

# NGHIÊN CỨU TÍNH TOÁN KẾT CẤU ĐẬP TRÀN PHÍM PIANO. ÁP DỤNG CHO CÔNG TRÌNH THỦY ĐIỆN ĐẮK MI 2

TS. Nguyễn Ngọc Thắng - ĐHTL  
ThS. Lại Tuấn Anh - Công ty CP tư vấn XD Điện I

**Tóm tắt:** Đập tràn phím piano là một dạng đập tràn có tác dụng tăng lưu lượng tháo dựa trên nguyên tắc tăng chiều dài đường tràn. Cho đến nay, các nghiên cứu về loại đập tràn này chủ yếu đi sâu về thủy lực chứ chưa chú trọng đến phần tính toán kết cấu. Nội dung bài báo này đề cập đến việc nghiên cứu, tính toán trạng thái ứng suất - biến dạng của đập tràn phím Piano, từ đó áp dụng trong tính toán đập tràn dự án thủy điện Đắc Mi 2.

## 1. Giới thiệu tóm tắt về đập tràn phím piano [2]:

Đập tràn phím piano là một dạng của đập tràn labyrinth - một dạng đập tràn tăng gấp đôi lưu lượng tháo so với kiểu đập tràn thực dụng Creager do áp dụng sơ đồ răng cưa (mỏ vịt) có chiều dài đường tràn dài hơn nhiều bề rộng của đập tràn. Tuy nhiên, do đặc điểm về hình dạng tường tràn đặt trên bề móng phẳng, không thể áp dụng đập tràn labyrinth trên đỉnh của mặt cắt đập bê tông trọng lực thông thường. Vì thế kiểu thiết kế này chỉ áp dụng để nâng cao khả năng tháo lũ cho một số ít đập tràn có những điều kiện thích hợp nhất định và trong thực tế chỉ chiếm một phần ngàn của những đập lớn.

Từ năm 2000, nhiều nghiên cứu và thí nghiệm mô hình về tràn theo kiểu labyrinth có thể bố trí được trên đập trọng lực thông thường đã được thực hiện ở Pháp, Algeria, Trung Quốc, Ấn Độ, Thụy Sĩ và Việt Nam. Hơn 100 kiểu dạng tràn đã được nghiên cứu và thí nghiệm, nhiều giải pháp có tính khả thi song các kiểu thuận lợi nhất đã được xây dựng trên hai nguyên lý sau:

- Các tường có dạng chữ nhật trên mặt bằng, tương tự như các phím đàn piano; cũng vì vậy kiểu tràn này được đặt tên là tràn phím đàn piano, gọi tắt là tràn phím đàn, từ tiếng Anh là Piano Keys Weirs, viết tắt là P.K. Weirs.

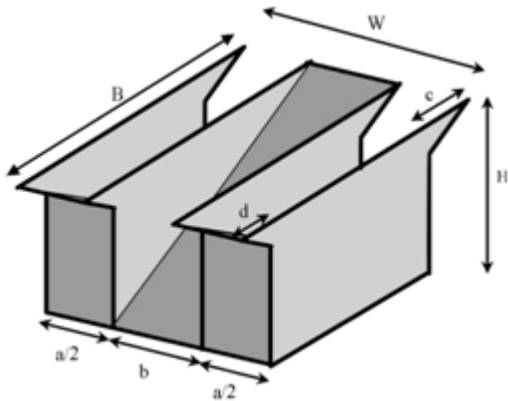
- Các tường theo phương thẳng góc với dòng chảy đều được bố trí theo mặt dốc (nghiêng). Bố trí này tạo nên thuận lợi về phương diện thủy lực, nhất là trong trường hợp lưu lượng xả lớn, đồng thời lại giảm được chiều rộng đáy của kết cấu, và do vậy, có thể bố trí tràn phím đàn trên các đập tràn hay đập trọng lực thông thường.



