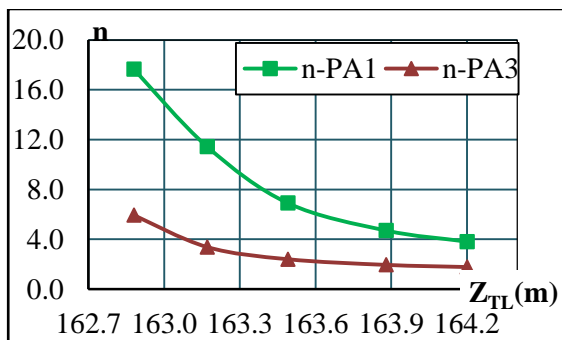
Hình 5: Các hiện tượng thủy lực bất lợi dọc công trình tràn Đạ Sĩ

Sau khi công trình đảm bảo lưu lượng tháo qua tràn như nhiệm vụ đề ra, và dòng chảy trên dốc phân bố đều hơn trên mặt cắt ngang, mô hình thí nghiệm tiến hành nghiên cứu, đề xuất các giải pháp thay đổi về công trình nối tiếp, tiêu năng so với đồ án thiết kế, gồm:

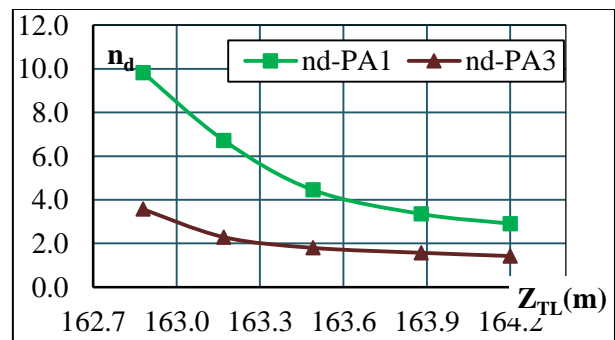
+ Thay đổi độ dốc của dốc nước từ 13,5% lên

15%, tổng chiều dài toàn bộ dốc nước là 65m. Bố trí nhám gia cường trên dốc nước.

+ Bố trí 01 đoạn chuyển tiếp và 01 bể tiêu năng thay cho đồ án thiết kế là 02 đoạn chuyển tiếp, 02 bể tiêu năng. Bố trí giải pháp tiêu năng phụ - mô tiêu năng trong bể.



a) So sánh chênh lệch tỉ lưu qua 02 tràn



b) So sánh chênh lệch tỉ lưu trên dốc nước

Hình 6: Chênh lệch đơn vị lưu lượng dọc theo khoang tràn có cửa và tràn tự do của PATK (PA1) và PA áp dụng tràn piano (PA3)

Hiệu quả các kiến nghị, áp dụng từ nghiên cứu thí nghiệm mô hình đem lại: Khả năng tháo qua tràn là đảm bảo. Dòng chảy qua tràn phân bố đều trên mặt cắt ngang dọc dốc nước, đoạn chuyển tiếp, và bề tiêu năng. Đường mực nước lớn nhất trên dốc nước, trên đoạn chuyển tiếp và tại bề tiêu năng không vượt đỉnh tường bên. Dòng chảy bám mặt của đoạn chuyển tiếp với giá trị áp suất chân không trung bình ($-0,88\text{mH}_2\text{O}$, PATK là $-3,1\text{mH}_2\text{O}$) đảm bảo dưới ngưỡng cho phép, không gây nguy cơ xâm

thực bề mặt công trình do áp chân không (áp suất âm). Trong bề tiêu năng, dòng nổi tiếp bằng nước nhảy ngập hoàn chỉnh, ổn định trong phạm vi bề. Trên hạ lưu dòng êm hơn.

Như vậy, 5 vấn đề tồn tại của đồ án thiết kế ban đầu đã được giải quyết. Các đóng góp này được Chủ đầu tư, cơ quan quản lý và các bên liên quan đánh giá cao, đồng thuận, áp dụng trong thiết kế chi tiết giai đoạn BVTC của công trình.



