

MÔ PHỎNG TÁC ĐỘNG CỦA DÒNG CHẢY QUA TUYNEL TN1 TỚI ỔN ĐỊNH LÒNG DẪN VÀ TRỤ CẦU NGÀN TRUOI TRÊN ĐƯỜNG HỒ CHÍ MINH BẰNG MÔ HÌNH TOÁN 3D

Lê Văn Nghị, Phạm Hồng Cường,
Đoàn Thị Minh Yến

Viện Khoa học Thủy lợi Việt Nam

Tóm tắt: Dòng chảy sau tuynel tháo lũ có áp mang đặc tính của dòng tia với mức độ rối rất cao, việc mô phỏng hoặc tính toán năng lượng thừa sau cửa ra tuynel nhằm xác định mức độ tác động tới lòng dẫn và các công trình ở hạ lưu là rất cần thiết. Bài báo trình bày kết quả mô phỏng tác động của dòng chảy sau tuynel TN1 - dự án hồ chứa nước Ngàn Truoi, tỉnh Hà Tĩnh tới lòng dẫn và cầu Ngàn Truoi bằng mô hình toán 3D. Mô hình được kiểm định, hiệu chỉnh qua mô hình vật lý, xác định được phân bố vận tốc lớn nhất trên sông Ngàn Truoi là $2.5 \div 3.2 \text{ m/s}$, qua đó kiến nghị giải pháp gia cố bảo vệ bờ và trụ cầu Ngàn Truoi bằng rọ đá.

Từ khóa: Tuynel, trụ cầu, mô hình vật lý, mô hình toán (Flow 3D).

1. MỞ ĐẦU

Tuynel TN1 là công trình lấy nước số 1 đặt tại vai trái của đập chính hồ chứa nước Ngàn Truoi tỉnh Hà Tĩnh. Cách hạ lưu tuynel khoảng 150m là cầu Ngàn Truoi trên đường Hồ Chí Minh và cách cầu Ngàn Truoi về hạ lưu khoảng 1km là đập Vũ Quang. Tuynel có dạng hình vòm đỉnh là nửa đường tròn, đường kính $D=7\text{m}$, làm nhiệm vụ dẫn dòng xả lũ thi công khoảng $560\text{m}^3/\text{s}$ và dẫn dòng xả lũ sự cố với lưu lượng khoảng $Q=420\text{m}^3/\text{s}$. Dòng chảy ở hạ lưu tuynel TN1 chảy thẳng ra sông Ngàn Truoi không có đoạn chuyển tiếp, hướng dòng chảy hợp với lòng dẫn tự nhiên một góc khoảng 130° . Với tính phức tạp về địa hình, địa chất lòng sông, các hiện tượng thủy lực bất

lợi ở hạ lưu tuynel được các cấp quản lý, các chuyên gia rất quan tâm, nghiên cứu ($0 \div 0$).

Năm 2009, với nhiệm vụ dẫn dòng thi công, cửa ra tuynel không bố trí bể tiêu năng (đáy sân hạ lưu $+0\text{m}$), hạ lưu chưa xây dựng đập Vũ Quang, thí nghiệm trên mô hình vật lý cho thấy dòng chảy qua tuynel thúc thẳng sang phía bờ phải sông Ngàn Truoi, tạo dòng chảy xiên và sóng dềnh cao 2,5m ở bờ sông và dềnh cao 1,2m ở trụ cầu Ngàn Truoi, khu vực cầu dòng chảy còn xiết, vận tốc dòng chảy tới 7m/s. Nghiên cứu thực nghiệm trên mô hình vật lý đã xác định được giải pháp tiêu năng hợp lý cho tuynel là giải pháp bố trí mố và ngưỡng tiêu năng ở hạ lưu tuynel [1]. [2].

Năm 2011, tuynel TN1 bổ sung nhiệm vụ xả lũ sự cố, cửa ra tuynel bố trí van côn gồm 2 van có kích thước $b \times h = 2,6 \times 4,0\text{m}$, hạ lưu tuynel

