

## XÁC ĐỊNH ẢNH HƯỞNG CỦA ĐỘ NGẬP, CO HẸP BÊN TỚI KHẢ NĂNG THÁO QUẢ TRÀN PIANO BẰNG NGHIÊN CỨU THỰC NGHIỆM

PGS.TS. Lê Văn Nghị, ThS. Đoàn Thị Minh Yến

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

**Tóm tắt:** *Tràn Piano (PKW) ngày càng được quan tâm, nghiên cứu, ứng dụng trên thế giới và ở Việt nam. Các đặc trưng thủy động lực học của loại tràn này như khả năng tháo, mức độ sinh chân không sau tràn, phân vùng làm việc (ngập, không ngập)... còn nhiều điểm chưa được rõ ràng, vẫn đang là mối quan tâm của các nhà khoa học và chuyên gia tư vấn. Bài báo trình bày kết quả nghiên cứu thực nghiệm nhằm xác định phạm vi xuất hiện và ảnh hưởng của chế độ chảy ngập, co hẹp bên gây ra bởi các trụ pin tới khả năng tháo quả tràn Piano loại A, nguyên mẫu là tràn Piano - tràn xả lũ Ngân Trươi (PA3) tỉnh Hà Tĩnh.*

**Từ khóa:** *Tràn Piano, khả năng tháo*

**Summary:** *Piano Key Weir is more interests, studied, applied on the world and in Viet nam. Its hydraulic performances as discharge capacity, flow condition has non-aerated, work range (submerged, free flow)... has problems weren't clearly, still being interesting of the scientists and consultants. The article presents the results of empirical research to specify appear range and influence on submerged conditions, influence of the transverse shrinking that was caused by the walls to discharge capacity on PKW configuration A, prototype was Piano Key Weir - Ngan Truoi (PA3) spillway, Ha Tinh province.*

**Key words:** *Piano Key Weir, discharge capacity*

### I. MỞ ĐẦU

Tràn Piano (PKW) ngày càng được quan tâm, nghiên cứu, ứng dụng trên thế giới và ở Việt Nam. Với cùng bề rộng tràn và cột nước làm việc, tràn Piano có khả năng tháo lớn hơn nhiều so với tràn thực dụng (từ 1,5 đến 5 lần), là giải pháp nâng cao khả năng xả cho các công trình tràn xả lũ của hồ chứa, đập dâng trên sông.

Tuy nhiên đến nay chưa có tiêu chuẩn thiết kế chung cho tràn này về mặt thủy lực, trong đó có vấn đề tính toán khả năng tháo. Các nghiên cứu về ảnh hưởng của độ ngập và mức độ co hẹp bên do trụ pin cũng ít được đề cập.

Bài báo trình bày kết quả nghiên cứu bằng thực

nghiệm nhằm xác định phạm vi, mức độ ảnh hưởng của độ ngập và co hẹp bên tới khả năng tháo của tràn piano loại A, với nguyên mẫu là tràn Piano - tràn xả lũ Ngân Trươi PA3, tỉnh Hà Tĩnh.

### II. MÔ HÌNH NGHIÊN CỨU, THIẾT BỊ THÍ NGHIỆM

#### 2.1 Mô hình thí nghiệm

Mô hình nghiên cứu được thiết kế trên nguyên mẫu là tràn Piano Ngân Trươi PA3, mô phỏng mặt cắt 2 khoang tràn piano rộng 30,4m. Mỗi khoang gồm 3 phím tràn có tổng chiều rộng tràn nước theo phương ngang là 13,8m và 2 nửa trụ pin dày 0,7m đỡ cầu công tác. Ngưỡng tràn bằng mực nước dâng bình thường ở cao trình  $\nabla 52,0\text{m}$ . Tràn được thiết kế theo loại A với hệ số lưu lượng khoảng  $m=4,0$ . Các phím tràn được thiết kế dài 9,5m, phím hướng nước vào rộng 2,6m và phím hướng nước ra rộng 2,0m. Tràn cao  $P=2,5\text{m}$  [5]. (1.1.1. Hình 1,

