

# PHÂN TÍCH ẢNH HƯỞNG CỦA CÁC ĐẶC TRƯNG HÌNH HỌC ĐẾN KHẢ NĂNG THÁO VÀ LỰA CHỌN MẶT CẮT TIÊU CHUẨN CHO TRÀN PIANO

Đoàn Thị Minh Yến

Phòng Thí nghiệm trọng điểm Quốc gia về động lực học sông biển

**Tóm tắt:** Tràn piano tiền thân là tràn Labyrinth kiểu cung cải tiến móng thu nhỏ nhằm xây dựng trên địa hình chật hẹp. Lưu lượng qua tràn piano tăng từ 3 đến 5 lần so với tràn truyền thống do tăng về chiều dài thoát nước dạng zig zắc, đặc biệt khi cột nước nhỏ. Tràn có cấu tạo phức tạp, khả năng tháo qua tràn phụ thuộc vào nhiều thông số hình dạng. Bài báo này trình bày các kết quả nghiên cứu và đi đến lựa chọn mặt cắt tiêu chuẩn cho tràn piano nhằm tối ưu về khả năng tháo và kinh tế. Mặt cắt tràn piano tiêu chuẩn được xác định bởi các tỷ số tỷ lệ chiều dài tràn/chiều rộng tràn từ 4 tới 6 ( $N=L/W=4\div 6$ ); tỷ lệ chiều rộng phím nước vào/phím nước ra từ 1,2 đến 1,5 ( $W_i/W_o=1,2\div 1,5$ ); tỷ lệ giữa chiều cao tràn và chiều rộng đơn phím  $P/W_u=0,5\div 1,3$ ; Độ dốc phím nước vào  $S_i=0,4\div 0,8$ .

**Từ khóa:** Tràn piano (PK Weir), khả năng tháo, cấu tạo hình học.

**Summary:** Piano Key Weir (PKW) was developed from Labyrinth weir, had small footprint may be installed on small foundation surface. Discharge capacity of PKW was increased from 3 to 5 times over traditional spillways due to increased crest lengths, especially when low upstream water head. The geometry of PKW was complexed and its discharge capacity influenced by many geometric parameters. This paper presents the results of exist studies to give standard section of PKW that had optimal hydraulic and technico-economic. The standard section has geometric ratios  $N=4\div 6$ ;  $W_i/W_o=1,2\div 1,5$ ;  $P/W_u=0,5\div 1,3$ ;  $S_i=0,4\div 0,8$ .

**Keywords:** Piano Key Weir, discharge capacity, geometric parameters

## 1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Tràn piano là hình thức công trình tháo được coi là giải pháp kinh tế, kỹ thuật nhất là trong cải tạo nâng cấp công trình xả lũ bởi khả năng tháo qua tràn tăng từ 3 tới 5 lần so với tràn truyền thống, chân tràn có cấu tạo thu nhỏ giảm còn 2/3 so chiều dài đỉnh. Được nghiên cứu từ những năm 1990, cải tiến từ tràn Labyrinth và xây dựng lần đầu tiên ở Pháp (tại đập Goulours) vào năm 2006, đến nay đã có trên thế giới đã có 25 công trình ứng dụng, trên 20 tạp chí và hơn 100 bài báo công bố các

nghiên cứu về loại tràn này.

Tràn piano có cấu tạo gồm hơn 20 thông số hình học, 9 thông số chính với 4 hình thức: kiểu A với hóc phím đối xứng, kiểu B chỉ có hóc phím thượng lưu, kiểu C chỉ có hóc phím hạ lưu và kiểu D không có hóc phím. Ngoài ra có kiểu E là tương tự như kiểu D nhưng đáy phím nằm ngang, có bậc, (Hình 1). Do đó, khả năng tháo qua tràn chịu ảnh hưởng rất nhiều bởi đặc trưng về tỷ lệ hình học.

Trên thế giới, hầu hết ứng dụng xây dựng tràn piano trên đỉnh đập hiện có, giúp chủ động và tăng khả năng thoát lũ do dòng chảy đến hồ tăng cho những đập tràn đang vận hành. Một số ứng dụng làm tràn bên, trên nền địa chất

Ngày nhận bài: 24/10/2017

Ngày thông qua phản biện: 17/11/2017

Ngày duyệt đăng: 22/12/2017

yếu cho đập đất hoặc cho công trình phân lũ ở vùng đồng bằng, công trình xả nước thải cho bể chứa của dự án khai thác mỏ. Ở Việt Nam, tràn piano đã được ứng dụng trong xây mới nhiều công trình thủy điện như Đăk Mi 4B, Đăk Mi 2, Đăk Mi 3, tỉnh Quảng Nam; Vĩnh Sơn 3, tỉnh Bình Định, đặc biệt là ứng dụng sáng tạo cho công trình tháo cột nước thấp tại đập dâng Văn Phong, tỉnh Bình Định, một công trình tràn piano lớn nhất trên thế giới cho đến thời điểm hiện nay.

Tuy nhiên hầu hết các công trình tràn piano này có hình dạng mặt cắt theo một vài mẫu đã được thí nghiệm trên mô hình vật lý như theo nghiên cứu của Lempérière (2003, 2011); Leite Ribeiro và nnk (2009); Erpicum và nnk (2011). Các tràn piano ở Việt nam có cấu tạo mặt cắt giống nhau về tỷ lệ kích thước hình học chính, đều theo nghiên cứu của M. Hồ Tá Khanh và nnk và đều thí nghiệm trên mô hình vật lý.