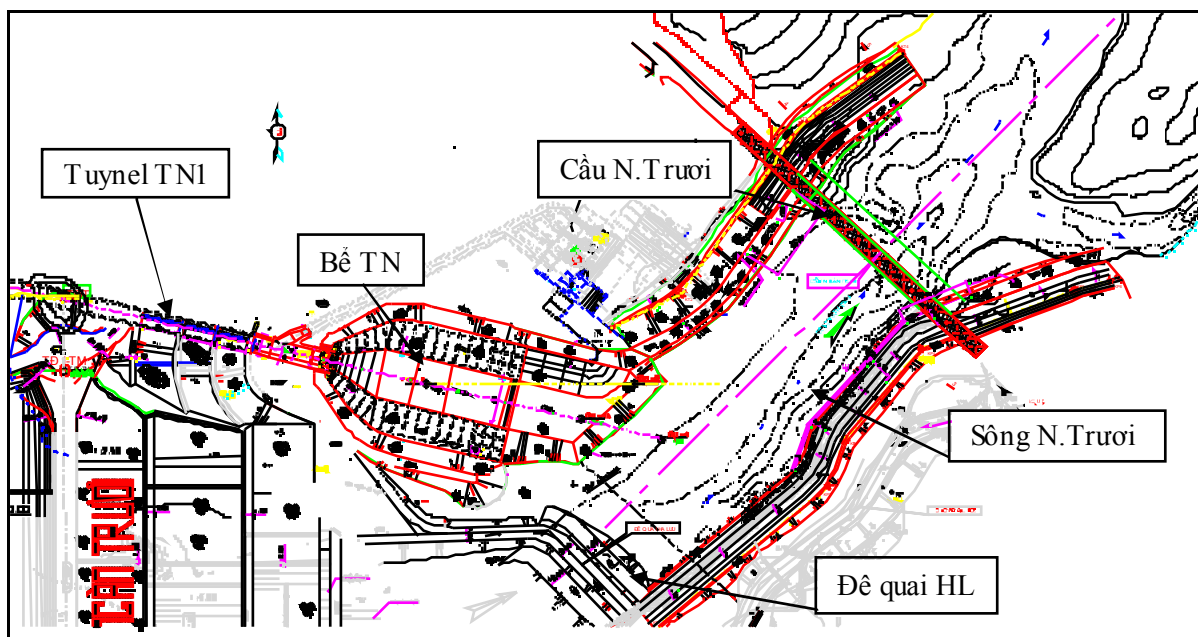
Ngày nhận bài: 11/24/2015

Ngày thông qua phản biện: 19/5/2015

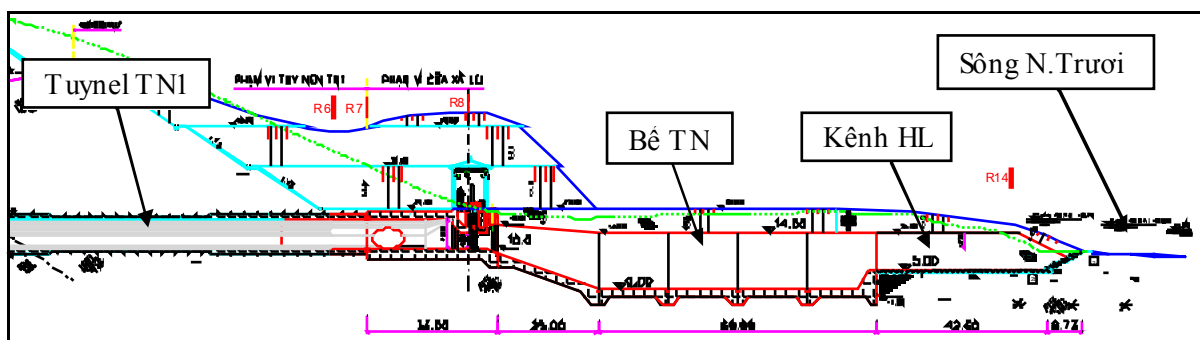
Ngày duyệt đăng: 25/5/2015

được thiết kế bố trí công trình tiêu năng vĩnh cửu dạng bể tiêu năng đáy ở cao trình +0,00m. Qua thực tế dẫn dòng thi công những năm 2014, 2015, 2016 cho thấy tình hình thủy lực ở hạ lưu tuynel vẫn rất phức tạp, đã xuất hiện hiện tượng xói sâu, có nguy cơ gây sạt trượt mất ổn định khu vực bờ phải sông và vùng cầu

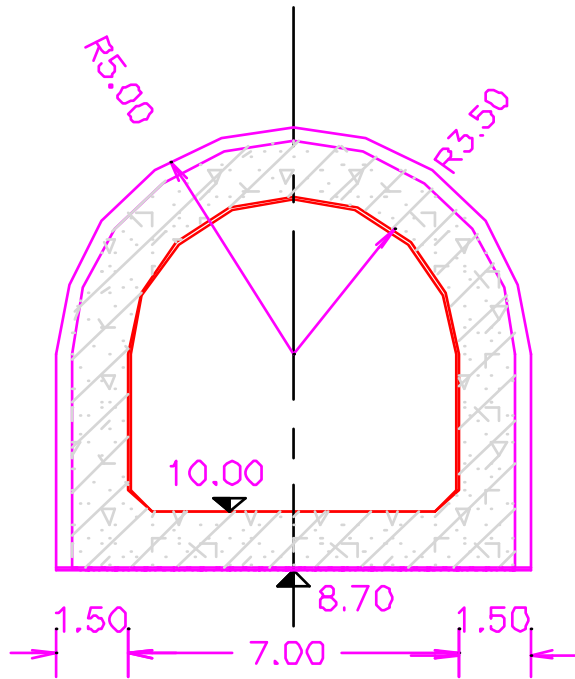
Ngàn Trươi. Do đó việc nghiên cứu tác động của dòng chảy qua tuynel TN1 tới ổn định lòng dẫn và trụ cầu Ngàn Trươi khi tuynel xả lũ dẫn dòng với tần suất thiết kế, tần suất kiểm tra hoặc tổ hợp mực nước thượng hạ lưu bất lợi hoặc tuynel xả lũ khi tràn xảy ra sự cố là rất quan trọng.



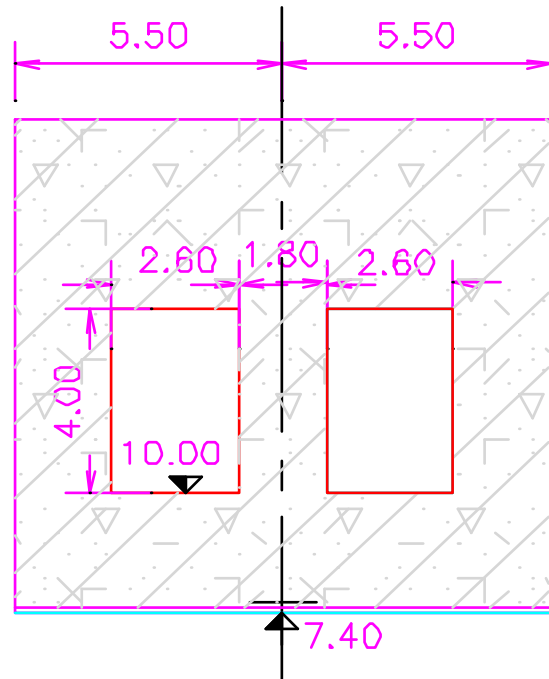
Hình 1. Mặt bằng công trình



Hình 2. Cắt dọc công trình



Thân và cửa ra tuynel khi dẫn dòng thí công



Cửa ra tuynel khi xả lũ sự cố vận hành
(bố trí van côn)