Người phản biện: PGS.TS Trần Quốc Thường

Ngày nhận bài: 05/9/2013

Ngày thông qua phản biện: 20/6/2014

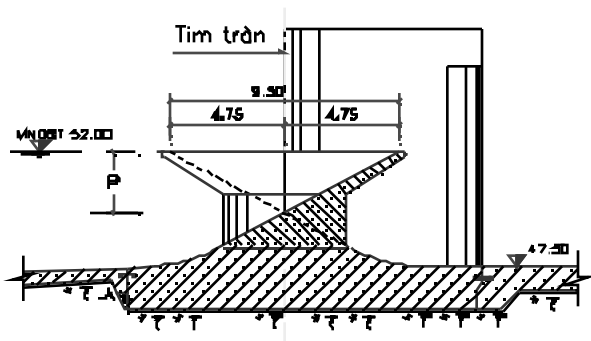
Ngày duyệt đăng: 13/10/2014

1.1.1. Hình 2).

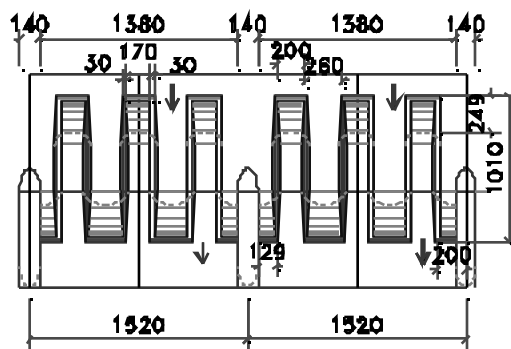
Đảm bảo tương tự về nhám, sử dụng kính hữu cơ để mô phỏng các kết cấu phím tràn, trụ pin đảm bảo hệ số nhám  $n_m = 0,007 \div 0,009$ .

Mô hình được xây dựng trên máng kính rộng

1,0m, có tỷ lệ hình học  $\lambda = 1/30,4$ , tương tự theo tiêu chuẩn trọng lực (Froude=idem), số Reynolds (Re) đạt  $Re_{em} = 47754 > Re_{gh} = 5000$  thỏa mãn điều kiện dòng chảy làm việc trong khu tự động mô hình [4].

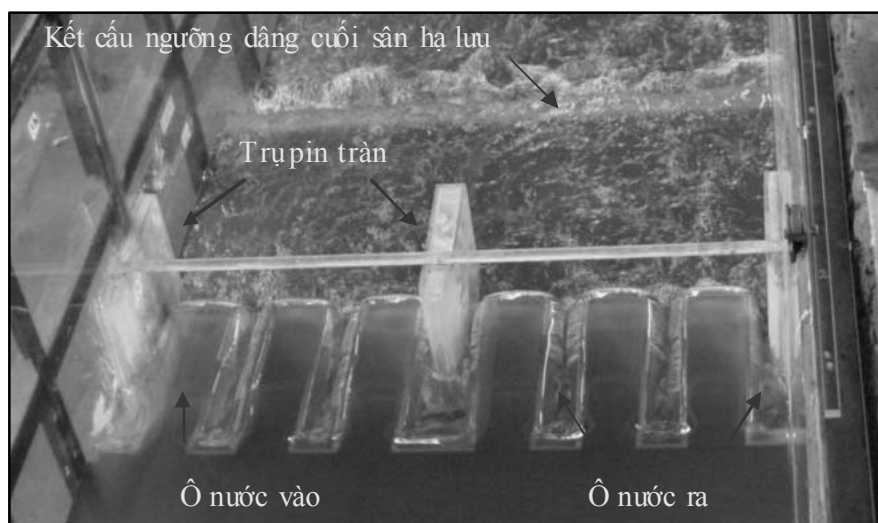


Cắt dọc tràn Piano – loại A



Mặt bằng 2 khoang tràn Piano

Hình 1 Kết cấu tràn Piano thí nghiệm trên mô hình mặt cắt



Hình 2 Tràn Piano thí nghiệm trên mô hình mặt cắt

## 2.2 Các thiết bị đo đạc

Thông số mực nước xác định 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 giá trị lưu tốc trung bình thời gian bằng đầu đo điện tử PEMS E40 do Hà Lan chế tạo; dải đo từ 0,05m/s đến 5,0m/s, sai số của thiết bị đo là 1%. Lưu lượng tháo vào mô hình

được xác định bằng máng lường hình chữ nhật có lắp đập tràn thành mỏng và tính toán bằng công thức Rebeck, sai số nhỏ hơn 1%.