Lưu lượng qua ngưỡng tràn piano tăng nhiều so với dạng ngưỡng thực dụng



Dòng chảy phân bố đều trên mặt cắt ngang – PA kiến nghị áp dụng tràn piano



Hình 7: So sánh, kiến nghị giải pháp hợp lý trên mô hình vật lý cho tràn Đạ Sĩ

3.2. Giải pháp PKW cho tràn xả lũ Cao Ngõi

Tràn xả lũ Cao Ngõi là dạng đập tràn đặt giữa lòng sông, gồm tràn thực dụng cao 24,0m, ngưỡng piano (PKW) cao 1,93m đặt trên đỉnh tràn thực dụng.

Ngưỡng PKW được thiết kế có cấu tạo hình học: Dạng tràn PK1 – kết cấu lệch về thượng lưu [7]; Tổng chiều rộng tràn $B=20,0\text{m}$; Chiều rộng ô đón nước $W_i=1,55\text{m}$; Chiều rộng ô thoát nước $W_o=1,35\text{m}$; Chiều dài phím tràn $a=5,33\text{m}$; Chiều cao tràn PKW tính từ đỉnh tràn tới chân phím nước vào $P=1,93\text{m}$. Cột

nước tràn với lũ thiết kế $H_{TK}=1,33\text{m}$; với lũ kiểm tra $H_{KT}=1,75\text{m}$; với lũ vượt kiểm tra $H_{VKT}=1,93\text{m}$.

Thí nghiệm trên mô hình vật lý cho thấy công trình có vấn đề tồn tại lớn đó là: tràn PKW theo phương án thiết kế (PATK) **không đảm bảo khả năng thoát lũ**. Với lũ về hồ theo tần suất thiết kế, tần suất kiểm tra và tần suất vượt kiểm tra, mực nước hồ dâng cao, vượt cao trình đỉnh đập tới 1,0m [3].

Để đảm bảo tiêu chuẩn thiết kế an toàn cho công trình, cần nâng cao trình đỉnh đập hoặc

mở rộng tràn để tăng khả năng tháo. Tuy nhiên, do đặc thù khu vực hồ chứa có diện tích rừng phòng hộ, không cho phép tăng mực nước hồ, không thể tăng cao trình đỉnh đập nên chủ đầu tư và các bên liên quan lựa chọn hướng giải pháp tăng chiều rộng tràn nhằm tăng khả năng tháo.

Để xác định chiều rộng tràn PKW hợp lý, nhóm nghiên cứu tiến hành tổng hợp, phân tích kết quả thí nghiệm phương án thiết kế tràn Cao Ngõi [3] theo đại lượng hệ số tháo qua tràn C_d và tỉ lệ cột nước với chiều cao ngưỡng piano H/P, cho thấy:

- Đường quan hệ thực nghiệm C_d - H/P của tràn Cao Ngõi có phân bố, hình dạng phù hợp với các kết quả nghiên cứu đã có về tràn piano của các tác giả khác (Hình 8).

- Hệ số tháo C_d phân bố thành 2 khu vực rõ rệt theo tỉ lệ cột nước và chiều cao tràn piano H/P. Với $H/P < 1,0$, C_d đạt từ $0,66 \div 1,3$; cột nước tràn càng nhỏ, H/P càng nhỏ thì hệ số tháo qua tràn càng lớn, tràn piano làm việc càng hiệu quả. Với $H/P > 1,0$, hệ số tháo giảm nhanh, đạt $C_d = 0,55 \div 0,59$ và đây là vùng tràn làm việc kém hiệu quả (Hình 9). Điều này tương đồng với các nghiên cứu đã có về tràn piano, tràn PKW làm việc hiệu quả khi $H/P < (0,8 \div 1,0)$ và hiệu quả nhất về khả năng tháo khi có $H/P = 0,2 \div 0,4$ [5].