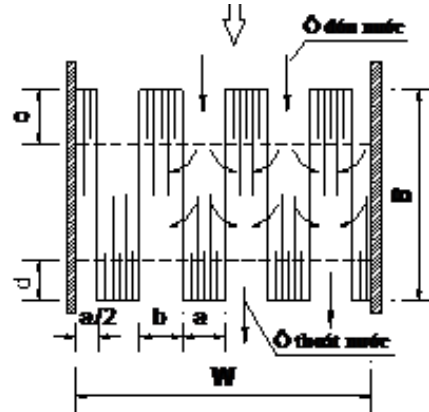
Hình 1. Đập tràn Ghib (Algeria)

Đập tràn piano do nhóm nghiên cứu của ông F. Lempérière (Hydrocoop-France) tìm ra. Thiết kế đầu tiên của loại đập này đã được thử nghiệm vào năm 1999 ở phòng thí nghiệm L.N.H.E của Điện lực Pháp và vào năm 2002 ở trường đại học Roorke của Ấn Độ cùng với trường đại học Biskra của Algeria.

Các đặc trưng hình học của tràn phím đàn được thể hiện ở hình 2, 3, trong đó: H - chiều cao tối đa của tràn phím đàn; B - chiều dài đỉnh tràn; a - chiều rộng ô đón nước; b - chiều rộng ô thoát nước; c - chiều dài nhô ra của công xôn thượng lưu; d - chiều dài nhô ra của công xôn hạ lưu; W - chiều rộng một đơn vị tràn; L - chiều dài tràn nước của một đơn vị tràn.



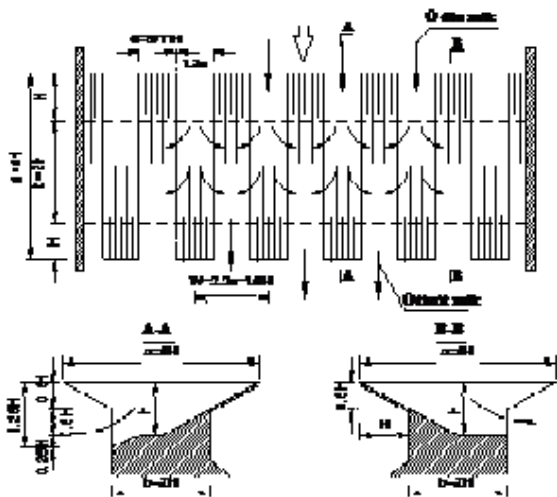
Hình 2. Các đặc trưng hình học của một đơn vị tràn phím đàn



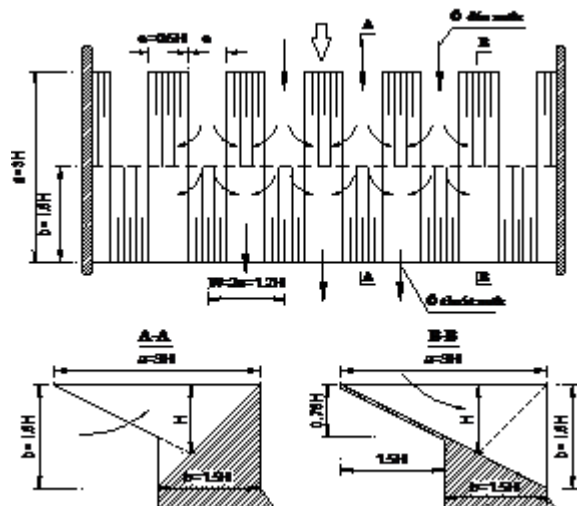
Hình 3. Mặt bằng một phân đoạn tràn phím đàn

Nhóm của ông F. Lempérière đã nghiên cứu 2 dạng tràn phím đàn:

- Loại A (PKA): máng tràn (thường đối xứng) ở cả 2 phía thượng và hạ lưu.
- Loại B (PKB): máng tràn chỉ ở phía thượng lưu nhưng dài hơn.