Hình 3. Cắt ngang thân và cửa ra tuynel

Nghiên cứu ứng dụng công cụ mô hình toán 3 chiều (Flow 3D) để mô phỏng dòng chảy sau tuynel nhằm xem xét sự tác động tới lòng dẫn và cầu Ngàn Trươi. Đây là phần mềm được phát triển bởi công ty Flow Science, Inc, Mỹ, sử dụng kỹ thuật thể tích khối để giải hệ phương trình Navier-Stokes trong đó phương trình lưu lượng tiêu chuẩn được rời rạc hóa và giải quyết cho mỗi ô lưới tính toán [5]. Hiện nay, công cụ Flow 3D ngày càng được sử dụng nhiều trong mô phỏng thủy lực công trình như dòng chảy qua đập tràn, kết cấu tiêu năng, xói lở và bồi lắng, xói mố, trụ cầu,... với tính năng cung cấp một cách chi tiết về diễn tiến, phân bố dòng chảy với độ chính xác cao. Trong nghiên cứu, trên mô hình 3D mô phỏng 3 bài toán công trình:

- Tuynel xả lũ dẫn dòng thí công, cửa ra tuynel chưa bố trí van côn, hạ lưu chưa bố trí bể tiêu năng, cao trình đáy kênh dẫn hạ lưu +10,0m; là mô hình kiểm nghiệm và hiệu chỉnh với mô

hình vật lý thí nghiệm năm 2009.

- Tuynel xả lũ dẫn dòng thí công, cửa ra tuynel chưa bố trí van côn, hạ lưu có bể tiêu năng, cao trình đáy bể +0m, cao trình đáy kênh dẫn hạ lưu +5,0m;

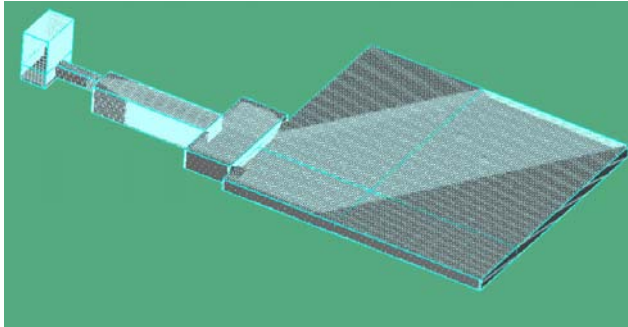
Tuynel xả lũ vận hành, cửa ra tuynel bố trí van côn kích thước $B \times H = (2,6 \times 4,0)$ m.

2. MÔ HÌNH 3D VÀ CÁC TRƯỜNG HỢP TÍNH TOÁN

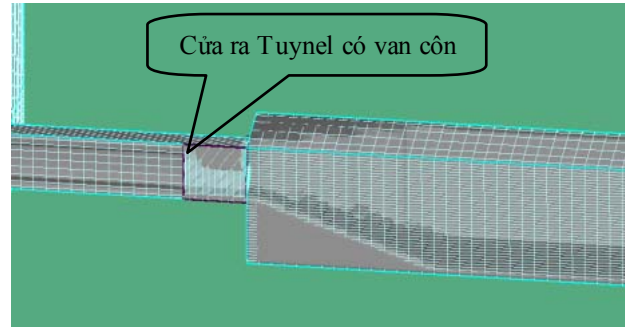
2.1. Xây dựng và kiểm nghiệm mô hình

• Xây dựng mô hình:

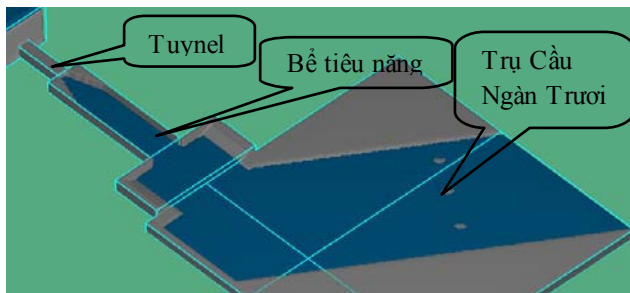
Phạm vi công trình tuynel xả lũ và cầu Ngàn Trươi được mô phỏng trên mô hình 3D gồm: Cửa vào tuynel TN1; Thân tuynel: đường kính $D=7$ m; Bể tiêu năng, rộng 25.2m, dài 68m; Kênh dẫn hạ lưu, rộng 25.2m, dài 43m; Sông và Cầu Ngàn Trươi (đoạn từ trước khu vực cửa ra của kênh dẫn hạ lưu tới vị trí qua cầu Ngàn Trươi 80m).



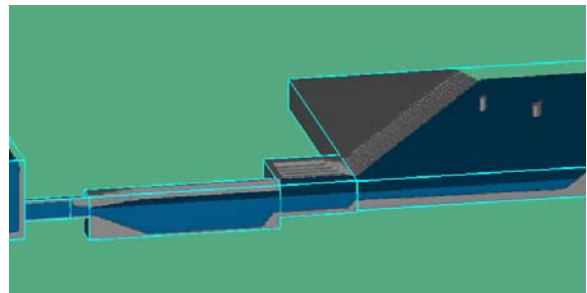
Hình 4. Lưới tính toán công trình mô phỏng



Hình 5. Lưới tính chi tiết khu vực cửa ra tuynel – bể tiêu năng



Hình 6. Mô phỏng tổng thể công trình



Hình 7. Cắt dọc tim công trình

Miền tính toán được chia lưới với các phần tử là các khối hình hộp chữ nhật xác định bởi lưới vuông 3 chiều. Toàn miền tính toán được chia làm 6 khu vực có kích thước lưới khác nhau ($0 \div 0$). Bước lưới được chọn là ước số của các kích thước hình học của công trình, ký hiệu theo 3 chiều tương ứng là Δx , Δy , Δz , cụ thể như sau:

- + Cửa vào tuynel: $\Delta x = \Delta y = 2\text{m}$; $\Delta z = 1\text{m}$.
- + Thân tuynel: $\Delta x = 2\text{m}$; $\Delta y = \Delta z = 1\text{m}$
- + Cửa ra tuynel: $\Delta x = \Delta y = \Delta z = 0.5\text{m}$.
- + Bể tiêu năng, sân sau hạ lưu: $\Delta x = \Delta y = 1\text{m}$; $\Delta z = 0.5\text{m}$
- + Sông Ngàn Trươi: $\Delta x = \Delta y = 2\text{m}$; $\Delta z = 0.5\text{m}$
 - + Khu vực cầu Ngàn Trươi: $\Delta x = 2$; $\Delta y = 1\text{m}$; $\Delta z = 0.5\text{m}$.