## 2.3 Thông số đầu vào và giới hạn của thí nghiệm

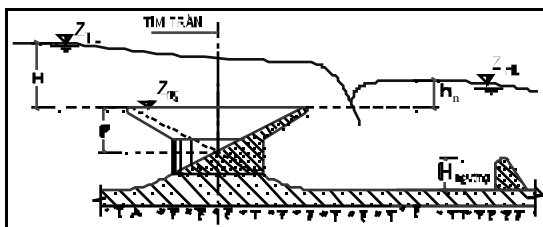
Trong nghiên cứu này xác định hệ số ngập và hệ số co hẹp bên của tràn piano với giá trị cột nước trên ngưỡng tràn trong khoảng  $H =$

4,0m ÷ 1,5m tương đương tỷ lệ H/P = 1,62 ÷ 0,68, gồm 6 trường hợp cụ thể H = 4,00; 3,50; 3,00; 2,62; 2,30 và 1,7m tương đương với mức độ ngập  $h_n/H < 0,5$ ; cột nước trên tràn H nhỏ hơn 1,7 lần chiều cao ngưỡng (H/P < 1,7), tỷ lưu lượng qua tràn nhỏ hơn  $q < 25 \text{ m}^3/\text{m.s}$ .

Để xác định hệ số ngập, tiến hành thí nghiệm ứng với mỗi giá trị cột nước trên tràn có 03 trường hợp mực nước hạ lưu thay đổi bằng cách thay đổi chiều cao ngưỡng dâng bố trí ở cuối sân hạ lưu tràn: chiều cao ngưỡng bằng 0,0m; 1,7m và 1,85m.

Trong đó: H: Cột nước trên tràn không kể lưu tốc tới gần; P: Chiều cao ngưỡng tràn;  $Z_{ng}$ : Cao trình ngưỡng tràn;  $Z_{HL}$ : Cao trình mực nước hạ lưu

$h_n = Z_{HL} - Z_{ng}$ , độ ngập tương đối; khi  $h_n$  có giá trị dương là mực nước hạ lưu cao hơn ngưỡng tràn và ngược lại; (0)



Hình 3: Sơ đồ thủy lực dòng chảy qua tràn Piano

### III. PHƯƠNG PHÁP XÁC ĐỊNH HỆ SỐ NGẬP VÀ CO HẸP BÊN

Sự ảnh hưởng của độ ngập và co hẹp bên tới khả năng tháo của tràn Piano biểu thị qua giá trị của hệ số ngập ( $\sigma_n$ ) và hệ số co hẹp bên ( $\varepsilon$ ) trong công thức xác định khả năng tháo đơn vị tổng quát:  $q = k \cdot \varepsilon \cdot \sigma_n \cdot m \cdot H_0 \cdot \sqrt{P}$ .

Trong nghiên cứu thực nghiệm, hệ số ngập ( $\sigma_n$ ) và hệ số co hẹp bên ( $\varepsilon$ ) là các đại lượng dẫn suất không cho phép đo đạc trực tiếp mà phải tính chuyên thông qua việc xác định thông số lưu lượng tháo, chiều cao cột nước

tràn, chiều sâu dòng chảy ở hạ lưu khi tràn ở các chế độ chảy khác nhau:  $\sigma_n = q_{ngập} / q_{tự}$  do:  $\varepsilon = q_{co\ hẹp} / q_{không\ co\ hẹp}$

Cụ thể, đối với tràn Piano công thức tổng quát xác định tỷ lưu qua tràn trong các trường hợp khác nhau [3,4], như sau:

1. Khi dòng chảy qua tràn là tự do ( $\sigma_n=1$ ) và không có co hẹp ngang ( $\varepsilon=1$ ):

$$q_1 = k \cdot m \cdot H_0 \cdot \sqrt{P} = M_1 \cdot H_0 \cdot \sqrt{P} \quad (1)$$

