

NGUYÊN NHÂN VÀ GIẢI PHÁP SỬA CHỮA BỂ TIÊU NĂNG CHO ĐẬP THÁC HUỐNG

Thái Quốc Hiền, Bùi Mạnh Duy

Viện Khoa học Thủy lợi Việt Nam

Tóm tắt: Hiện nay các công trình thủy lợi, đặc biệt là các công trình đầu mối trong hệ thống thủy lợi sau thời gian làm việc đã bắt đầu hư hỏng cần sửa chữa nâng cấp và một trong các công trình đó là đập Thác Huống thuộc hệ thống thủy lợi Thác Huống.

Nghiên cứu giải pháp sửa chữa toàn diện bể tiêu năng phù hợp với điều kiện hiện trạng, địa hình địa chất nhằm đảm bảo ổn định tổng thể đập, ổn định kết cấu và đảm bảo tiêu năng thoát lũ trong đó cao trình đỉnh và kết cấu bể được xác định sao cho dòng chảy khi qua mặt tràn hiện trạng xuống bể tạo ra trạng thái chảy ngập, đồng thời nước nhảy ngay tại bể. Giải pháp kết cấu bể được lựa chọn sao cho chuyển tiếp trạng thái dòng chảy phù hợp từ chân đập dâng xuống bể được thuận; kết hợp với tường phân dòng dọc theo bể để tách ảnh hưởng của dòng chảy do sông cong gây ra.

Từ khóa: Bể tiêu năng, tường phân dòng, mực nước hạ lưu.

Summary: At present, many hydraulic structures, especially headworks, have deteriorated after long-term operation and require repair and upgrading. Among them, the Thac Huong Dam of the Thac Huong irrigation system has shown significant damage.

This study proposes a comprehensive rehabilitation solution for the stilling basin to ensure overall dam stability, structural safety, and effective flood energy dissipation. The selected solution determines the crest elevation and basin configuration so that the overflow generates a submerged flow regime, with the hydraulic jump occurring within the basin. The basin structure is designed to provide smooth flow transition from the dam toe to the basin, combined with a longitudinal dividing wall to mitigate the adverse effects of river curvature on flow conditions.

Keywords: Stilling basin, dividing wall, downstream water level.

1. GIỚI THIỆU CHUNG

Đập Thác Huống là công trình đầu mối quan trọng của hệ thống thủy lợi Thác Huống. Được xây dựng từ năm 1922, đập có đỉnh tràn ở cao độ +21,13 m, đáy bể tiêu năng ở cao độ +13,60 m, chiều rộng đường tràn 90,8 m với 5 khoang. Mặt đập được thiết kế theo dạng đường cong Ofixerop, đảm bảo khả năng thoát lũ với lưu lượng thiết kế $Q_{TK1\%} = 2.692 \text{ m}^3/\text{s}$ và $Q_{KT0,2\%} = 3.308 \text{ m}^3/\text{s}$, tương ứng với các cặp

mực nước thượng lưu (TL) và hạ lưu (HL): $Z_{TK1\%_TL} = +27,16 \text{ m}$, $Z_{TK1\%_HL} = +25,64 \text{ m}$ và $Z_{KT0,2\%_TL} = +28,14 \text{ m}$, $Z_{KT0,2\%_HL} = +26,63 \text{ m}$.

Dưới đập có 4 khoang cống xả cát (kích thước mỗi khoang 1,1 x 1,65 m), nhưng hiện nay cửa van trong cống đã hỏng, không thể vận hành. Bề mặt bê tông thân cống xuống cấp nghiêm trọng và các cống này đã bị hoành triệt.

Sau hơn 100 năm vận hành, kết cấu tiêu năng của đập Thác Huống đã nhiều lần hư hỏng và được xử lý, nhưng các giải pháp chưa thực sự triệt để. Cụ thể:

Lũ năm 1929: Hạ lưu đập bị xói sâu 5 m, rộng

Ngày nhận bài: 09/5/2025

Ngày thông qua phản biện: 08/9/2025

Ngày duyệt đăng: 30/10/2025

25-30 m, lệch về bờ phải, miệng hố xói dài 35 m. Hố xói được lấp bằng hỗn hợp cát, sỏi, đá cuội, đá hộc và phủ rọ đá

Lũ năm 1932: Rọ đá, đá hộc và cát sỏi bị cuốn trôi, hố xói trở lại gần như trạng thái năm 1929. Hố được lấp lại và bổ sung các khối bê tông (2 x 2 x 1 m) lên cao độ +13,7 m.