Đến nay, vẫn chưa có những quy định chung về cấu tạo hình học được áp dụng phổ biến, là cơ sở chung cho thiết kế, tính toán tràn piano như của tràn truyền thống. Bài báo trình bày những phân tích về các đặc trưng hình học ảnh hưởng tới khả năng tháo qua tràn piano của các nghiên cứu đã có, từ đó xác định mặt cắt

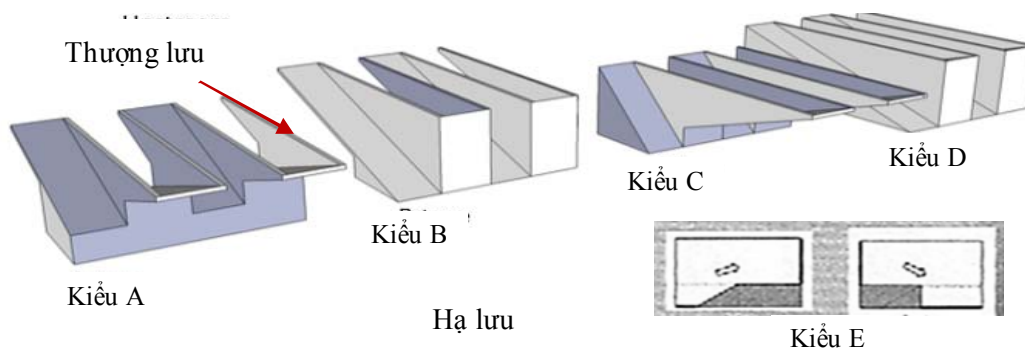
tiêu chuẩn của tràn cho tối ưu về khả năng tháo, thủy lực và kinh tế.

## 2. CẤU TẠO TRÀN PIANO

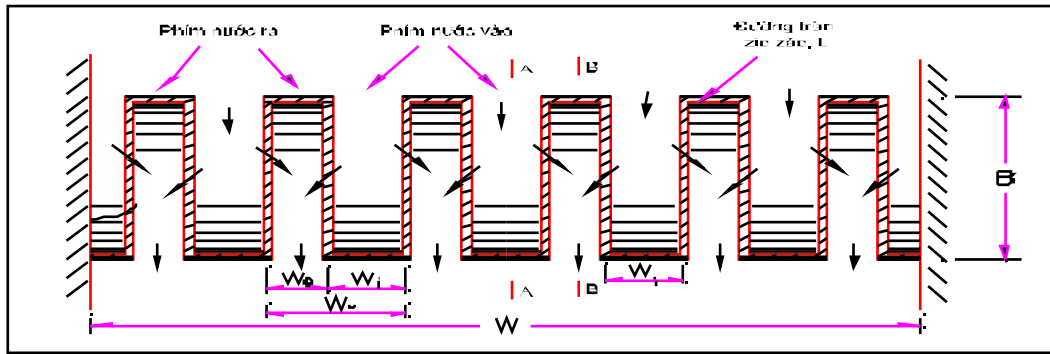
Tràn piano có cấu tạo phức tạp, đường tràn hình zic zắc tạo nên các phím nước vào và phím nước ra. Cấu tạo tràn gồm 9 thông số cơ bản là: chiều cao tràn  $P$ , chiều rộng đơn phím  $W_u$ , chiều rộng phím nước vào  $W_i$ , chiều rộng phím nước ra  $W_o$ , chiều dài phím  $B$ , chiều dài phần nhô của phím vào  $B_i$ , chiều dài phần nhô của phím ra  $B_o$ , độ dốc đáy phím  $S_i$  và chiều dày thành bên phím  $T_s$ ; (0).

Hầu hết các nghiên cứu nhằm tối ưu khả năng tháo là thay đổi các hình dạng tràn theo đại lượng không thứ nguyên. Các đại lượng đặc trưng hình học này chủ yếu là: tỷ lệ giữa chiều cao và chiều rộng đơn phím  $P/W_u$ ; chiều rộng phím nước vào và phím nước ra  $W_i/W_o$ ; tổng chiều dài đường tràn và chiều rộng tràn nước  $N=L/W$ ; chiều dài phần nhô phím nước vào và phím nước ra  $B_i/B_o$ , chiều dài phần nhô của phím và tổng chiều dài phím  $B_i/B$ ,  $B_o/B$ .

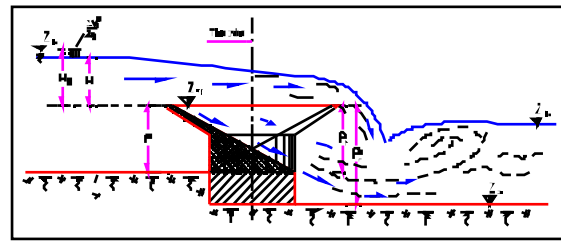
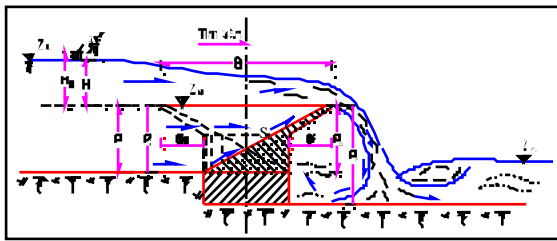
Tràn có hình thức, tỷ lệ cấu tạo hình học khác nhau, khả năng tháo qua tràn cũng khác nhau nhưng chỉ trong mức độ nhất định.