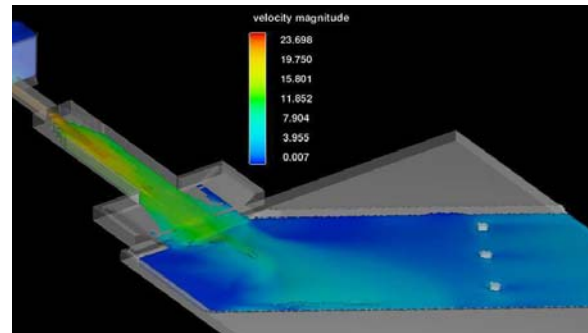
- Kiểm nghiệm, hiệu chỉnh mô hình:

Mô hình được hiệu chỉnh với lũ có tần suất

$P=0.5\%$, cao trình mực nước thượng lưu $Z_{TL}=39.46\text{m}$, cao trình mực nước hạ lưu $Z_{HL}=10.93\text{m}$ và kiểm định với lũ thường xuyên $Q=200\text{m}^3/\text{s}$, $Z_{TL}=17.98\text{m}$, $Z_{HL}=8.8\text{m}$ bằng kết quả thí nghiệm mô hình vật lý. Qua tính toán hiệu chỉnh và kiểm định cho thấy:

- Xu hướng dòng chảy, phân bố lưu tốc trên mô hình 3D tương tự như mô hình vật lý, dòng chảy hạ lưu tuynel thúc sang bờ phải sông Ngàn Trươi và xiên sang phía bờ trái ở khu vực thượng lưu cầu Ngàn Trươi (0).
- Giá trị lưu tốc dòng chảy $v(\text{m/s})$ tại một số vị trí mặt cắt của mô hình 3D tương tự mô hình vật lý (0).

Do đó, mô hình 3D mô phỏng công trình tuynel và cầu Ngàn Trươi hoàn toàn đủ độ tin cậy và chính xác để tính toán các trường hợp tuynel xả lũ.



Kết quả thí nghiệm mô hình vật lý năm 2009

Kết quả mô phỏng mô hình 3D

Hình 8. Phân bố dòng chảy và lưu tốc trường hợp $Z_{TL}0.5\%=39.5m$, $Z_{HL}=10.93m$.

Bảng 1. Kết quả giá trị lưu tốc v (m/s) hiệu chỉnh, kiểm định mô hình

Vị trí	Hiệu chỉnh mô hình, lũ chính vụ P0.5%: $Z_{TL}=39.46m$; $Z_{HL}=10.93m$; $Q=715m^3/s$.		Kiểm định mô hình, lũ thường xuyên, $Z_{TL}=17.98m$; $Z_{HL}=8.8m$; $Q=200m^3/s$.	
Mô hình	Mô hình vật lý (2009)	Mô hình 3D	Mô hình vật lý (2009)	Mô hình 3D
+ Đầu bể tiêu năng	16.84	16.68	8.80	8.50
+ Cuối bể tiêu năng	14.61	15.0	7.50	7.50
+ Cuối kênh xả hạ lưu	12.17	12.0	4.90	4.50
+ Thượng lưu cầu Ngàn Trươi 110m	Bờ phải/Tim/ Bờ trái = 4.63 / 7.16 / 1.1	Bờ phải/Tim/ Bờ trái = 4.1/ 7.10 / 1.55	Bờ phải /Tim= 2.7 / 3.90	Bờ phải /Tim = 2.5 / 3.80
+ Thượng lưu cầu Ngàn Trươi 40m	Bờ phải/Tim/ Bờ trái = 4.01/ 4.65 / 2.49	Bờ phải/Tim/ Bờ trái = 3.92 /4.50 / 2.22	Bờ phải /Tim = 3.5 / 2.90	Bờ phải /Tim = 3.0 / 2.80

2.2. Các trường hợp tính toán

Các trường hợp tính toán được xem xét, phân tích với tổ hợp mực nước thượng và mực nước hạ lưu (MNHL) trong các giai đoạn tuynel xả lũ dẫn dòng thi công và xả lũ vận hành; hạ lưu TN1 đã được xây dựng bể tiêu năng có cao trình đáy $Z_b=+0m$;

Mực nước hạ lưu tuynel là mực nước trên sông Ngàn Trươi được xét trong bài toán dòng chảy qua đập Vũ Quang chịu ảnh hưởng chịu ảnh

hưởng của lũ trên sông Ngàn Sâu (MNHL cao) và không chịu ảnh hưởng của lũ trên sông Ngàn Sâu (MNHL thấp). Trên mô hình 3D đã tính toán, mô phỏng tổng cộng 12 trường hợp, cụ thể:

- Trường hợp dẫn dòng thi công qua TN1, cửa vào có cao trình $+10,0m$, cửa ra chưa bố trí van cân:

+ Dòng chảy qua đập Vũ Quang không chịu ảnh hưởng của lũ trên sông Ngàn Sâu, lũ chính

vụ $P=0.5\% \div 1\%$, $Z_{TL}=39.55 \div 33.69\text{m}$,
 $Z_{HL}=10.93 \div 10.56\text{m}$;

+ Dòng chảy qua đập Vũ Quang có ảnh hưởng của lũ trên sông Ngàn Sâu, lũ chính vụ $P=0.1 \div 1\%$,
 $Z_{TL}=39.72 \div 33.69\text{m}$,
 $Z_{HL}=15.3 \div 14.55\text{m}$;

+ Lũ thường xuyên, $Q=490 \div 420\text{m}^3/\text{s}$,
 $Z_{TL}=30.7 \div 27.7\text{m}$, $Z_{HL}=13.55 \div 13.52\text{m}$;

- Trường hợp xả lũ vận hành qua TN1, cửa ra có bố trí van côn:

+ Xả lũ sự cố, $Z_{\text{ngưỡng tràn}}=48.2\text{m}$; $Z_{TL}=48.2\text{m}$;
 $Z_{HL}=13.5\text{m}$;