Năm 1940: Lũ cuốn trôi các khối bê tông, buộc phải thay bằng các tấm bê tông đồ tại chỗ (6 x 4 x 1 m).

Năm 1964: Sân tiêu năng được sửa chữa bằng bê tông đồ tại chỗ lên cao độ +14,7 m (dài 16 m đoạn đầu), kết hợp bê tông đá hộc trên cát, cuội, sỏi (dài 15-20 m đoạn sau).

Năm 1973: Hạ lưu tiếp tục bị xói và được sửa chữa tương tự năm 1964.

Năm 1998: Sân tiêu năng được bọc thêm lớp bê tông cốt thép (BTCT) M200 dày 60 cm (11 x 10,98 m) với các mô nhám; hố xói được lấp bằng đá xây vữa M100; hạ lưu được nạo vét bãi cát sỏi để thông thoáng lòng sông.

Lũ năm 2003: Các tấm bê tông bọc thêm ở lòng sông và bờ phải bị lũ bóc và cuốn trôi về hạ lưu.

Năm 2004: Xây dựng thêm đập dâng hạ lưu sau bể tiêu năng bằng đá xây bọc BTCT M200 dày 40 cm, cao trình đỉnh đập dâng +17,20 m.



Hình 1: Hiện trạng đập Thác Huống năm 2023

2. GIẢI PHÁP THIẾT KẾ TIÊU NĂNG

2.1. Đánh giá nguyên nhân

Đánh giá nguyên nhân gây ra hỏng bề tiêu năng:

+ Đập đặt trên đoạn sông cong có chế độ thủy lực không thuận

Đập Thác Huống nằm trên đoạn sông Cầu, tại vị trí nối tiếp hai đỉnh cong ngược liên tiếp:

- Đỉnh cong số 1 (thượng lưu) có bán kính cong $R1 = 230$ m, góc tâm 73° .

- Đỉnh cong số 2 (hạ lưu) có bán kính cong $R2 = 170$ m, góc tâm 90° .

- Chiều dài đoạn chuyển tiếp giữa hai đỉnh cong là $L12 = 150$ m, trong khi chiều rộng trung bình lòng sông B dao động từ 85 đến 100 m.



Hình 2: Vị trí đập Thác Huống trên đoạn sông cong (năm sông Cầu)

Theo lý thuyết về dòng chảy qua các đoạn sông cong (Lương Phương Hậu & Trần Đình Hợi, Động lực học dòng sông và chỉnh trị sông, Nhà xuất bản Nông nghiệp, 2004), để đảm bảo dòng chảy qua hai đỉnh cong được ổn định (không xảy ra tách dòng hoặc hình thành xoáy trên mặt bằng tại đỉnh cong – bờ lõm), cần đáp ứng hai điều kiện:

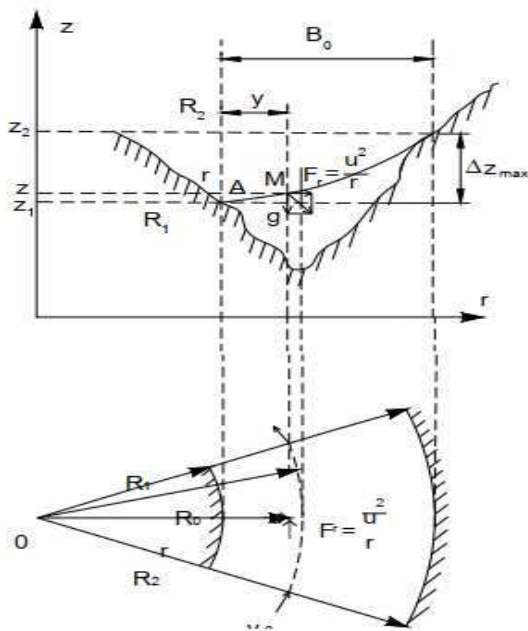
- Tỷ lệ giữa bán kính cong (R) và chiều rộng sông (B) phải thỏa mãn $R/B \geq 3$.

