

## NGHIÊN CỨU XÁC ĐỊNH RANH GIỚI CHẢY VÀ HỆ SỐ NGẬP CỦA TRÀN PIANO

Đoàn Thị Minh Yến, Lê Văn Nghị

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

**Tóm tắt:** Tràn piano (PKW) là kiểu công trình tháo có đường tràn bố trí hình zig zắc nhằm tăng chiều dài thoát nước, tăng khả năng tháo so với tràn truyền thống. Khả năng tháo qua PKW sẽ giảm khi tràn chảy ngập, biểu thị bởi hệ số ngập  $\sigma_n$ . Bài báo trình bày kết quả nghiên cứu thực nghiệm trên mô hình mặt cắt, xác định ranh giới quá độ từ chảy tự do hoàn toàn sang chảy ngập hoàn toàn; thiết lập công thức xác định hệ số ngập qua tràn piano. Kết quả tính toán theo công thức thiết lập so sánh với kết quả thực nghiệm cho sai số nhỏ, áp dụng cho dải cột nước rộng, xu hướng phân bố phù hợp với quy luật đặc trưng thủy lực.

**Từ khóa:** Dòng chảy ngập; Mô hình thí nghiệm; Tràn piano.

**Summary:** The piano key weir (PKW) is a type of the discharge structures with a zigzag line to increase the discharge length, increase the discharge ability to unload against a traditional spillway. The discharge ability of PKW will decrease when PKW is in submerged flow, indicated by submerged coefficient  $\sigma_n$ . This article presents the results of experience studies on the section model and establishes the formula for determining boundary of the submerged flow and the formula calculate of submerged flow coefficient. Calculated results according to the establish formula against the experimental results for small error, applies to range of large water head, distribution trend in accordance with hydraulic characteristic rule.

**Keywords:** Submerged flow; Physical experimental model; Piano key weir.

### 1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Tràn piano là tràn kiểu mới được nghiên cứu phát triển mạnh mẽ trong 20 năm gần đây. Tràn có tuyến hình zig zắc tạo nên các ô đón nước và ô thoát nước tựa như các phím đàn (Hình 1). Xuất phát từ nhu cầu sửa chữa, nâng cấp tràn xả lũ hiện hành nên phần lớn các nghiên cứu, ứng dụng cho tràn piano chảy tự do. Từ năm 2004, một số nghiên cứu bước đầu về tràn piano chảy ngập như của các tác giả F.Belaabed & A.Ouamane (2010, 2013), M. Hồ Tá Khanh (2012, 2014), Trương Chí Hiền, Trần Hiếu Thuận và các cộng sự (2004, 2009), Nguyễn Thanh Hải và các cộng sự (2010, 2015),... Tuy nhiên hầu hết các nghiên cứu cho tràn piano

chảy ngập với cột nước hạ lưu tràn luôn cao hơn đỉnh ngưỡng ( $h_n > 0$ ); Các nghiên cứu nước ngoài tập trung trong phạm vi tràn làm việc có độ ngập lớn  $0,65 \leq h_n/H_n \leq 0,99$ ; Các nghiên cứu trong nước phần lớn với những công trình cụ thể như tràn Rạch Đá Hàng – huyện Gò Dầu, tỉnh Tây Ninh [3]; đập dâng Văn Phong, tỉnh Bình Định [7], .. hoặc có nghiên cứu tổng quát trong đề tài cấp Bộ (năm 2015) [2] cho tràn có độ ngập  $h_n/H_n > 0,12 \div 0,33$  nhưng đều với tràn piano có hình dạng mặt cắt cụ thể, kích thước và các thông số công trình là những đại lượng có thứ nguyên.