3. KẾT QUẢ TÍNH TOÁN

Với các trường hợp tính toán khi tuynel làm việc ứng với tổ hợp mực nước thượng hạ lưu, trích dẫn, phân tích kết quả tính toán, phân bố lưu tốc, giá trị lưu tốc dòng chảy ở hạ lưu tuynel TN1, trên sông và khu vực cầu Ngàn Trươi

Trươi. Trong phạm vi bài báo xin trình bày một số trường hợp đặc trưng:

1. Trường hợp dẫn dòng thi công, lũ 0.5%, $Q=660\text{m}^3/\text{s}$; $Z_{TL}=39.5\text{m}$; $Z_{HL}=10.93\text{m}$

Dòng chảy sau cửa ra tuynel vẫn có xu hướng thúc sang bờ phải sông Ngàn Trươi sau đó xiên sang bờ sông bên trái ở vị trí thượng lưu cầu khoảng 40m.

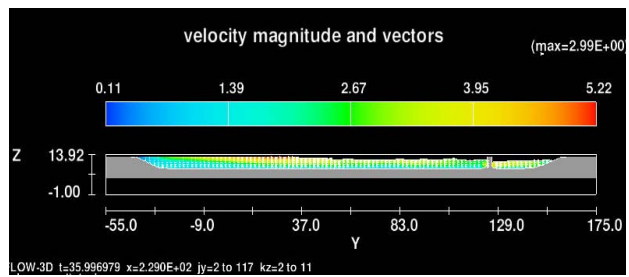
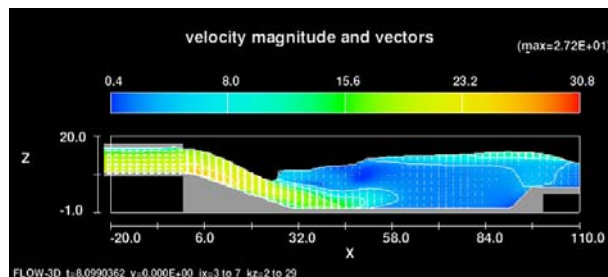
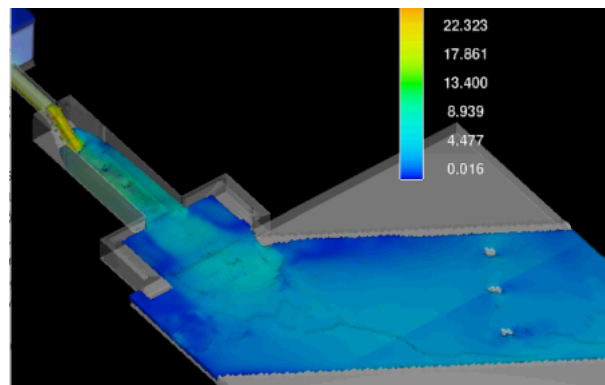
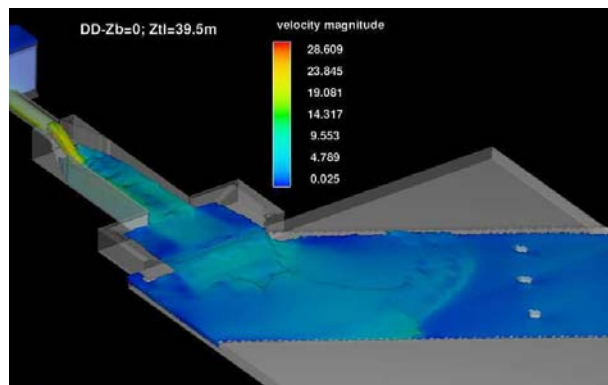
Giá trị lưu tốc dòng chảy tại:

- Đầu bể / giữa bể / cuối bể tiêu năng / cuối kênh xả = 19.7 / 15.0 / 5.5 / 6.8 (m/s)

- Sông Ngàn Trươi - thượng lưu cầu 110m: bờ phải / tim / bờ trái = 4.3 / 6.0 / 1.0 (m/s)

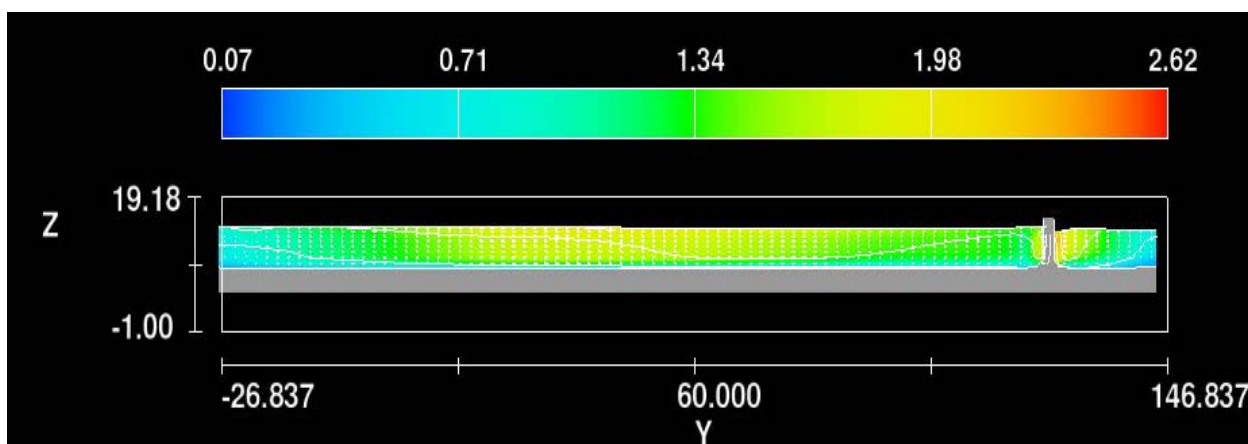
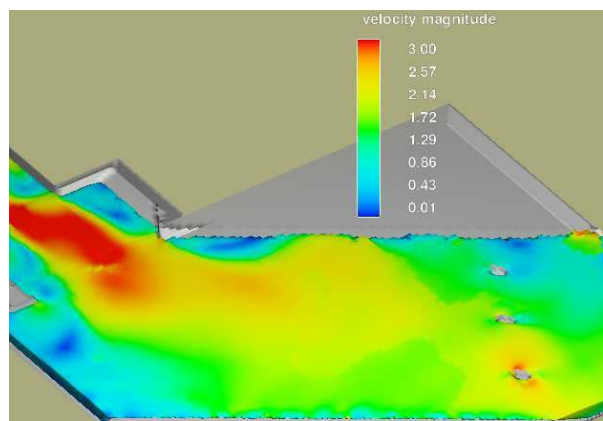
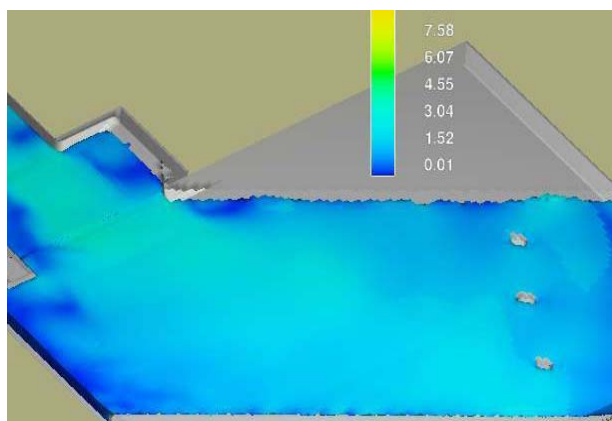
- Sông Ngàn Trươi - thượng lưu cầu 40m: bờ phải / tim / bờ trái = 4.0 / 4.7 / 2.0 (m/s)