- Chiều dài đoạn chuyển tiếp (L) so với chiều rộng sông (B) phải đạt $L/B \geq 2-3$.

Tuy nhiên, với các thông số hình thái của đoạn sông Cầu tại đập Thác Huống, khi mực nước hạ lưu vượt quá đỉnh ngưỡng tràn, dòng chảy trở thành một dòng sông cong liên tục. Lúc này, $R1/B \approx 2,3-2,7$ và $R2/B \approx 1,7-2,0$ (đều nhỏ hơn 3), đồng thời $L12/B \approx 1,5-1,8$ (nhỏ

hơn 2-3). Do đó, dòng chảy không đạt điều kiện thuận, dẫn đến xuất hiện xoáy trên mặt bằng tại đỉnh cong phía hạ lưu đập.

Ngoài ra, đoạn chuyển tiếp ngắn ($L_{12} < 3B$) khiến dòng chảy tại hai đỉnh cong tác động lẫn nhau, làm chế độ thủy lực trở nên phức tạp hơn. Đỉnh cong thứ 2 ảnh hưởng ngược lên dòng chảy qua đỉnh cong thứ 1. Lực quán tính ly tâm từ dòng chảy cong tạo ra độ dốc

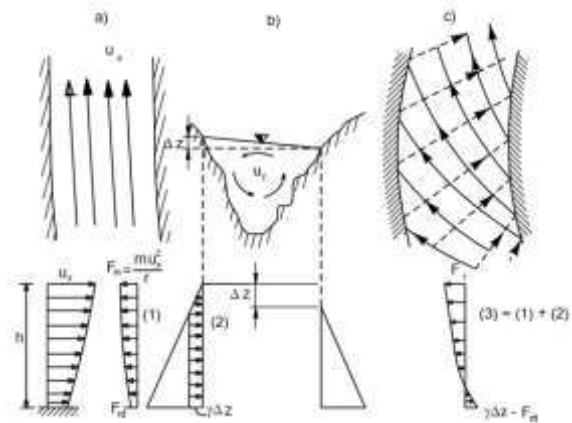


Lực quán tính

Hình 3: Ảnh hưởng của đập khi qua sông cong

Với ba xoáy đơn độc lập mức độ ảnh hưởng tới kết cấu bể tiêu năng sẽ không quá nghiêm trọng, tuy nhiên nếu ba xoáy trên 3 phương khác nhau xuất hiện đồng thời (dạng cộng hưởng) ở dải lưu lượng nào đó sẽ gây ra vận tốc đáy vận tốc đáy tại một khu vực của bể tiêu năng. Điều này cũng phù hợp với hiện tượng phá hoại kết cấu bản đáy bể tiêu năng tại khu vực chân thành bể phía bên phải xảy ra năm 2003, khi trận lũ đang lên mực nước thượng lưu xấp xỉ báo động III và tám gia cố BTCT bị bóc và nâng lên và cuốn ra khu vực gần giữa bể và phía hạ, sau đó kết cấu đáy bể bị phá

ngiêng trên mặt nước theo hướng ngang (thay vì nằm ngang), dẫn đến sự xuất hiện của lưu tốc ngang U_y (vuông góc với trục dòng chảy chính U_x). Dòng xoáy này, hình thành chủ yếu ở bờ phải, tạo ra lực hút (lực Coriolis) phá vỡ kết cấu bể tiêu năng. Đồng thời, xoáy đứng theo phương ngang dòng chảy vận chuyển vật liệu kết cấu bị phá vỡ từ bờ phải sang bờ trái.



- a – Biểu thị dòng chảy chỉ có riêng lưu tốc hướng dọc U_x ;
- b – Biểu thị dòng chảy chỉ có riêng lưu tốc hướng ngang U_y
- c – Biểu thị dòng chảy tổng hợp của lưu tốc U_x, U_y

hoại lan rộng dần cho đến hơn $1/2$ bể tiêu năng phía bên bờ phải.

Khi có nước nhảy trong bể tiêu năng dòng đáy đo h_c sinh ra sẽ có vận tốc lớn, phần xoáy cuộn bên trên trong tính toán được bỏ qua, khi đó áp lực do nước tác động lên bản đáy chỉ được tính là độ sâu h_c .