Hình 1. Các kiểu tràn piano, [13], [9]



a. Mặt bằng tràn Piano



b. Cắt ngang tràn qua phím nước vào (A-A) c. Cắt ngang tràn qua phím nước ra (B-B)

Hình 2. Cấu tạo tràn piano

Các ký hiệu thông số tràn Piano

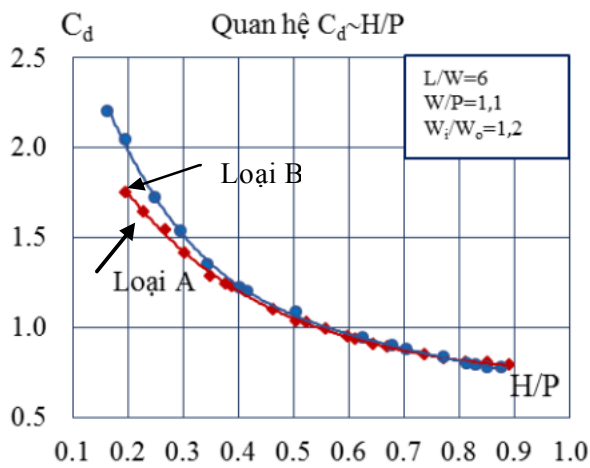
- $Z_{TL}$ : Cao trình mực nước thượng lưu (m)
- $Z_{ng}$ : Cao trình đỉnh ngưỡng tràn (m)
- $H$ : Cột nước tràn tự do, là độ chênh giữa cao trình mực nước thượng lưu hồ với cao trình đỉnh ngưỡng tràn, khi dòng chảy qua tràn là tự do (m);
- $H_0$ : Cột nước tràn tự do có kể tới lưu tốc tới gần (m);
- $Q$  Lưu lượng tháo qua tràn ( $m^3/s$ );  $q$ : Lưu lượng đơn vị ( $m^3/s.m$ );
- $P$ : Chiều cao tràn, là độ chênh giữa cao trình đỉnh tràn và đáy kênh thượng lưu (m);
- $W_i$ : Chiều rộng phím nước vào (m);
- $W_o$ : Chiều rộng phím nước ra (m);
- $W_u$ : Chiều rộng 1 đơn vị phím (đơn phím),  $W_u = W_i + W_o$  (m)
- $B$ : Chiều dài phím; (m);
- $B_i$ : Chiều dài phần nhô hạ lưu (m);  $B_o$ : Chiều dài phần nhô thượng lưu phím (m);
- $S_i$ : Độ dốc đáy phím vào;
- $L$ : Tổng chiều dài đường tràn zic zắc,  $L = W + n.2B$  (m); ( $n$ : số đơn phím)
- $N$ : Hệ số chiều dài đường tràn, bằng tỷ lệ giữa chiều dài tràn và chiều rộng tràn,  $N = L/W$ ;
- $r$ : Hệ số tăng khả năng tháo của tràn piano so tràn truyền thống,  $r = C_d/m$
- $C_d$ : Hệ số tháo của tràn piano,  $C_d = N.m$

### 3. ẢNH HƯỞNG CỦA ĐẶC TRƯNG HÌNH HỌC TỐI KHẢ NĂNG THÁO QUUA TRÀN

#### 3.1. Hình thức tràn

Các nghiên cứu đã xác định được hình thức tràn có ảnh hưởng đáng kể tới khả năng tháo nhưng chỉ rõ rệt với cột nước thấp.

Bằng mô hình vật lý, A.Noui & A.Ouamane (2011) cho thấy, tràn loại B có khả năng tháo tốt hơn loại A với  $H/P < 0,45$ . Khi cột nước tràn



Hình 3. Ảnh hưởng hình thức kiểu A & B, [15].

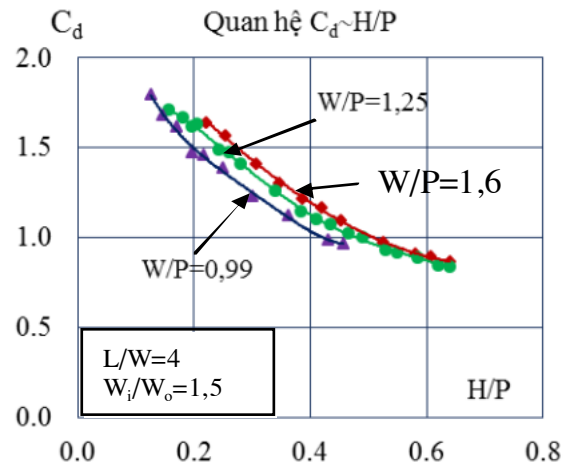
J.Pralong và cs, (2011) bằng mô hình toán 3D cũng cho thấy, tràn loại B hiệu quả hơn tràn loại A khoảng 10% khi cột nước tràn  $H/P < 0,5$ . Đó là do sự khác nhau ở hiệu quả dòng chảy qua tường bên. Tràn loại A hiệu quả hơn ở 1/3 đoạn đầu tường bên trong khi tràn loại B hiệu quả hơn ở 2/3 đoạn sau khi xét cùng một chiều dài phím. Việc tăng chiều dài của phần nhô về thượng lưu (hốc phím thượng lưu) có làm tăng hiệu quả tháo nhưng không đáng kể, chỉ khoảng 2,5%. Hiệu quả tháo có thể tăng lớn nhất khoảng 6% cho tràn loại B với cột nước rất nhỏ  $H/P = 0,12$ , [16].