2. Khi dòng chảy qua tràn là chảy tự do ( $\sigma_n=1$ ) và có co hẹp ngang:

$$q_2 = k \cdot \varepsilon \cdot m \cdot H_0 \cdot \sqrt{P} = M_2 \cdot H_0 \cdot \sqrt{P} \quad (2)$$

3. Khi dòng chảy qua tràn là chảy ngập và có co hẹp ngang:

$$q_3 = k \cdot \varepsilon \cdot \sigma_n \cdot m \cdot H_0 \cdot \sqrt{P} = M_3 \cdot H_0 \cdot \sqrt{P}$$

Trong đó: q ( $\text{m}^3/\text{m.s}$ ) tỷ lưu hay lưu lượng đơn vị qua tràn;  $H_0$ (m) cột nước trước tràn có kể tới lưu tốc tới gần; P(m) Chiều cao ô của tràn phím piano; m Hệ số lưu lượng tiêu chuẩn; k hệ số hình dạng;  $\varepsilon$  Hệ số co hẹp bên;  $\sigma_n$  Hệ số ngập.

Từ (1), (2), và (3) ta có:

$$M_1 = k \cdot m = \frac{q_1}{H_0 \sqrt{P}} \quad (4)$$

$$M_2 = k \cdot \varepsilon \cdot m = \frac{q_2}{H_0 \sqrt{P}} \quad (5)$$

$$M_3 = k \cdot \varepsilon \cdot \sigma_n \cdot m = \frac{q_3}{H_0 \sqrt{P}} \quad (6)$$

$$\text{Từ (4, 5) có: } \varepsilon = \frac{M_2}{M_1} \quad (7);$$

$$\text{Từ (5, 6) có: } \sigma_n = \frac{M_3}{M_2} \quad (8)$$

Để xác định hệ số co hẹp bên theo công thức (7) cần thí nghiệm hai trường hợp:

+ Trường hợp 1: chảy tự do không co hẹp

nhằm xác định  $M_1$  theo công thức (4)

+ Trường hợp 2: chảy tự do có co hẹp nhằm xác định  $M_2$  theo công thức (5).

Để xác định hệ số ngập theo công thức (8) cần thí nghiệm:

+ Trường hợp 3: chảy ngập và có co hẹp bên nhằm xác định  $M_3$  theo công thức (6).

#### IV. KẾT QUẢ THÍ NGHIỆM

**4.1. Trường hợp 1: tràn Piano chảy tự do, không có hẹp bên**

Thí nghiệm tràn làm việc trong chế độ tự do, không có hẹp bên nhằm xác định hệ số lưu lượng  $M_1$ . Trong máng kính tiến hành lắp đặt tràn Piano không có trụ pin, ở cuối sân hạ lưu tràn không bố trí ngưỡng dâng nước (chiều cao ngưỡng bằng 0,0m). Thí nghiệm với 5 cấp cột nước  $H$  trước tràn tương ứng với tỷ lệ  $H/P=1,62; 1,40; 1,20; 1,05; 0,92$ . Kết quả thí nghiệm các thông số thủy lực: lưu lượng, mực nước thượng hạ lưu tràn, lưu tốc dòng chảy và tính toán hệ số  $M_1$  được ghi trong Bảng 1 và Hình 4.

**Bảng 1. Kết quả thí nghiệm chảy tự do, không có co hẹp bên qua tràn Piano**

TT	H (m)	H/P	q (m <sup>3</sup> /s.m)	H <sub>0r</sub> (m)	h <sub>n</sub> (m)	h <sub>n</sub> /H	M <sub>1</sub>
1	4,04	1,62	25,70	4,16	-4,36	-1,08	3,911
2	3,50	1,40	21,96	3,58	-4,60	-1,32	3,880
3	3,00	1,20	18,70	3,07	-4,71	-1,57	3,858
4	2,62	1,05	16,24	2,67	-5,43	-2,07	3,848
5	2,30	0,92	14,17	2,34	-6,40	-2,78	3,831