Theo phương trình định luật Bernoulli về dòng chảy $Z + P/\gamma + \alpha \cdot V^2/2g = \text{const}$ cho mặt cắt, nếu có sự xuất hiện các trạng thái chảy thì sẽ xuất hiện chênh lệch áp suất theo cùng 1 phương đứng.

Với các điều kiện dòng chảy, luôn có chênh lệch áp suất tại mặt trên và dưới trong bể tiêu năng – điều này sẽ tạo ra lực hút đáy trôi kết cấu.

Dòng chảy qua đập Thác Huống luôn xuất hiện các trạng thái dòng chảy xoáy 3 chiều (mặt bằng - hướng ngang và xoáy đứng); tạo



Dòng xoáy quán (trên mặt bằng – hồ xói)

+ *Tác dụng của áp lực ngược phía dưới đáy nền;*

Bể tiêu năng cũ không có hệ thống lọc giảm áp nên có khả năng xuất hiện áp lực thấm tác dụng lên tấm kết cấu đáy bể (mặc dù sửa năm 1940 đã có đặt dưới chân đập ống D15cm có lỗ để thu nước thấm qua thân đập đưa xuống hạ lưu).

Đất nền dưới bể tiêu năng, đặc biệt là bờ phải là lớp 2 cuội, sỏi, bê tông,... có kết cấu rời rạc chịu kéo rất kém (do những lần sửa đập năm 1930; 1933 lấp hồ xói; năm 1964 sửa chữa bể tiêu năng lấp bê tông từ cao trình +13.7 lên cao trình +14.70 dài 16m đoạn đầu và đổ bê tông đá hộc trên lớp cát, cuội sỏi dài 15-20m đoạn sau; năm 1973 xử lý tiếp hồ xói) nên liên kết giữa kết cấu mặt trên của bể và nền yếu.

+ *Sự liên kết giữa các lớp gia cố của các lần sửa chữa hoặc với nền chưa đảm bảo.*

Sự dính kết giữa bê tông cũ và bê tông mới không bảo đảm chất lượng.

Thép neo liên kết giữa kết cấu mới và cũ hoặc nền đá chưa đủ đảm bảo nên khi bị áp lực

ra chênh lệch áp suất trong dòng chảy. Chính là nguyên nhân phá vỡ kết cấu bể tiêu năng khi trọng lượng của kết cấu không đủ đảm bảo điều kiện chống lực hút, đặc biệt nghiêm trọng khi các xoáy này công hưởng ở dải lưu lượng gây ra vận tốc đáy lớn nhất.



Vật liệu vận chuyển từ bờ phải sang bờ trái

nước hút ngược đã kéo thép ra khỏi bê tông cũ hoặc nền, hơn nữa nền là đá bột kết theo thời gian sẽ mất tác dụng giữ neo.

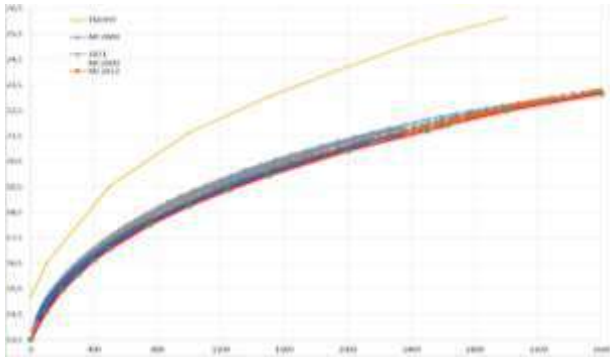
Hơn nữa hiện trạng đập và điều kiện đất nền của lớp 3a, 3 thấm vừa với trung bình 50Lu, vẫn có dòng thấm qua nền đập. Khi có lũ, nước dưới nền bể chưa kịp thoát ra gây áp lực thấm và đẩy nổi dưới bản đáy kết cấu bể.

+ *Chế độ thủy lực.*

- Giá trị lũ đến thực tế lớn: do biến đổi khí hậu, dòng chảy thực tế đến nhanh và đỉnh lũ lớn hơn so với tính toán trước kia;

- Chế độ thủy văn công trình : Mức nước thượng lưu và hạ lưu với độ chênh thực tế lớn, mực nước hạ lưu giảm nhanh (chênh cao giữa năm 1997 và số liệu gần đây 2023) khoảng gần 2.5m;

- Chế độ thủy lực thực tế trong tiêu năng bất lợi: đập nằm trên đoạn sông cong nên trong quá trình tính toán không xác định được các trường hợp ảnh hưởng đến chế độ thủy lực theo tính toán lý thuyết dòng chảy dòng đều trong bể.



