

NGHIÊN CỨU BỂ TIÊU NĂNG SAU ĐẬP TRÀN PHÍM PIANO LOẠI A (N = 4,3)

TS. Trương Chí Hiền

Trường Đại học Bách khoa Tp. Hồ Chí Minh

Tóm tắt: Nghiên cứu thực nghiệm trên mô hình vật lý nhằm xác định khả năng tháo nước của các loại đập tràn phím piano loại A (N = 4,3) và kích thước bể tiêu năng, áp dụng cho công trình thủy lợi chịu cột áp từ (20 - 25) m.

Việc cung cấp các thông số kỹ thuật về khả năng tháo các loại đập tràn phím piano dạng đối xứng loại A, ở trạng thái chảy tự do và kích thước bể tiêu năng sẽ góp phần đáp ứng yêu cầu chọn loại đập tràn thích hợp phục vụ công tác thiết kế và thi công xây dựng các dự án.

Từ khóa: Lưu lượng năng, đập tràn phím piano loại A, bể tiêu năng, mô tiêu năng, hồ xói.

Summary: Experimental study on physical modeling to determine the discharge capacity of the P.K. weirs Types A (N = 4.3) and the dimension of stilling basin in the hydraulic structures. This research was performed for the hydraulic head ranged from 20 to 25 m for selected dimensionless relationships between the design parameters.

The experimental results will provide the hydraulic characteristics of the P.K. weirs Types A in the free flow and the dimension of stilling basin. These will contribute to select the appropriate type for the design and construction projects.

Keywords: the specific Discharge, the Piano Key Weir type A, stilling basin, baffle blocks, local scour.

1. TỔNG QUAN

Đập tràn phím piano (PKW) có khả năng tháo gấp 4~5 lần khả năng tháo đập tự tràn chính diện [1]. Nó thường được dùng để nâng cao độ tin cậy các đập tự tràn, giảm cao trình mức nước thượng lưu của hồ chứa trong quá trình điều tiết lũ. Khả năng tháo nước của đập tràn phím Piano loại A được nghiên cứu từ năm 2004 [2]. Các dạng khác B và D của đập tràn phím piano cũng đã được nghiên cứu khả năng tháo nước và được công bố năm 2013 [7].

Hiện nay các loại đập tràn phím Piano đã triển khai xây dựng tại các công trình đầu mối thủy lợi-thủy điện như Đăk Mi 4B, Đăk Mi 4C (Quảng Nam), Vân Phong các công trình

đang ở giai đoạn thiết kế như Vĩnh Sơn 3 (Bình Định), Xuân Minh (Thanh Hóa).

Đối với các loại đập tràn truyền thống, tùy thuộc vào lưu lượng tháo lũ, dạng địa hình, điều kiện địa chất công trình, chế độ nối tiếp thủy lực và tiêu năng hạ lưu có thể ở dạng dòng chảy, dòng mặt, dòng hỗn hợp chảy mặt-đáy. Tuy cùng chiều rộng tuyến tràn B nhưng lưu lượng tháo của đập tràn phím piano cao gấp nhiều lần so với đập tràn truyền thống và tính chất phân bố lưu lượng riêng q không đều trên đoạn L_r sau thân đập (h.1), nơi mà dòng chảy hình thành từ lưu lượng tháo sau các phím vào, phím ra, phím dọc hợp nhất, kèm theo là hiện tượng hàm khí. Các xáo trộn này gây khó khăn trong việc xác định chiều sâu dòng chảy trước nước nhảy, đồng thời làm cho việc áp dụng các công thức tính toán tiêu năng truyền thống cho đập tràn phím piano không còn thích hợp.

Người phân biên: PGS.TS Lê Văn Nghị

Ngày nhận bài: 20/3/2015

Ngày thông qua phân biên: 20/4/2015

Ngày duyệt đăng: 05/6/2015

Tương tự như đập tràn truyền thống, việc nghiên cứu các giải pháp tiêu năng cho đập tràn phím piano bằng thí nghiệm là rất cần thiết nhằm góp phần đảm bảo an toàn cho hạ lưu tràn và nâng cao độ tin cậy của hệ thống trong vận hành. Trong đề tài này hình thức tiêu năng bằng bể tiêu năng ở hạ lưu công trình (có chiều cao trung bình 20~ 25m) được chọn để nghiên cứu bằng thí nghiệm trên mô hình vật lý đập tràn phím piano loại A với $N=4,3$.