Năm 2013, nhóm nghiên cứu thực nghiệm tràn xả lũ Ngàn Trươi PA3 của tác giả Lê Văn Nghị

Ngày nhận bài: 06/8/2018

Ngày thông qua phản biện: 20/9/2018

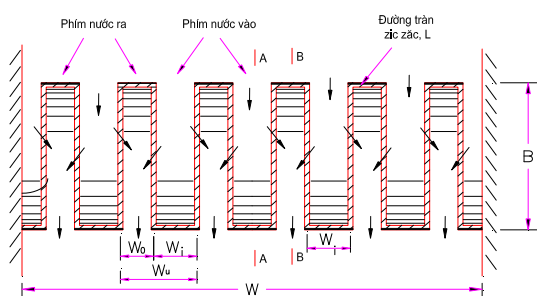
Ngày duyệt đăng: 03/10/2018

và các cộng sự cho thấy xuất hiện trường hợp khả năng tháo của tràn piano vẫn giảm khi mực nước hạ lưu thấp hơn ngưỡng tràn, hệ số ngập của tràn đạt  $\sigma_n=0,998$  với  $h_n/H=-0,17$  [4]. Như vậy, phải chăng khi mực nước sau đập tràn piano thấp hơn đỉnh ngưỡng, tràn piano đã làm việc trong điều kiện ngập, tương đồng với công bố của Rozanop cho tràn thực dụng loại có chân không (loại I- tràn chảy ngập khi  $h_n/H_n>-0,15$ ) [1].

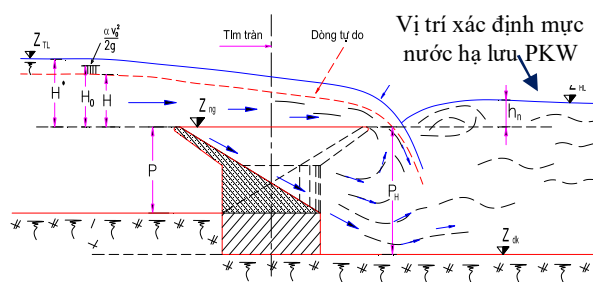
Về công thức xác định hệ số ngập, F.Belaabed & A.Ouamane (2013) thiết lập công thức cho PKW loại A, đã xác định hệ số ngập,  $\sigma_n=Q_n/Q_{TD}$ , là hàm quan hệ theo  $h_n/H_{n0}$ , với  $h_n/H_{n0}>0,68$  [8]. Ở trong nước, kết quả công bố gần đây của Đề tài nghiên cứu khoa học cấp Bộ (2015) “Nghiên cứu ứng dụng tràn có ngưỡng kiểu phím piano vào xây dựng công trình thủy lợi ở Việt Nam”, đã xây dựng công thức thực nghiệm xác định hệ số ngập cho tràn piano công xôn 1 đầu và 2 đầu [2]. Đây là dạng công thức

tổng quát, biểu thị các đại lượng nhằm xác định hệ số ngập của tràn piano với phạm vi độ ngập rộng hơn các nghiên cứu đã có,  $0,12\div 0,33<h_n/H_n\leq 0,99$ . Dù vậy, các công thức này được thiết lập có phạm vi áp dụng hẹp, chỉ cho tràn có hình dạng mặt cắt và trong điều kiện cụ thể, chiều cao hốc phím vào  $P_i = 6.0m$ , chiều dài phím  $B = 12m, 18m$ , cột nước thượng lưu tràn  $1,8m\leq H_{n0}<6,5m, \dots$  Trong khi thực tế ngày càng nhiều các công trình đập dâng trên sông có khả năng thiết kế áp dụng kiểu phím piano như Đập dâng hạ lưu sông Trà Khúc, tỉnh Quảng Ngãi; Đập dâng Lại Giang, tỉnh Bình Định. Do đó, việc xác định vùng làm việc chảy ngập cũng như hệ số ngập tổng quát, chính xác hơn cho tràn piano là cần thiết.

Bài báo này trình bày kết quả nghiên cứu thực nghiệm trên mô hình mặt cắt, xác định trạng thái ranh giới chảy ngập qua tràn piano và thiết lập công thức xác định hệ số ngập qua tràn.



a) Cấu tạo mặt bằng tràn piano



b) Cắt ngang phím nước ra (B-B), tràn chảy ngập.