- Khu vực cầu Ngàn Trươi: bờ phải / tim / bờ trái = 4.5 / 4.5 / 3.5 (m/s)



Hình 9. Phân bố và giá trị lưu tốc quá trình dòng chảy qua tuynel ra sông và cầu Ngàn Trươi – trường hợp DDTC 0.5%. $Z_b=+0\text{m}$; $Z_{TL}=39.5\text{m}$; $Z_{HL}=10.93\text{m}$

2. Trường hợp DDTC 1%: $Z_{TL}=33.69\text{m}$; $Z_{HL}=14.55\text{m}$ (MNHL cao)



Hình 10. Phân bố và giá trị lưu tốc quá trình dòng chảy qua tuynel ra sông và cầu Ngàn Trươi – trường hợp DDTC 1%: $Z_{TL}=33.69\text{m}$; $Z_{HL}=14.55\text{m}$ (MNHL cao)

Luồng chính của dòng chảy sau cửa ra tuynel vẫn có hướng thúc sang bờ phải sông Ngàn Trươi nhưng không xiên sang bờ trái mà tản đều dần trên toàn lòng dẫn theo chiều dòng chảy.

Giá trị lưu tốc dòng chảy tại:

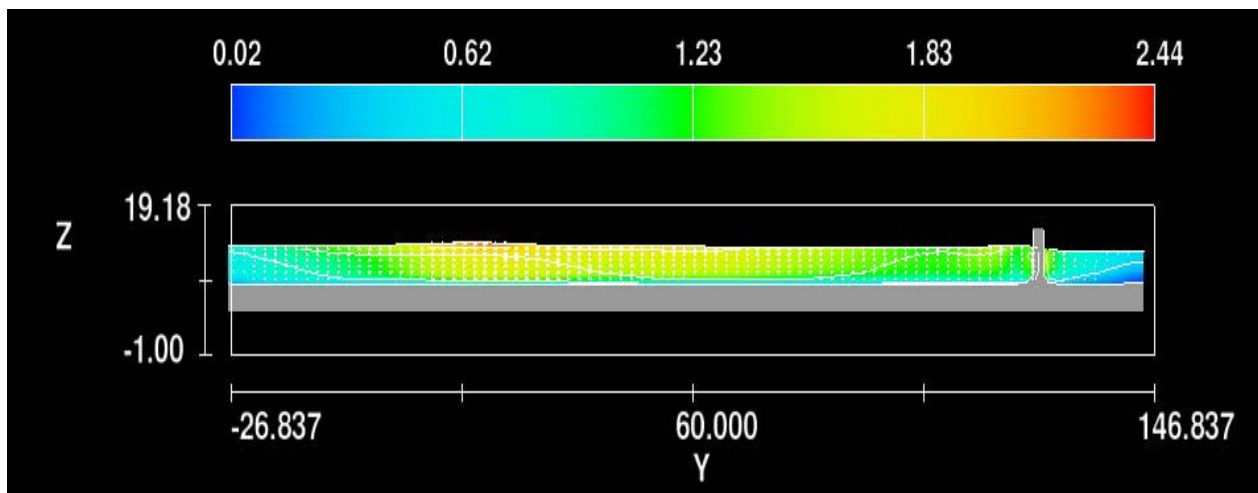
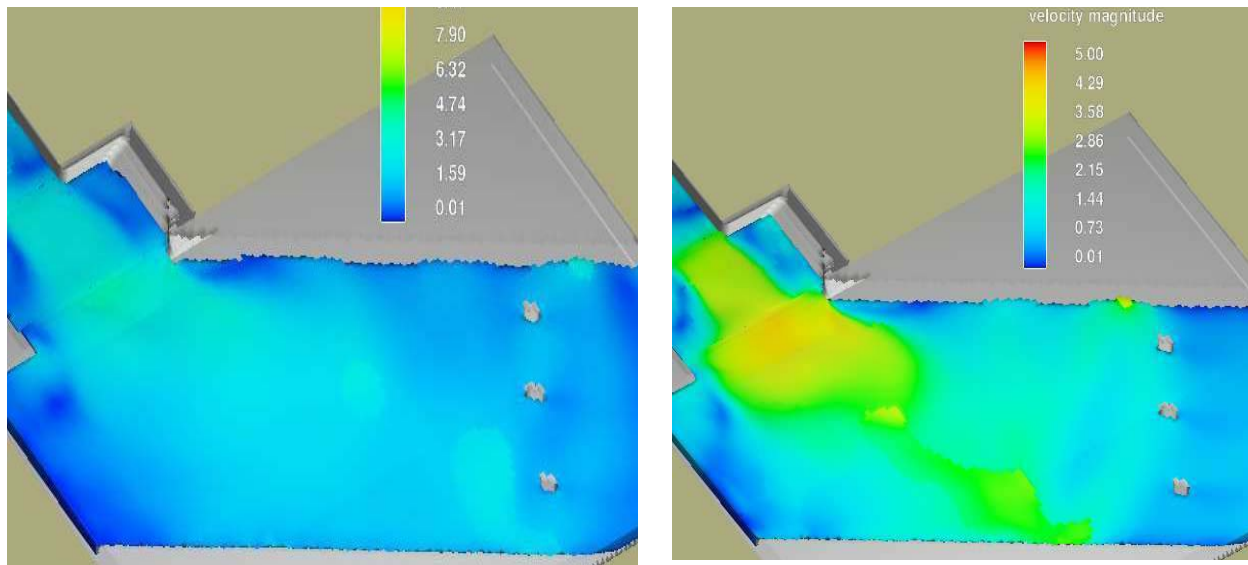
- Cuối kênh xả = 4.0 (m/s)
- Sông Ngàn Trươi - thượng lưu cầu 110m: bờ phải / tim / bờ trái = 2.0 / 3.5 / 2.2 (m/s)
- Sông Ngàn Trươi - thượng lưu cầu 40m: bờ phải / tim / bờ trái = 2.3 / 2.7 / 2.0 (m/s)
- Khu vực cầu Ngàn Trươi: bờ phải / tim / bờ trái = 2.2 / 2.2 / 1.7 (m/s)