#### 3.2. Chiều cao tràn P

Các nghiên cứu xem xét ảnh hưởng của chiều cao tràn thường thông qua đại lượng không thứ nguyên là tỷ lệ giữa của chiều cao P và chiều rộng tràn W hoặc chiều rộng đơn phím  $W_u$ .

tăng khả năng tháo của hai loại tràn này là tương tự nhau. (0), (0), [15].

G.M.Cicero & J.R.Delisle (2013) thực hiện với tràn có  $N=L/W=6,5$ ,  $W_i/W_o=1$  và  $0,1 < H/P < 0,8$ , chỉ ra rằng khả năng tháo của các loại tràn giảm dần theo thứ tự loại B, A, D, C. Khả năng tháo của tràn loại B tốt hơn tràn loại A khoảng 5%÷10%, tràn loại A tốt hơn tràn loại C khoảng 15% khi tỷ lệ cột nước thấp, [6].

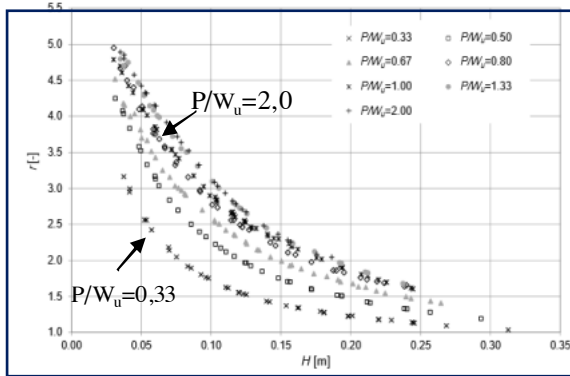


Hình 4. Ảnh hưởng của W/P, [15].

A.Noui & A. Ouamane (2011) với tràn có cột nước thấp  $H/P = 0,15 \div 0,65$  đã xác định, tràn tháo tốt hơn khi tỷ lệ  $W/P$  lớn. Hệ số khả năng tháo tăng khoảng 7% khi  $W/P$  tăng từ 1,25 lên 1,67 với  $H/P = 0,25$  và là 9% khi  $W/P$  tăng từ 0,99 lên 1,25. Hệ số khả năng tháo tăng trung bình từ 4% tới 6% khi tỷ lệ cột nước tràn  $H/P = 0,5$ , (0), [15].

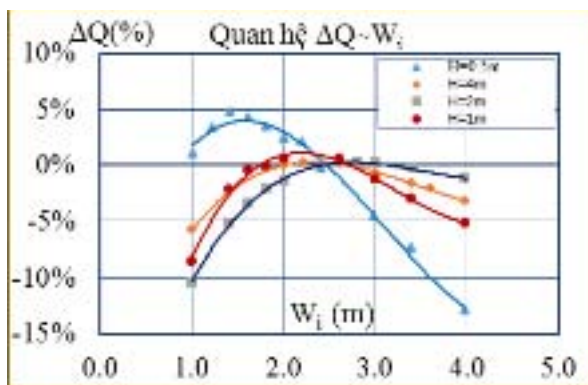
S. Erpicum và cs (2014) nghiên cứu cho tràn có thông số  $N=L/W=5$ , chiều cao phím nước vào và phím nước ra bằng nhau ( $P=P_i=P_o$ ) chỉ ra rằng khả năng tháo qua tràn piano chịu tác động nhất của các yếu tố theo thứ tự là chiều cao tràn, chiều rộng và chiều dài phím. Tối ưu hóa chiều cao tràn, khả năng tháo qua tràn piano tăng gấp 4 lần so với tràn thực dụng với cột nước tràn thấp và là 2 lần với cột nước tràn cao. Tối ưu hóa chiều rộng phím, khả năng tháo tăng

khoảng 30% và tối ưu hóa chiều dài phím khả năng tháo sẽ tăng khoảng 20%.