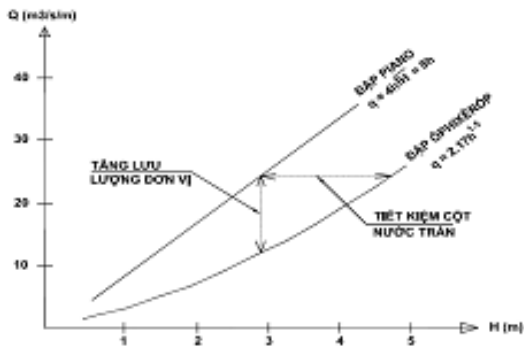


Hình 4. Mặt bằng, cắt ngang tràn PKA  
( $L=W+8H$ ;  $N=L/W=6$ )



Hình 5. Mặt bằng, cắt ngang tràn PKB  
( $L=W+6H$ ;  $N=L/W=6$ )

Máng tràn được làm bằng bê tông cốt thép, mái được tạo nghiêng với độ dốc (2:1) ÷ (3:2). Tuyến ngưỡng tràn dạng răng cưa chữ nhật. Tỷ số  $N=L/W$  nằm trong khoảng 4÷6.



Hình 6. Đồ thị so sánh khả năng xả của đập tràn kiểu Creager và kiểu PKA với  $H=4m$ . [3]

Khi dùng PKA, ô đón nước có bề rộng lớn hơn ô thoát nước khoảng 20%. Đồ thị hình 6 cho thấy tỷ lưu  $Q$  (lưu lượng trên 1m bề rộng khoang tràn) khi dùng PKA tăng gấp 3 lần so với đập tràn kiểu Creager.

Ngưỡng tràn được xây dựng trên hai nguyên lý: Các tường có dạng chữ nhật trên mặt bằng, tương tự như các phím đàn piano; các tường theo phương thẳng góc với dòng chảy đều được bố trí theo mặt dốc (nghiêng). Bố trí này tạo nên thuận lợi về phương diện thủy lực, nhất là trong trường hợp lưu lượng xả lớn, đồng thời lại giảm được chiều rộng đáy của kết cấu.

Do đặc điểm cấu tạo như vậy nên khả năng tháo của tràn phím đàn chủ yếu phụ thuộc vào tỷ số giữa chiều dài, độ sâu, chiều rộng và hình dáng của các phím và đặc biệt là sự phụ thuộc vào tỷ số  $N$  bằng tổng chiều dài tường tràn chia chiều rộng tràn chính diện. Bên cạnh đó còn có ảnh hưởng của tác động va đập của dòng nước khi chảy qua tràn; hình dạng của ngưỡng cũng cũng làm cho phân bố lưu tốc và lưu lượng đơn vị trên ngưỡng tràn không đồng đều.

Trong trường hợp xây mới, tràn phím đàn có thể giảm được ba lần chiều dài tràn hoặc giảm được hai lần chiều cao cột nước tràn so với tràn mặt cắt Creager. Tràn phím đàn có thể áp dụng ở các tràn mặt chảy tự do đã xây dựng để tăng độ an toàn hoặc tăng dung tích chứa với chi phí xây dựng thấp.

Tràn phím đàn có thể được dùng làm tràn khẩn cấp kết hợp với tràn đã có hoặc với tràn có cửa xây mới thông qua sử dụng phần dung tích trên mực nước dâng bình thường (MNDBT) để xả một phần khi có những con lũ đặc biệt lớn. Ví dụ, với chiều cao trên MNDBT là 4m có thể xả thêm được 40 đến 50  $m^3/s/m$ .

## 2. Phân tích kết cấu đập tràn phím piano thuộc dự án thủy điện Đăk Mi 2 [1,2].

Dự án thủy điện Đăk Mi 2 là bậc thang thứ 2 trên sông Đăk Mi, bên bờ phải thuộc địa bàn xã Phước Lộc và bờ trái thuộc xã Phước Công huyện Phước Sơn tỉnh Quảng Nam. Công trình được bố trí trên đoạn tuyến sông Đăk Mi dài khoảng 12km.

Cấp thiết kế chung của công trình là cấp II. Tuyến đập đầu mỗi công trình thủy điện Đăk Mi 2 bao gồm đập dâng kết hợp đập tràn. Đập dâng được thiết kế là đập bê tông trọng lực, chiều cao lớn nhất là 38m. Trên đỉnh đập dâng là đập tràn, giữa lòng sông là hai khoang tràn có cửa van và bên phải là tràn phím đàn piano.