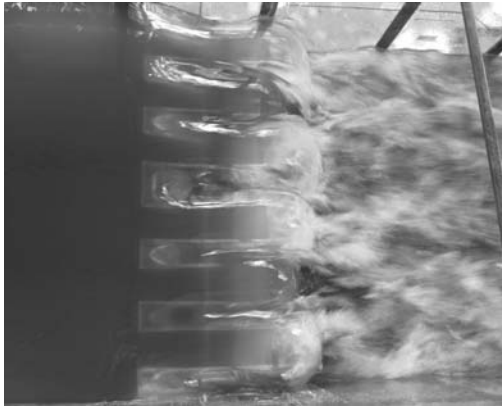
**4.2 Trường hợp 2: tràn Piano chảy tự do, có co hẹp bên**

Giữ nguyên kết cấu tràn của trường hợp 1, tiến hành lắp trụ pin vào ngưỡng tràn gồm 1 trụ giữa và 2 nửa trụ bên. Thí nghiệm đo đạc các thông

số thủy lực ở các vị trí tương tự nhằm xác định hệ số lưu lượng có kể tới co hẹp bên (ký hiệu  $M_2$ ). Kết quả thí nghiệm về khả năng tháo, mực nước thượng hạ lưu tràn, lưu tốc dòng chảy trong trường hợp 2 được ghi trong 0 và 0.

**Bảng 2: Kết quả thí nghiệm trường hợp chảy tự do, có co hẹp bên qua tràn Piano**

TT	H (m)	H/P	q (m <sup>3</sup> /s.m)	H <sub>0r</sub> (m)	h <sub>n</sub> (m)	h <sub>n</sub> /H	M <sub>2</sub>
1	4,04	1,62	24,87	4,14	-4,47	-1,11	3,800
2	3,50	1,40	21,45	3,58	-4,66	-1,33	3,794
3	3,00	1,20	18,38	3,06	-5,05	-1,68	3,799
4	2,62	1,05	16,08	2,67	-5,28	-2,01	3,808
5	2,30	0,92	14,13	2,34	-5,53	-2,40	3,820
6	1,70	0,62	10,43	1,72	-5,73	-3,37	3,831



Chảy tự do, không có hẹp bên



Chảy tự do, có co hẹp bên (có trụ pin)

Hình 4: Chảy tự do qua tràn Piano khi không có bố trí trụ pin

#### 4.3 Trường hợp 3: tràn Piano chảy ngập, có co hẹp bên

Giữ nguyên kết cấu tràn có trụ pin của trường hợp 2, bố trí ngưỡng dâng cuối sân hạ lưu tràn. Tiến hành thí nghiệm với 2 trường hợp chiều cao ngưỡng nhằm xác định hệ số lưu lượng trong trường hợp tràn có co hẹp bên và chảy ngập (ký hiệu  $M_3$ ).

+ Trường hợp 3.1: chiều cao ngưỡng là 1,70m (TH3.1);

+ Trường hợp 3.2: chiều cao ngưỡng là 1,85m (TH3.2).

Kết quả thí nghiệm về khả năng tháo, mực nước thượng hạ lưu tràn, lưu tốc dòng chảy trong trường hợp 3 được ghi trong 0 và 0.

**Bảng 3: Kết quả thí nghiệm chảy ngập và có co hẹp bên qua tràn Piano**

TT	H (m)	H/P	$q$ ( $m^3/s.m$ )	$H_{0tr}$ (m)	$h_n$ (m)	$h_n/H$	$M_3$
I	TH 3.1						
1	4,04	1,62	23,35	4,13	1,55	0,38	3,577
2	3,50	1,40	20,24	3,57	1,01	0,29	3,588
3	3,00	1,20	17,48	3,05	0,63	0,21	3,620
4	2,62	1,05	15,75	2,67	0,30	0,11	3,735
5	2,30	0,92	14,11	2,34	-0,38	-0,17	3,813
6	1,70	0,62	10,64	1,72	-0,91	-0,53	3,905
II	TH 3.2						
1	4,04	1,62	23,03	4,12	1,88	0,46	3,535
2	3,50	1,40	19,95	3,57	1,50	0,43	3,538
3	3,00	1,20	17,26	3,05	1,02	0,34	3,576
4	2,62	1,05	15,51	2,66	0,56	0,21	3,681
5	2,30	0,92	13,84	2,34	0,18	0,08	3,744
6	1,70	0,62	10,43	1,72	-0,44	-0,26	3,831