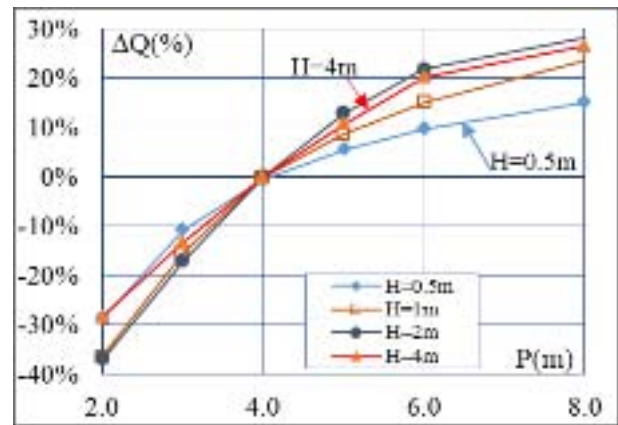
Hình 5. Ảnh hưởng của  $P/W_u$  tới khả năng tháo, [8]

Với cột nước tràn thấp, hệ số tăng khả năng tháo  $r$  dần hội tụ và đạt giá trị lớn nhất khoảng bằng 5 khi  $H/P \approx 0,2$ . Khi cột nước tràn cao, hệ số khả năng tháo giảm nhanh và tiệm cận đến 1. Với  $H/P \approx 2,0$  giá trị  $r$  gần về bằng 1,0, khả năng tháo qua tràn piano tương đương tràn truyền thống. Khả năng tháo qua tràn giảm khoảng 10% khi  $P/W_u$  giảm từ 1,33 xuống 0,83. Mặt cắt tràn tối ưu về khả năng tháo khi tỷ lệ hình học  $P/W_u = 0,5 \div 1,3$ . Nếu ưu tiên về khả năng tháo hơn nên chọn  $P/W_u$  thiên lớn ( $P/W_u \approx 1,3$ ). Để hài hòa kinh tế và khả năng tháo, nên chọn  $P/W_u$  thiên nhỏ ( $P/W_u \approx 0,5$ ), [8].

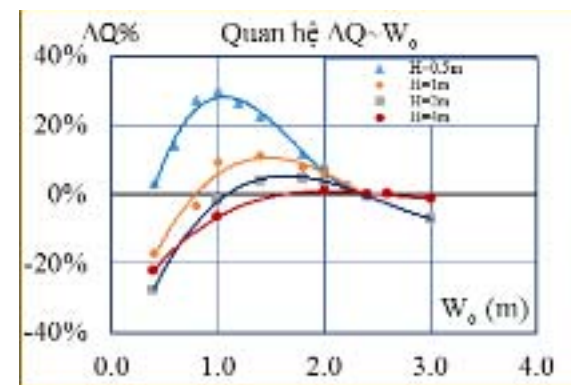


V.Lefebvre và nnk (2013) mô phỏng bằng mô hình 3D với  $P = 2m \div 8m$ , so sánh với tràn  $P=4m$  chỉ ra rằng, khi tràn có  $P < 4m$ ,  $Q$  giảm đáng kể ( $\Delta Q \% < 0$ ) với  $H=1m \div 2m$  và ngược lại, khi tràn có  $P > 4m$ ,  $Q$  qua tràn tăng đáng kể ( $\Delta Q \% > 0$ ) (0). Điều này phù hợp với các kết quả nghiên cứu đã có trên mô hình vật lý bởi với cùng cột nước  $H$ , khi chiều cao tràn  $P$  giảm thì tỷ lệ cột nước  $H/P$  tăng, khả năng tháo qua tràn giảm.

Với cột nước thấp  $H=0,5m$ , hiệu quả tháo tăng khoảng 5% khi  $W_i=1,5m$  và tăng khoảng 20% ÷ 30% khi  $W_i=1m$  so với các kết cấu phím rộng hơn (0), [11].



Hình 6. Ảnh hưởng của chiều cao tràn  $P$  đến hiệu quả tháo lưu lượng  $\Delta Q\%$ , [11].



Hình 7. Ảnh hưởng của chiều rộng phím vào  $W_i$ , phím ra  $W_o$  đến hiệu quả tháo  $\Delta Q\%$ , [11].

### 3.3. Tỷ lệ tổng chiều dài và chiều rộng tràn $N=L/W$ :

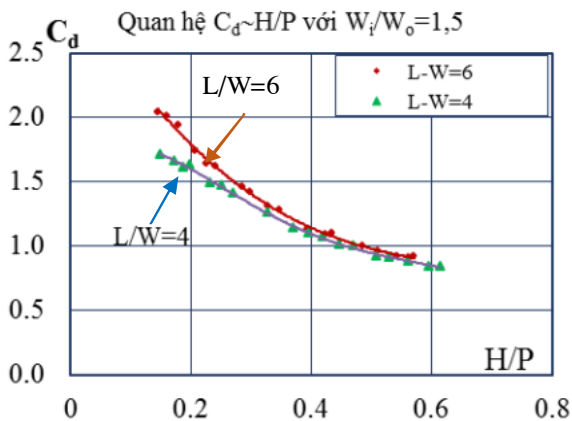
Theo A.Noui & A.Ouamane (2011), hệ số khả

năng tháo của tràn tăng khi tỷ lệ  $N$  giữa chiều dài và chiều rộng tràn lớn,  $Q$  tối ưu tăng khi  $N$  khoảng từ 5 tới 6, nhưng với cột nước tràn thấp



$H/P < 0,3$ . Khi  $H/P > 1,0$ , khả năng tháo của tràn hầu như không phụ thuộc vào thông số  $N$ ; Khả năng tháo tăng khoảng 15% với tràn có cột nước thấp  $H/P=0,2$  và tăng khoảng 8% khi cột nước tràn lớn hơn với  $H/P=0,4$ , (0);