Hình 1. Chi tiết cấu tạo tràn

Trong đó:

- $Z_{TL}$  (m): Cao trình mực nước thượng lưu;  $Z_{HL}$  (m): Cao trình mực nước hạ lưu;
- $Z_{ng}$  (m): Cao trình đỉnh ngưỡng tràn;
- $H_{n0}$  (m): Cột nước thượng lưu tràn chảy ngập có kể tới lưu tốc tới gần;  $H_n=Z_{TL}-Z_{ng}$
- $h_n$  (m): cột nước hạ lưu tràn,  $h_n=Z_{HL}-Z_{ng}$
- $Q$  ( $m^3/s$ ): Lưu lượng tháo qua tràn;  $q$  ( $m^3/s.m$ ): Lưu lượng đơn vị;

- $P$  (m): Chiều cao tràn;  $P_H$  (m): Chiều cao tràn tính đến đáy kênh hạ lưu;
- $W_u$  (m): Chiều rộng 1 đơn vị tràn (đơn phím),  $W_u=W_i+W_o$  (m)
- $W_i$  (m): Chiều rộng phím nước vào;  $W_o$  (m): Chiều rộng phím nước ra;
- $B$  (m): Chiều dài phím;  $L_u$  (m): Chiều dài đường tràn zíc zắc,  $L=W+n.2B$  (m);

## 2. ĐỐI TƯỢNG, PHẠM VI, PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

## 2.1. Đối tượng, phạm vi nghiên cứu

Nghiên cứu lát cắt dòng chảy qua tràn piano loại A gồm 2 đơn phím, 2 phím nước vào và 2 phím nước ra. Kênh thượng lưu, hạ lưu đảm bảo chiều dài lớn hơn 30 lần H để dòng chảy qua khu vực công trình không bị ảnh hưởng bởi biên cửa vào và cửa ra khi mô phỏng trên mô hình.

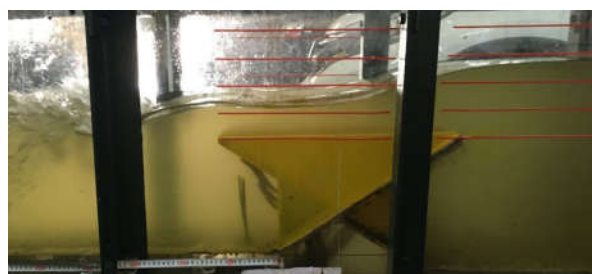
Nghiên cứu với tràn piano có mặt cắt tiêu chuẩn, cho tối ưu về khả năng tháo và kinh tế, đỉnh ngưỡng lượn tròn [6]. Các tỷ lệ kích thước hình học cụ thể của mô hình nghiên cứu là: tỷ lệ chiều cao tràn và chiều rộng đơn phím  $P/W_u = 0,5 \div 1,1$ ; tỷ lệ giữa chiều rộng phím nước vào và phím nước ra  $W_i/W_o = 1,3$ ; tỷ lệ giữa chiều dài zic zắc và chiều rộng tràn  $N = L/W = 5$ ; chiều cao phím nước vào và phím nước ra bằng nhau  $P_o/P_i = 1,0$ ; đáy phím dốc  $i = 0,6$ ; tỷ lệ cột nước tràn và chiều cao tràn là  $H/P = 0,2 \div 2,1$ .

Tràn piano là chảy ngập khi thỏa mãn đồng thời 2 điều kiện, tương tự như tràn truyền thống: (1). Mức nước hạ lưu ảnh hưởng đến khả năng tháo, làm tăng mực nước thượng lưu, giảm lưu lượng qua tràn. (2). Dòng chảy qua tràn nối tiếp hạ lưu

là nước nhảy ngập hoặc không qua nước nhảy, dòng chảy ở ngay hạ lưu tràn là chảy êm.

Tùy theo vị trí xác định mực nước hạ lưu, khái niệm về chảy ngập qua piano sẽ khác nhau gồm: chảy ngập qua ngưỡng và chảy ngập qua tràn. Chảy ngập qua ngưỡng là chế độ chảy ngập khi khả năng tháo qua tràn bị ảnh hưởng bởi mực nước hạ lưu sau ngưỡng hay trong lòng phím nước ra. Chảy ngập qua tràn là khả năng tháo qua tràn bị ảnh hưởng khi xét mực nước hạ lưu trong lòng dẫn hạ lưu sau tràn.

