

**BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO**

**BỘ NÔNG NGHIỆP VÀ PTNT**

**VIỆN KHOA HỌC THỦY LỢI VIỆT NAM**

**ĐOÀN THỊ MINH YẾN**

**NGHIÊN CỨU KHẢ NĂNG THÁO QUA TRÀN PIANO  
KHI KẾ ĐẾN ẢNH HƯỞNG CỦA MỨC NƯỚC HẠ LƯU**

Chuyên ngành: **Kỹ thuật xây dựng công trình thủy**

Mã số : **62-58-02-02**

**TÓM TẮT LUẬN ÁN TIẾN SĨ KỸ THUẬT**

**HÀ NỘI - 2018**

Công trình được hoàn thành tại: Viện Khoa học Thủy lợi Việt Nam

Người hướng dẫn khoa học 1: PGS.TS. Lê Văn Nghi

Người hướng dẫn khoa học 2: PGS.TS. Đặng Hoàng Thanh

Phản biện 1: GS.TS. Phạm Ngọc Quý

Phản biện 2: PGS.TS. Nguyễn Thanh Hải

Phản biện 3: PGS.TS. Đinh Văn Mạnh

Luận án sẽ được bảo vệ trước Hội đồng chấm luận án cấp Viện họp tại:

Viện Khoa học Thủy lợi Việt Nam

.....  
Vào lúc .....giờ.....ngày .....tháng ...năm 2018

Có thể tìm hiểu luận án tại các thư viện:

- Thư viện Quốc Gia
- Thư viện Viện Khoa học Thủy lợi Việt Nam

# MỞ ĐẦU

## 1. Tính cấp thiết

Trong tình hình biến đổi khí hậu toàn cầu ngày càng phức tạp, dòng chảy lũ tăng đột biến, cần giải pháp nhằm tăng quy mô tháo lũ, đảm bảo an toàn các hồ chứa và ngập lụt hạ du theo quy chuẩn mới. Một trong những giải pháp công trình tháo lũ tiến bộ được nghiên cứu, ứng dụng là tràn xả lũ kiểu phím piano.

- Tràn piano (PKW) là hình thức công trình tháo được nghiên cứu, phát triển mạnh mẽ trong 20 năm gần đây, được coi là giải pháp “kinh tế kỹ thuật”. Đã có nhiều thành tựu trong nghiên cứu đặc trưng hình học của tràn. Nhưng vấn đề khả năng tháo khi tràn chảy tự do, tràn chảy ngập, đặc tính thủy lực và các chế độ chảy vẫn còn là vấn đề phức tạp, lý thú. Đặc biệt khi mực nước hạ lưu thay đổi tương tác với dòng đến từ thượng lưu, khả năng tháo và các trạng thái chảy qua PKW bị ảnh hưởng rõ rệt, các đặc trưng thủy lực qua tràn có nhiều khác biệt so với tràn truyền thống mà chưa được nghiên cứu đánh giá cụ thể.

- Các công trình ứng dụng tràn piano chủ yếu vẫn theo một vài nghiên cứu mẫu từ trước năm 2011. Công thức, đồ thị xác định khả năng tháo được công bố áp dụng trong điều kiện cụ thể. Đến nay chưa có công bố nào xác định khả năng tháo cũng như xác định sự ảnh hưởng bởi mực nước hạ lưu một cách tổng quát, cho tràn có đơn vị tràn tiêu chuẩn – tối ưu về kinh tế và khả năng tháo, đáp ứng cơ bản cho thiết kế trong nhiều điều kiện khác nhau. Do đó đề tài *Nghiên cứu khả năng tháo qua tràn piano khi kể đến ảnh hưởng của mực nước hạ lưu* là cần thiết.

## 2. Mục đích nghiên cứu

- Xác định ranh giới các trạng thái chảy ảnh hưởng đến khả năng tháo trên cơ sở xác định các đặc trưng dòng chảy qua tràn và nối tiếp hạ lưu tràn piano.

- Xây dựng công thức, đồ thị xác định khả năng tháo qua tràn piano có đơn vị tràn tiêu chuẩn khi chảy tự do và khi có ảnh hưởng của điều kiện hạ lưu gồm ảnh hưởng bởi cao độ đáy đáy kênh, mực nước hạ lưu.

## 3. Đối tượng và phạm vi nghiên cứu

Đối tượng: Khả năng tháo của tràn piano có đơn vị tràn tiêu chuẩn; định trường lượn tròn.

Phạm vi nghiên cứu: Bài toán phẳng, dòng chảy ổn định không đều; Tỷ lệ cột nước và chiều cao tràn:  $H_0/P=0,17\div 2,50$ ; Độ ngập  $h_n/H_n = -0,2\div 0,98$ ; Mặt cắt tràn có tỷ lệ kích thước hình học:  $P/W_u=0,5\div 1,3$ ;  $W_i/W_o=1,2\div 1,5$ ;  $N=L/W=4\div 6$ .

#### 4. Phương pháp nghiên cứu

Phương pháp nghiên cứu áp dụng trong luận án gồm: Phương pháp nghiên cứu tổng quan; Phương pháp thực nghiệm trên mô hình vật lý và mô hình toán 3D; Phương pháp phân tích số liệu thực nghiệm; Phương pháp phân tích thứ nguyên: ứng dụng phương pháp Buckingham để xác định các sê ri thí nghiệm, thiết lập các quan hệ thực nghiệm.

#### 5. Ý nghĩa khoa học và thực tiễn

**Ý nghĩa khoa học:** Luận án đã làm sáng tỏ và lý giải một số đặc trưng, chế độ thủy lực của tràn piano; đã xác định, lượng hóa được ranh giới trạng thái chảy đầy phím nước ra, trạng thái ảnh hưởng bởi đáy kênh hạ lưu, chế độ chảy ngập qua tràn; xây dựng công thức xác định khả năng tháo theo các chế độ chảy. Các kết quả góp phần hoàn thiện và phong phú hơn các nghiên cứu về tràn piano, là cơ sở để tiếp tục nghiên cứu các vấn đề khác có liên quan về kiểu tràn này.

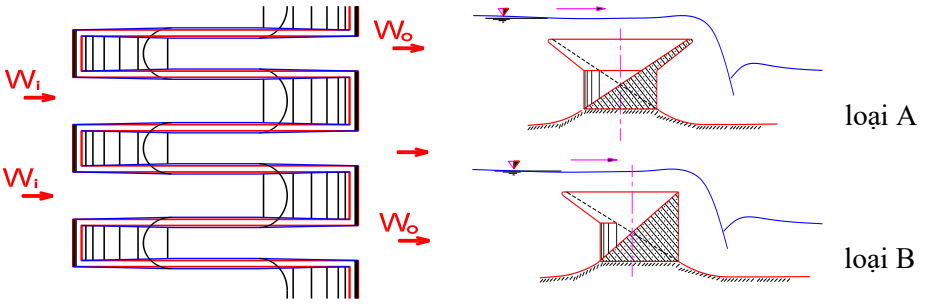
**Ý nghĩa thực tiễn:** Kết quả nghiên cứu của luận án đã làm sáng tỏ mặt cắt, đơn vị tràn piano hiệu quả về kinh tế và kỹ thuật, các công thức và sơ đồ tính toán khả năng tháo là công cụ hữu hiệu giúp giảm bớt thời gian, công sức cho tính toán thiết kế, tạo điều kiện ứng dụng thuận lợi loại công trình này trong thực tế. Các chế độ thủy lực được xác định giúp lựa chọn vùng làm việc hiệu quả, giảm thiểu các rủi ro trong thiết kế và vận hành tràn piano.

### CHƯƠNG 1: TỔNG QUAN KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU TRÀN PIANO

#### 1.1. Giới thiệu về tràn piano

Tràn piano tiền thân là tràn Labyrinth đã phát triển từ những năm 30 của thế kỷ trước, với tuyến tràn dạng zíc zắc, nhằm tăng khả năng tháo theo nguyên lý tăng chiều dài thoát nước. Xuất phát từ nhu cầu thực tiễn, cần nâng cấp khả năng xả lũ cho hồ chứa hiện hành trong điều kiện xây dựng chật hẹp nên tràn Labyrinth được cải tiến thành đáy phím có mái dốc, chân tràn thu nhỏ còn khoảng 2/3 so chiều dài đỉnh tràn, tạo nên hốc phím thượng, hạ lưu, gọi là tràn piano.

Tràn piano cấu tạo gồm các phím nước vào ( $W_i$ ) xen kẽ các phím nước ra ( $W_o$ ). Tùy theo hình dạng nghiêng của tường thượng hạ lưu phím, tràn chia làm 4 loại chính: loại A có hốc phím thượng, hạ lưu đối xứng; loại B chỉ có hốc phím thượng lưu (tường hạ lưu thẳng đứng); loại C chỉ có hốc phím hạ lưu; loại D không có hốc phím (tường thượng, hạ lưu thẳng đứng). Các nghiên cứu đi đầu trong lĩnh vực này là nhóm HydroCoop, Điện lực Pháp, Đại học Biskra (An giê ri), Đại học Roorkee (Ấn Độ) từ những năm 1999÷2002.



Mặt bằng tràn piano

Cắt ngang tràn piano

**Hình 1.3** Kết cấu tràn piano (loại A và loại B)

## 1.2. Các đặc trưng ảnh hưởng tới khả năng tháo qua tràn piano

Khả năng tháo qua tràn piano chịu ảnh hưởng bởi các đặc trưng hình học và đặc trưng dòng chảy. Xem xét ảnh hưởng của đặc trưng hình học chủ yếu trên tràn chảy tự do, gồm hình thức tràn, chiều cao tràn  $P$ , chiều rộng tràn  $W$  ( $W_u$ ), chiều dài phím ( $B$ ) hay chiều dài tràn ( $L$ ), thông qua các đại lượng không thứ nguyên  $N=L/W$ ;  $P/W$ ;  $P/W_u$  và  $W_i/W_o$ . Đặc trưng hình học cùng với đặc trưng dòng chảy ảnh hưởng rất lớn đến khả năng tháo qua tràn piano.

### 1.2.1. Dòng chảy ép sát qua tràn

Khi tràn có cột nước rất nhỏ ( $H/P < 0,15$ ), dòng chảy bám theo toàn bộ đường zíc zắc, làn nước qua các tường tràn piano tương tự tràn thành mỏng, có dạng từ chảy ép sát sang chảy tự do. Khi  $H/P > (0,15 \div 0,2)$ , dòng chảy qua tràn là dạng đường nước rơi tự do. Các hình dạng và phạm vi chuyển đổi này đã được nghiên cứu chi tiết bởi các tác giả như O.Machiels, Kabiri-Samani & Javaheri và A. Mehboudi.

Tuy nhiên nếu cột nước tràn tiếp tục tăng cao, hình dạng, đặc điểm và ranh giới thay đổi trạng thái chảy như thế nào thì hầu như chưa thấy được công bố.