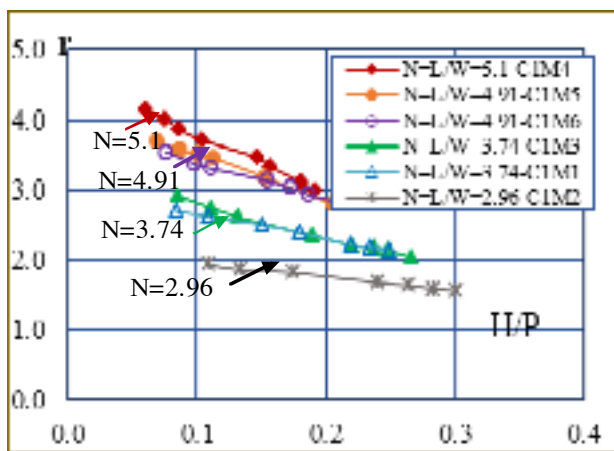
M.Leite Ribeiro và nnk (2011) cho thấy khả



Hình 8. Ảnh hưởng của  $N=4$  &  $6$ , A.Noui & A. Ouamane (2011), [15].

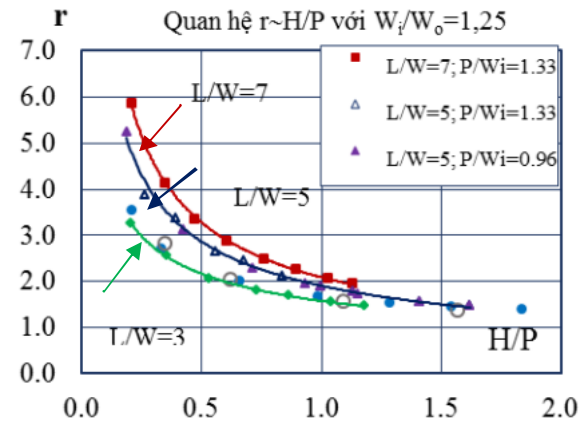
G.Das Singhal & N.Sharma (2011) cho kết quả cũng phù hợp với xu hướng hệ số  $r$  giảm khi tỷ lệ cột nước  $H/P$  tăng, theo đó hệ số khả năng tháo giảm rất nhanh khi tỷ lệ cột nước  $H/P$  tăng từ 0,2 lên 0,4;

Ngoài ra, với  $N$  từ 2,96 đến 5,1. Khi  $N_{max}=5,1$ ,  $r_{max} \approx 4,2$  với  $H/P=0,05$  và  $r_{max} \approx 3,2$  với  $H/P=0,2$  (0), [7].



Hình 10. Ảnh hưởng của  $N=L/W$  tới  $Q$ , [7].

năng tháo của tràn tăng khoảng 50% khi tràn có  $N$  tăng từ 3 lên 7 với  $H/P=0,2$  khi so sánh với tràn thực dụng có hệ số lưu lượng  $m=0,42$ . Với tỷ lệ cột nước  $H/P > 1,2$ , hệ số chiều dài tràn  $N$  ảnh hưởng không đáng kể tới khả năng tháo qua tràn, (0);



Hình 9. Ảnh hưởng của  $N=L/W$ , M.Leite Ribeiro (2011)

Như vậy các nghiên cứu cho thấy tràn piano có khả năng tháo tối ưu khi tỷ lệ giữa tổng chiều dài và chiều rộng tràn  $N=L/W$  từ 4 tới 6 ( $N=4 \div 6$ ).

### 3.4. Tỷ lệ chiều rộng phím nước vào và phím nước ra $W_i/W_o$

Phím nước vào là phạm vi ô đón dòng chảy đến và phím nước ra là ô dòng chảy đi, được giới hạn bởi hai tường bên của mỗi phím. Ảnh hưởng của tỷ lệ  $W_i/W_o$  đến khả năng tháo qua tràn được khẳng định qua các nghiên cứu của M.Leite Ribeiro và nnk (2011), A.Ouamane (2009), A.Noui & A. Ouamane (2011) và O.Machiels và nnk (2014).

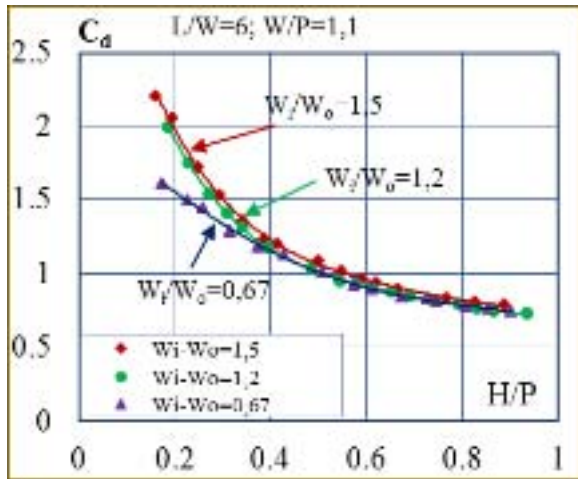
M.Leite Ribeiro và cs (2011) cho thấy, hiệu quả tháo qua tràn sẽ tốt hơn khi  $W_i/W_o > 1$ . Nhưng nếu chiều rộng phím nước vào quá lớn so với phím nước ra, tức tỷ lệ  $W_i/W_o$  lớn tới 1,6 hay 2,0 lần thì khả năng tháo cũng tăng không đáng kể;

O.Machiels và nnk (2014) và A.Noui & A.