Chảy tự do  $h_n/H = -0,26$  ( $H/P=0,4$  – dòng chảy không bị ảnh hưởng bởi trụ pin)



Chảy ngập  $h_n/H = -0,17$



Chảy ngập  $h_n/H=0,08$  ( $H/P=0,92$ )



Chảy ngập  $h_n/H = 0,46$  ( $H/P=1,62$ )

Hình 5: Chế độ chảy ngập qua tràn Piano

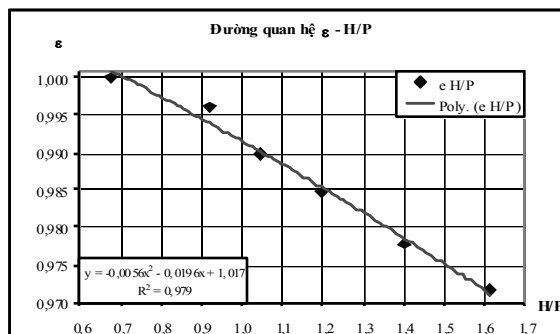
**V. HỆ SỐ CO HẸP NGANG CỦA TRẦN PIANO ( $\epsilon$ )**

**Bảng 4: Kết quả xác định hệ số co hẹp bên của tràn piano**

TT	H (m)	H/P	$M_2$	$M_1$	$\epsilon$
1	4,04	1,62	3,800	3,911	0,972
2	3,50	1,40	3,794	3,880	0,978
3	3,00	1,20	3,799	3,858	0,985
4	3,62	1,05	3,808	3,848	0,990
5	2,30	0,92	3,820	3,831	0,997
6	1,70	0,68	3,830	3,830	1,00

Từ kết quả thí nghiệm trường hợp 1 tại 0 và kết

quả thí nghiệm trường hợp 2 tại 0, tính toán theo công thức (7), thu được kết quả ghi trong Bảng 4. Quan hệ thực nghiệm hệ số co hẹp bên theo đại lượng không thứ nguyên H/P ( $\epsilon=f(H/P)$ ) được thể hiện ở Bảng 4, 0.



Hình 6: Đường quan hệ  $\epsilon \sim H/P$

Kết quả thí nghiệm cho thấy:

- Khi tràn piano làm việc với cột nước thấp  $HP < 0,7$  thì khả năng tháo qua tràn không bị ảnh hưởng bởi cơ hẹp bên do trụ pin sinh ra và ngược lại;
- Khi cột nước tràn lớn gấp 1,6 lần chiều cao ngưỡng tràn P ( $H/P=1,6$ ) thì hiện tượng cơ hẹp bên do trụ pin làm giảm khả năng tháo qua tràn khoảng 3%.

### VI. HỆ SỐ NGẬP CỦA TRÀN PIANO ( $\sigma_n$ )

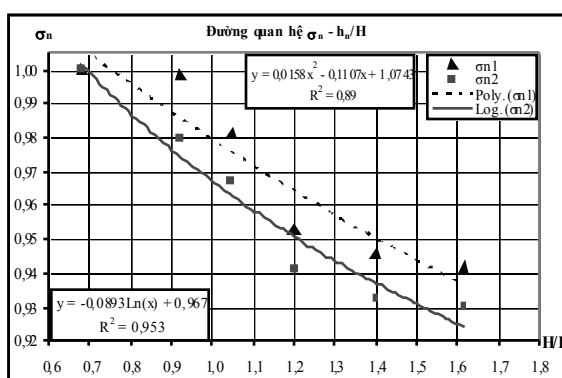
Từ kết quả thí nghiệm trường hợp 2 thể hiện trong Bảng 2 và trường hợp 3 thể hiện trong Bảng 3, tính toán theo công thức (8), thu được kết quả ghi trong 0 và 0. Quan hệ thực nghiệm hệ số ngập theo đại lượng không thứ nguyên  $h_n/H$  ( $\sigma_n = f(h_n/H)$ ) được thể hiện ở 0 và 0.