Trong bài báo này, nghiên cứu chảy ngập qua PKW là chế độ chảy ngập qua tràn tác động bởi mực nước ở lòng dẫn hạ lưu, sau đập tràn piano (Hình 1.b); độ ngập  $h_n/H_n = -0,2 \div -0,98$ ;



Hình 2. Chi tiết khu vực đầu mối



Hình 3. Mô hình thí nghiệm trong máng kính

## 2.2. Phương pháp nghiên cứu

Sử dụng phương pháp thực nghiệm trên mô hình vật lý. Dòng chảy qua tràn chịu tác dụng chủ yếu của trọng lực, tương tự theo tiêu chuẩn trọng lực (Froude = idem). Số Reynolds (Re) đạt  $Re_m = 34500 > Re_{gh} = 5000$  thỏa mãn điều kiện dòng chảy làm việc trong khu tự động mô hình.

Ngoài ra để đảm bảo dòng chảy trên mô hình

không bị ảnh hưởng bởi sức căng mặt ngoài, giá trị cột nước thượng lưu nhỏ nhất thí nghiệm là  $H_{min} = 0,03m$ ; Xác định thông số mực nước bằng kim đo mực nước cố định đọc chính xác tới 0,1mm và máy thủy bình Ni04 sai số không vượt quá 0,5mm. Xác định lưu lượng tháo vào mô hình bằng máng lường hình chữ nhật có lắp đập tràn thành mỏng và tính toán bằng công thức Rebeck, sai số nhỏ hơn 1%.

\* Phương pháp thực nghiệm xác định hệ số ngập của tràn là không chế mực nước thượng lưu, ứng với mỗi mực nước hạ lưu sẽ xác định được từng độ ngập  $h_n$  và lưu lượng ngập  $Q_n$  theo các bước:

- Cho lưu lượng  $Q_1$  ( $Q_{TD}$ ) vào mô hình, mở hết cửa cuối cho dòng chảy qua tràn là tự do;
- Khi dòng chảy qua công trình ổn định, xác định được chiều sâu cột nước thượng lưu  $H_{01}$ ;
- Nâng dần cửa cuối cho đến khi mực nước thượng lưu thay đổi, đo được  $H_{02}$ ,  $H_{02} > H_{01}$ ;
- Khi dòng chảy qua công trình ổn định, tháo bớt lưu lượng ra khỏi mô hình cho đến khi  $H_{02} = H_{01}$ ;
- Khi dòng ổn định, thông qua thiết bị đo, xác định được lưu lượng  $Q_2$  ( $Q_n$ ) ứng với  $H_{02} = H_{01}$ , xác định được cột nước thượng, hạ lưu tương ứng  $H_{n0}$ ,  $h_n$ ;
- Từ đó xác định được  $\sigma_n = Q_2/Q_1 = Q_n/Q_{TD}$  tương ứng với độ ngập  $h_n/H_0$ .