### 1.2.2. Tràn chảy tự do – đơn vị tràn tiêu chuẩn

Các nghiên cứu đã xây dựng được một số công thức cho PKW chảy tự do và chảy ngập nhưng chủ yếu với cột nước nhỏ  $H/P < 0,8$  hoặc cho các tràn cụ thể ( $P=4m$ ;  $5m$ ). Xác định khả năng tháo qua PKW chảy tự do là xác định hệ số tháo  $C_d$  trong công thức  $Q = C_d \cdot W \cdot \sqrt{2gH_0^{3/2}}$  hoặc xác định hệ số hiệu quả tháo  $r$  (tỷ lệ giữa lưu lượng tháo qua tràn piano so với tràn thực dụng có cùng chiều rộng tràn nước  $W$ ),  $r=Q_P/Q_{TD}$ . Xác định khả năng tháo qua PKW chảy ngập là tìm hệ số ngập  $\sigma_n$ .

Hầu hết các nghiên cứu xác định đặc trưng hình học ảnh hưởng tới khả năng tháo của PKW được thực hiện bằng mô hình vật lý, một số ít thực hiện bằng mô hình toán và phương pháp mạng nơ ron thần kinh nhân tạo MLP. Kết quả cho thấy khả năng tháo qua tràn phụ thuộc vào đặc trưng hình học như hình dạng tràn, hình dạng ngưỡng, chiều cao tràn  $P$ , chiều rộng phím  $W_u$ , chiều dài phím  $B$ ,... nhưng chỉ với cột nước thấp  $H/P < 0,3 \div 0,4$  tương đương  $H/W_o < 0,45 \div 0,5$ .

+ Theo A.Noui & A.Ouamane (2003, 2011), khả năng tháo qua tràn loại B tốt hơn tràn loại A với cột nước thấp  $H/P < 0,4$ . Khi  $H$  tăng, khả năng tháo của hai loại tràn này là tương tự nhau. Tỷ lệ giữa chiều rộng phím và chiều cao tràn  $W/P$  có ảnh hưởng tới  $Q$ , nhưng cũng chỉ rõ rệt khi  $H$  nhỏ. Tỷ lệ tối ưu giữa chiều rộng phím nước vào và chiều rộng phím nước ra là  $W_i/W_o$  từ 1,2 đến 1,5.

+ M.Leite Ribeiro và cs (2011), nghiên cứu cho PKW có tỷ lệ chiều dài và chiều rộng  $N=L/W$  tăng từ 3 lên 7 cho kết quả tương đồng, khả năng tháo của tràn tăng khoảng 50% với  $H/P=0,2$ . Khi  $H/P > 1,2$ , khả năng tháo qua tràn tăng không đáng kể. Tỷ lệ chiều rộng phím  $W_i/W_o$  nên trong khoảng  $1,0 < W_i/W_o < 1,6$ .

+ O.Machiels, S. Erpicum và cs (2014) cho thấy mức độ các yếu tố ảnh hưởng tới khả năng tháo giảm dần theo thứ tự là chiều cao tràn, chiều rộng và chiều dài phím. + S. Erpicum và cs (2017) tại hội thảo Quốc tế về tràn piano chỉ ra rằng PKW có tỷ lệ  $P/W_u=0,5 \div 1,3$  sẽ cho tối ưu khả năng tháo.

Như vậy, đến nay, tổng hợp các nghiên cứu về hình dạng đơn vị tràn cho thấy PKW sẽ tối ưu về khả năng tháo và kinh tế khi có tỷ lệ hình học thỏa mãn  $P/W_u=0,5 \div 1,3$ ;  $W_i/W_o=1,2 \div 1,5$ ;  $N=L/W=4 \div 6$ , trong luận án này gọi là tràn piano tiêu chuẩn.

### ***1.2.3. Tràn chảy ngập***

Khi tràn chảy ngập, các nghiên cứu xem xét ảnh hưởng tới khả năng tháo bởi các thông số dòng chảy tương tự như tràn truyền thống và với  $h_n > 0$ . Các nghiên cứu về PKW chảy ngập không phong phú như nghiên cứu về PKW chảy tự do. Có rất ít các nghiên cứu của nước ngoài về lĩnh vực này, chủ yếu là các nghiên cứu của Việt Nam.

Kết quả nghiên cứu xác định hệ số tháo qua tràn PKW khi chảy ngập ở dạng các đường quan hệ rời rạc  $C_d \sim H_{n0}/H_0$  theo từng cấp  $q$  trên mô hình; một số kết quả áp dụng điều kiện cụ thể, với tràn có độ ngập lớn  $h_n/H_n > 0,65$ .

Chưa có công bố nào đề cập đến vùng quá độ, khi  $h_n < 0$ , ở đó tràn piano đã làm việc trong điều kiện ngập, tương đồng với công bố của Rozanop cho tràn

thực dụng loại có chân không cũng như được phát hiện trên nghiên cứu cho tràn Ngàn Trươi của NCS và nhóm nghiên cứu.

### 1.3. Các công thức tính khả năng tháo qua tràn piano

Do cấu tạo phức tạp với 3 thành phần dòng chảy qua tương ứng qua 3 phần tường tràn là tường thượng lưu, tường hạ lưu và thành bên nên công thức tính lưu lượng tháo qua tràn piano cũng đa dạng hơn tràn truyền thống. Gồm tính gián tiếp theo tỷ lệ tăng lưu lượng tháo theo tràn thực dụng  $r=Q_P/Q_{TD}$ ; tính trực tiếp xác định hệ số tháo  $C_{d1}$  theo đường tràn zic zắc L và gần đây các nghiên cứu tập trung theo dạng công thức của tràn truyền thống,  $Q=C_{d2}.W.\sqrt{2gH}^{3/2}$  (1.3).

Công thức là kết quả của các nghiên cứu từ thăm dò ảnh hưởng của các đại lượng trong phạm vi phân tán đến tập trung vào các đại lượng hình học chính. Đến nay, chưa có công bố nào cho tràn có đơn vị tiêu chuẩn. Một số công thức của các nghiên cứu ở Việt nam như (1.8) và từ (1.12) đến (1.15) đã được thiết lập theo vùng cột nước với ranh giới là đại lượng có thứ nguyên  $H=2m, 3m$ , cho thấy phát hiện của các tác giả về khả năng tháo khác nhau rõ rệt khi H thay đổi từ thấp tới cao. Tuy vậy việc xác định ranh giới này chưa dựa trên cơ sở đặc trưng dòng chảy qua tràn piano. Phạm vi áp dụng các công thức còn hẹp, trong điều kiện công trình cụ thể, hoặc cho sai số lớn dù miền phù hợp. Các công thức xác định khả năng tháo qua PKW khi chảy ngập thiết lập cho tràn phi chuẩn, có độ ngập lớn  $h_n/H_n > 0,65$ , hoặc có  $h_n/H_n > 0,12 \div 0,33$  nhưng xu hướng  $\sigma_n$  chưa phù hợp khi  $h_n$  giảm. Trạng thái ranh giới quá độ của dòng chảy qua PKW khi mực nước hạ lưu thay đổi chưa được quan tâm.

### 1.4. Kết luận chương 1

Sau hơn 20 năm nghiên cứu, tràn piano đã ngày càng hoàn thiện hơn về cấu tạo hình học và hiệu quả tháo. Mỗi nghiên cứu cho kết quả về một phạm vi khác nhau, nhưng có sự kế tiếp phát triển, theo đó PKW sẽ cho tối ưu về khả năng tháo và kinh tế khi có kích thước hình học trong phạm vi:  $P/W_u=0,5 \div 1,3$ ;  $W_i/W_o=1,2 \div 1,5$ ;  $N=L/W=4 \div 6$ ; trong luận án này, gọi là tràn piano tiêu chuẩn.

Trong phạm vi tiêu chuẩn này, khả năng tháo của tràn có cấu tạo khác nhau sẽ khác nhau đáng kể nhưng chỉ với cột nước thấp  $H/P < 0,3$  tương đương  $H/W_o < 0,5$ . Khi  $H/P > 0,3$  hình dạng, cấu tạo PKW không ảnh hưởng nhiều tới khả năng tháo. Đặc điểm này rất khác tràn truyền thống, thể hiện đặc trưng ranh giới tương tác giữa dòng trên phím nước vào và phím nước ra cũng như dòng chảy ở hạ lưu tới khả năng tháo qua PKW.

Các đặc trưng tương tác này hầu như chưa được xem xét, chưa có công bố nào xác định ranh giới chế độ chảy mà  $Q$  qua tràn bắt đầu bị ảnh hưởng bởi cả  $H$  và mực nước hạ lưu. Hầu hết các nghiên cứu, công thức công bố là kết quả đơn cử của số liệu thực nghiệm, phù hợp trong phạm vi hẹp, điều kiện cụ thể, cho các công trình có thứ nguyên hoặc sai số còn lớn. Do đó, luận án sẽ nghiên cứu xác định khả năng tháo cho PKW có đơn vị tràn tiêu chuẩn, trên cơ sở xác định đặc trưng thủy động lực học, các trạng thái, và chế độ chảy qua tràn piano.

## **CHƯƠNG 2: CƠ SỞ KHOA HỌC NGHIÊN CỨU XÁC ĐỊNH KHẢ NĂNG THÁO QUA TRÀN PIANO**

### **2.1. Phương pháp xác định khả năng tháo qua tràn**

+ Coi tràn piano làm việc như tràn truyền thống mà ở đó mặt tràn gồm nhiều khe, rãnh. Với cột nước thấp, dòng chảy bám theo các ngưỡng zíc zắc thoát xuống ô nước ra và về hạ lưu như chảy qua đập tràn thành mỏng. Khi cột nước tăng cao, khối nước phủ trùm lên toàn bộ các phím, PKW làm việc như đập tràn thực dụng.

Ở đây, sẽ không xuất hiện khả năng PKW làm việc như tràn đỉnh rộng, bởi không thỏa mãn được điều kiện tỷ lệ chiều dài ngưỡng tràn và cột nước  $B/H=3\div 8$ . Do đó xác định các yếu tố ảnh hưởng tới khả năng tháo qua tràn piano sẽ tương tự như qua 2 loại tràn thành mỏng và tràn thực dụng.

+ Trong luận án, hệ số tháo của tràn piano được xác định theo phương pháp thực nghiệm trên mô hình vật lý nhằm đo đạc, xác định các giá trị đặc trưng thủy động lực dòng chảy như lưu lượng  $Q$ , cột nước tràn thượng lưu  $H$ , cột nước hạ lưu  $h_n$ , cao trình mực nước, lưu tốc dòng chảy.... Thực nghiệm trên mô hình toán (mô hình 3D) nhằm mô phỏng chi tiết phân bố vận tốc, lưu hướng dòng chảy trên phím nước vào, phím nước ra và nối tiếp hạ lưu.

### **2.2. Lý thuyết nghiên cứu thực nghiệm mô hình**

#### ***2.2.1. Lý thuyết tương tự để thiết lập mô hình nghiên cứu***

Sử dụng lý thuyết tương tự tức phân tích toán học hoặc phân tích thứ nguyên các đại lượng ảnh hưởng đến hiện tượng nghiên cứu. Những kết quả thu được trên mô hình chuyển sang thực tế dựa trên các định luật hay tiêu chuẩn tương tự.

