

ỨNG DỤNG PHẦN MỀM FLOW-3D TÍNH TOÁN VẬN TỐC VÀ ÁP SUẤT TRÊN ĐẬP TRÀN HÌNH CONG

Đỗ Xuân Khánh¹, Lê Thị Thu Nga¹, Hồ Việt Hùng¹

Tóm tắt: Bài báo này sử dụng phần mềm Flow-3D mô phỏng dòng chảy qua đập tràn thực dụng mặt cắt hình cong, ứng dụng cho thủy điện Đồng Nai 2. Hai yếu tố chính của dòng chảy qua đập tràn là vận tốc và áp suất được tính toán và phân tích kỹ thông qua bốn mô hình dòng chảy rối khác nhau. Kết quả cho thấy rằng, mô hình dòng chảy rối RNG có kết quả mô phỏng tốt hơn so với các mô hình còn lại là K, K-epsilon và LES khi so sánh với kết quả đo đạc trong phòng thí nghiệm, với lưu lượng $Q = 150.76$ l/s. Các chỉ tiêu so sánh ở mức tốt với hệ số Nash là 0.86 và phần trăm sai số trung bình là 10.9%. Mô hình cũng được kiểm định với một cấp lưu lượng khác, khi $Q = 184.13$ l/s và cho kết quả mô phỏng được đánh giá là phù hợp với số liệu thực đo.

Từ khóa: Flow 3D, đập tràn hình cong, RNG, mô phỏng dòng chảy.

1. MỞ ĐẦU

Trong các công trình thủy lợi, thủy điện, đập tràn có mặt cắt thực dụng hình cong thường được sử dụng để xả lũ, đảm bảo an toàn cho công trình. Xác định chính xác vận tốc và áp suất trên mặt đập tràn để thiết kế hình dạng mặt cắt tràn luôn là vấn đề khó khăn, hấp dẫn nhiều nhà khoa học. Trong thời gian qua, các nghiên cứu về trường vận tốc và phân bố áp suất trên mặt tràn chủ yếu được thực hiện nhờ mô hình vật lý với chi phí khá lớn và mất nhiều công sức. Gần đây với sự phát triển của các phương pháp số, đặc biệt là sự ra đời của CFD (Computational Fluid Dynamic) - phương pháp số được sử dụng kết hợp với công nghệ mô phỏng trên máy tính để giải quyết các bài toán về cơ học và môi trường, đã giúp các nghiên cứu về dòng chảy qua đập tràn đạt được kết quả đáng kể. Những phần mềm thuộc họ CFD như Flow-3D là công cụ hữu hiệu giúp cho việc mô phỏng dòng chảy trên mặt tràn được chi tiết và chính xác hơn. Flow-3D là phần mềm thương mại, mô phỏng dòng chảy 3 chiều được phát triển bởi công ty Flow Science, Inc, Mỹ. Phần mềm này được sử dụng trong các nghiên cứu quốc tế như Kumcu (2016) và Sadegh D. K.

(2016). Trong các nghiên cứu này, các tác giả đã áp dụng mô hình Flow-3D để đánh giá dòng chảy qua tràn tại đập Kavsak, Thổ Nhĩ Kỳ và đập Balaroud, Iran. Kết quả cho thấy, vận tốc, độ sâu dòng chảy, áp suất có sự tương đồng lớn giữa thực đo và tính toán. Bên cạnh đó, các nhà khoa học trong nước như Phạm Văn Song (2014) hay Nguyễn Công Thành và nnk (2014) cũng sử dụng Flow-3D như một công cụ để tính toán, cải tiến mô tiêu năng cho cống vùng triều hay tính toán năng lượng đã tiêu hao khi dòng chảy qua bậc nước. Tuy nhiên, việc kiểm định độ chính xác của mô hình này vẫn là một câu hỏi lớn cần được thực hiện bằng những công trình cụ thể.

Vì vậy, mục tiêu của bài báo này là ứng dụng phần mềm Flow-3D mô phỏng dòng chảy qua đập tràn thực dụng hình cong không chân không, áp dụng cho tràn xả lũ của thủy điện Đồng Nai 2. Qua đó đánh giá khả năng của các mô hình dòng chảy rối trong Flow-3D. Độ chính xác của kết quả tính toán vận tốc và áp suất trên mặt tràn sẽ được kiểm định thông qua các số liệu thực đo trên mô hình vật lý trong phòng thí nghiệm.

2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

Trong bài báo này phương pháp mô hình toán kết hợp với mô hình vật lý đã được sử dụng để tính toán và kiểm định kết quả.