Hình 4: Quan hệ Q~Zhl của đập Thác Huống

+ Nghiên cứu các nguyên nhân hư hỏng chưa triệt để

Sửa chữa đập trước năm 1997 chủ yếu là xử lý hố xói (năm 1930, 1933, 1964, 1973); năm 1998 làm tường tiêu năng, năm 2004 làm đập ở hạ lưu để tạo lớp nước trong bể. Các đánh giá này chỉ tập trung vào dòng tiêu năng đáy mà chưa nghiên cứu ảnh hưởng tổng thể của dòng chảy khi chịu tác động đồng thời của đoạn sông cong, chưa xem xét kỹ điều kiện làm việc của kết cấu các lớp gia cố cũ, lớp hố xói và đá gốc đặc biệt khi bố trí các liên kết giữa lớp gia cố đáy bể mới với các lớp gia cố cũ và nền đá gốc.

Hoàn triệt âu thuyền; sửa chữa đập dài 37m bờ phải; kết cấu mặt đập thay đổi từ đập tràn có chân không sang đập tràn Ofixerop dẫn đến ảnh hưởng chế độ thủy lực.

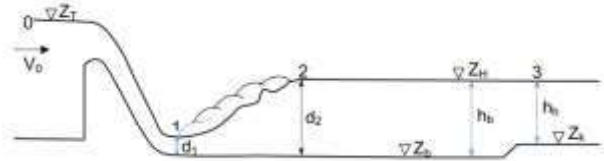
2.2. Giải pháp lựa chọn:

Dựa trên các đánh giá nguyên nhân do yếu tố ảnh hưởng của dòng sông cong, điều kiện địa chất nền và thủy lực công trình khi qua tràn ảnh hưởng đến tiêu năng; đặc biệt là việc hạ thấp mực nước hạ lưu sau đập sau 20 năm;

a. Tính toán các thông số bể tiêu năng:

*Xác định cao trình đỉnh bể tiêu năng gia cố:

Căn cứ vào lưu lượng qua tràn và quan hệ mực nước Q~Zhl, lưu lượng tiêu năng Qtn (ứng với chênh h”c-hhl là lớn nhất) Ứng với Qtn= 1350 m3/s – ZTL= +24.62; ZHL= +19.98; ZđáyHL=+14.70 thì h”c= 5,61m; hhl= 5,28m; Trạng thái chảy sau đập là nhảy phóng xa.



Chiều sâu d:

$$1,359d_1^3 - (Z_o - Z_H)d_1^2 - \frac{1,412q}{\sqrt{g}}d_1^{1,5} + \frac{q^2}{2g\varphi^2} = 0 \quad d_2 = \frac{1,412q}{\sqrt{gd_1}} - 0,359d_1$$

$$Z_b = Z_H - \frac{1,483q}{\sqrt{gd_1}} + 0,377d_1$$

Chiều sâu đào bể D= Zk-Zb.

Với trường hợp chưa có đập phụ: tính toán Qtn được :

Độ sâu sau nước nhảy khi đã có bể

$$d_2 = \frac{1,412q}{\sqrt{gd_1}} - 0,359d_1 = 7,97 \text{ m}$$

Cao trình đáy bể:

$$Z_b = Z_H - \frac{1,483q}{\sqrt{gd_1}} + 0,377d_1 = 11,61 \text{ m}$$

Chiều sâu của bể

$$D = Z_k - Z_b = 2,98 \text{ m}$$

Chiều dài bể tiêu năng

$$L_b = 0,8 * 4,5 * d_2 = 28,68 \text{ m}$$

Như vậy cần xây dựng:

Chiều cao tường (bể) cần tiêu năng

Chiều dài tường (bể) cần tiêu năng

Với chiều cao đập phụ hiện trạng**--> Chỉ cần đào sâu thêm bể:**

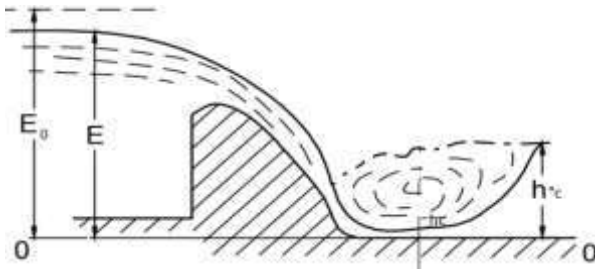
Đào sâu thêm bể

$$D = 3,00 \text{ m}$$

$$L_b = 29,00 \text{ m}$$

$$D_{đp} = 2,30 \text{ m}$$

$$d = 0,70 \text{ m}$$

Cao trình của đập phụ: $Z_{đp} = +16.90$;Cao trình bể tiêu năng: $Z_{bể tiêu năng} = +14.70 - 0.70 = +14.00$.***Xác định chiều dày kết cấu bể tiêu năng:**Theo định luật Bernoulli thì phương trình thủy lực: $z + p/g + v^2/2g = const$ Chiều dày kết cấu bể $d > 1.94m \rightarrow$ Lựa chọn chiều dày bể $d = 2.00 \text{ m}$

Về kích thước các tấm bê tông:

$$lxb = 20m \times 20m.$$

b. Giải pháp gia cố bể tiêu năng:*** Giải pháp gia cố nền:**

Phần nền bể tiêu năng hình thành 02 khu với khu bên phải nền hoàn toàn nằm trên lớp 3 (Đá sét- bột cát kết, phong hoá vừa); khu bên trái (03 khoang) gồm bên trên là lớp 1, lớp 2 (lớp 1 -lớp bê tông gia cố hạ lưu trước đây bị vỡ vụn và lớp 2 cuối tầng) thì giải pháp xử lý bên phải kết cấu bể tiêu năng được đặt trực tiếp lên lớp 3 bằng cách bóc hết tầng địa chất có kết cấu rời rạc và không đảm bảo độ chặt sau đó đổ bù bằng bê tông M200.

*** Giải pháp thoát nước nền:**

Bổ sung các lỗ thoát nước khoan vào lớp 3 với các ống tiêu nước nền D50 dọc theo bể từ đỉnh bể vào lớp 3 khoảng 2.0m với phạm vi bố trí

2m/lỗ cho 10m đầu bể và 3m/lỗ cho 25m sau cho toàn bộ bể.

***Giải pháp tường hướng dòng dọc theo trụ pin xuống bể tiêu năng:**

Giải pháp trong bể tiêu năng:

+ Tại cao trình +14.70 bố trí 2 hàng mô đặt so le cách nhau 3m; chiều cao mô 0.35m rộng 0.5m.

+ Dọc theo dòng chảy của trụ trong bể tiêu năng bố trí 03 tường hướng dòng.

3. GIẢI PHÁP SỬA CHỮA ĐẬP THÁC HUỐNG**➤ Bể tiêu năng**

- Cao độ đỉnh nối tiếp tràn: +15.15m xuống +14.70

- Cao độ đỉnh đáy bể : +14.00m

- Chiều rộng bể: 108,00m

- Chiều dài bể: 39,20-40,15m

- Chiều cao tường hướng dòng: 1.5m

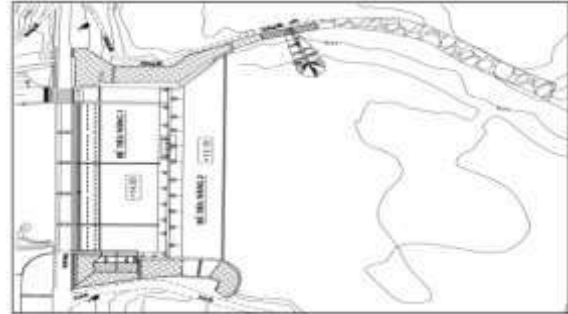
- Chiều dày kết cấu bản đáy bể: 2.0m.