2. THÍ NGHIỆM

Thiết bị thí nghiệm chính gồm: máy bơm nước, mô hình đập tràn phím Piano với bề tiêu năng đặt trong máng kính thí nghiệm dài 4,5 m và rộng $B=60$ cm. Nước được cấp bởi máy bơm, sau khi qua lưới giảm sóng đặt ở đầu máng sẽ được tháo qua mô hình đập tràn và bề tiêu năng đặt trong máng kính. Sau máng kính nước sẽ được chuyển xuống một kênh hạ lưu, dài 7 m, rộng 0,6 m lòng kênh láng vữa xi măng. Cuối kênh hạ lưu lắp cửa van để điều khiển mực nước hạ lưu. Nước sau cửa van điều tiết mực nước hạ lưu được chuyển vào kênh dẫn dài 9 m, rộng 0,75 m. Ở cuối kênh dẫn có lắp đặt đập tràn thành mỏng đo lưu lượng.

Mực nước thượng lưu trong máng thí nghiệm và kênh tháo hạ lưu được đo bằng kim đo, đo cao trình mực nước nhờ nút điều chỉnh và cao độ của mũi kim được xác định nhờ du xích. Độ chính xác là 0.05 mm.

Mô hình thí nghiệm đập tràn PKW loại A được trình bày như Hình 1. Căn cứ vào các điều kiện hiện có của máng thí nghiệm, kích thước kênh tháo và khả năng cung cấp lưu lượng của máy bơm, chọn mô hình thí nghiệm không biến dạng theo tiêu chuẩn tương tự trọng lực, có tỷ lệ hình học $\lambda_L=50$ được thực hiện giống nhau trong các phương án thí nghiệm. Các thông số hình học của mô hình đập tràn PKW loại A được chọn như sau:

Chiều cao tràn P_1 (m)	10,5
Tổng chiều dài ngưỡng tràn L (m)	130

Chiều rộng tràn B (m)	30
Chiều dày tường tràn T_s (m)	0,5
Chiều dài phím dọc W_L (m)	25
Chiều rộng phần vào W_i (m)	7.0 và 3,5
Chiều rộng phần ra W_o (m)	7,0
N =tổng chiều dài tràn L/B	4,3

Các số liệu trong các phần dưới đây được trình bày theo kích thước nguyên hình. Mô hình được thí nghiệm với lưu lượng riêng $q=Q/B=(8\sim 32)$ m³/s.m, chiều cao cột nước tràn toàn phần H_o thay đổi trong phạm vi từ (0,8 ~ 3,4) m. Hai phương án gia cố lòng dẫn hạ lưu dài 120 m gồm cát ($D_{50}=0.22$ mm - kích thước mô hình) và đá mi ($D_{50}=7$ mm - kích thước mô hình), được chọn sau khi có kết quả đo vận tốc đáy trong kênh hạ lưu ở phương án thí nghiệm với vật liệu đáy lòng dẫn là lớp cát).

Thí nghiệm được tiến hành theo 2 giai đoạn:

- Giai đoạn 1: thí nghiệm xác định khả năng tháo của đập tràn PKW loại A ($N=4,3$).
- Giai đoạn 2: thí nghiệm tìm các thông số nước nhảy cho mô hình lòng cứng (thí nghiệm 1).
- Giai đoạn 3: thí nghiệm tìm các thông số chiều sâu bề tiêu năng có mô tiêu năng chiều sâu hố xói sau bề tiêu năng cho mô hình lòng mềm là cát (thí nghiệm 2) và đá mi (thí nghiệm 3, 4, 5).

3. KẾT QUẢ THÍ NGHIỆM MÔ HÌNH

3.1. Trạng thái chảy tự do

Kết quả thí nghiệm xác định lưu lượng tháo $q=Q/B$ (m³/s.m) theo cột nước toàn phần H_o (m) cho đập tràn PKW loại A được mô tả trên hình 2 và 3. Các đồ thị này cho thấy:

- Lưu lượng riêng của đập tràn PKW loại A ($N=4,3$) với $H_o=(0,8-3,4)$ m được mô tả bằng phương trình hồi quy:

$$q_{PKA}=9.0492 H_o + 1.066 \text{ với } R^2=0.981 \quad (1)$$

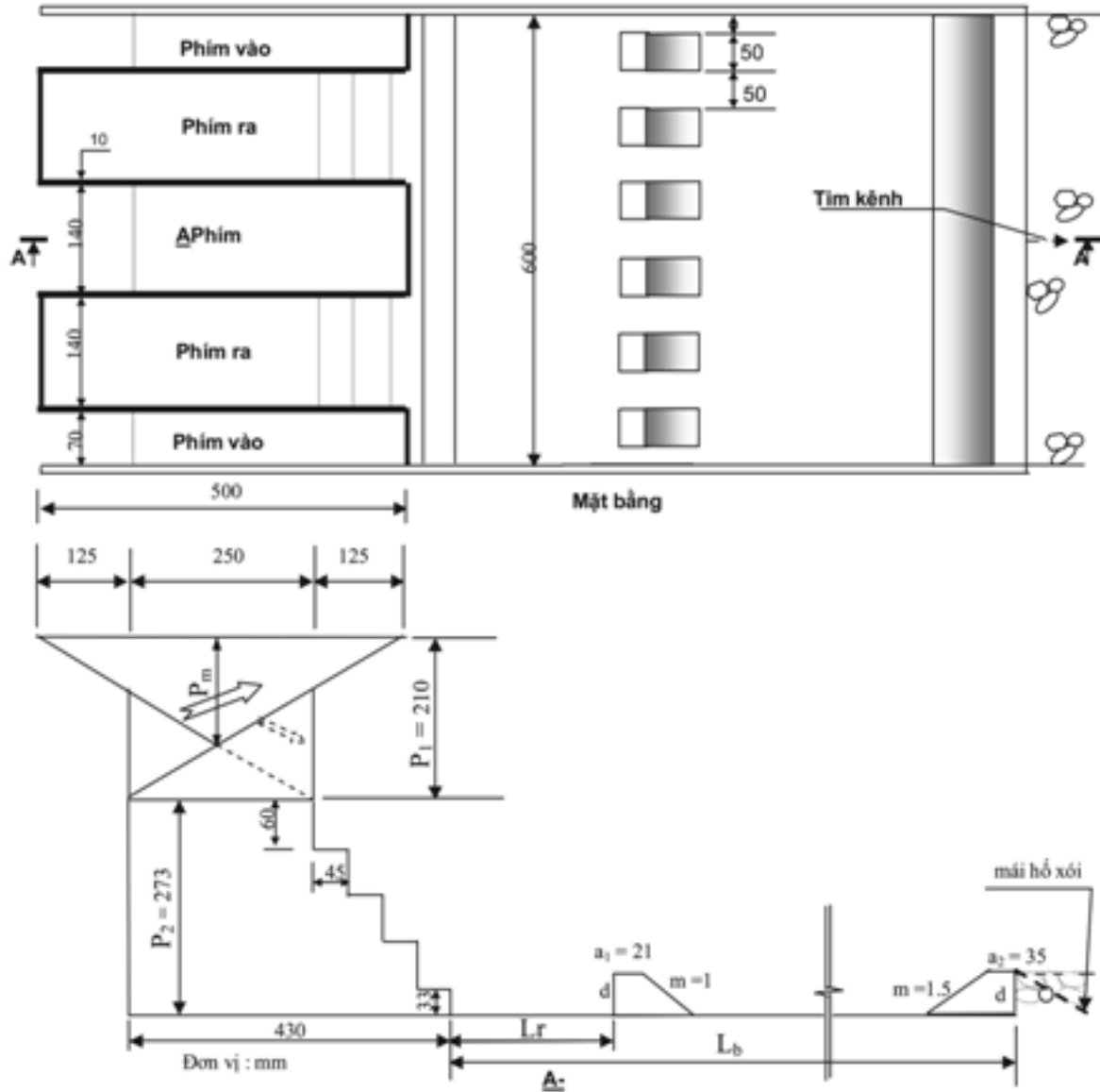
Nếu biểu diễn q_{PKA} theo biến số H_o/P_1 [5]

như hình 3 ta nhận được phương trình hồi quy sau đây ($R^2 = 0,998$):

$$q_{PKA} = 3.5784 \sqrt{P_m} \sqrt{F_m} \quad (2)$$

Sơ với giá trị $q_{PKA} = 4.3 \sqrt{P_m} \sqrt{F_m}$ khi $N = 5$ [6] thì phương trình (4) hợp lý. chấp nhận được.

- Đối với cùng giá trị H_0 , lưu lượng tràn của đập tràn phím Piano loại A (q_{PKA}) cao hơn lưu lượng tháo qua đập tràn Creager ($q_{Creager}$) từ 2,2 đến 3,5 lần.



Hình 1: Mặt bằng, cắt dọc mô hình đập tràn PKW loại A ($N = 4,3$) và bề tiêu năng sau tràn.

3.2. Thí nghiệm phương án 1

Phương án 1 có mô hình lòng cứng, không bề tiêu năng, lưu lượng riêng tháo qua tràn là $q = 7.0 \sim 31.8$ ($m^3/s.m$). Chiều sâu dòng chảy hạ

lưu mô hình h_d được thay đổi để tạo nước nhảy ngập và ước lượng chiều dài bề tiêu năng L_b cho các thí nghiệm tiếp theo.