### 3. XÁC ĐỊNH RANH GIỚI CHẢY NGẬP VÀ HỆ SỐ NGẬP QUA TRÀN PIANO

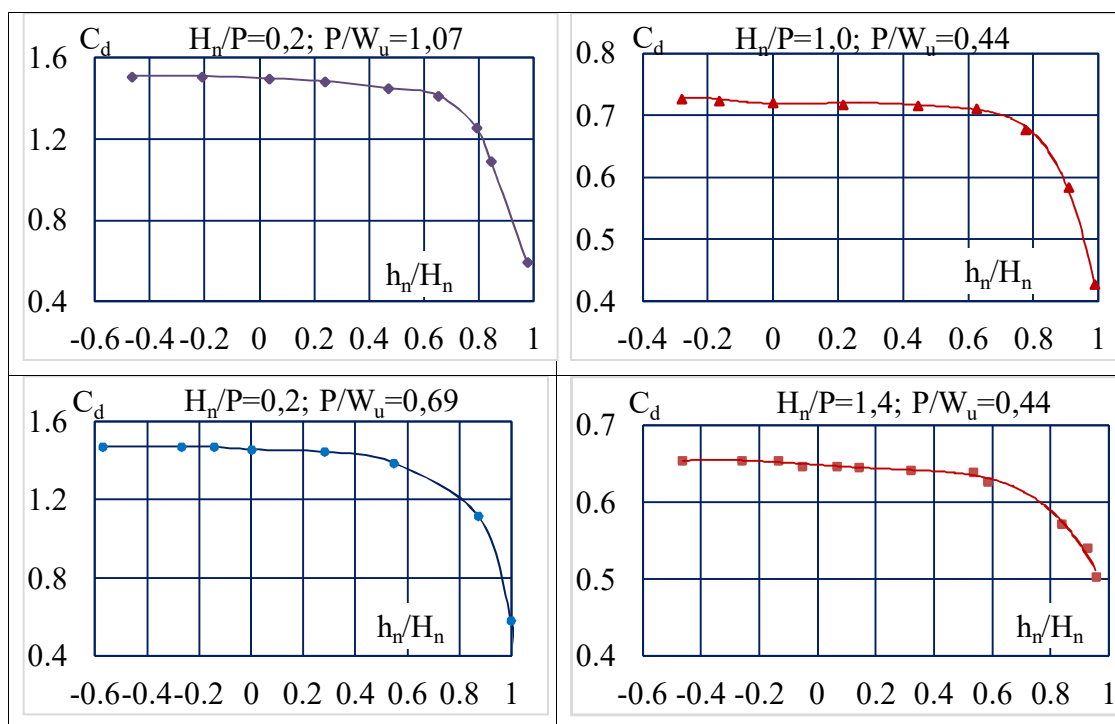
#### 3.1. Xác định ranh giới chảy ngập

Ranh giới chảy ngập là ranh giới khi thay đổi mực nước hạ lưu lớn hơn giá trị này thì có sự giảm khả

năng tháo qua công trình hoặc làm tăng cột nước thượng lưu.

Để xác định ranh giới này, tiến hành thực nghiệm chi tiết theo trình tự: Giữ nguyên cao trình mực nước thượng lưu, nâng dần mực nước hạ lưu (MNHL) trong phạm vi rất nhỏ, tỷ lệ độ sâu ngập đạt từ -0,5 đến 0 ( $h_n/H_n = -0,5 \div 0$ ), kết quả biểu thị trên hình 4 cho thấy:

- Khi  $h_n/H_n \leq -0,2$ , mực nước hạ lưu thay đổi không làm tăng mực nước thượng lưu, lưu lượng qua PKW không bị ảnh hưởng.
- Khi mực nước hạ lưu gần xấp xỉ ngưỡng tràn sao cho cột nước tràn rất nhỏ ( $h_n/H_n \approx -0,2 \div 0$ ), dòng chảy trên phím nước vào bị ảnh hưởng, hình dạng làn nước đổ xuống hạ lưu vòng lên, làm ảnh hưởng dâng mực nước thượng lưu, lưu lượng tháo qua PKW giảm. Mức độ ảnh hưởng giảm khả năng tháo rõ rệt hơn với những trường hợp xả lưu lượng lớn hoặc tỷ lệ cột nước H/P lớn. Trong phạm vi nghiên cứu, mức độ giảm khả năng tháo lớn nhất đạt 4% khi  $h_n/H_n$  tăng từ -0,2 đến 0. Hệ số  $C_d$  là hệ số tháo tổng hợp qua tràn piano.



Hình 4. Quan hệ  $C_d \sim h_n/H_n$  ứng với các trường hợp thí nghiệm

Như vậy chuyển tiếp trạng thái chảy qua tràn piano từ chảy tự do hoàn toàn sang chảy ngập hoàn toàn là vùng quá độ với ranh giới xác định được  $h_n/H_n = -0,2 \pm 0$ .

Một cách khác, để có chảy ngập sau tràn piano, chênh lệch mực nước thượng, hạ lưu đảm bảo nhỏ hơn một giá trị phân giới,  $(z/P_H) < (z/P_H)_{pg}$ ;

Từ số liệu thực nghiệm, sử dụng hàm hồi quy tuyến tính, xác định được công thức xác định giá trị cột nước phân giới theo công thức (1). Ở đây với 6 số liệu thực nghiệm, xây dựng hàm thực nghiệm với 02 biến độc lập là đảm bảo yêu cầu về số thí nghiệm tối thiểu theo qui hoạch thực nghiệm.

$$\left(\frac{Z}{P_H}\right)_{pg} = 0,974 \cdot \left(\frac{H_n}{P}\right)^{0,977} \cdot \left(\frac{H_n}{W_u}\right)^{-0,055} \quad (1)$$

Trong (1), hệ số mũ của  $H/W_u$  rất nhỏ so với  $H/P$ , để thuận lợi cho tính toán, có thể bỏ qua đại lượng  $H/W_u$ , (1) trở thành:

$$z_{pg} = 0,974 \cdot \left(\frac{H_n}{P}\right)^{0,977} \cdot P_H \quad (2)$$

Số liệu thí nghiệm và kết quả tính toán cột nước phân giới theo các công thức (1), (2) chi tiết như trong bảng 1.