Như vậy, với cấu tạo hình học của PKW trong phương án thiết kế của tràn Cao Ngõi, khi có lũ thiết kế cho đến lũ vượt kiểm tra, lưu lượng cần tháo qua tràn $Q=229,0 \div 341,0 \text{ m}^3/\text{s}$, cột nước qua tràn lớn $H=2,6 \div 3,6\text{m}$, tỉ lệ H/P là rất lớn, đạt $H/P = 1,35 \div 1,86$ (PATK: vùng $H_{ik} \div H_{kt}$), tràn làm việc thuộc vùng hệ số tháo nhỏ - vùng (1). Ngoài ra tỉ lệ cột nước và chiều rộng phím nước ra H/W_o cũng rất lớn, đạt $H/W_o = 1,7 \div 2,3$ là trạng thái dòng chảy qua tràn phủ trùm lên các phím, tràn piano làm việc như tràn đỉnh rộng nên hiệu quả thoát qua các phím giảm rõ rệt, khả năng tháo qua tràn giảm nhỏ (Hình 9).

Do đó, để tăng hiệu quả tháo của tràn Cao Ngõi, cần tăng chiều cao ngưỡng tràn piano P, tăng kích thước chiều rộng phím thoát nước

W_o , sao cho tỉ lệ $H/P \leq 0,4$ và $H/W_o \leq 0,5 \div 0,6$ (theo tỉ lệ kích thước hình học của mặt cắt tràn PKW tiêu chuẩn) [5], [4], **đảm bảo tràn làm việc trong vùng có C_d hiệu quả - vùng (2)**. Nhóm nghiên cứu tính toán, lựa chọn được kích thước tràn PKW Cao Ngõi: $P=5,86\text{m}$; $W_o = 3,5\text{m}$; $W_i = 4,25\text{m}$; chiều dài phím $a = 10,5\text{m}$ [3].

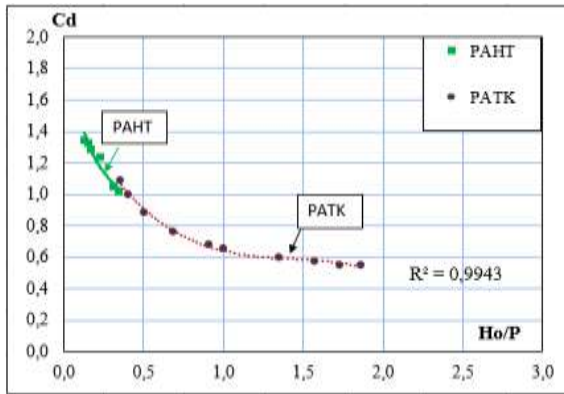
Ngoài ra, trên cơ sở mặt cắt tràn piano tiêu chuẩn, nhóm nghiên cứu đứng đầu là GS.TS Lê Văn Nghị, cải tiến PKW sang **hình thức mặt cắt piano hướng tâm** – đây là sáng kiến, cải tiến so với tràn PKW tuyến thẳng; bố trí phím biên là phím nước ra giúp giảm co hẹp bên so với bố trí trong PATK (phím biên là phím nước vào) và tiến hành thí nghiệm thử dần nhằm xác định hệ số tháo qua tràn PKW hướng tâm, tối ưu kích thước cho tràn. Cấu tạo các phím tràn piano hướng tâm gồm phía thượng lưu mở rộng, phía hạ lưu thu hẹp dần, giúp tăng phạm vi đón nước, tăng khả năng tháo so với kiểu tràn PKW có mặt cắt ngang không đổi.

Chiều rộng B của tràn PKW cải tiến được xác định từ công thức:

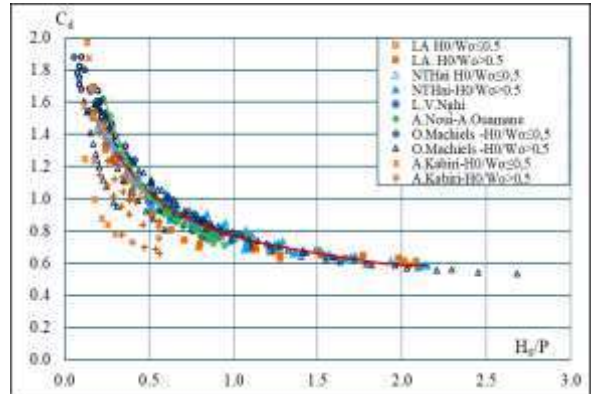
$$Q = C_d B \sqrt{2g} H^{3/2} \quad (1)$$

Trong đó: Q (m^3/s) là lưu lượng cần tháo qua tràn, H (m) là cột nước trên tràn ứng với các tần suất lũ. C_d là hệ số tháo qua tràn lấy theo kết quả thí nghiệm mô hình vật lý các phương án dò tìm.