Hai bên tràn có cửa van là tràn tự do có ngưỡng dạng phím đàn piano, chiều rộng tràn mỗi bên là 36m. Mặt cắt cơ bản của tràn piano được thiết kế là tràn loại PKB có hai bậc tiêu năng ở ô ra nối tiếp với các bậc tiêu năng ở mái hạ lưu đập.

Tràn piano có các kích thước cơ bản như sau: tỷ lệ giữa chiều dài tường tràn và chiều dài diện tràn là  $N/W = 5$ , ô vào rộng 5m, ô ra rộng 4m, chiều dài ô tràn là 18m, trong đó có 9m chia về phía hồ chứa (phần nhô ra chia về phía thượng lưu kể từ mặt thượng lưu đập).

Khả năng xả của tràn piano được xác định qua mô hình thủy lực. Lưu lượng xả lớn nhất qua tràn piano ứng với mực nước lũ kiểm tra (635,19m) là khoảng 3430  $m^3/s$ .

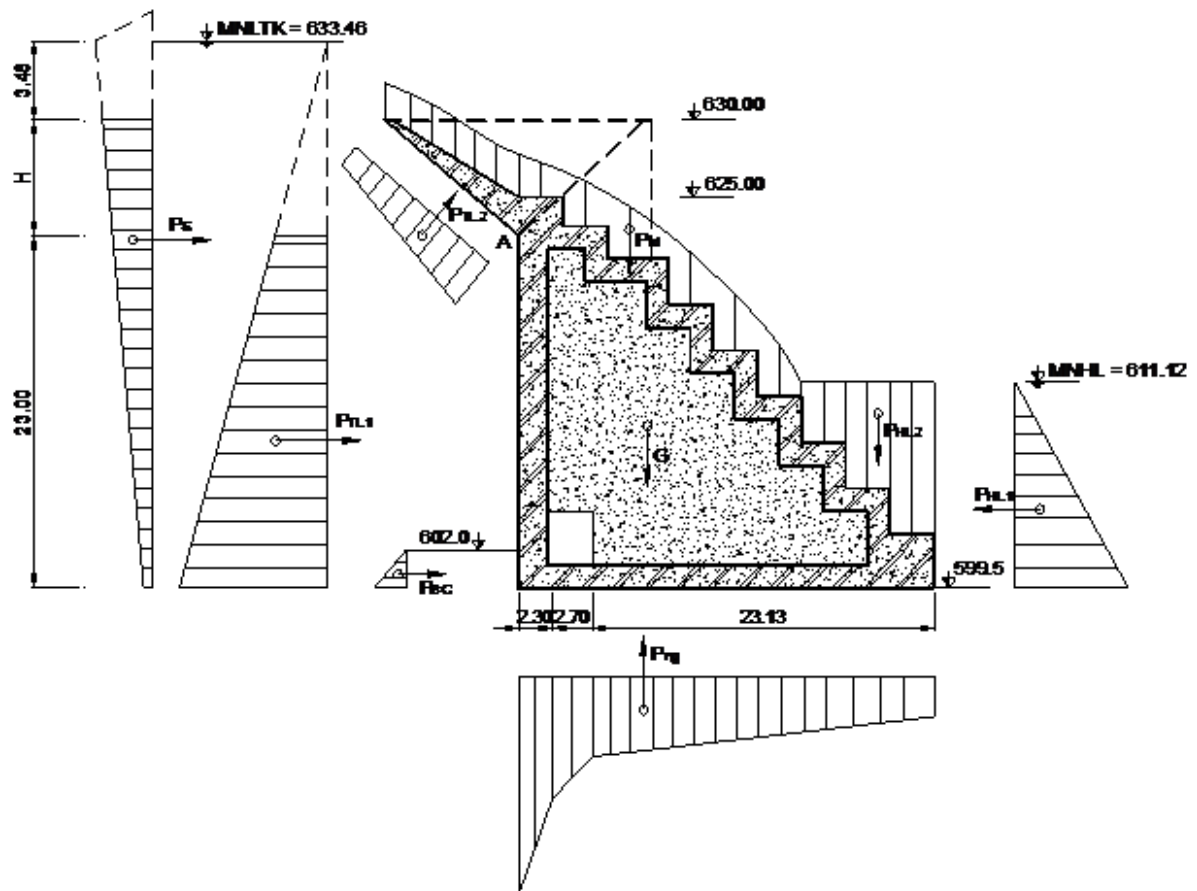
Phía bên phải tràn Ôphixêrôp là tràn piano đặt trên đỉnh đập bê tông trọng lực, mặt hạ