**Bảng 1 Kết quả thí nghiệm và tính toán cột nước phân giới**

TT	q (m <sup>2</sup> /s)	$\frac{h_n}{H_{n0}}$	$\frac{H_{n0}}{P}$	$\frac{H_{n0}}{W_u}$	$\left(\frac{Z_{pg}}{P_H}\right)_{tn}$	$\sigma_n$	$\left(\frac{Z_{pg}}{P_H}\right)_{tt}$		Sai số (%) tính theo công thức	
							(1)	(2)	(1)	(2)
1	0,270	-0,157	1,015	0,893	1,050	0,998	0,995	0,989	-5,2	-5,8
2	0,199	-0,119	1,518	0,671	1,520	0,993	1,498	1,465	-1,5	-3,7
3	0,210	-0,066	0,522	0,559	0,501	0,965	0,533	0,516	6,3	3,0
4	0,064	-0,199	0,169	0,181	0,194	0,979	0,188	0,171	-3,0	-11,7
5	0,141	-0,151	1,125	0,497	1,181	0,960	1,136	1,093	-3,8	-7,5
6	0,044	-0,139	0,209	0,144	0,231	0,978	0,235	0,211	1,4	-8,9

\* Sai số được xác định là sai số giữa kết quả tính toán và số liệu thí nghiệm; sai số  $= ((Z_{pg}/P_H)_{tt} - (Z_{pg}/P_H)_{tn}) / (Z_{pg}/P_H)_{tn}$ .

### 3.2. Xác định hệ số ngập

Hệ số ngập  $\sigma_n$  được xác định bằng thực nghiệm với dòng chảy qua tràn là chảy ngập, theo phương pháp trình bày trong mục 2.2.

Xây dựng công thức xác định  $\sigma_n$  từ số liệu thực nghiệm của tác giả. Từ kết quả thí nghiệm biểu thị trong 0, tổng hợp số liệu, phân tích, lập quan hệ giữa các đại lượng hệ số ngập  $\sigma_n$  và tỷ lệ cột nước ngập  $h_n/H_n$ . Sử dụng công cụ phân tích hồi

quy, cực tiểu bình phương sai số, khảo sát và thử nghiệm cho thấy dạng hàm mũ cho kết quả phù hợp nhất. Thiết lập được công thức xác định hệ số ngập dạng hàm mũ:

$$\sigma_n = 0,974 \left(\frac{Z}{P}\right)^{0,052} \left(1 - \frac{h_n}{H_{n0}}\right)^{0,045} \left(\frac{H_{n0}}{W_u}\right)^{-0,043} \quad (3)$$

Công thức thực nghiệm (3) có kết quả tương quan giữa các đại lượng là rất tốt, đạt  $R = 0,883$ ;  $S = 0,034$ . Phạm vi phù hợp của công thức  $-0,2 < h_n/H_{n0} \leq 0,9$ ;  $0,3 \leq P/P_H \leq 1,0$ .

### 3.3. Đánh giá sự phù hợp của công thức thực

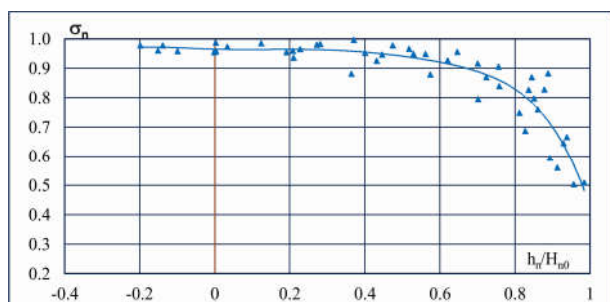


**thực nghiệm**

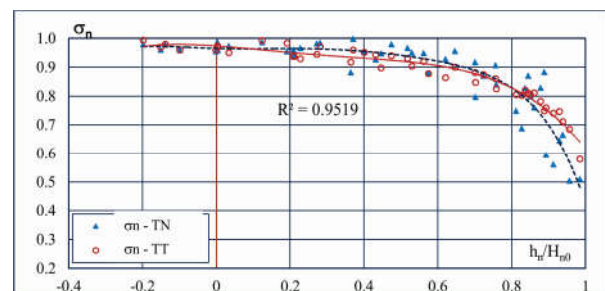
So sánh kết quả tính theo công thức (3) và kết quả thí nghiệm biểu thị trong 0.