3. Trường hợp DDTC, lũ thường xuyên, $Z_{TL}=30.7\text{m}$; $Z_{HL}=13.55\text{m}$ (MNHL thấp)

Luồng chính của dòng chảy sau cửa ra tuynel có hướng thúc sang bờ phải sông Ngàn Trươi, giá trị lưu tốc dòng chảy bên bờ phải lớn hơn bên bờ trái.

Giá trị lưu tốc dòng chảy tại:

- Cuối kênh xả = 4.3 (m/s)
- Sông Ngàn Trươi - thượng lưu cầu 110m: bờ phải / tim / bờ trái = 2.7 / 3.8 / 2.1 (m/s)
- Sông Ngàn Trươi - thượng lưu cầu 40m: bờ phải / tim / bờ trái = 3.0 / 3.0 / 2.5 (m/s)
- Khu vực cầu Ngàn Trươi: bờ phải / tim / bờ trái = 2.5 / 2.8 / 2.3 (m/s)



Hình 11. Phân bố và giá trị lưu tốc quá trình dòng chảy qua tuynel ra sông và cầu Ngàn Trươi – trường hợp DDTC, lũ thường xuyên, $Z_{TL}=30.7m$; $Z_{HL}=13.55m$ (MNHL thấp)

4. Trường hợp xả lũ vận hành (lũ sự cố):
 $Z_{TL}=Z_{ng\grave{a}n\ Truoi}=48.2m, Z_{HL}=13.50m; Q=360m^3/s$

Luồng chính của dòng chảy sau cửa ra tuynel có hướng thúc sang bờ phải sông Ngàn Trươi, 1/3 bó dòng chính phía bên trái thúc vào bờ trái, giá trị lưu tốc dòng chảy bên bờ phải lớn hơn bên bờ trái.

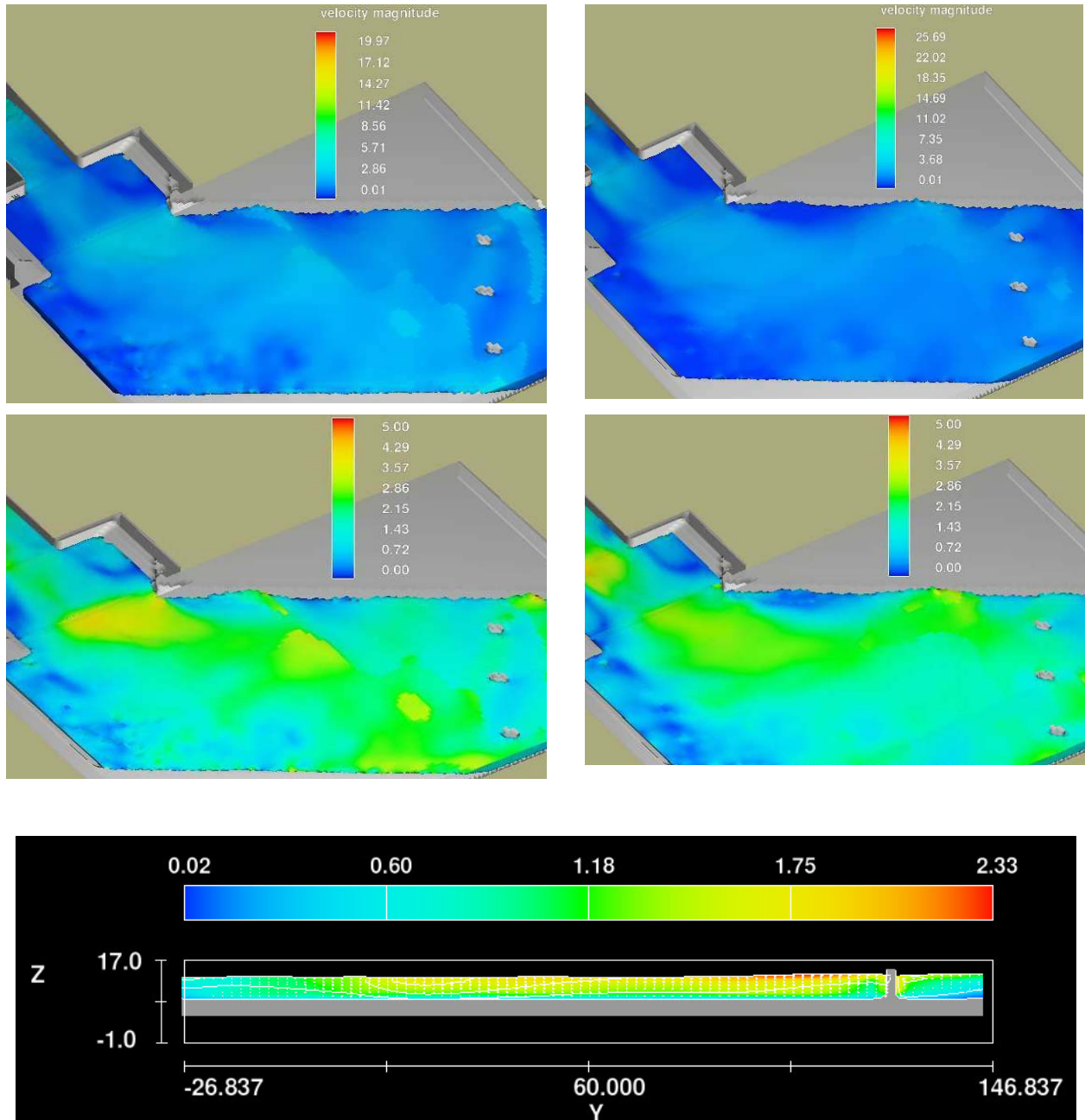
Giá trị lưu tốc dòng chảy tại:

- Cuối kênh xả = 5.5 (m/s)

- Sông Ngàn Trươi - thượng lưu cầu 110m: bờ phải / tim / bờ trái = 1.8 / 4.3 / 1.2 (m/s)

- Sông Ngàn Trươi - thượng lưu cầu 40m: bờ phải / tim / bờ trái = 3.0 / 3.2 / 2.7 (m/s)

- Khu vực cầu Ngàn Trươi: bờ phải / tim / bờ trái = 2.8 / 3.0 / 2.5 (m/s)



Hình 12. Phân bố và giá trị lưu tốc quá trình dòng chảy qua tuynel ra sông và cầu Ngàn Trươi – trường hợp xả lũ sự cố: , $Z_{TL}=Z_{ng\grave{a}n\grave{a}n}=48.2m$, $Z_{HL}=13.50m$; $Q=360m^3/s$

3. KẾT LUẬN

1. Mô hình toán Flow 3D mô phỏng công trình tuynel TN1, sông và cầu Ngàn Trươi được hiệu chỉnh và kiểm định với mô hình vật lý với độ phù hợp cao (0), sai số từ 1%÷8%. Mô hình mô phỏng hoàn toàn đủ cơ sở tin cậy để tiếp tục tính toán cho các trường hợp tuynel làm việc.

2. Kết quả tính toán trên mô hình toán 3D với 12 trường hợp cho thấy:

- Hướng phân bố và giá trị lưu tốc dòng chảy ở kênh xả hạ lưu, trên sông Ngàn Trươi và khu vực cầu Ngàn Trươi phụ thuộc nhiều vào mực nước hạ lưu trên sông Ngàn Trươi.

- Trường hợp bất lợi nhất về phân bố và giá trị lưu tốc dòng chảy ở lòng dẫn và Ngàn Trươi gồm: (1). Trường hợp dẫn dòng thi công qua tuynel xả lũ thường xuyên $Q=400\div 500\text{m}^3/\text{s}$ (mà không phải là lũ kiểm tra hay lũ thiết kế), dòng chảy qua đập Vũ Quang không chịu ảnh hưởng của lũ trên sông Ngàn Sâu, giá trị lưu tốc lớn nhất ở khu vực này đạt $1.8\div 3.0\text{m/s}$. (2). Trường hợp khi vận hành, mực nước hồ bằng cao trình ngưỡng tràn 48.2m, xả lũ sự cố qua tuynel TN1, $Q=360\text{m}^3/\text{s}$, $Z_{HL}=13.5\text{m}$, lưu tốc dòng chảy lớn nhất ở 2 bờ xuất hiện tại vị trí

giao giữa phương tim tuynel và bờ phải (thượng lưu cầu khoảng 50m), giá trị lưu tốc dòng chảy 2 bên bờ sông và cầu Ngàn Trươi đạt từ $2.5\div 3.2\text{m/s}$.

3. Kết quả tính toán tác động của dòng chảy hạ lưu tuynel TN1 bằng mô hình toán 3D được các nhà khoa học, nhà quản lý đánh giá cao, là cơ sở khoa học để tính toán thiết kế gia cố bảo vệ lòng dẫn sông và cầu Ngàn Trươi, qua đó kiến nghị giải pháp gia cố bảo vệ bờ và trụ cầu Ngàn Trươi bằng rọ đá.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Lê Văn Nghi, nnk (2009), Báo cáo kết quả thí nghiệm mô hình thủy lực tuynel xả lũ thi công và cầu Ngàn Trươi, Phòng thí nghiệm trọng điểm quốc gia về động lực học sông biển.
- [2]. Lê Văn Nghi, nnk (2012), Kết quả nghiên cứu thực nghiệm chọn kết cấu tiêu năng hợp lý cho tuynel xả lũ thi công và cầu Ngàn Trươi, Tạp chí Khoa học và công nghệ Thủy lợi, số 12 (12/2012).
- [3]. Phạm Văn Song và Vũ Hoàng Thái Dương (2012): “Sử dụng mô hình toán và mô hình vật lý xác định hình thức và quy mô hợp lý cho giải pháp tiêu năng phòng xói hạ lưu cho công trình cống Thủ bộ”, Tạp chí khoa học thủy lợi và Môi trường, ISSN 1859-3941, Vol 37/6-2012.
- [4]. Phạm Văn Song (2014), Nghiên cứu cải tiến mô tiêu năng sau cống vùng triều có khẩu diện lớn – áp dụng cho trường hợp cống Thủ Bộ, Tạp chí Khoa học và công nghệ Thủy lợi, số 23 (12/2014).
- [5]. Hirt, C.W. and Nichols, B.D. (1981): “Volume of Fluid (VOF) Method for the Dynamics of Free Boundaries”, Journal of Computational Physics 39, 201.