Từ các kết quả tính toán, thí nghiệm dò tìm, thí nghiệm phương án hoàn thiện trên mô hình, đã xác định được chiều rộng hợp lý của tràn là $B=24\text{m}$ (Hình 10) đảm bảo lưu lượng tháo qua tràn ứng với các tần suất lũ, $Q = 229 \div 341\text{m}^3/\text{s}$. Lưu lượng tháo qua tràn tăng đến 100% so với thiết kế ban đầu với chiều rộng tràn chỉ tăng 20% và chiều dài đường tràn zic zắc L chỉ tăng 11% (với tràn ngưỡng thực dụng truyền thống, khi giữ nguyên cao trình ngưỡng và cao trình mực nước thượng lưu, để Q tăng 100% thì cần B tăng 100%), cho thấy giải pháp tràn PKW cải tiến không chỉ đảm bảo hiệu quả thủy lực mà còn đem lại hiệu quả kinh tế cho công trình.

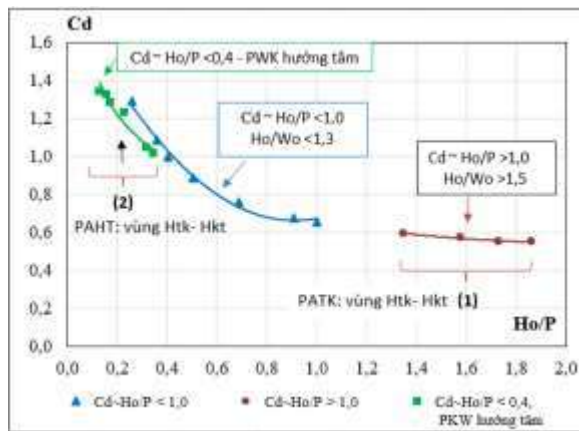


Kết quả thí nghiệm mô hình Trần Cao Ngõi

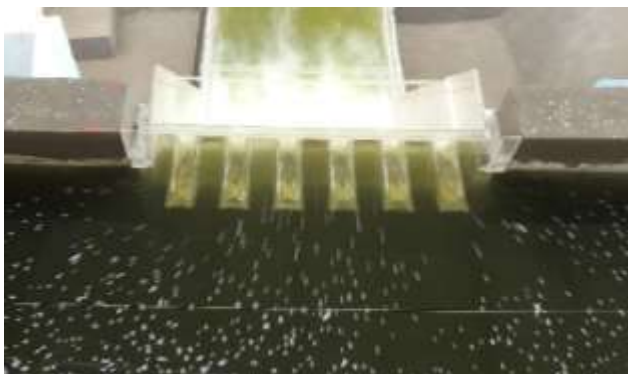
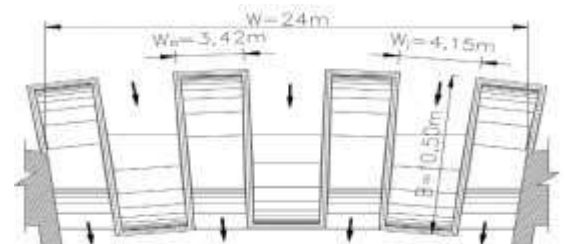
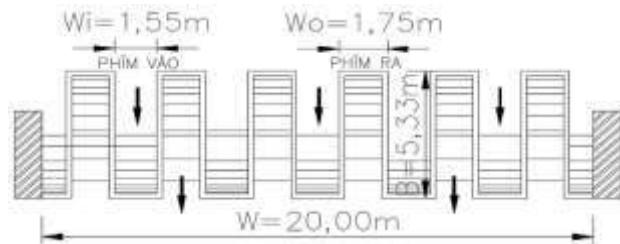