Các ký hiệu được sử dụng như sau:

H_u - cột nước thượng lưu trên ngưỡng tràn ở chế độ chảy tự do;

v_u - vận tốc dòng chảy thượng lưu ngưỡng tràn;

H_0 - cột nước toàn phần thượng lưu trên ngưỡng tràn ở chế độ chảy tự do;

h_d - chiều sâu dòng chảy hạ lưu;

Z_D - cao trình mực nước hạ lưu;

Z_U - cao trình mực nước thượng lưu;

Z_C - cao trình ngưỡng tràn;

B - chiều rộng tuyến tràn.

P_1 - chiều cao đập tràn phím piano;

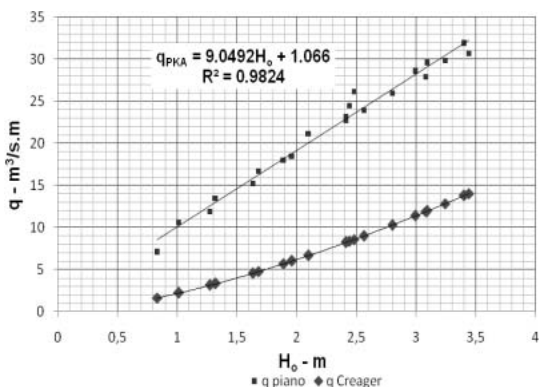
P_2 - chiều cao đập không tràn dạng bậc;

P_m - chiều cao đập tràn phím piano tại điểm giao nhau của phím vào và phím ra;

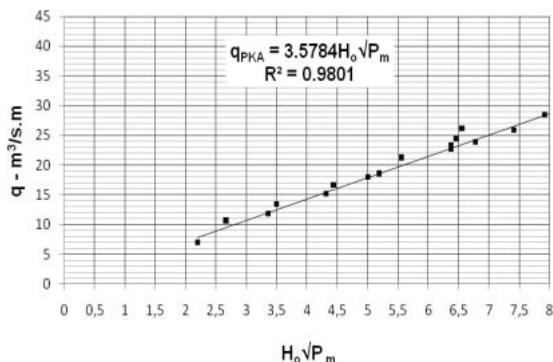
L_n - chiều dài nước nhảy;

L_r - khoảng cách từ chân đập không tràn đến mặt cắt trước nước nhảy;

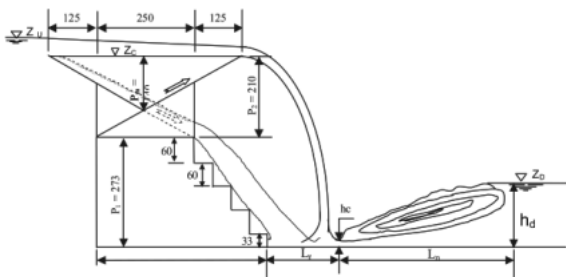
Kết quả thí nghiệm đo các giá trị L_r, L_n được cho trong bảng 1:



Hình 2: Phương trình hồi quy $q = f(H_0)$ của đập tràn PKW loại A ($N=4,3$) và đập tràn Creager



Hình 3: Phương trình hồi quy $q = f(H_0 \sqrt{P_m})$ của đập tràn PKW loại A ($N=4,3$)



Hình 4: Nước nhảy sau đập tràn PKW loại A ($N=4,3$)

h_c - chiều sâu dòng chảy trước nước nhảy;

Bảng 1: Kết quả thí nghiệm đo các giá trị L_r, L_n

No	H_u (m)	q ($m^3/s.m$)	L_r (m)	L_n (m)	h_d (m)
1209365A	1.96	18.488	9.2	49.2	6.3
1209385A	2.41	23.164	10.8	45.3	7.0
1209405A	2.99	28.485	11.75	71.0	8.0
1609330A	1.27	11.860	8.0	25.0	5.0
1609345A	1.63	15.232	8.8	35.0	6.0

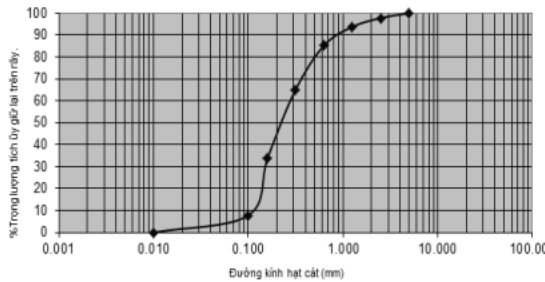
Dùng hồi quy tuyến tính ta có thể xác định giá trị L_r (bảng 1) của mô hình thí nghiệm ($R^2 = 0,978$) theo biểu thức sau:

$$L_r (m) = 1,186 q_{PKA}^{0,75} / (H_u - 0,3) \quad (3)$$

3.3.Thí nghiệm phương án 2:

Thử nghiệm với phương án bể tiêu năng có chiều dài $L_b = 56$ m (hình 1), chiều sâu $d = 2$ m. Trong bể tiêu năng bố trí một hàng mô tiêu năng, chiều cao mô 2 m như hình 1. Căn cứ vào trạng thái dòng chảy trong thí nghiệm, mô tiêu năng được chọn bố trí phía sau vị trí va chạm của dòng tia từ ngưỡng tràn với bản đáy bể tiêu năng theo khoảng cách $L_r = L_j + H_0 = 14.7$ m. Lòng dẫn hạ lưu là lớp cát có $D_{50} =$

0.22 mm (theo mô hình - Hình 5). Trong 50 - 60 phút thí nghiệm, với lưu lượng riêng lớn nhất $q = 29,5 \text{ m}^3/\text{s.m}$, cột nước tràn $H_u = 3,0 \text{ m}$, cột nước tràn toàn phần $H_o = 3,09 \text{ m}$, $h_d = 5,0 \text{ m}$, hố xói sau bể tiêu năng đạt chiều sâu khá lớn, $h_s = 15 \text{ m}$, đáy hố xói cách ngưỡng ra bể tiêu năng là 70 m, vận tốc đáy dòng chảy trong kênh hạ lưu $v_b = 0.8 \text{ m/s}$.

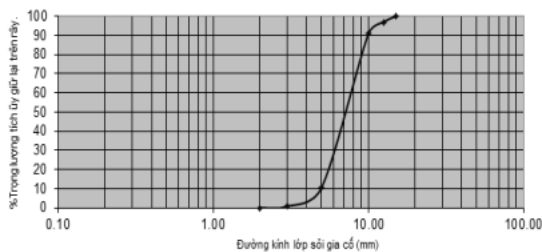


Hình 5: Đường cong phân bố cỡ hạt lớp cát phủ lòng dẫn hạ lưu sau bể tiêu năng

3.4.Thí nghiệm phương án 3 (PA3):

Căn cứ kết quả đo v_b của dòng chảy trong kênh hạ lưu ở phương án 2, chọn lớp sỏi gia cố lòng dẫn hạ lưu dài 120 m, có đường kính $D_{50} = 7 \text{ mm}$ (theo mô hình – hình 6). Bể tiêu năng có chiều sâu $d = 2 \text{ m}$ với mô tiêu năng có kích thước và vị trí bố trí giống phương án 2.

Quan sát thí nghiệm với đáy kênh hạ lưu có lớp sỏi gia cố cho thấy thời gian hố xói sau bể tiêu năng phát triển và ổn định trong thời gian 45~50 phút thí nghiệm nên chọn thời gian tiến hành thí nghiệm xói là $t_M = 1 \text{ giờ}$ (tương ứng với nguyên hình là $t_N = 7,06 \text{ giờ}$). Các số liệu thí nghiệm nêu trong bản g 2 và hình 7.



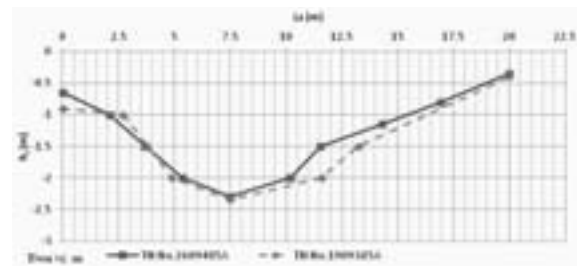
Hình 6: Đường cong phân bố cỡ hạt lớp đá mi phủ lòng dẫn hạ lưu sau bể tiêu năng

Bảng 2: Các số liệu thí nghiệm PA3

No	H_u (m)	q ($\text{m}^3/\text{s.m}$)	h_d (m)	h_s max (m)
1909385A	2,44	24,47	4,0	2,35
2609405A	3,24	29,83	4,6	2,30



(Thí nghiệm No 2609405A)



Hình 7: Mặt cắt dọc hố xói dọc trục kênh dẫn PA3

Phân bố vận tốc đáy tại trục kênh hạ lưu cách ngưỡng ra bể tiêu năng 20 m, 40 m, 60 m lần lượt là $v_b = 5,1 \text{ m/s}$, $5,3 \text{ m/s}$ và $5,1 \text{ m/s}$.