#### ***2.2.2. Tiêu chuẩn tương tự***

Dòng chảy qua công trình là dòng có mặt thoáng, chịu tác động chủ yếu của trọng lực, theo tiêu chuẩn Froude (Fr). Số Reynol (Re) trên mô hình  $R_{em}$



$>R_{egh}=5000\div 10000$  để thỏa mãn điều kiện dòng chảy làm việc trong bình phương sức cản (khu tự động mô hình). Khi cột nước nhỏ, dòng chảy qua tràn chịu tác động lớn bởi sức căng mặt ngoài, mô hình cần thỏa mãn tiêu chuẩn Weber, hệ số  $W_e$  nhỏ nhất cần lớn hơn 54, hay chiều sâu cột nước tràn  $H$  nhỏ nhất cần đảm bảo lớn hơn 0,03m.

### 2.2.3. Lý thuyết thứ nguyên, định lý hàm Pi

Sử dụng phương trình Buckingham biểu thị các đại lượng biến đổi để mô tả hiện tượng thủy động lực học cần nghiên cứu trong một phiếm hàm. Từ các đại lượng, chọn 3 thứ nguyên cơ bản là thời gian  $[T]$ , độ dài  $[L]$ , khối lượng  $[M]$ . Các đại lượng biến đổi độc lập còn lại  $(n-3)$  được biến đổi thành dạng quan hệ không thứ nguyên, dạng hàm Pi. Được phiếm hàm  $f(\pi_1, \pi_2, \pi_3, \dots) = 0$  (2.13).

### 2.2.4. Quy hoạch thực nghiệm

Các số liệu thí nghiệm được tổng hợp, tìm mối tương quan chặt chẽ giữa các đại lượng: **Đại lượng vào**  $\rightarrow$  **Quan hệ phụ thuộc (phương trình hồi quy thực nghiệm)**  $\rightarrow$  **Đại lượng ra**. Luận án thực hiện theo phương pháp chủ động bố trí thực nghiệm trên cơ sở phân tích, khảo sát, kế thừa các nghiên cứu đã có. Đánh giá sự tương thích của phương trình hồi quy với thực nghiệm dùng phân phối Fisher (Sig.F) với một mức ý nghĩa 5%. Kiểm định các công thức thực nghiệm bằng phương pháp Hold-out, phân chia tập dữ liệu thực nghiệm thành hai tập độc lập là tập xây dựng công thức và tập kiểm định.

## 2.3. Lập phương trình nghiên cứu thực nghiệm

Phương trình tổng quát xét cho đơn vị tràn:

$$f\left[\frac{W_u}{H}, \frac{W_i}{H}, \frac{W_o}{H}, \frac{B}{H}, \frac{B_i}{H}, \frac{B_o}{H}, \frac{P}{H}, \frac{P_T}{H}, \frac{P_H}{H}, \frac{L_u}{H}, S_i, \frac{\mu H}{Q_u \rho}, \frac{H^5 g}{Q_u^2}, \frac{h_n}{H}, \frac{h_h}{H}, \frac{z}{H}\right] = 0 \quad (2.23)$$

Có xét đến lưu tốc tới gần; Phương trình rút gọn:

$$f\left[\frac{Q_u}{W_u \sqrt{2g} H^{3/2}}, \frac{H_0}{P}, \frac{H_0}{P_H}, \frac{H_0}{W_u}, \frac{H_0}{L_u}, \frac{h_n}{H_0}, \frac{z}{P}\right] = 0 \quad (2.24)$$

$$\text{Hay } \frac{Q_u}{W_u \sqrt{2g} H_0^{3/2}} = f\left[\frac{H_0}{P}, \frac{H_0}{P_H}, \frac{H_0}{W_u}, \frac{H_0}{L_u}, \frac{h_n}{H_0}, \frac{z}{P}\right] \quad (2.25)$$

Lưu lượng tháo qua tràn được xác định theo công thức:

$$Q = m \cdot L \cdot \sqrt{2g} \cdot H_0^{3/2} = m \cdot N \cdot W \cdot \sqrt{2g} \cdot H_0^{3/2} \quad (2.26)$$

$$\text{Đặt } C_d = m \cdot N, (2.26) \text{ trở thành: } Q = C_d \cdot W \cdot \sqrt{2g} \cdot H_0^{3/2}$$

$$\text{Hoặc } Q_u = C_d \cdot W_u \cdot \sqrt{2g} \cdot H_0^{3/2} \quad (2.27)$$

$$\text{Suy ra } C_d = \frac{Q_u}{W_u \sqrt{2g} H_0^{3/2}} \quad (2.28)$$

Như vậy với việc sử dụng hệ số  $C_d = N.m$ , công thức tính lưu lượng cho tràn piano trở thành công thức tính cho tràn truyền thống và  $C_d$  có thể lớn hơn 1,0 còn tràn truyền thống hệ số  $m$  luôn nhỏ hơn 1,0.

Kết hợp (2.25) và (2.28) ta có:

$$C_d = f \left[ \frac{H_0}{P}, \frac{H_0}{P_H}, \frac{H_0}{W_u}, \frac{H_0}{L_u}, \frac{h_n}{H_0}, \frac{z}{P} \right] \quad (2.29)$$

Xét dòng chảy qua PKW là chảy tự do, lưu lượng tháo qua tràn không chịu ảnh hưởng của mực nước hạ lưu, (2.29) trở thành:

$$C_d = f \left[ \frac{H_0}{P}, \frac{H_0}{P_H}, \frac{H_0}{W_u}, \frac{H_0}{L_u} \right] \quad (2.30)$$

Khi khả năng tháo qua tràn không bị ảnh hưởng bởi đáy kênh hạ lưu, (2.30) trở thành:

$$C_d = f \left[ \frac{H_0}{P}, \frac{H_0}{W_u}, \frac{H_0}{L_u} \right] \quad (2.31)$$

Khi dòng chảy qua với cột nước nhỏ, dòng chảy bám theo ngưỡng tràn zích zắc như chảy qua tràn thành mỏng, lúc đó khả năng tháo không phụ thuộc chiều rộng phím tràn, phương trình (2.31) trở thành:

$$C_d = f \left[ \frac{H_0}{P}, \frac{H_0}{L_u} \right] \quad (2.32)$$

Xét dòng chảy qua tràn là chảy ngập:

$$C_d = f \left[ \frac{H_0}{P}, \frac{H_0}{P_H}, \frac{H_0}{W_u}, \frac{H_0}{L_u}, \frac{h_n}{H_0}, \frac{z}{P} \right] \quad (2.33)$$

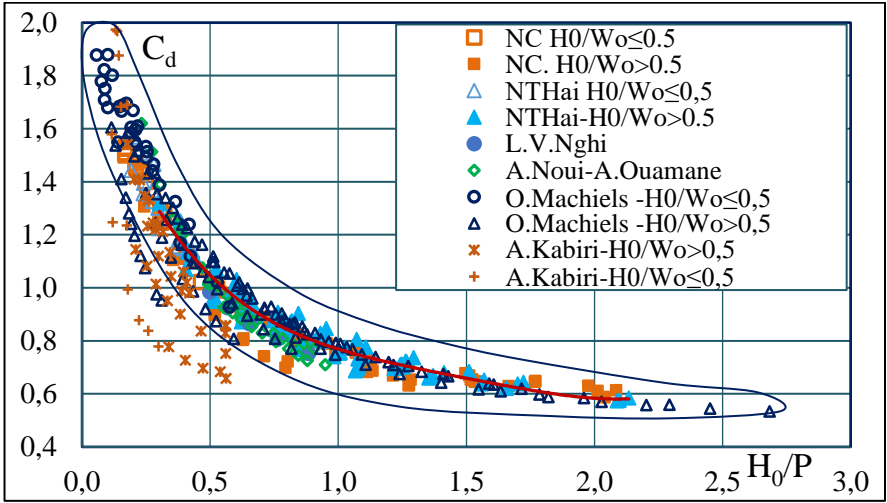
## 2.4. Mô hình nghiên cứu

### 2.4.1. Mô hình vật lý

Mô hình được thiết kế, xây dựng trên máng kính rộng 0,5m, dài 22m, cao 1,0m. Đầu mỗi tràn piano được chế tạo bằng kính hữu cơ; kênh dẫn thượng hạ lưu dùng vữa xi măng trát phẳng có đánh bóng.

Thực hiện Thiết kế, xây dựng mô hình; Bố trí Thiết bị đo đạc; Đánh giá Sai số mô hình; Điều kiện áp dụng trong thực tế; Kết quả thí nghiệm và Đánh giá sự phù hợp của số liệu thực nghiệm.

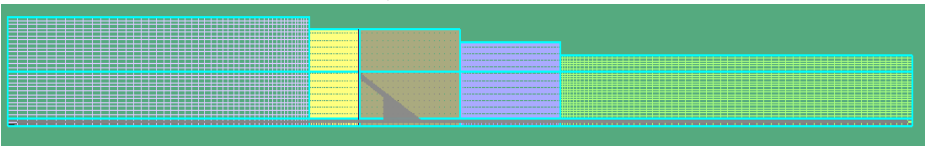
Số liệu thực nghiệm gồm gần 150 số liệu của luận án và hơn 450 số liệu của các nghiên cứu khác như trên hình 2.7.



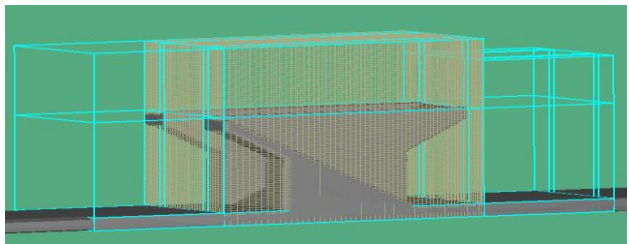
**Hình 2.7** Sự phù hợp của số liệu thực nghiệm

#### 2.4.2. Mô hình toán

Luận án sử dụng phần mềm Flow 3D để xây dựng mô hình toán 3 chiều mô phỏng dòng chảy qua tràn piano. Hình dạng mặt cắt tràn tương tự như mô hình thực nghiệm có tỷ lệ  $\lambda_1=20$ ,  $P=3,6m$ ;  $W=10m$ ,  $W_u=4,7m$ ;  $T_s=0,3m$ ;  $B=10m$ ; Toàn miền lưới chia làm 5 khu vực có kích thước lưới khác nhau.



Bước lưới: là ước số của các kích thước hình học, ký hiệu theo 3 chiều tương ứng là  $\Delta x$ ,  $\Delta y$ ,  $\Delta z$ , từ  $0,05 \div 2,0m$ , thô ở khu vực kênh, mịn ở khu vực đầu mối.