Kết quả tính toán theo công thức thực nghiệm được lập cho sai số nhỏ. Sai số trung bình lớn nhất mắc phải là 3% và sai số tuyệt đối lớn nhất mắc phải là 7%.

Xu hướng phân bố của  $\sigma_n$  trong quan hệ  $\sigma_n \sim h_n/H_n$  là phù hợp với quy luật dòng chảy ngập.



Hình 5. Quan hệ giữa hệ số ngập và tỷ lệ cột nước  $\sigma_n \sim h_n/H_n0$

**TÀI LIỆU THAM KHẢO**

- [1]. Nguyễn Văn Cung, Nguyễn Xuân Đặng, Ngô Trí Viêng (1977), “Công trình tháo lũ trong đầu mối hệ thống thủy lợi”, Nxb Khoa học và Kỹ thuật, Hà Nội;
- [2]. Nguyễn Thanh Hải và nnk (2014). “Báo cáo sản phẩm đề tài NCKHCN Nghiên cứu ứng dụng tràn có ngưỡng kiểu phím Piano vào xây dựng công trình thủy lợi ở Việt Nam”, Viện Khoa học Thủy lợi Miền Nam, TP Hồ Chí Minh;
- [3]. Trương Chí Hiền, Trần Hiếu Thuận (2009). “Khả năng tháo nước của đập tràn phím Piano ngưỡng thấp trên kênh tiêu nước”, Tạp chí phát triển Khoa học và Công nghệ;
- [4]. Lê Văn Nghị, Đoàn Thị Minh Yến (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;

Hình 6. So sánh kết quả tính hệ số ngập  $\sigma_n$  theo công thức (3) và kết quả thực nghiệm

Khi độ ngập nhỏ, hệ số ngập có giá trị lớn, với  $h_n/H_n$  gần về 0,  $\sigma_n$  đạt dần tới giá trị 1,0 và ngược lại. Khi độ ngập lớn,  $\sigma_n$  có giá trị nhỏ,  $\sigma_n \approx 0,75$  khi  $h_n/H_n=0,9$ .

**4. KẾT LUẬN**

+ Nghiên cứu đã xác định được ranh giới chế độ chảy tự do hoàn toàn khi  $h_n \leq 0,2$ , chảy ngập hoàn toàn  $h_n > 0$  và vùng quá độ từ chảy tự do sang chảy ngập là  $h_n/H_n = -0,2 \div 0$ .

+ Xác định hệ số ngập  $\sigma_n$  của tràn piano theo công thức (3). Kiểm tra điều kiện chảy ngập qua tràn theo công thức (2).

+ Công thức thực nghiệm được kiểm chứng với số liệu thực nghiệm cho sai số nhỏ, phù hợp về quy luật đặc trưng thủy lực của dòng chảy.

+ Khả năng tháo qua tràn piano chảy ngập được xác định  $Q_n = \sigma_n \cdot Q_{TD}$  với  $Q_{TD}$  là lưu lượng qua tràn piano chảy tự do được xác định theo [5].

Việc tính toán ứng dụng cho công trình thực tế sẽ được trình bày trong bài báo tiếp theo.

‘Khả năng tháo qua tràn Piano loại A chảy tự  
[ Thủy lợi Việt Nam năm 2016, Hà Nội.

- [6]. Đoàn Thị Minh Yến (2018), “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 - số 41, Hà Nội.
- [7]. 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, Hà Nội;
- [8]. Belaabed.F & Ouamane.A (2013). “Submerged flow regimes of Piano Key weir”, Labyrinth and Piano Key Weirs II – PKW 2013, Published by CRC Press, London, ISBN 978-0-138-00085-8, pp. 85-92;
- [9]. M. Ho Ta Khanh (2012). “Utilization of Piano Key Weirs for low barrages”, Hydro 2012, Bilbao, Spain.