3.5.Thí nghiệm phương án 4 (PA4):

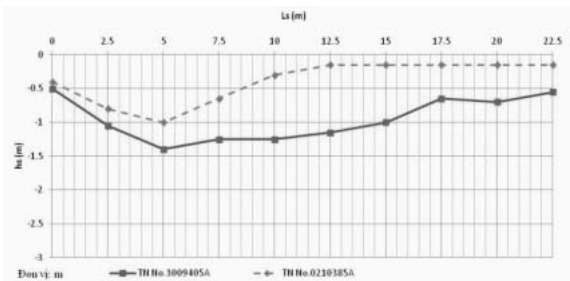
Thay đổi chiều sâu bể tiêu năng $d = 2,5 \text{ m}$, chiều cao mô tiêu năng 2.5 m. Các kích thước khác của bể tiêu năng, vị trí bố trí mô tiêu năng, lớp bảo vệ lòng dẫn hạ lưu và thời gian thí nghiệm xói không thay đổi. Các số liệu thí nghiệm nêu trong bảng 3 và hình 8.

Bảng 3: Các số liệu thí nghiệm PA4

No	H_u (m)	q ($\text{m}^3/\text{s.m}$)	h_d (m)	h_s max (m)
0210385A	2,56	23,90	4,13	1,0
3009405A	3,40	31,83	4,25	1,4



(Thí nghiệm No 3009405 A)



Hình 8: Mặt cắt dọc hồ xói dọc trục kênh dẫn PA4

Phân bố vận tốc đáy tại trục kênh hạ lưu cách nguồn gra bề tiêu năng 20 m, 40 m, 60 m lần lượt là $v_b = 5,2 \text{ m/s}$, $5,9 \text{ m/s}$ và $5,1 \text{ m/s}$.

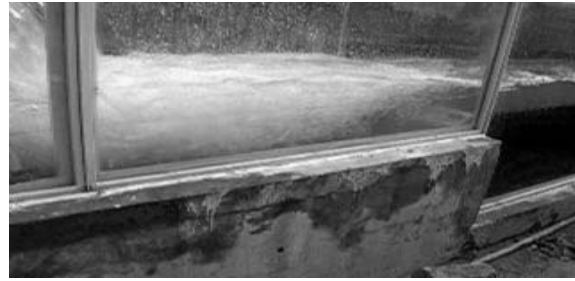
3.6. Thí nghiệm phương án 5 (PA5):

Thay đổi chiều sâu bề tiêu năng $d = 3 \text{ m}$, chiều cao mô tiêu năng $3,0 \text{ m}$. Các kích thước khác của bề tiêu năng, vị trí bố trí mô tiêu năng, lớp bảo vệ lòng dẫn hạ lưu và thời gian thí nghiệm xói không thay đổi. Các số liệu thí nghiệm nêu trong bảng 4 và hình 9.

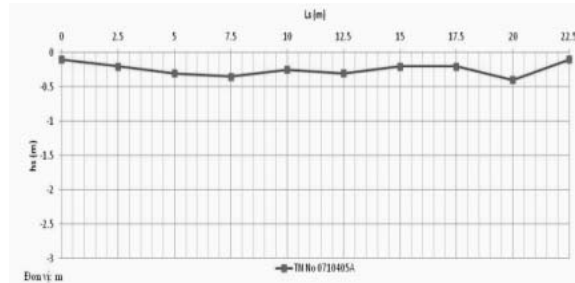
Bảng 4: Các số liệu thí nghiệm PA5

No	H_i (m)	q ($\text{m}^3/\text{s.m}$)	h_d (m)	h_s max (m)
0910385A	2,80	25,90	4,25	0,00
0710405A	3,44	30,70	4,75	0,35

Phân bố vận tốc đáy tại trục kênh hạ lưu cách nguồn gra bề tiêu năng 20 m, 40 m, 60 m lần lượt là $v_b = 4,9 \text{ m/s}$, $4,8 \text{ m/s}$ và $4,9 \text{ m/s}$.

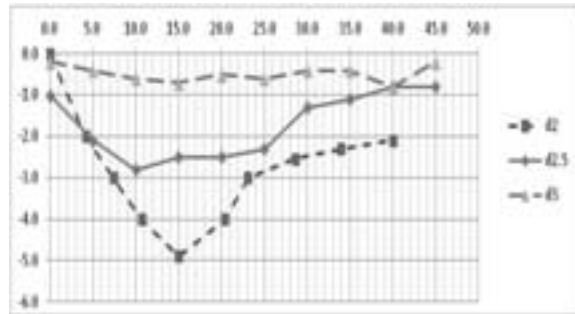


(Thí nghiệm No 3009405 A)



Hình 9: Mặt cắt dọc hồ xói dọc trục kênh dẫn PA5

Kết quả đo chiều sâu hồ xói lớn nhất sau bề tiêu năng ứng với chiều sâu bề tiêu năng (theo nguyên hình) lần lượt là 2 m (d2), 2,5 m (d2.5) và 3 m (d3) được trình bày trong hình 10.