lưu của đập BTTL có dạng bậc thang, bậc cao 3m, rộng 3m, phần nền hạ lưu được gia cố bằng bê tông cốt thép dày 0,5m. Phía bên trái tràn Ôphixêrôp là tràn Piano đặt trên nền đá gốc tại cao trình 619,0m.

Đập tràn được tính toán với tổ hợp tải trọng cơ bản:

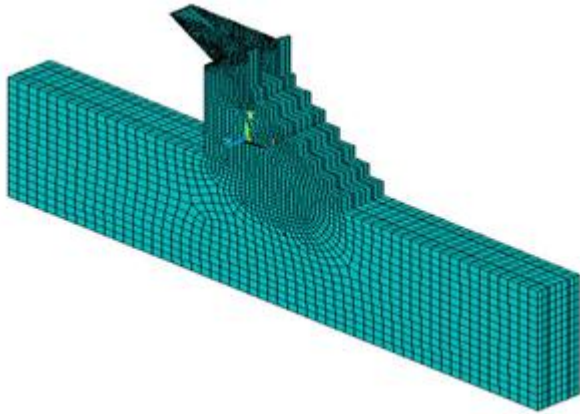
- MNTL=MNLTk= 633,46m; MNHL=611,12m
- Không có động đất.
- Các thiết bị chống thấm làm việc tốt (Áp lực thấm sau màng chống thấm =  $0.4H_{tt}$ , sau thiết bị tiêu nước =  $0.15H_{tt}$ ).
- Cao trình bùn cát 602,00m, chỉ tiêu cơ lý của bùn cát như sau:  $\gamma=1.3T/m^2$ ;  $C=20T/m^2$ ;  $tg\phi=0,75$ .

Sơ đồ lực tác dụng được thể hiện theo hình 7, trong đó:



Hình 7. Sơ đồ tải trọng tác dụng

- G: Trọng lượng bản thân,
- $P_{HL2}$ : Áp lực nước hạ lưu thẳng đứng
- $P_{TL1}$ : Áp lực nước thượng lưu nằm ngang,
- $P_{ng}$ : Áp lực nước đẩy ngược
- $P_{TL2}$ : Áp lực nước thượng lưu xiên,
- $P_s$ : Áp lực sóng,
- $P_{bc}$ : Áp lực bùn cát
- $P_{HL1}$ : Áp lực nước hạ lưu nằm ngang,
- $P_{td}$ : Áp lực nước thủy động mặt tràn