Kết quả nghiên cứu về PKW của các tác giả khác

Hình 8: Quan hệ $C_d - H_o/P$ của tràn PKW



Hình 9: Phân vùng C_d theo H_o/P – tràn Cao Ngõi



PKW – phương án thiết kế



PKW – phương án cải tiến

Hình 10: Cải tiến tràn piano Cao Ngõi từ nghiên cứu mô hình vật lý

Các kết quả nghiên cứu trên mô hình vật lý, đề xuất, kiến nghị áp dụng cho tràn Cao Ngõi không chỉ giúp công trình đảm bảo nhiệm vụ thoát lũ, khắc phục các hiện tượng thủy lực bất lợi qua tràn mà còn giúp tối ưu chiều rộng tràn, giảm phạm vi mở rộng mặt bằng đầu mối công trình, giảm chi phí xây dựng cho dự án. Ngoài ra bố trí tổng thể công trình phù hợp, cùng với thay đổi giải pháp tiêu năng mũi phun, hố xói hợp lý, tận dụng địa chất nền đá gốc tốt ở hạ lưu đã giúp giảm khối lượng xây dựng bê tiêu năng, tiết kiệm hơn 800m³ bê tông, BTCT tương đương hơn 3,0 tỷ đồng cho công trình.

Các kiến nghị, thay đổi lớn từ bề rộng thông thủy tràn, kích thước chi tiết các phím PKW, hình thức nối tiếp, tiêu năng của tràn Cao Ngõi được Chủ đầu tư, cơ quan quản lý và các bên liên quan đánh giá cao, đồng thuận, áp dụng trong thiết kế chi tiết giai đoạn BVTC của công trình.

4. LỜI KẾT

Nghiên cứu trên tràn PKW trên mô hình vật lý cho các công trình trên không chỉ đưa ra được giải pháp tăng khả năng tháo cho tràn, đáp ứng yêu cầu tháo lũ của công trình mà còn làm giảm/ tối ưu chiều rộng công trình, hiệu quả trong phân bố lại tỷ lưu, giúp dòng chảy phân bố đều hơn trên mặt cắt ngang, hỗ trợ giảm khối lượng tường bên, khối lượng xây dựng công trình nối tiếp và tiêu năng, giảm chi phí xây dựng cũng như góp phần đảm bảo an toàn về kỹ thuật, hiệu quả về kinh tế khi công trình đi vào hoạt động. Giải pháp tràn PKW đặc biệt hiệu quả cao đối với công trình tràn xả lũ kết hợp tràn có cửa và tràn tự do.

Nghiên cứu từ mô hình vật lý giúp giải quyết một cách tổng thể các bài toán kỹ thuật phức tạp như giải pháp bố trí tổng thể công trình, giải pháp ngưỡng tràn, công trình nối tiếp, công trình tiêu năng phù hợp cho từng điều kiện đặc thù, góp phần nâng cao kiến thức lý luận, thực tiễn trong nghiên cứu thủy lực cho công trình thủy. Các công trình quan trọng,

đặc thù được mô phỏng, nghiên cứu trên mô hình thực nghiệm không chỉ giúp phát hiện kịp thời các đặc trưng thủy lực bất lợi, nhất là vấn đề không đảm bảo khả năng tháo qua tràn, mà còn là cơ sở khoa học tin cậy, trực quan, giúp Chủ đầu tư, các cấp quản lý, tư vấn thiết kế khi áp dụng các giải pháp công trình mới.