Hình 10: Mặt cắt dọc hồ xói dọc trục kênh dẫn theo 3 phương án PA1, PA2, PA3

Theo hình 10 cho thấy chiều dài lớn nhất của hồ xói khoảng (25~35) m ứng với phương án d3; Chiều sâu lớn nhất của hồ xói, h_s giảm khi tăng chiều sâu bề tiêu năng. Với chiều sâu bề tiêu năng $d = 3 \text{ m}$, $q = 30,7 \text{ m}^3/\text{s.m}$, thì lòng dẫn hạ lưu xói nhẹ, $h_s = 0,35 \text{ m}$. Phân

tích kết quả cho thấy: độ sâu xói tăng khi lưu lượng riêng và độ chênh mức nước thượng hạ lưu tăng là phù hợp với quy luật thông thường. Theo các nghiên cứu đã có, nhiều thông số không thứ nguyên đã được các tác giả xem xét đưa vào công thức tính toán chiều sâu hố xói lòng dẫn sau bể tiêu năng của đập tràn truyền thống [4, 8, 9, 10, 11, 12]. Tuy nhiên, khó có thể dùng các công thức này để tính toán dự báo chiều sâu hố xói sau bể tiêu năng của đập tràn phím piano loại A ($N = 4,3$) do tính chất phức tạp của dòng chảy ngay sau chân đập như đã phân tích trong phần tổng quan. Để tìm một công thức đơn giản, chứa các thông số có thể xác định, là mục tiêu của nghiên cứu này. Theo đó, quá trình xói phức tạp đã được đơn giản hoá bằng cách xem chiều sâu xói h_s , đo từ đáy kênh hạ lưu đến đáy hố xói, được xem là hàm số của chênh lệch mực nước thượng hạ lưu $\Delta H_{0*} = H_0 + P_1 + P_2 - d - h_d$, chiều sâu mực nước thượng lưu so với đáy kênh hạ lưu H_* , độ sâu mực nước hạ lưu h_d (m), đường kính trung bình viên đá D_{50} (m). Quá trình xói cũng được biểu thị theo các thông số không thứ nguyên như chiều sâu bể tiêu năng d/h_d và đường kính viên đá gia cố D_{90}/h_d [4] hay D_{50}/h_d . Trong phạm vi thí nghiệm hiện tại kích thước viên đá không thay đổi (với $D_{50} = 0,35$ m hoặc $D_{90} = 0,5$ m), nên ảnh hưởng của D_{90}/h_d không cần xem xét. Vì vậy, trong các điều kiện của thí nghiệm này gồm có: đường kính lớp đá gia cố lòng dẫn ($D_{50} = 0,35$ m), $q = (23,89 - 31,83) \text{ m}^3/\text{s.m}$, $\Delta H_{0*} = (19,8 - 20,1) \text{ m}$, $H_{0*} = H_* + v_u^2/2g = (23,95 - 22,05) \text{ m}$, $d = (2,0 - 3,0) \text{ m}$, $h_d = (4,00 - 4,75) \text{ m}$ thì chiều sâu hố xói h_s có thể xác định bằng tương quan hồi quy theo phương trình (6) dưới đây:

$$\frac{h_s}{h_d} = 1,976 \left(\frac{\Delta H_{0*}}{H_{0*}} \right)^{2,208} \left(\frac{d}{h_d} \right) \quad (6)$$

Theo kết quả kiểm định hồi quy tuyến tính bội: hệ số xác định $R^2 = 0,983$, giá trị phân phối Fisher có mức xác suất ý nghĩa là $p =$

0,004 ($< 0,05$), giá trị phân phối Student của 2 thông số $\Delta H_{0*}/H_{0*}$ và d/h_d có xác suất lần lượt là 0,002 và 0,004 ($< 0,05$) nên (6) có tính thích hợp và các hệ số của nó có ý nghĩa.

4. KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

• Khi giá trị H_0 thay đổi trong phạm vi từ (0,8 - 3,4) m, lưu lượng riêng tháo qua đập tràn phím Piano loại A (q_{PKA}), $N = 4,3$ được xác định theo biểu thức (3):

$$q_{PKA} = 9.0492H_0 + 1.066$$

• Đối với cùng giá trị H_0 , lưu lượng tràn của đập tràn phím Piano loại A (q_{PKA}) cao hơn lưu lượng tháo qua đập tràn Creager ($q_{Creager}$) từ 2,2 đến 3,5 lần.