**Hình 2.10** Phạm vi mô phỏng, miền lưới tính toán

\* Kiểm nghiệm, hiệu chỉnh mô hình bằng số liệu thu được từ mô hình vật lý cho trường hợp cột nước tràn  $H/P=0,4$ ;  $H/P=0,6$  cho kết quả về hình dạng đường mặt nước, luồng nước rơi, cao trình mực nước, phân bố và giá trị lưu tốc của dòng chảy phù hợp với quy luật thủy lực và kết quả thí nghiệm.

## 2.5. Kết luận chương 2

Từ cơ sở khoa học xác định khả năng tháo của tràn truyền thống, luận án đã luận giải và chỉ ra các thông số chính ảnh hưởng đến khả năng tháo qua PKW là  $P$ ,  $P_H$ ,  $W$ ,  $W_o$ ,  $L$ ,  $H$ ,  $h_n$ ,  $h_h$  và  $z$ . Trên cơ sở về lý thuyết tương tự, lý thuyết thứ nguyên và mô hình, luận án đã thiết lập được hàm hồi quy thực nghiệm thể hiện mối tương quan giữa khả năng tháo và các yếu tố ảnh hưởng. Tiến hành thực nghiệm trên mô hình vật lý, mô hình toán 3D.

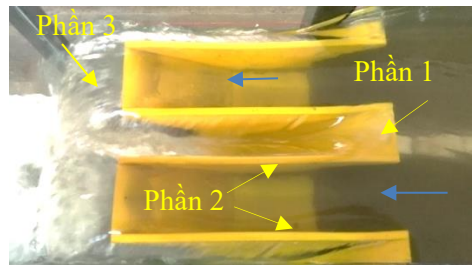
Luận án đã tổng hợp, phân tích hơn 450 số liệu số liệu thí nghiệm về tràn piano đã công bố trong những năm gần đây của các tác giả ở trong và ngoài nước, từ đó thực nghiệm bổ sung gần 150 thí nghiệm nhằm xác định khả năng tháo, phân bố vận tốc, đường mặt nước, lưu hướng. Nghiên cứu theo đại lượng không thứ nguyên, phạm vi:  $H_o/P=0,17\div 2,09$ ;  $H_o/W_o=0,31\div 2,08$ ;  $H_o/W_u=0,14\div 0,92$ ;  $P/W_u=0,44\div 1,07$ ;  $h_n/H_n=-0,2\div 0,98$ ;  $q=0,03\div 0,32\text{ m}^2/\text{s}$ ; là tổ hợp của 3 trường hợp chiều cao tràn; 2 trường hợp đáy kênh hạ lưu ngang bằng/thấp hơn so với chân phím nước ra; 2 chế độ chảy là chảy không ngập và chảy ngập.

Các số liệu thực nghiệm được đánh giá khách quan cùng các nghiên cứu khác, cung cấp bộ dữ liệu phù hợp, đảm bảo độ tin cậy.

## CHƯƠNG 3: ĐẶC TRƯNG KHẢ NĂNG THÁO QUA TRÀN PIANO

### 3.1. Đặc trưng thủy động học, sự chuyển đổi các trạng thái và nối tiếp dòng chảy qua tràn piano

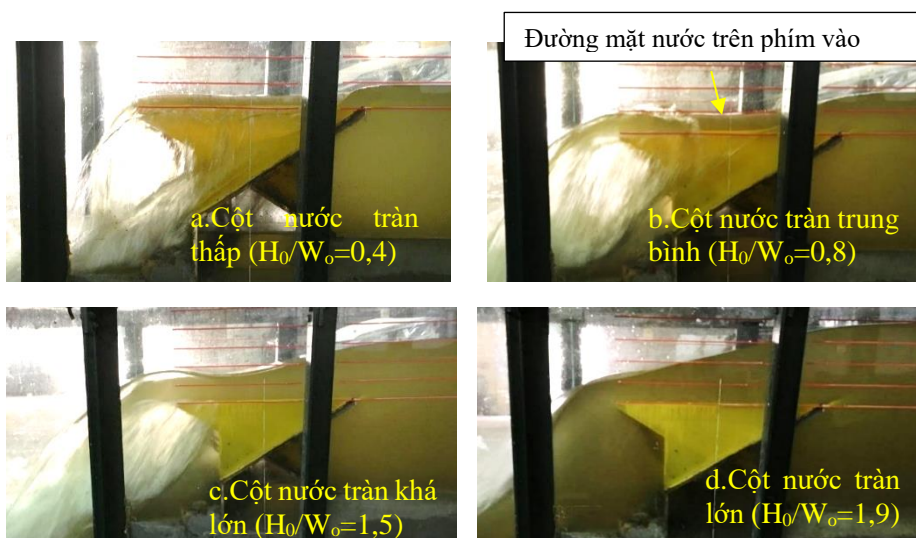
Dòng chảy (lưu lượng) qua PKW được chia làm 3 phần tương ứng với đường zic zắc bao quanh các phím như thể hiện trên Hình 3.1, gồm: phần 1 tràn qua tường thượng lưu phím nước ra, phần 2 tràn qua thành bên và phần 3 qua tường hạ lưu của phím nước vào.



**Hình 3.1** Các thành phần dòng chảy qua PKW

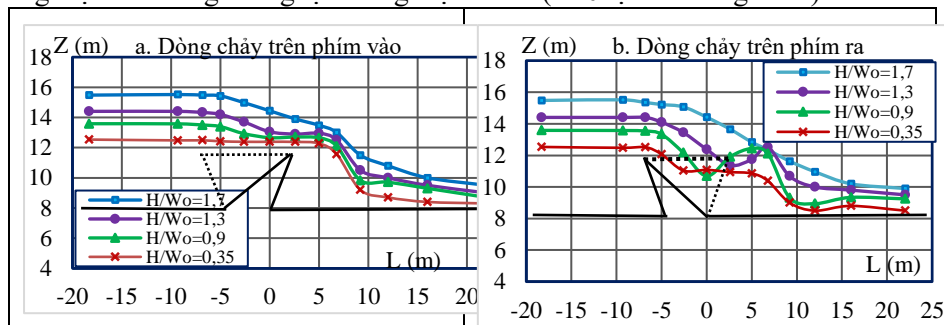
#### 3.1.1. Dòng chảy trên phím nước vào

Khi tăng cột nước tràn, đường mặt nước chuyển từ dạng nằm ngang ( $H_o/W_o \leq 0,5$ ) sang lượn sóng ( $0,5 < H_o/W_o \leq 1,7$ ) và là hạ thấp dần từ thượng lưu về hạ lưu ( $H_o/W_o > 1,7$ ).



**Hình 3.2** Quá trình thay đổi hình dạng đường mặt nước trên phím tràn

\* *Lưu hướng và phân bố lưu tốc:* Khi tăng mực nước thượng lưu, lưu hướng của dòng chảy trên phím vào ít thay đổi. Lưu hướng dòng đáy song song với phương đáy phím, độ dốc của lưu hướng giảm dần khi dòng lên mặt, lưu hướng dòng mặt có hướng tương tự đường mặt nước. ( $L=0$  tại tim công trình)



**Hình 3.3** Đường mặt nước dọc công trình khi tăng cột nước tràn

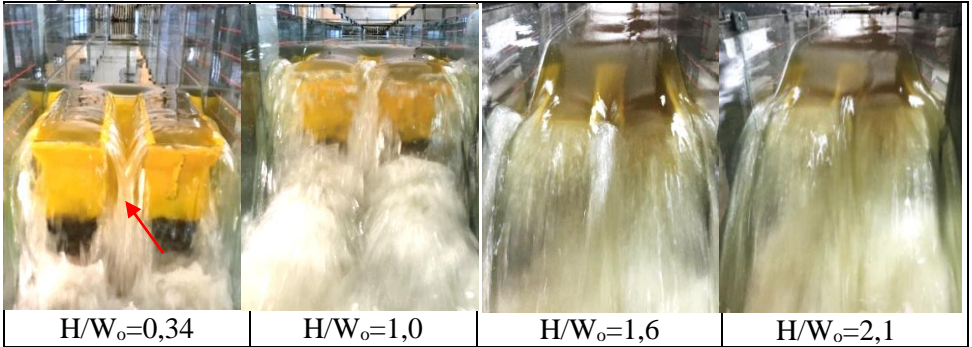
### 3.1.2. Dòng chảy trên phím nước ra

Dòng chảy trên phím nước ra gồm dòng qua tường thượng lưu và dòng qua thành bên, chiếm phần lớn tổng lượng dòng chảy qua tràn piano.

Hình dạng làn nước qua tường thượng lưu ít thay đổi, tương tự như dòng trên dốc có độ dốc lớn. Dòng chảy qua tường bên đổ xuống phím nước ra gồm 2

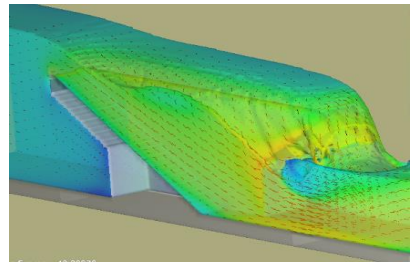
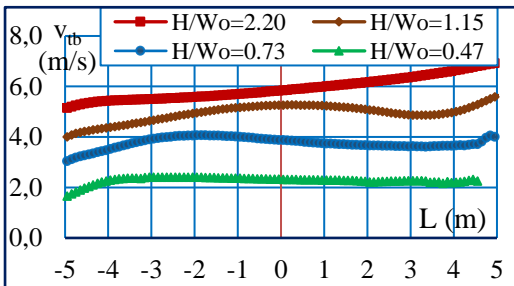
làn nước đối xứng nhau. Hình dạng làn nước này bị giới hạn bởi cột nước tràn và chiều rộng phím nước ra, chuyển đổi qua các trạng thái khác nhau.

Từ chảy vuông góc với thành bên ( $H_0/W_0 \leq 0,5$ ) sang phương xiên dần. Hình dạng đường mặt nước dọc phím ra dạng lượn sóng ( $0,5 < H_0/W_0 \leq 1,7$ ) sang dạng hạ thấp dần và đều trên mặt cắt ngang các phím, tương tự như dòng chảy trên phím nước vào ( $H_0/W_0 > 1,7$ ).



**Hình 3.6** Đặc điểm dòng chảy trên phím ra khi tăng cột nước thượng lưu

\* *Lưu hướng và phân bố lưu tốc:* Khi cột nước H tăng dần, dòng qua tường bên thay đổi nhiều, vùng có lưu tốc lớn dịch chuyển dọc từ 1/3 thượng lưu thành bên về cuối phím, lưu hướng chuyển dần từ vuông góc sang phương xiên. Dòng qua tường thượng lưu có lưu hướng song song với đáy phím.