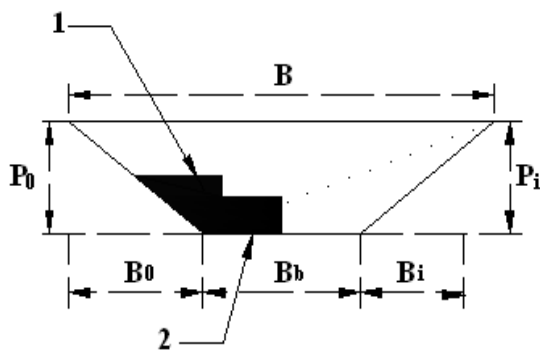
Ouamane (2011) xác định tỷ lệ tối ưu của chiều rộng phím tràn là  $W_i/W_o$  từ 1,2 đến 1,5;

Với cột nước thấp  $H/P < 0,4$ , khả năng tháo qua tràn tăng khoảng 5% khi tỷ lệ chiều rộng  $W_i/W_o$  tăng phím từ 1,2 lên 1,5, trung bình khả năng tháo tăng khoảng 3%.

Hệ số tháo  $C_d$  giảm nhiều khi  $W_i/W_o = 0,67$ .



Hình 11. Ảnh hưởng của tỷ lệ  $W_i/W_o$  tới khả năng tháo, A.Noui & A.Ouamane, [15].



Hình 12. Sơ đồ và kết quả thí nghiệm đáy phím ra bố trí bậc, [5].

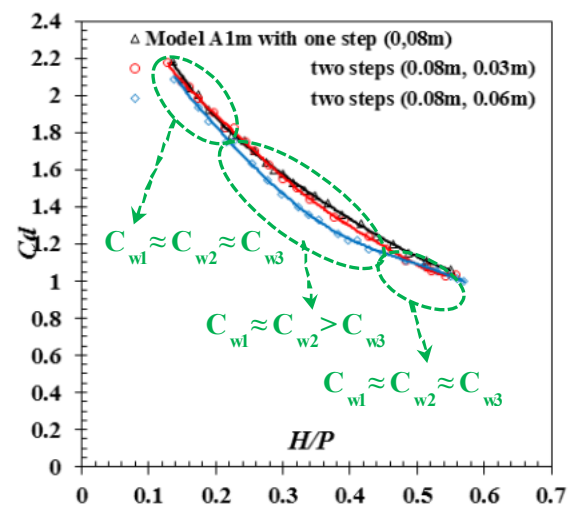
O.Machiels và nnk (2011) nghiên cứu với nhiều giá trị độ dốc đáy phím vào  $S_i$  thay đổi từ 0,25 tới 1,5 đã chỉ ra rằng độ dốc ảnh hưởng không đáng kể tới khả năng tháo; Độ dốc tối ưu về thủy lực là  $S_i$  từ 1,1 đến 1,2, nhưng hài hòa về cả hiệu quả kinh tế và thủy lực là  $S_i = 0,4 \div 0,8$ .

Trong các kết quả trên, giá trị cột nước nhỏ  $H/P < 0,4$  tương đương  $H/W_o < 0,48$ . Tức là, tràn có cột nước nhỏ hơn khoảng  $1/2$  chiều rộng phím ra ( $H < 1/2 W_o$ ), kích thước hình dạng sẽ ảnh hưởng đáng kể tới khả năng tháo qua tràn (thay đổi tới 15%). Khi cột nước lớn,  $H > 1/2 W_o$ , thông số hình học tràn ảnh hưởng không đáng kể tới khả năng tháo (khoảng 3-4%).

### 3.5. Độ dốc đáy phím

Tràn piano có cấu tạo với đáy phím nước vào và phím nước ra có mái dốc tuy nhiên các nghiên cứu cho thấy chỉ độ dốc đáy của phím nước vào có ảnh hưởng tới khả năng tháo;

Theo A.Noui & A. Ouamane (2011), đáy phím nước vào có độ dốc  $S_i > 0$  làm cho dòng chảy qua tràn xuôi thuận hơn về đặc trưng thủy động lực, làm tăng khả năng tháo tới 12% so với tràn có độ dốc đáy phím  $S_i = 0$  khi tỷ lệ cột nước  $H/P > 0,6$ ;



Ngoài ra, trên đáy phím nước ra có thể bố trí các bậc, chiều cao bậc cần nhỏ hơn một nửa chiều cao phím nước ra ( $d \leq 0,5 P_o$ ) để không ảnh hưởng đến khả năng tháo qua tràn, (Belaabed.F và nnk, 2017), (0), [5].

#### 4. KẾT LUẬN

- Bài báo đã trình bày chi tiết các kết quả của nghiên cứu đã có về ảnh hưởng các đặc trưng hình học tới khả năng tháo qua tràn piano như hình thức tràn, chiều cao tràn, chiều rộng và chiều dài phím, độ dốc đáy phím. Hình dạng hình học của tràn chỉ ảnh hưởng đáng kể tới khả năng tháo khi cột nước thấp. Khi cột nước cao, các tràn có cấu tạo hình học khác nhau khả năng tháo khác nhau không đáng kể.
- Các kết quả được biểu thị bởi các đại lượng

không thứ nguyên, có tính đại diện rộng, tổng quát.