- Chuyển tiếp cuối tràn Thác Huống từ +15.60 xuống đỉnh bể +15.15 với bán kính cong $R = 9.90m$ dài $L1 = 2.0m$ nối tiếp mái $m = 1.00$ xuống cao trình +14.70 dài $L2 = 10m$; từ cao trình +14.70 nối tiếp mái xuống cao trình đỉnh bể tiêu năng +14.00 với $L3 = 27,20m - 28,15m$. Kết cấu bản đáy bể tiêu năng bằng BTCT M300 dày khoảng 2,0m được chia thành các đơn nguyên rộng 20m x 20m liên kết với nhau bằng giằng nhựa đường; phía dưới xử lý nền đối với bờ phải (02 khoang) đặt kết cấu bể tiêu năng trực tiếp trên nền đá (lớp 3)- với bờ trái phía dưới nền xử lý bằng cách bóc hết tầng địa chất đổ bù bằng bê tông M200.

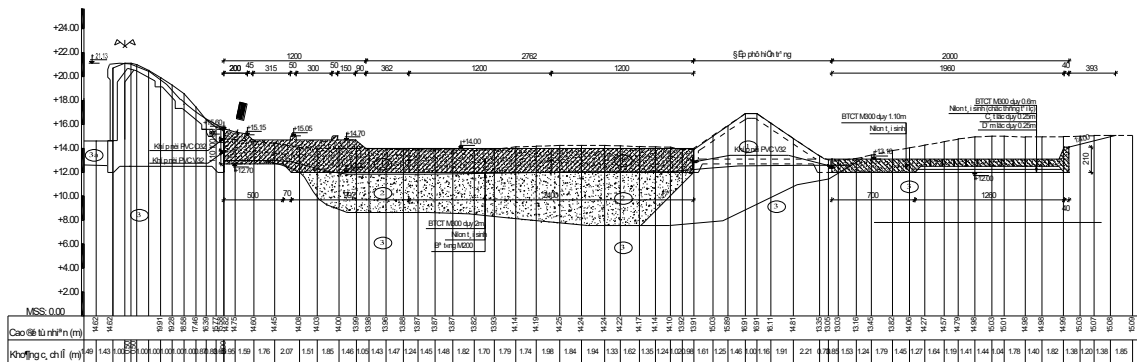
- Kết cấu tiêu năng: Tại cao trình +14.70 bố trí

02 hàng mô tiêu năng so le với khoảng cách từ cuối tràn đến mô thứ nhất là 6.0m; khoảng cách 2 mô là 3.50m; kích thước bxxhxl = 50x35x150cm. Dọc theo sân tiêu năng bố trí 03

tường hướng dòng nổi từ trụ pin đập đến đập phụ hiện trạng; trong đó 02 tường đỉnh +15.50 cao 1.5m; với tường giáp cống xả cát đỉnh tường +16.91 chân tường +14.70 - +14.00.



Hình 5: Mặt bằng bố trí tổng thể sửa chữa đập Thác Huống



Hình 6: Cắt dọc sửa chữa đập Thác Huống

4. KẾT LUẬN

Trên cơ sở các số liệu khảo sát địa hình, địa chất, thủy văn thủy lực phục vụ cho sửa chữa nâng cấp hệ thống thủy lợi Thác Huống trong đó có đập Thác Huống, giải pháp sửa chữa bể tiêu năng đập Thác Huống được nghiên cứu tính toán dựa trên cơ sở lý thuyết kết hợp với

thí nghiệm mô hình vật lý đã giải quyết các vấn đề liên quan đến nguyên nhân gây ra tác nhân ảnh hưởng đến chế độ làm việc kết cấu bể tiêu năng. Đây là giải pháp khả thi về mặt kỹ thuật, ưu điểm về thủy lực công trình đồng thời đảm bảo các điều kiện an toàn trong quá trình làm việc của đập Thác Huống.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Viện Thủy Công – Viện Khoa học Thủy lợi Việt Nam, “Hồ sơ thiết kế bản vẽ thi công Dự án sửa chữa nâng cấp hệ thống thủy lợi Thác Huống, tỉnh Bắc Giang – Thái Nguyên”, Hà Nội 2023-2024.
- [2] Lương Phương Hậu, Trần Đình Hối, “Động lực học dòng sông và chinh trị sông”, Nhà xuất Bản nông nghiệp, 2004.
- [3] Nguyễn Cảnh Cầm và nkn. “Thủy lực”, Nhà xuất Bản nông nghiệp, 2006
- [4] Hồ Việt Hùng (2016). Thiết lập các công thức tính toán cao trình đáy bể tiêu năng và các độ sâu nước nhảy trong bể. Tạp chí Khoa học kỹ thuật thủy lợi và môi trường, số 52.