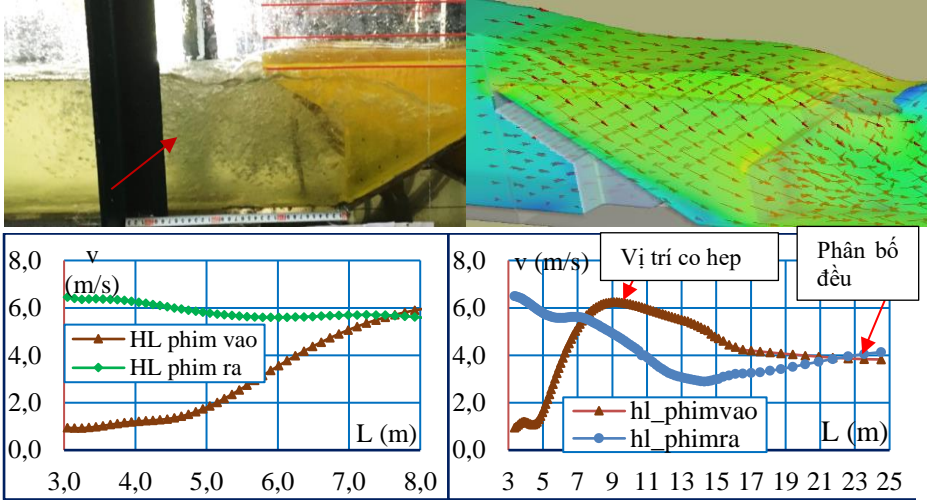


**Hình 3.8** Lưu hướng dòng chảy và phân bố lưu tốc trên phím ra khi tăng H

### 3.1.3. Nối tiếp dòng chảy ở hạ lưu

Đặc điểm dòng chảy và hình thức nối tiếp hạ lưu tràn piano không chỉ phụ thuộc vào mực nước hạ lưu mà còn phụ thuộc bố dòng ra khỏi các phím. Dọc theo phím vào và phím ra, hình thức nối tiếp hạ lưu là khác nhau, phân bố không đều trên mặt cắt ngang. Khi nối tiếp hạ lưu là dòng xiết, tỷ lưu, độ sâu lớp nước, lưu tốc của dòng dọc theo phím nước vào lớn hơn dọc theo phím nước ra. Khi nối tiếp hạ lưu là nhảy ngập, hạ lưu tràn tồn tại hai khu vực xáo trộn rõ rệt gồm

khu xoáy cuộn trước co hẹp quần vào chân công trình và khu nước nhảy sau co hẹp như dòng chảy truyền thống.



Hình 3.12 Nối tiếp, phân bố lưu tốc hạ lưu tràn khi thay đổi  $H$ ,  $h_h$

### 3.1.4. Ảnh hưởng của xoáy cuộn hạ lưu tới khả năng tháo qua tràn piano

Xoáy cuộn ở gậm phím piano làm giảm diện tích mặt cắt thoát nước ra ở vùng chân tràn. Khi cột nước lớn hoặc đáy kênh hạ lưu nâng cao, xoáy cuộn mạnh lên, làm tăng mức độ ảnh hưởng giảm tới khả năng tháo.

## 3.2. Ranh giới các trạng thái chảy qua tràn piano

### 3.2.1. Ranh giới “chảy đầy phím ra”

Khi vị trí điểm giao thoa của hai làn nước đổ xuống từ thành bên thấp hơn đỉnh tràn, hình dạng dòng chảy qua tường bên không đổi, gọi là “chảy không đầy phím ra”. Khi  $H$  tăng, điểm giao thoa dần nâng lên, cao hơn đỉnh tràn, hình dạng làn nước qua thành bên thay đổi, vòng lên, làm giảm khả năng tháo qua tràn, gọi là “chảy đầy phím ra”. Ranh giới của hai trạng thái này là  $H_0/W_0=0,5$ .

### 3.2.2. Ranh giới chảy ngập

Tràn piano là chảy ngập khi thỏa mãn đồng thời 2 điều kiện: (1). Mực nước hạ lưu ảnh hưởng đến khả năng tháo. Theo đó, xác định được các trạng thái: + Dòng chảy qua tràn là tự do hoàn toàn khi  $h_n/H_n < -0,2$ . + Dòng là ngập hoàn toàn khi  $h_n/H_n > 0$ ; + Ranh giới chảy ngập hay vùng quá độ từ chảy tự do sang chảy ngập là  $-0,2 < h_n/H_n \leq 0$ , làn nước qua PKW bắt đầu bị ảnh hưởng vòng nhẹ lên, làm tăng mực nước thượng lưu, giảm khả năng tháo qua tràn.

(2). Dòng chảy qua PKW nối tiếp hạ lưu là nước nhảy ngập. Xác định được cần đảm bảo điều kiện  $(z/P_H) < (z/P_H)_{pg}$ ; Xác định  $Z_{pg}$  từ kết quả thực nghiệm:

$$z_{pg} = 0,974 \cdot \left(\frac{H}{P}\right)^{0,977} \cdot P_H \quad (3.2)$$

Dòng trong phím nước ra luôn nằm trong vùng chuyển tiếp, xáo trộn của dòng thượng lưu về hạ lưu như phân tích trong mục 3.1, do đó mực nước hạ lưu để xem xét ảnh hưởng tới khả năng tháo qua tràn là mực nước ở lòng dẫn hạ lưu, tương tự như tràn truyền thống.

### 3.2.3. Ranh giới ảnh hưởng bởi đáy kênh hạ lưu

Để xác định ảnh hưởng của đáy kênh hạ lưu, nghiên cứu hai trường hợp giới hạn ( $P_H$ ): trường hợp 1, đáy kênh hạ lưu không ảnh hưởng đến khả năng tháo, khi nó có cao độ rất thấp so với ngưỡng tràn; trường hợp 2, cao độ đáy kênh cao nhất, cao bằng chân phím nước ra của tràn piano; tương ứng mỗi trường hợp đáy kênh hạ lưu là 3 trường hợp chiều cao tràn  $P$ . Tổng số trường hợp nghiên cứu là 06.

Kết quả thực nghiệm cho thấy: + Khi  $H_0/P_H < 0,7$ , lưu lượng tháo qua PKW không bị ảnh hưởng bởi đáy kênh hạ lưu. + Khi  $H_0/P_H \geq 0,7$ , khả năng tháo của tràn piano bị ảnh hưởng giảm. Mức độ ảnh hưởng lớn khi cột nước qua tràn tăng, trong phạm vi nghiên cứu giá trị giảm khả năng tháo lớn nhất là 4%.

### 3.2.4. Phân tích ảnh hưởng của trạng thái chảy tới khả năng tháo qua tràn

+ Khi tràn chảy không đầy phím nước ra,  $H/W_0 \leq 0,5$ , PKW làm việc như đập tràn thành mỏng, chiều dài thoát nước là đường zic zắc  $L$ , với  $L = (4 \div 6)W = (8 \div 15)\Sigma W_0$ . Do đó ảnh hưởng bởi thông số  $L$  tới lưu lượng qua PKW lớn hơn nhiều so với  $H_0$ , nên với các tràn piano có hình thức, cấu tạo khác nhau, khả năng tháo qua PKW sẽ khác nhau đáng kể.

+ Tràn chảy đầy phím nước ra,  $H_0/W_0 > 0,5$ , chiều rộng tràn nước của PKW là  $W$ , mà  $W = \Sigma(W_i + W_0) = (2,2 \div 2,5)\Sigma W_0$ . Do đó, ảnh hưởng tới  $Q$  của  $W$  so với  $H$  là không đáng kể, hay khả năng tháo của các PKW cấu tạo khác nhau là không đáng kể. Khi tràn có cột nước  $H/W_0 > 2,0$ , cấu tạo hình học tràn hầu như không ảnh hưởng tới khả năng tháo.

## 3.3. Xây dựng công thức thực nghiệm xác định khả năng tháo qua tràn piano

Số liệu thực nghiệm được xét với 2 bộ: (1) bộ số liệu độc lập của luận án; (2) bộ số liệu kết hợp gồm số liệu của luận án và của các tác giả khác. Mỗi bộ số liệu tách thành 2 tập: tập xây dựng và tập kiểm nghiệm. Tập xây dựng là số liệu của PKW có đơn vị tràn tiêu chuẩn. Kiểm nghiệm cho PKW có đơn vị tràn tiêu chuẩn và phi chuẩn.



Thiết lập công thức xác định khả năng tháo qua tràn piano theo dạng tràn truyền thống, khi có kể tới ảnh hưởng của mực nước và đáy kênh hạ lưu:

$$Q = m \cdot k_H \cdot \sigma_n \cdot L \cdot \sqrt{2gH_0^{\frac{3}{2}}} = k_H \cdot \sigma_n \cdot m \cdot N \cdot W \cdot \sqrt{2gH_0^{\frac{3}{2}}} = k_H \cdot \sigma_n \cdot C_{d0} \cdot W \cdot \sqrt{2gH_0^{\frac{3}{2}}} \quad (3.4)$$

Với  $C_{d0} = m \cdot N$  là hệ số tháo của tràn piano khi không bị ảnh hưởng bởi mực nước và điều kiện hạ lưu.

Để xác định  $C_{d0}$ , theo (2.31), và các đặc trưng, trạng thái dòng chảy trình bày trong mục 3.1, mục 3.2, xác định công thức thực nghiệm của  $C_{d0}$  theo hai trạng thái đầy và không đầy phím ra:

1. Với trạng thái chảy không đầy phím ra ( $H_0/W_o \leq 0,5$ ), xác định  $C_{d0}$  tương tự như cho đập tràn thành mỏng chảy tự do, tức dạng hàm đa thức tuyến tính của các đại lượng  $H_0$ , chiều cao tràn  $P$ . Đối với PKW còn có thêm ảnh hưởng của chiều dài đường tràn  $L_u$ , do vậy dạng của (2.31) được viết thành:

$$C_{d0} = a + b \cdot \frac{H_0}{P} + c \cdot \frac{H_0}{L_u} \quad (3.7)$$

2. Với trạng thái chảy đầy phím ra ( $H_0/W_o > 0,5$ ),  $C_{d0}$  là hàm theo các biến  $H_0/P$ ,  $H_0/W_u$ ,  $H_0/L_u$ . Tuy nhiên tham số  $L_u$  không ảnh hưởng nhiều đến hệ số tháo qua PKW. Do vậy xác định dạng hàm  $C_{d0}$  theo hai tham số chính là  $H_0/P$ ,  $H_0/W_u$ .

Để lựa chọn công thức phù hợp, các dạng đa thức tuyến tính, phi tuyến hoặc hàm mũ được sử dụng và tuyến tính hóa bởi toán học giải tích. Các hệ số của công thức thực nghiệm được xác định theo phương pháp phân tích hồi quy tuyến tính, cực tiểu bình phương sai số.

Phân tích tương quan giữa  $C_{d0}$  và tỷ lệ cột nước  $H_0/P$ , khảo sát và thử nghiệm cho thấy dạng hàm mũ cho kết quả tốt nhất. Theo đó, hệ số tháo  $C_{d0}$  là hàm tương quan biểu thị trong (3.8):

$$C_{d0} = a_0 \left( \frac{H_0}{P} \right)^{a_1} \left( \frac{H_0}{W_u} \right)^{a_2} \quad (3.8)$$

Các hệ số của hàm thực nghiệm (3.7), (3.8) được xác định theo 02 bộ số liệu gồm bộ số liệu độc lập của luận án và bộ số liệu kết hợp. Các công thức thực nghiệm thiết lập có tương quan rất tốt. Hệ số tương quan đạt  $R = 0,952 \div 0,988$ . Sai số chuẩn đạt  $S = 0,023 \div 0,080$ . Hệ số kiểm định Sig.F rất nhỏ, đạt  $5E^{-12} \ll 0,05$  nên công thức được chấp nhận.