**Bảng 5: Kết quả giá trị hệ số ngập ( $\sigma_n$ ), hệ số co hẹp ngang ( $\epsilon$ ) của tràn piano**

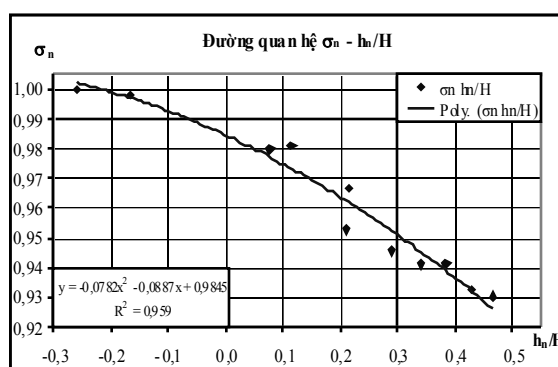
TT	H/P	Trường hợp 2		Trường hợp 3.1			Trường hợp 3.2		
		$M_2$	$h_n/H$	$M_{3-1}$	$h_n/H$	$\sigma_{n1}$	$M_{3-2}$	$h_n/H$	$\sigma_{n2}$
1	1,62	3,800	-1,11	3,577	0,38	0,941	3,535	0,46	0,930
2	1,40	3,794	-1,33	3,588	0,29	0,946	3,538	0,43	0,933
3	1,20	3,799	-1,68	3,620	0,21	0,953	3,576	0,34	0,941
4	1,05	3,808	-2,01	3,735	0,11	0,981	3,681	0,21	0,967
5	0,92	3,820	-2,40	3,813	-0,17	0,998	3,744	0,08	0,980
6	0,68	3,831	-3,37	3,831	-0,53	1,000	3,831	-0,26	1,00

**Bảng 6: Quan hệ giữa mức độ ngập ( $h_n/H$ ) và hệ số ngập**

$h_n/H$	0,46	0,43	0,38	0,34	0,29	0,21
$\sigma_n$	0,930	0,933	0,941	0,941	0,946	0,953
$h_n/H$	0,21	0,11	0,08	-0,17	-0,26	-0,53
$\sigma_n$	0,967	0,981	0,980	0,998	1,00	1,00



Hình 7: Đường quan hệ  $\sigma_n \sim H/P$



Hình 8: Đường quan hệ  $\sigma_n \sim h_n/H$

Kết quả thí nghiệm cho thấy:

- Khi tràn piano làm việc với trị số  $h_n/H \leq -0,2$  thì dòng chảy qua tràn hoàn toàn là chảy tự do, khi  $h_n/H > -0,2$  thì dòng chảy qua tràn có ảnh hưởng của chế độ ngập;

- Khi tràn Piano làm việc với cột nước cao ( $H/P=1,6$ ), dòng chảy qua tràn có độ ngập lớn đạt đến  $h_n/H = 0,5$  thì khả năng tháo qua tràn giảm khoảng 7%;
- Khi tràn Piano làm việc với cột nước thấp ( $HP \leq 0$ ),

dòng chảy qua tràn có độ ngập đạt từ  $h_n/H = 0,1 \div 0,2$  thì khả năng tháo qua tràn giảm từ 1%÷3%.

## VII. KẾT LUẬN

- Kết quả thí nghiệm cho thấy hệ số lưu lượng tiêu chuẩn của tràn Piano loại A trong trường hợp nghiên cứu đạt từ 3,83÷3,91 là thiên nhỏ so với tài liệu nghiên cứu về tràn Piano đã công bố với kết cấu loại A là khoảng 4,0;

- Dòng chảy qua tràn Piano là chảy ngập khi có trị số  $h_n/H > 0,20$  và ngược lại khi  $h_n/H \leq 0,2$  thì dòng chảy qua tràn hoàn toàn là chảy tự do.