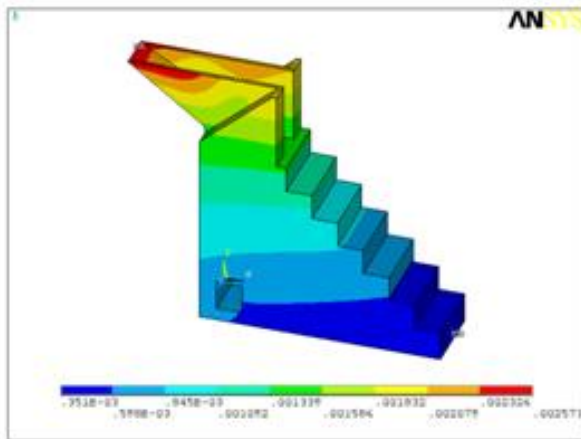


Hình 8. Mô hình tính toán

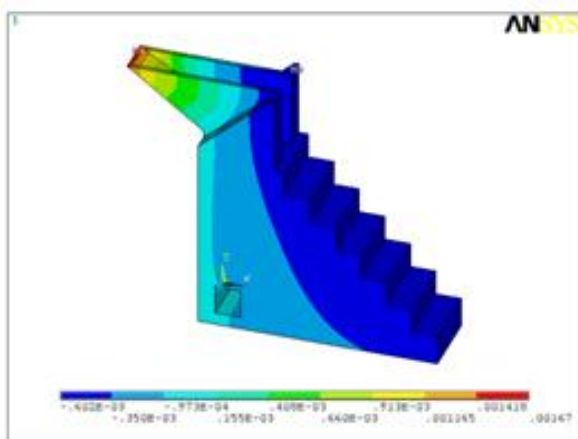
Kết cấu đập tràn được tính toán với mô hình không gian bằng phương pháp phần tử hữu hạn có xét đến sự làm việc đồng thời của đập và nền. Phần mềm được sử dụng tính toán là chương trình ANSYS phiên bản 10.0. Mô hình tính toán như hình 8, sử dụng phần tử lục diện bậc cao 20 điểm nút.

Trạng thái ứng suất – biến dạng của đập tràn được tính toán với 3 phương án có chiều cao côngson thượng khác nhau:  $H=6\text{m}$ ,  $H=6,75\text{m}$  và  $H=7,5\text{m}$ .

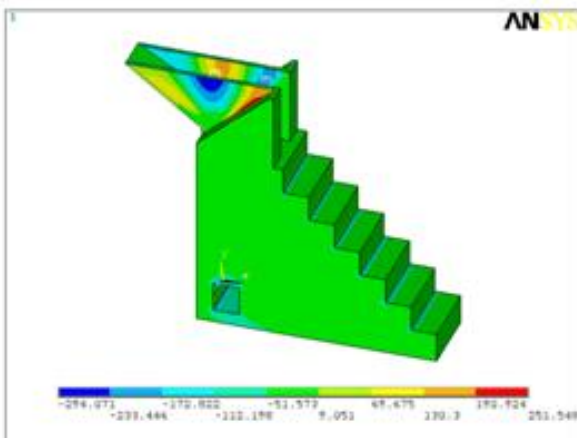
Do khuôn khổ bài báo có hạn, ở đây chỉ đưa ra kết quả tính toán trong trường hợp chiều cao côngson thượng  $H = 6,75\text{m}$  (hình 9,10,11,12).



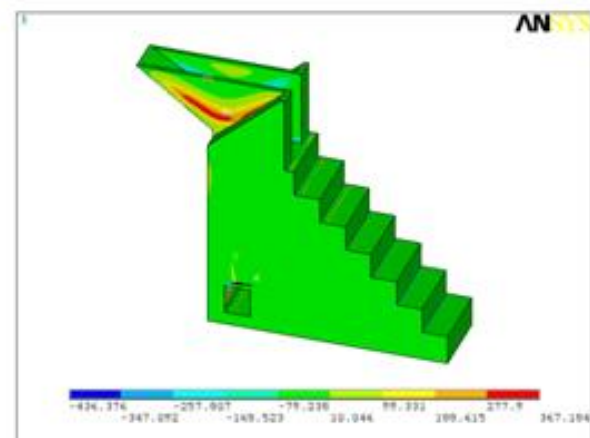
Hình 9: Chuyển vị  $u_x$  (m)



Hình 10: Chuyển vị  $u_y$  (m)



Hình 11: Ứng suất  $\sigma_x$  ( $\text{T/m}^2$ )



Hình 12: Ứng suất  $\sigma_y$  ( $\text{T/m}^2$ )

Kết quả tính toán cho ta thấy, trong cả ba trường hợp tính toán, đập tràn đều thỏa mãn

điều kiện bền và điều kiện ổn định chống trượt, lật. Ứng với bề rộng khoang tràn không thay đổi khi thay đổi chiều cao côngson thượng lưu H thì ứng suất biến dạng của đập tràn piano thay đổi đặc biệt tại vị trí phía dưới của ngàm côngson thượng lưu (điểm A), các giá trị chuyển vị và ứng suất tại vị trí A như sau:

Chiều cao côngson thượng lưu H (m)	Chuyển vị (m)		Ứng suất (T/m <sup>2</sup> )	
	u <sub>x</sub>	u <sub>y</sub>	σ <sub>x</sub>	σ <sub>y</sub>
6,0	0,00142	0,73.10 <sup>-4</sup>	58,40	163,55
6,75	0,00133	-0,32.10 <sup>-4</sup>	23,36	94,35
7,5	0,00125	-0,114.10 <sup>-4</sup>	11,25	74,23

Khi chiều cao H thay đổi dẫn tới hình dạng của mặt cắt ô ra thay đổi. Nếu chọn giá trị H càng nhỏ thì sẽ tiết kiệm được bê tông khi làm tràn nhưng ứng suất tại phần côngson thượng sẽ tăng lên dẫn đến phải tăng diện tích cốt thép ở phần này. Hơn nữa, khi giá trị H nhỏ thì sẽ khó khăn hơn khi thi công phần côngson thượng.

Để đảm bảo cho kết cấu đủ khả năng chịu lực khi có vật trôi nổi va chạm vào và dễ dàng hơn trong việc thi công, khi chọn hình dạng mặt cắt của ô đón nước tràn piano trong giai đoạn thiết kế kỹ thuật nên chọn chiều cao côngson thượng bằng với chiều cao của tường tràn H. Trong giai đoạn thiết kế bản vẽ thi công cần xem xét có nên hay không bọc thép ở phần đầu của côngson thượng để tránh trường hợp bê tông bị vỡ khi có vật trôi nổi lớn va chạm với tràn trong thời gian làm việc lâu dài.

### 3. Kết luận và kiến nghị

Đập tràn phím piano là một dạng đập tràn có tác dụng tăng lưu lượng tháo dựa trên nguyên tắc tăng chiều dài đường tràn. Những đập tràn loại này mới áp dụng ở Việt Nam nên chưa có tiêu chuẩn tính toán cho chúng. Cho đến nay, các nghiên cứu về loại đập tràn này chủ yếu đi sâu về mặt thủy lực chứ chưa chú trọng đến phần tính toán kết cấu. Ở đây, nội dung bài báo mới chỉ đề cập đến trạng thái ứng suất - biến dạng của đập tràn phím piano trong một trường hợp tải trọng, chưa xét đến tải trọng động đất, thi công... và chưa xét đến trạng thái ứng suất - biến dạng của đập tràn piano trong trường hợp các khoang tràn thay đổi. Ngoài ra trong khuôn khổ bài báo cũng mới chỉ phân tích được chiều dày của côngson thượng lưu mà chưa có kết luận gì về côngson hạ lưu. Để tìm được kết cấu hợp lý cho đập tràn phím piano cần phải kết hợp giữa nghiên cứu thủy lực và kết cấu trên cơ sở thí nghiệm mô hình, tính toán trong nhiều trường hợp tải trọng khác nhau. Những nghiên cứu chi tiết theo hướng này trong tương lai sẽ giúp cho việc phổ biến đập tràn phím piano ở Việt Nam.

#### Tài liệu tham khảo:

1. Công ty CP Tư vấn Xây dựng Điện 2 - PECC2 (2009), Hồ sơ TKKT Công trình Thủy Điện Đăk Mi 2.
2. Lại Tuấn Anh. 2011. Luận văn thạc sĩ kỹ thuật “Tính toán và tối ưu hóa kết cấu đập tràn phím Piano-Áp dụng cho công trình thủy điện Đăk Mi 2”. Đại học Thủy lợi.
3. Lempérière, F., Ouamane, A. 2003. The piano keys weir: a new cost-effective solution for spillways. The International Journal on Hydropower and Dams, volume 10, issue 5.

**Abstract:**

*Piano keys weir is an effective form of increasing water flow based on the principle of rising the overflow length. So far, studies of this type of weir mainly focus on hydraulics, not on the structural analysis. The contents of this paper refers to the study and stressedly-deformed analysis of the Piano keys weir applying to such weir of the hydropower project Dak Mi 2.*