Sai số giữa kết quả tính toán và kết quả thực nghiệm của tập xây dựng và tập kiểm nghiệm theo bộ số liệu độc lập và số liệu kết hợp là tương tự nhau. Sai

số trung bình của tập xây dựng là nhỏ, dưới 5%, sai số tuyệt đối lớn nhất khoảng 7÷8%. Sai số trung bình của tập kiểm nghiệm khoảng 6÷7% và sai số tuyệt đối lớn nhất đạt 12,6%.

Công thức của luận án được thiết lập từ bộ số liệu có N=5 nhưng kết quả tính theo công thức so với số liệu thực nghiệm của các tác giả khác cho sai số nhỏ là bởi công thức đã thiết lập theo vùng trạng thái chảy đặc trưng của tràn piano. Do đó, phạm vi phù hợp của công thức được mở rộng cho PKW có N=4÷6. Luận án sử dụng các công thức xây dựng từ bộ số liệu độc lập để tiếp tục tính toán trong các bước tiếp theo.

+ Khi tràn PKW chảy tự do, không ảnh hưởng bởi đáy kênh hạ lưu,  $C_d=C_{d0}$ , khả năng tháo qua tràn  $Q_{TD}$  tính theo (3.9).

$$Q = C_{d0} \cdot W \cdot \sqrt{2g} H_0^{3/2} \text{ hay } q = C_{d0} \cdot \sqrt{2g} H_0^{3/2} \quad (3.9)$$

Trong đó:

$$\text{- Khi } H_0/W_0 \leq 0,5, C_{d0} = 1,885 - 1,768 \cdot \frac{H_0}{P} - 1,215 \cdot \frac{H_0}{L_u} \quad (3.10)$$

$$\text{- Khi } H_0/W_0 > 0,5, C_{d0} = 0,705 \left(\frac{H_0}{P}\right)^{-0,306} \left(\frac{H_0}{W_u}\right)^{-0,150} \quad (3.11)$$

+ Khi PKW có chịu ảnh hưởng bởi đáy kênh hạ lưu, hệ số tháo qua tràn được điều chỉnh bởi hệ số địa hình  $k_H$ . Để xác định  $k_H$ , theo (2.30) và (3.4), ta có:

$$C_d = f \left[ \frac{H_0}{P}, \frac{H_0}{P_H}, \frac{H_0}{W_u}, \frac{H_0}{L_u} \right] = f \left[ \frac{H_0}{P_H}, C_{d0} \right] = k_H \cdot C_{d0} \text{ hay } k_H = f \left[ \frac{H_0}{P_H} \right]. \quad (3.12)$$

Từ số liệu của luận án, xác định được:

$$\text{- Khi } H_0/P_H < 0,7: k_H = 1,0;$$

$$\text{- Khi } H_0/P_H \geq 0,7: k_H = 1,051 - 0,086 \frac{H_0}{P_H} \quad (3.13)$$

$$\text{+ Khi PKW chảy ngập: } Q_n = \sigma_n \cdot Q_{TD} \quad (3.14)$$

Công thức xác định  $\sigma_n$  được xây dựng từ số liệu của luận án.

$$\sigma_n = 0,974 \left(\frac{Z}{P}\right)^{0,052} \left(1 - \frac{h_n}{H_{n0}}\right)^{0,045} \left(\frac{H_{n0}}{W_u}\right)^{-0,043} \quad (3.15)$$

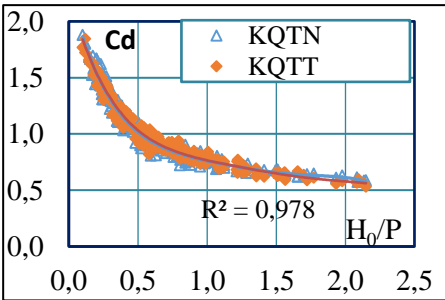
Công thức thực nghiệm (3.15) có kết quả tương quan giữa các đại lượng là rất tốt, đạt  $R=0,883$ ;  $S=0,034$ . Sai số giữa kết quả tính toán theo công thức xây dựng và kết quả thực nghiệm nhỏ, sai số trung bình đạt 3% và sai số tuyệt đối lớn nhất đạt 7%. Phạm vi phù hợp của công thức  $-0,2 < h_n/H_{n0} \leq 0,9$ .

### 3.4. Đánh giá sự phù hợp của công thức thực nghiệm

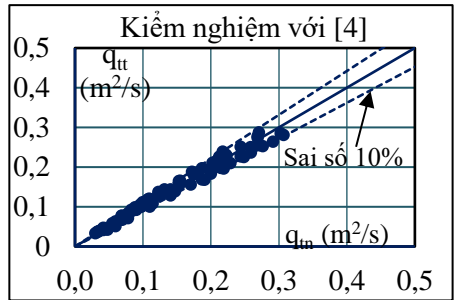
Kiểm nghiệm công thức với hơn 450 số liệu thực nghiệm của 4 nghiên cứu khác nhau cho PKW tiêu chuẩn và so sánh với PKW phi chuẩn cho thấy:

Tính theo công thức (từ 3.9 đến 3.15) cho kết quả phù hợp về xu hướng, phân bố và cho sai số nhỏ khi so sánh với số liệu thực nghiệm. Sai số trung bình lớn nhất khoảng 5% là nhỏ so với sai số của những công thức đã công bố, khoảng từ 10% đến 27%, khi đánh giá với chính tập xây dựng của công thức đó.

Ngoài ra công thức luận án cũng phù hợp để tính cho PKW loại B với sai số trung bình lớn nhất là 7,2%, sai số tuyệt đối lớn nhất mắc phải là 13,5%.

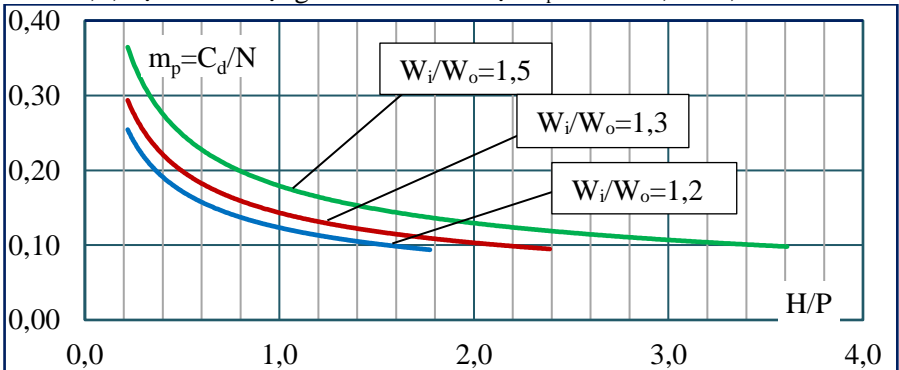


**Hình 3.29** So sánh kết quả tính theo (3.10, 3.11) và số liệu thực nghiệm

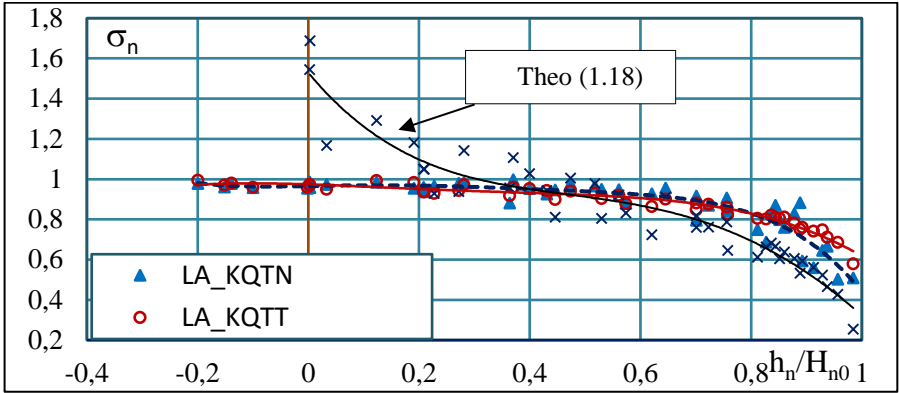


**Hình 3.31** So sánh kết quả tính  $q_{tt}$  theo (3.9) và số liệu thực nghiệm của luận án,  $q_{tm}$

Nếu xét hệ số lưu lượng như tràn truyền thống với chiều dài tràn nước B hay  $m_p = C_d/N$  cho thấy: Khi làm việc với cột nước thấp, hệ số  $m_p$  lớn nhất đạt khoảng  $m_p = 0,25 \div 0,36$ . Khi cột nước tràn tăng,  $m_p$  giảm nhanh, hiệu quả tháo qua tràn giảm. Coi phân bố lưu lượng đơn vị trên chiều dài đường zic zắc là như nhau, với  $H/P = 1,0$ , hệ số lưu lượng của PKW chỉ đạt  $m_p = C_d/N \approx 0,12 \div 0,18$ .



**Hình 3.36** Quan hệ  $m_p \sim H/P$  của tràn piano



**Hình 3.38** So sánh quan hệ  $\sigma_n \sim h_n/H_{n0}$  tính theo công thức (3.15) và (1.18)

### 3.5. Kết luận chương 3

+ Luận án đã xác định đặc trưng thủy động lực học của dòng chảy trên các phím tràn và dòng chảy nối tiếp hạ lưu tràn piano, tạo nên những trạng thái chảy đặc thù khác nhiều so với tràn truyền thống. + Đã xác định được hai trạng thái “chảy không đầy phím ra” và “chảy đầy phím ra” với ranh giới là  $H_0/W_0=0,5$ ; ranh giới ảnh hưởng bởi đáy kênh hạ lưu là  $H_0/P_H=0,7$ ; ranh giới chế độ chảy tự do hoàn toàn, chảy ngập hoàn toàn và vùng quá độ từ chảy tự do sang chảy ngập là  $h_n/H_n=-0,2 \div 0$ ; cũng như phân tích ảnh hưởng của các trạng thái chảy này tới khả năng tháo.