- Khi tràn Piano làm việc với cột nước cao ( $H/P = 1,6$ ), dòng chảy qua tràn có độ ngập lớn đạt đến  $h_n/H = 0,5$ , khả năng tháo qua tràn giảm khoảng 7%. Khi tràn Piano làm việc với cột nước thấp ( $H/P \leq 1,0$ ), dòng chảy qua tràn có độ ngập đạt từ  $h_n/H = 0,1 \div 0,2$ , khả năng tháo qua tràn giảm từ 1%÷3%.

- Khi tràn piano làm việc với cột nước thấp  $H/P < 0,7$  khả năng tháo qua tràn không bị ảnh hưởng bởi co hẹp bên do trợn sinh ra và ngược lại. Mức độ ảnh hưởng của co hẹp bên trong nghiên cứu này chỉ đến 3% khả năng tháo của công trình.

- Đối với tràn piano tỷ lưu được xác định với chiều rộng toàn tuyến tràn bao gồm cả khoảng cách trụ pin. Nghiên cứu này chỉ xác định hệ số co hẹp bên của trụ pin với tỷ lệ chiếm chỗ  $B_{trụ}:B_{tràn} = 0,1$  (1,40/13,8). Khi tỷ lệ này thay đổi hệ số co hẹp ngang có thể thay đổi. Nhưng với các trường hợp

khi  $H/P < 0,7$  thì kết quả không thay đổi.

- Các kết quả được trình bày trên đây sử dụng để tính toán khả năng tháo cho tràn piano có kết cấu kiểu A. Hệ số ngập và hệ số co hẹp có thể sử dụng để tham khảo tính toán cho tràn kiểu B. Trong trường hợp các giá trị  $h_n/H$  và  $H/P$  vượt giá trị trên của giới hạn trong nghiên cứu này có thể sử dụng phương pháp ngoại suy tính toán theo biểu thức quan hệ thực nghiệm.

- Tuy giới hạn trong điều kiện nguyên mẫu là tràn Piano Ngàn Trươi Pa3 nhưng kết quả nghiên cứu đã cho thấy trạng thái làm việc của tràn Piano là chảy ngập khi trị số  $h_n/H > 0,2$  mà không phải khi mực nước hạ lưu bắt đầu ngập cao trình ngưỡng tràn như một số tài liệu trước đây về Piano đã công bố. Kết quả nghiên cứu không chỉ thể hiện đặc trưng khả năng tháo qua tràn Piano phụ thuộc đồng thời thông số  $h_n/H$  và  $H/P$  mà còn là những số liệu chi tiết, cụ thể giúp tra cứu, tính toán, thiết kế những công trình tương tự. Nghiên cứu đã xác định được phạm vi, chi tiết mức độ ảnh hưởng của hệ số ngập và hệ số co hẹp ngang (trong đó hệ số co hẹp ngang chưa thấy công bố trong các tài liệu đã có) góp phần dần hoàn thiện nghiên cứu về các đặc trưng thủy động lực học của tràn Piano.

Việc mở rộng giới hạn nghiên cứu nhằm tổng hợp theo hướng khái quát hơn về những đặc trưng thủy lực ảnh hưởng tới khả năng tháo của tràn Piano là một vấn đề thiết thực cần tiếp tục quan tâm nghiên cứu.

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Nguyễn Cảnh Cầm, và nnk (2008), Thủy lực tập 1, 2, nxb Nông Nghiệp.
- [2]. 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
- [3]. Proceedings of the international conference on Labyrinth and Piano Key Weirs (PKW2011), Liège, Belgium, 2011.
- [4]. Lê Văn Nghi, Đoàn Thị Minh Yến và nnk Kết quả thí nghiệm mô hình mặt cắt tràn xả lũ Ngàn Trươi.
- [5]. Trương Chí Hiền, Trần Hiếu Thuận, (2011), Khả năng tháo nước của đập tràn phím Piano ngưỡng thấp trên kênh tiêu nước.
- [6]. Trương Chí Hiền, M. Hồ Tá Khanh, (2013), Nghiên cứu khả năng tháo nước của đập tràn phím Piano loại A, D và Labyrinth chữ nhật.