Là một trong các đơn vị hàng đầu trong nghiên cứu thủy lực trên mô hình vật lý, các kết quả nghiên cứu (trong đó có nghiên cứu thí nghiệm mô hình tràn PKW) tại Trung tâm nghiên cứu Thủy lực – Phòng Thí nghiệm trọng điểm Quốc gia về động lực học sông biển - Viện khoa học Thủy lợi Việt Nam đã đem lại nhiều kiến thức quý báu trong nghiên cứu học thuật cũng như đem lại hiệu quả to lớn về kỹ thuật, kinh tế cho nhiều công trình thực tế, góp phần đảm bảo các công trình làm việc an toàn, hiệu quả. Các kết quả nghiên cứu của đơn vị được các Bộ, Ngành, chủ đầu tư và các bên liên quan đánh giá cao, được công nhận và cho triển khai áp dụng trong thực tiễn, đóng góp vào thành tựu khoa học, phát triển công nghệ trong lĩnh vực Thủy lợi, phòng chống thiên tai.

Các ký hiệu, từ viết tắt

B: đại lượng đo chiều rộng, theo phương ngang vuông góc với chiều dòng chảy (m);

C_a: hệ số tháo qua tràn PKW, tính theo chiều rộng tràn B.

H: đại lượng đo chiều cao/ độ sâu/ cột nước tràn, theo phương đứng (m);

L: đại lượng đo chiều dài, theo phương dọc theo chiều dòng chảy (m);

PA: Phương án;

PATK: Phương án thiết kế; PAHT: Phương án hoàn thiện.

Q: Lưu lượng tháo qua tràn (m³/s);

W_i, W_o: Chiều rộng phím nước vào, phím nước ra (m);

Z_{TK, KT, VKT}: Cao trình mực nước ứng với các tần suất lũ thiết kế, kiểm tra, vượt kiểm tra (m);

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Nguyễn Cảnh Cầm và nnk (2006). Thủy lực tập 2. NXB Nông nghiệp, Hà Nội.
- [2] Lê Văn Nghi, Đoàn Thị Minh Yến, Nguyễn Tiến Hải (2018). Báo cáo kết quả thí nghiệm mô hình thủy lực tràn xả lũ Đạ Sị, tỉnh Lâm Đồng. Phòng Thí nghiệm trọng điểm QG về ĐLH sông biển, Hà Nội.
- [3] Lê Văn Nghi, Nguyễn Tiến Hải, Đặng Thị Hồng Huệ và nnk (2023). Báo cáo tổng hợp kết quả thí nghiệm mô hình thủy lực dự án Hồ Cao Ngỗi, tỉnh Tuyên Quang. Phòng Thí nghiệm trọng điểm QG về ĐLH sông biển, Hà Nội.
- [4] Lê Văn Nghi, Đoàn Thị Minh Yến, Hoàng Nam Bình (2018). “Thủy lực tràn Piano”. Nhà xuất bản khoa học kỹ thuật, Hà Nội 2018, mã số ISBN 978-604-67-1190-2.
- [5] Đoàn Thị Minh Yến (2018). Nghiên cứu khả năng tháo qua tràn piano khi kể đến ảnh hưởng của mực nước hạ lưu. Luận án tiến sĩ kỹ thuật, Hà Nội.
- [6] Tiêu chuẩn Quốc gia TCVN 8214:2009. Thí nghiệm mô hình thủy lực công trình thủy lợi, thủy điện.
- [7] Tiêu chuẩn Quốc gia “TCVN 12262:2018. Công trình thủy lợi – Tràn xả lũ – Tính toán thủy lực tràn dạng phím piano”.
- [8] Bộ Nông nghiệp và PTNT (2017). Quyết định số 4431/QĐ-BNN-XD ngày 30/10/2017: Phê duyệt dự án đầu tư xây dựng công trình hồ chứa nước Đạ Sị, tỉnh Lâm Đồng.
- [9] Bộ Nông nghiệp và PTNT (2022). Quyết định số 4989/QĐ-BNN-XD ngày 22/12/2022 về việc phê duyệt dự án đầu tư xây dựng Dự án Hồ Cao Ngỗi tỉnh Tuyên Quang.
- [10] F.Lempérière, J.P.Vigny & A.Ouamane (2011), “General comments on Labyrinths and Piano Key Weirs: The past and present”, Labyrinth and Piano Key Weirs – PKW 2011, Published by CRC Press, London, ISBN 978-0-415-68282-4 , pp.17-24;