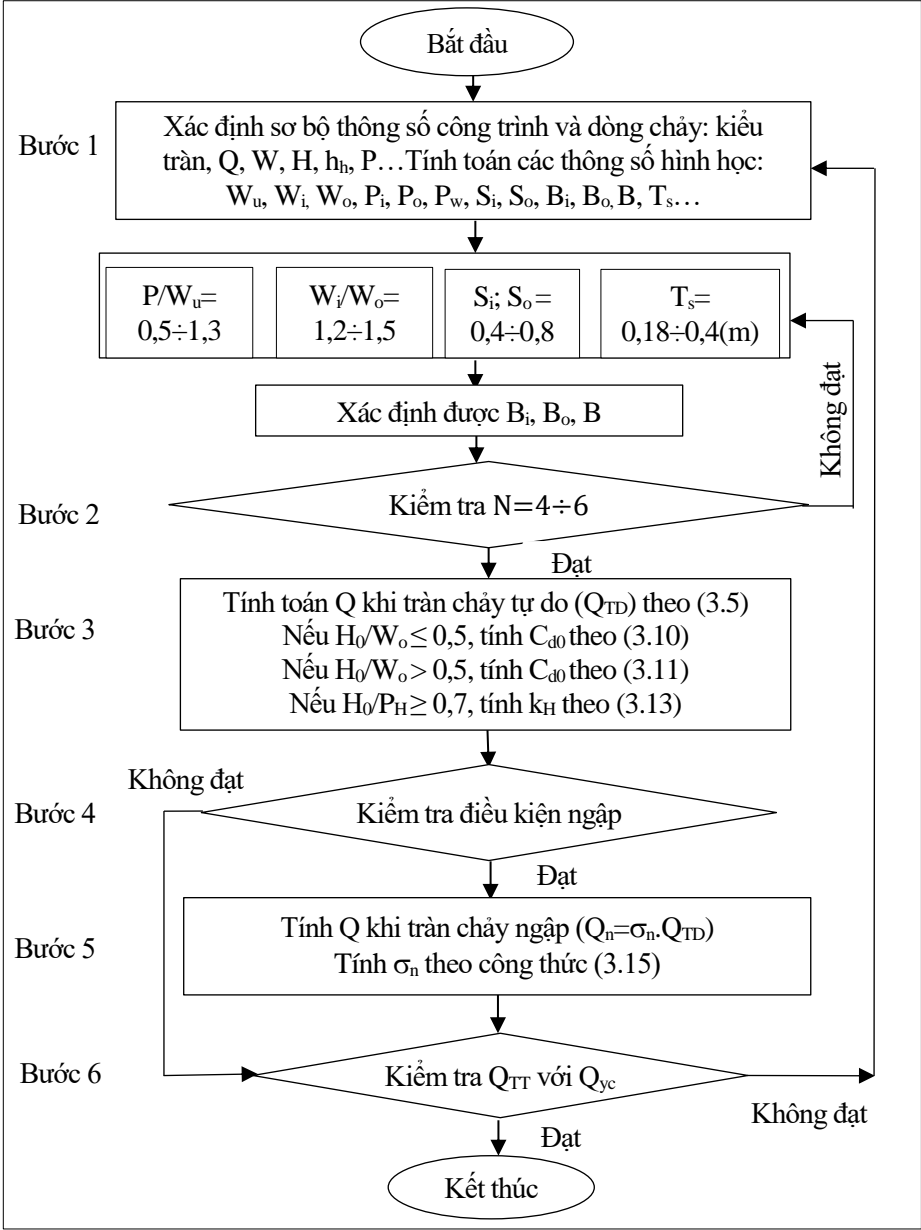
+ Từ số liệu thực nghiệm, luận án đã thiết lập công thức xác định khả năng tháo qua tràn piano chảy tự do và chảy ngập cho tràn loại A,  $N=5$  theo dạng công thức của tràn thực dụng truyền thống. Phạm vi ứng dụng công thức được mở rộng áp dụng phù hợp cho tràn tiêu chuẩn, cột nước tràn  $H_0/P = 0,17 \div 2,5$ ; độ ngập  $-0,2 < h_n/H_{n0} \leq 0,9$ ; Kết cấu tường bên mép lượn tròn. Công thức cũng phù hợp để tính khả năng tháo cho PKW loại B. Công thức cho sai số nhỏ khi so sánh với số liệu thực nghiệm phong phú, cho xu hướng quan hệ phù hợp và phạm vi áp dụng rộng hơn các công thức đã có.

## CHƯƠNG 4: LỰA CHỌN KÍCH THƯỚC HỢP LÝ, TÍNH TOÁN KHẢ NĂNG THÁO CHO CÔNG TRÌNH THỰC TẾ KIỂU PHÍM PIANO

Thứ tự xác định, sắp xếp các yếu tố hình học có ảnh hưởng giảm dần đến khả năng tháo trong tính toán thiết kế tràn piano là: (1): Chọn loại tràn; (2): Chọn chiều cao tràn, chiều rộng đơn phím tức theo tỷ lệ  $P/W_u$ ; (3): Khi có  $W_u$ , lựa chọn

tỷ lệ  $W_i/W_o$  và chiều dày thành bên,  $T_s$ ; (4): Khi có P, chọn chiều dài L thông qua hệ số N tương đương chọn độ dốc đáy phím  $S_i, S_o$ ; (5): Vẽ sơ bộ mặt cắt PKW.

Các bước tính toán xác định Q qua tràn piano như trình bày trên Hình 4.3

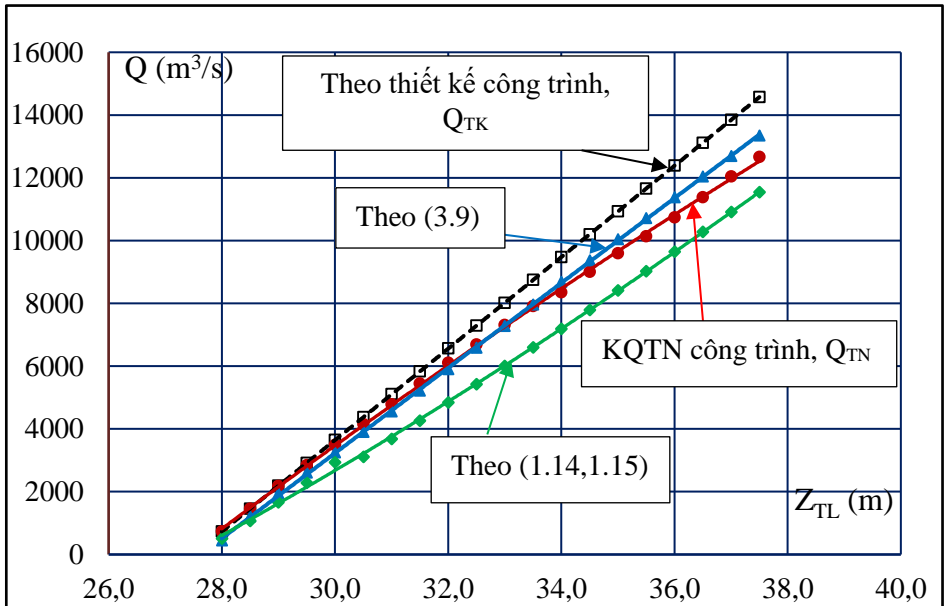


**Hình 4.3** Sơ đồ chi tiết lựa chọn, tính toán khả năng tháo qua tràn piano

#### 4.1. Ứng dụng trong công trình cột nước thấp, đáy kênh hạ lưu hạ thấp – tràn xả lũ Xuân Minh

Tràn xả lũ Xuân Minh được thiết kế, tính toán điều tiết bởi Công ty cổ phần tư vấn xây dựng điện 1 (PECC1) theo nguyên mẫu của tràn Văn Phong và thí nghiệm trên mô hình mặt cắt thông số thực tế của công trình (gọi là kết quả thí nghiệm công trình). Tính toán khả năng tháo cho tràn chảy tự do, tràn chảy ngập của tràn Xuân Minh theo công thức luận án, công thức của tác giả khác (1.14, 1.15), so sánh với số liệu thí nghiệm của công trình và số liệu tính điều tiết của tư vấn thiết kế như thể hiện trên Hình 4.5.

Kết quả cho thấy: Kết quả tính theo công thức luận án thiết lập phù hợp với kết quả thí nghiệm do tư vấn công trình thực hiện và phù hợp hơn nhiều so với kết quả tính toán theo các công thức khác. So với kết quả thí nghiệm công trình, khả năng tháo khi tràn chảy tự do tính theo công thức luận án cho sai số lớn nhất là 10%. Khi tính theo công thức của tác giả khác, sai số này tới 20%. Khi tràn chảy ngập, so với kết quả thí nghiệm công trình, sai số khi tính theo công thức luận án là 7% và theo công thức của tác giả khác là 13%.



**Hình 4.5** So sánh kết quả (KQ) tính theo công thức (3.9) với kết quả theo thiết kế, thí nghiệm công trình và công thức (1.14), (1.15) khi tràn chảy tự do

## **4.2. Ứng dụng cho công trình có đáy kênh hạ lưu bằng chân phím ra – tràn xả lũ Ngàn Trươi**

Kết quả tính toán xác định khả năng tháo qua PKW Ngàn Trươi cho sai số nhỏ so với kết quả thí nghiệm công trình. Sai số tuyệt đối lớn nhất là 3,8% với tràn chảy tự do và 5,2% khi tràn chảy ngập. Theo (3.13), khả năng tháo qua tràn bị ảnh hưởng bởi đáy kênh hạ lưu khi mực nước từ mực nước thiết kế trở lên. Với  $H_{TK}=3,5m$ , hiệu quả tháo giảm 1,5%. Hệ số ngập đạt  $\sigma_n=0,94$ , khi cột nước ngập lớn nhất  $h_n/H_{n0}=0,38$ .

## **4.3. Kết luận chương 4**

1. Luận án đã đưa ra sơ đồ, các bước tính toán, ứng dụng lựa chọn thông số hình học tràn piano giúp người thiết kế có cái nhìn từ tổng quát đến cụ thể, lựa chọn được đơn vị tràn cho tối ưu về khả năng tháo và kinh tế.

2. Luận án đã tính toán, áp dụng cho công trình thực tế không chỉ với tràn loại A,  $N=5$  mà còn với tràn loại B,  $N=6$ . Kết quả tính theo công thức luận án thiết lập phù hợp với kết quả thí nghiệm của công trình và phù hợp hơn so với các công thức hiện có. Sai số lớn nhất tính cho tràn Ngàn Trươi là 3,8% khi chảy tự do, là 5,2% khi chảy ngập và tràn Xuân Minh là 7%. Khi tính theo công thức của tác giả khác, sai số này là 19% và 25%.

# **KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ**

## **I. KẾT LUẬN**

### **1. Các kết luận chung của luận án**

Tràn piano là loại tràn mới, đang được nghiên cứu và áp dụng rộng rãi trong thực tế xây dựng, nâng cấp công trình bởi khả năng tháo lớn, nhưng tràn cũng có nhiều khác biệt về chế độ thủy lực, nối tiếp hạ lưu so với tràn truyền thống. . Luận án đã góp phần làm sáng tỏ và phong phú hơn các hiểu biết về các đặc trưng hình dạng, thủy lực, chế độ chảy qua tràn piano, tạo điều kiện thuận cho công việc thiết kế và vận hành công trình; đã hoàn thành các mục tiêu đặt ra và đạt được các kết quả:

1. Đã tổng quan các kết quả nghiên cứu về tràn piano được công bố tới thời điểm hiện tại. Các nghiên cứu đã đạt được nhiều thành tựu trong xác định ảnh hưởng của kích thước hình học tới khả năng tháo:

+ Trần piano có cấu tạo gồm 20 thông số hình học với 09 thông số chính và chỉ 03 thông số có ảnh hưởng lớn nhất đến khả năng tháo, theo thứ tự: chiều cao tràn, chiều rộng đơn phím và chiều dài phím. + Hình thức tràn và các tỷ lệ kích thước hình học này chỉ ảnh hưởng rõ rệt tới hiệu quả tháo khi tràn làm việc với cột nước  $H/P=0,2\div 0,4$ .