• Khi $H_0 \leq 2\text{m}$ tỷ lệ $q_{PKA}/q_{Creager}$ thay đổi từ 3 đến 4. Khi $H_0 > 2\text{m}$ giá trị $q_{PKA}/q_{Creager} \approx 2$.

• Kết quả nghiên cứu cho thấy với lưu lượng riêng tháo lũ $q = (28,8 - 31,8) \text{ m}^3/\text{s.m}$ thì bể tiêu năng có các kích thước phù hợp như sau: chiều sâu bể tiêu năng $d = 3,0$ m, chiều dài bể $L_b = 56$ m ($L_b \approx 3,8 L_r$), 6 mô tiêu năng bố trí tại vị trí cách chân đập tràn L_r , xác định theo công thức thực nghiệm (3) là: $L_r = 1,176 \sqrt{H_0} + 1,176$, hạ lưu có lớp gia cố đá $D_{50} = (0,3 \sim 0,4) \text{ m}$ dài (25-35) m trên sân sau là thích hợp.

• Với đập tràn PKA ($N=4,3$), với lưu lượng tràn $q = (23,89 \sim 31,83) \text{ m}^3/\text{s.m}$, $\Delta H_{0*} = (19,8 \sim 20,1) \text{ m}$, bể tiêu năng có mô với chiều cao mô bằng chiều sâu bể $d = (2,0 - 3,0) \text{ m}$, chiều sâu nước hạ lưu $h_d = (4,00 - 4,75) \text{ m}$, lớp đá gia cố lòng dẫn ($D_{50} = 0,35 \text{ m}$) thì chiều sâu hố xói h_s có thể xác định theo phương trình (6)

• Tiếp tục nghiên cứu các hình thức tiêu năng và gia cố lòng dẫn cho các đập tràn phím piano loại A có ΔH_{0*} thay đổi trong khoảng (35 - 40) m, nhằm đưa ra các khuyến nghị cho việc lựa chọn giải pháp công trình tiêu năng hợp lý.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Lempérière, F. and Ouamane, A., “The Piano Keys weir: a new cost-effective solution for spillways”, Hydropower & Dams, Issue Five, 2003.
- [2] Trương Chí Hiền, Huỳnh Hùng, “Nghiên cứu khả năng tháo nước của đập tràn phím Piano”, Kỹ yếu Hội nghị KHCN lần thứ IX, Trường Đại học Bách khoa, Phân ban Kỹ thuật xây dựng, 444-449, 2005.
- [3] J. Paul Tullis, Member, ASCE, Nosratollah Amanian, and David Waldron, “Design of labyrinth spillways”, J. Hydr. Eng., ASCE, 121(3), 247-255, 1995.
- [4] Novak P. "Study of silting basins with special regard to their end sills". 6th Congress of the IAHR, Hague, paper C15, 1955.
- [5] Lemperière F., Vigny J." Analysis and low cost mitigation of the flood risk of Asian dam s ", International symposium on Dam safety, Xian, 2005.
- [6] Ho Ta Khanh M., Labyrinth and Piano Key Weirs II – PKW 2013, " The Piano Key Weirs: 15 years of Research & Development – Prospect ". CRC Press, London, 2013.
- [7] Trương Chí Hiền - M. Ho Ta Khanh, "Nghiên cứu khả năng tháo nước của đập tràn phím PIANO loại A, D và LABYRINTH chữ nhật", Khoa học và công nghệ thủy lợi, Số 20, 57-63, 2014.
- [8] Bureau of Reclamation, “Hydraulic design of stilling basins and bucket energy dissipators.” Engineering Monograph No. 25, 1964.
- [9] Cataki, O. et al., “A study of scour at the end of stilling basin and use of horizontal beams as energy dissipators” 11th Congress of Large Dams, Madrid, 1973.
- [10] Novak, P. J., “Influence of bed load passage on scour and turbulence downstream of stilling basin.” 9th Congress, IAHR, Dubrovnik, 1961.
- [11] Peterka, A. J., “Hydraulic design of stilling basins and energy dissipators.” Engineering Monograph No. 25, U.S. Dept. of the Interior, Bureau of Reclamation, 1984.
- [12] Pillai, N. N., and et al, “Hydraulic jump type stilling basin for low Froude numbers.” Journal of Hydraulic Engineering, ASCE, Vol. 115 No. HY 7, 989 – 994, 1989.