- Phân tích, tổng hợp các nghiên cứu cho thấy, tràn piano sẽ cho tối ưu về thủy lực, khả năng tháo và hài hòa kinh tế khi mặt cắt tràn có tỷ lệ hình học tiêu chuẩn (hay gọi là mặt cắt tràn tiêu chuẩn) gồm: tỷ lệ chiều rộng phím nước vào/phím nước ra  $W_i/W_o=1,2\div 1,5$ ; tỷ lệ chiều cao tràn/chiều rộng đơn vị phím  $P/W_u=0,5\div 1,3$ ; tỷ lệ chiều dài zic zắc/chiều rộng tràn  $N=L/W=4\div 6$ ; độ dốc đáy phím vào  $S_i=0,4\div 0,8$ .

#### TÀI LIỆU THAM KHẢO

##### Tiếng Việt

- [1]. Bộ Nông nghiệp và Phát triển nông thôn (2011), *Tiêu chuẩn thiết kế tràn phím đàn Piano áp dụng cho công trình đập dâng Văn Phong*.
- [2]. Nguyễn Cảnh Cầm và nnk (2006), *Giáo trình thủy lực*, Nhà xuất bản Nông Nghiệp, Hà Nội
- [3]. Lê Văn Nghị, Đoàn Thị Minh Yên (2014), “*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, Hà Nội;
- [4]. Đoàn Thị Minh Yên, Lê Văn Nghị (2016), “*Khả năng tháo qua tràn Piano loại A chảy tự do*”, Tuyển tập khoa học công nghệ Viện KH Thủy lợi Việt Nam năm 2016, Hà Nội.

##### Tiếng Anh

- [5]. F.Belaabed, B.Athmani, A.Ouamane & .A.Laiadi (2017), “Study of the influence of submerging on the upstream flow of Piano Key weir (PKW)”, Presented at 3rd International Workshop on Labyrinth and Piano Key Weirs – PKW 2017;
- [6]. G.M.Cicero & J.R.Delisle (2013), “Discharge characteristics of Piano Key weir under submerged flow”, Labyrinth and Piano Key Weirs II – PKW 2013, Published by CRC Press, London, ISBN 978-0-138-00085-8, pp. 101-108;
- [7]. G.Das Singhal & N.Sharma (2011) ), “Rehabilitation of Sawara Kuddu Hydroelectric Project – Model studies of Piano Key Weir in India”, Labyrinth and Piano Key Weirs – PKW 2011, Published by CRC Press, London, ISBN 978-0-415-68282-4 , pp.241-250;
- [8]. S.Erpicum, P.Archambeau, M.Pirotton, and B.J.Dewals (2014), “Geometric parameters influence on Piano Key Weir hydraulic performances”. 5th IAHR International Symposium on Hydraulic Structures, Brisbane, Australia, (1-8). 25-27 June 2014.
- [9]. S. Erpicum, O.Machiels, B.J.Dewals, P.Archambeau, M.Pirotton, (2013b) “Considerations about the optimum design of PKW”, Proc. Intl. Conf. Water Storage and Hydropower Development for Africa (Africa 2013), Addis Ababa (Ethiopia).



- [10]. M.Ho Ta Khanh, T.Chi Hien & N.Thanh Hai (2011), “Main Result of the P.K weir model tests in Viet Nam (2004-2010)”, Labyrinth and Piano Key Weirs – PKW 2011, Published by CRC Press, London, ISBN 978-0-415-68282-4 , pp.191-198;
- [11]. V.Lefebvre, J.Verneulen and B.Blancher (2013), “Influence of geometrical parameters on PK-Weir discharge with 3D numerical analysis”, Labyrinth and Piano Key Weirs II – PKW 2013, Published by CRC Press, London, ISBN 978-0-138-00085-8, pp.49-56;
- [12]. M.Leite Ribeiro, J-L.Boillat, A.J.Schleiss, O.Le.Doucen and F.Laugier (2011), “Experimental parametric study for hydraulic design of PKWs”, Labyrinth and Piano Key Weirs – PKW 2011, Published by CRC Press, London, ISBN 978-0-415-68282-4, pp.183-190;
- [13]. 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;
- [14]. O.Machiels, S.Erpicum, P.Archambeau, B. Dewals & M.Pirotton (2011), “*Influence of the Piano Key Weir height on its discharge capacity*”, Labyrinth and Piano Key Weirs – PKW 2011, Published by CRC Press, London, ISBN 978-0-415-68282-4 , pp.59-66;
- [15]. A.Noui & A.Ouamane (2011), “*Study of optimization of the Piano Key Weir*”, Labyrinth and Piano Key Weirs – PKW 2011, Published by CRC Press, London, ISBN 978-0-415-68282-4, pp.175-182;
- [16]. Pralong,J, Montarros.F, Blancher.B & Laugier.F (2011). “A sensitivity analysis of Piano Key Weirs geometrical parameters based on 3D numerical modeling”, Labyrinth and Piano Key Weirs – PKW 2011, Published by CRC Press, London, ISBN 978-0-415-68282-4 , pp.133-139.