+ Các nghiên cứu đã có còn tồn tại: + Chưa phân tích, xác định các chế độ, trạng thái chảy đặc trưng qua tràn piano khi  $H/P>0,2$  cũng như xem xét ảnh hưởng tới khả năng tháo qua tràn của điều kiện hạ lưu khi đáy kênh cao ngang bằng chân phím ra; + Chưa xác định ranh giới khả năng tháo qua tràn bị ảnh hưởng bởi mực nước hạ lưu và xem xét đến hiện tượng ảnh hưởng tới khả năng tháo khi  $h_n<0$ , như tràn thực dụng có chân không; + Chưa có cấu tạo hay công thức chung ứng dụng tổng quát trong thiết kế tràn piano; + Phạm vi ứng dụng của các công thức tính khả năng tháo giới hạn cho cột nước tràn nhỏ, công trình cụ thể, hoặc cho sai số lớn dù công trình trong miền phù hợp.

2. Luận án sử dụng lý thuyết tương tự, lý thuyết thứ nguyên và mô hình, phương pháp thực nghiệm bằng mô hình vật lý, mô hình toán 3D để thiết lập hàm hồi quy thực nghiệm, các thí nghiệm được bố trí chủ động. Phân tích các số liệu thí nghiệm bằng phần mềm thương mại có sẵn theo công cụ hồi quy thực nghiệm.

### 3. Các kết quả khoa học thu được:

+ Luận án đã xác định được đơn vị tràn piano tiêu chuẩn từ phân tích các nghiên cứu đã có, cho tối ưu về khả năng tháo và kinh tế, có các tỷ lệ hình học trong phạm vi:  $P/W_u=0,5\div 1,3$ ;  $W_i/W_o=1,2\div 1,5$ ;  $N=L/W=4\div 6$ .

+ Lưu lượng tháo qua tràn piano phụ thuộc chủ yếu vào chiều cao tràn  $P$ ,  $P_H$ , chiều rộng tràn  $W$ , chiều rộng phím ra  $W_o$ , chiều dài tràn  $L$ ; khi chảy ngập còn phụ thuộc vào các tham số dòng chảy  $H_0$ ,  $h_h$ ,  $h_n$  và  $z$ .

+ Đã phát hiện và mô tả chi tiết đặc trưng dòng chảy trên tràn và dòng chảy nối tiếp hạ lưu. Các đặc trưng này dọc theo phím nước vào và phím nước ra là rất khác nhau tạo nên những trạng thái chảy đặc thù khác nhiều so với tràn truyền thống.

+ Công thức xác định khả năng tháo được thiết lập phân vùng theo trạng thái của dòng chảy qua tràn piano là “chảy không đầy phím ra” và “chảy đầy phím ra” với ranh giới là  $H_0/W_o=0,5$ ; chảy có ảnh hưởng và không ảnh hưởng



bởi đáy kênh hạ lưu với ranh giới là  $H_0/P_H=0,7$ ; chảy tự do hoàn toàn và chảy ngập hoàn toàn với ranh giới vùng quá độ là  $h_n/H_n=-0,2\div 0$ ;

+ Lưu lượng tháo qua tràn piano tiêu chuẩn tính theo dạng công thức của tràn thực dụng. Lưu lượng tháo qua tràn chảy tự do xác định theo công thức (3.5), hệ số tháo  $C_{d0}$  xác định theo công thức (3.10), (3.11), hệ số  $k_H$  xác định theo (3.13). Sai số trung bình lớn nhất của công thức với tập xây dựng là 2,9%, với tập kiểm định là 6,9%. + Hệ số ngập  $\sigma_n$  xác định theo công thức (3.15). Sai số trung bình lớn nhất là 3%, sai số tuyệt đối lớn nhất là 7%. + Xác định cột nước phân giới  $z_{pg}$  theo công thức (3.2). + Công thức luận án thiết lập với tràn loại A,  $N=5$  nhưng phạm vi áp dụng được mở rộng, phù hợp cho tràn tiêu chuẩn; Phạm vi cột nước tràn  $H_0/P = 0,17\div 2,5$ ; độ ngập  $-0,2 < h_n/H_n \leq 0,9$ . Kết cấu tường bên mép lượn tròn; + Công thức cũng phù hợp để tính khả năng tháo cho tràn loại B, sai số trung bình lớn nhất là 7,2%.

Các công thức xác định lưu lượng tháo qua tràn khi chảy tự do và chảy ngập được thiết lập có dạng đơn giản, tổng quát, sai số nhỏ hơn những công thức đã công bố, phù hợp và thuận lợi khi áp dụng trong tính toán, thiết kế tràn piano cho các công trình có điều kiện khác nhau.

## 2. Các đóng góp mới của luận án

(1). Luận án đã xác định được các trạng thái ranh giới phân định chế độ chảy của dòng qua tràn piano gồm: + Ranh giới trạng thái chảy đầy phím ra và không đầy phím ra là  $H_0/W_0=0,5$ ; + Ranh giới dòng chảy qua tràn có ảnh hưởng và không ảnh hưởng bởi điều kiện hạ lưu (đáy kênh hạ lưu nâng cao) là  $H_0/P_H=0,7$ ; + Ranh giới của trạng thái quá độ giữa chảy tự do hoàn toàn và chảy ngập hoàn toàn là  $h_n/H = -0,2\div 0$ .

(2). Luận án đã xây dựng được công thức xác định hệ số tháo qua tràn piano khi chảy tự do tính theo (3.4) là công thức (3.10), (3.11); hệ số ảnh hưởng bởi địa hình hạ lưu tính theo công thức (3.13); hệ số ngập tính theo công thức (3.15); giá trị cột nước phân giới nối tiếp nước nhảy ngập sau tràn tính theo công thức (3.2).

## II. TỒN TẠI VÀ HẠN CHẾ

+ Kết quả nghiên cứu của luận án mới dừng lại ở bài toán phẳng, trên thực tế nối tiếp thượng, hạ lưu tràn còn bị ảnh hưởng bởi tính không gian theo cả chiều

đứng và chiều ngang do đó nên xem xét tính toán hoặc thí nghiệm trên mô hình tổng thể nếu cần thiết để đảm bảo khả năng tháo cho công trình;

+ Công thức từ (3.9) đến (3.15) xây dựng từ tập số liệu của tràn tiêu chuẩn, loại A; được kiểm chứng phù hợp với số liệu thí nghiệm của tràn loại A và loại B, sai số tuyệt đối lớn nhất mắc phải khi tính cho tràn loại B là 16%, lớn hơn so với tràn loại A (chỉ 8%). Chưa tính toán và kiểm định cho tràn loại C, loại D.

+ Phạm vi phù hợp của công thức là:  $H_0/P = 0,2 \div 2,5$ ;  $P/W_0 = 0,5 \div 1,3$ ;  $W_i/W_0 = 1,2 \div 1,5$ ;  $N = 4 \div 6$ ; Mép đỉnh tường tràn dạng lượn tròn.

### III. KIẾN NGHỊ

+ Sử dụng đơn vị tràn piano tiêu chuẩn để tham khảo cho các nghiên cứu tiếp theo và áp dụng cho thiết kế tràn piano.

+ Sử dụng những số liệu thí nghiệm, đường quan hệ, công thức của luận án để tính toán xác định lưu lượng tháo, đặc trưng thủy động lực học qua tràn piano trong điều kiện chảy tự do, chảy ngập và ảnh hưởng của điều kiện đáy kênh hạ lưu.

### IV. HƯỚNG NGHIÊN CỨU TIẾP THEO

+ Tiếp tục nghiên cứu, kiểm chứng với tràn piano loại C và loại D.

+ Thay đổi hình dạng phím để tăng phạm vi dòng chảy không đầy phím ra (như mở rộng dần phím ra về hạ lưu) nhằm tăng vùng cột nước có khả năng tháo lớn qua tràn piano.

+ Mở rộng phạm vi nghiên cứu nối tiếp thượng hạ lưu tràn, nghiên cứu xác định phạm vi bồi lắng, tháo cây trôi, vật nổi để xác định khả năng tháo qua tràn piano khi bị ảnh hưởng bởi co hẹp bên, cho các kết quả tốt hơn khi áp dụng trong tính toán thiết kế;

+ Nghiên cứu chi tiết hơn về phân bố lưu tốc dòng chảy, áp suất mạch động, khả năng phân tán, tiêu hao năng lượng của dòng chảy ở hạ lưu tràn piano.

+ Nghiên cứu chi tiết để luận giải sự hình thành hình dạng đường mặt nước, nối tiếp dòng chảy trong lòng phím nước ra.

## DANH MỤC CÔNG TRÌNH ĐÃ CÔNG BỐ

1. **PGS.TS.Lê Văn Nghi, Ths.Đoàn Thị Minh Yên**, Xác định ảnh hưởng của độ ngập, co hẹp bên tới khả năng tháo của tràn piano bằng nghiên cứu thực nghiệm, *Tạp chí Khoa học và công nghệ thủy lợi*, tr 09÷16, số 23 tháng 10-2014;
2. **Ths.Đoàn Thị Minh Yên, PGS.TS.Lê Văn Nghi**, Khả năng tháo qua tràn piano loại A chảy tự do, *Tuyển tập khoa học công nghệ Viện Khoa học Thủy lợi Việt Nam năm 2016*, tr 74÷85, Hà nội 2016;
3. **NCS.Đoàn Thị Minh Yên**, Phân tích ảnh hưởng của các đặc trưng hình học đến khả năng tháo và lựa chọn mặt cắt tiêu chuẩn cho tràn piano, *Tạp chí Khoa học và công nghệ thủy lợi*, tr62÷70, số 41 tháng 11 năm 2017;
4. **NCS.Đoàn Thị Minh Yên**, Đặc trưng hình dạng và nối tiếp của dòng chảy qua tràn piano, *Tuyển tập Báo cáo kết quả nghiên cứu của các cán bộ khoa học trẻ Phòng Thí nghiệm trọng điểm QG về DLHSB*, Hà nội, tháng 11 năm 2017;
5. **NCS.Đoàn Thị Minh Yên**, Nghiên cứu xác định ranh giới và hệ số ngập của tràn piano, *Tạp chí Khoa học và công nghệ thủy lợi*, tháng 5 năm 2018 (đã gửi đăng bài, đang chờ phản biện);
6. **LE VAN NGHI, DOAN THI MINH YEN**, Discharge capacity on piano key weirs, *Journal of Applied Water Engineering and Research (JAWER)*, tháng 2 năm 2017 (đã gửi đăng bài, đang chờ phản biện).