¹ Bộ môn Thủy lực, Trường Đại học Thủy lợi

2.1. Mô hình toán

Mô hình Flow-3D sử dụng phương trình Navier-Stoke làm phương trình chủ đạo. Phương trình này là sự kết hợp của hai phương trình bảo toàn khối lượng và động lượng.

$$\frac{\partial u_i}{\partial x_i} = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial u_i}{\partial t} + u_j \frac{\partial u_i}{\partial x_j} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x_i} + \nu \frac{\partial^2 u_i}{\partial x_j \partial x_j} \quad (2)$$

Trong đó: u_i là thành phần vận tốc theo 3 phương x, y, z ; P là áp suất; ν là hệ số nhớt động học. Phương trình 1 và 2 chỉ có thể giải được bằng toán học trong một số bài toán dòng chảy có điều kiện đơn giản. Trong thực tế, dòng chảy trong các công trình thủy lợi hầu hết là dòng chảy rối, đặc biệt là dòng chảy qua đập tràn. Để giải được hệ phương trình Navier Stoke trong trường hợp dòng rối người ta phải sử dụng một số phương pháp phổ biến sau: a) Phương pháp mô phỏng dòng rối bằng cách tính toán trực tiếp, Direct Numerical Simulation (DNS): Đây là phương pháp đưa ra lời giải chính xác nhất cho phương trình Navier-Stoke bởi nó xét đến mọi cấp độ rối của dòng chảy mà không cần sự trợ giúp của bất kỳ một giả thiết nào. Tuy nhiên, DNS gặp nhiều khó khăn trong việc hiện thực hóa lời giải vì nó đòi hỏi một hệ thống máy tính đủ mạnh và sơ đồ giải đủ chính xác để giảm bớt sai số; b) Phương pháp mô phỏng dòng chảy, Large Eddy Simulation (LES), phương pháp này coi dòng rối là dòng chảy của những xoáy nước lớn. Nguyên lý chủ đạo của phương pháp LES là dựa trên sự đơn giản hóa phương pháp DNS; c) Phương pháp trung bình hóa Reynolds (RANs). Phương pháp này chỉ tập trung vào giá trị thống kê của dòng chảy mà không quan tâm

đến giá trị tức thời của chúng. Do đó, trong RANs tất cả các cấp độ rối của dòng chảy sẽ được trung bình hóa. Trước tiên ta sẽ thiết lập phương trình Reynold cho các giá trị trung bình, phương trình này sẽ có những thành phần chưa xác định. Những thành phần này sẽ được tính dựa trên những giá trị trung bình đã biết thông qua những giả thiết (closure assumptions).

Trong các phương pháp trên thì phương pháp RANs được sử dụng phổ biến nhất. Để phát triển hệ phương trình RANs, các tham số đặc trưng của dòng chảy gồm vận tốc, áp suất tại một điểm phụ thuộc thời gian được chia làm 2 phần: thành phần trung bình và các đại lượng mạch động, cụ thể như sau:

$$u_i(x_i, t) = \bar{u}_i(x_i, t) + u'_i(x_i, t) \quad (3)$$

$$p_i(x_i, t) = \bar{p}(x_i, t) + p'(x_i, t) \quad (4)$$

Trong đó: $\bar{u}$ và $\bar{p}$ là các thành phần vận tốc và áp suất trung bình theo thời gian. u', p' là các thành phần vận tốc và áp suất mạch động xung quanh giá trị trung bình. Với hai phương trình trên, hệ phương trình RANs sẽ có dạng trung bình như sau:

$$\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_i} = 0 \quad (5)$$

$$\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial t} + \bar{u}_j \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial \bar{p}}{\partial x_i} + \nu \frac{\partial^2 \bar{u}_i}{\partial x_j \partial x_j} - \frac{\partial \bar{u}'_i \bar{u}'_j}{\partial x_j} + g_i \quad (6)$$

Trong đó: $\bar{u}'_i \bar{u}'_j$ là đại lượng khác không và là đại lượng quan trọng nhất trong mô phỏng dòng chảy rối, nó được gọi là ứng suất Reynolds (Reynolds stress) và có quan hệ với ứng suất tiếp rối như sau

$$\tau_{ij} = \overline{u'_i u'_j} - \frac{2}{3} k \delta_{ij} \quad (7)$$

Phương trình Navier Stoke trung bình (RANs) sẽ được chuyển thành dạng (8) sau đây.

$$\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial t} + \bar{u}_j \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial}{\partial x_i} \left(\bar{p} + \frac{2}{3} \rho k \delta_{ij} \right) + \nu \frac{\partial^2 \bar{u}_i}{\partial x_j \partial x_j} - \frac{\partial \tau_{ij}}{\partial x_j} + g_i \quad (8)$$

Để đóng kín (giải) được RANs, chúng ta cần phải xác định được $\partial \tau_{ij}$ thông qua một vài giả

thuyết, như giả thuyết về tuyến tính hay không tuyến tính độ nhớt rối (linear or non linear eddy

viscosity), hay giả thuyết về mô hình ứng suất Reynolds (Reynolds stress model, RSM). Từ những giả thuyết này các nhà khoa học sẽ thiết lập ra rất nhiều mô hình tính toán dòng rối, có thể kể đến dưới đây.

- Mô hình một phương trình (*K equation*): giải quyết một phương trình đối lưu chảy rối

$$\frac{\partial k}{\partial t} + \frac{\partial \bar{u}k}{\partial x_j} = -\bar{u'_i u'_j} \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} - C_D \frac{k^{\frac{3}{2}}}{l} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\nu + \frac{\nu_T}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] \quad (9)$$

Trong đó: ν_t là xoáy nhớt (eddy viscosity) hay độ nhớt rối (turbulent viscosity). Hệ số khép kín và quan hệ bổ trợ $\varepsilon = C_D \frac{k^{\frac{3}{2}}}{l}$, $C_D = 0.08$, $\sigma_k = 1$.

- Mô hình hai phương trình (*K-Epsilon equation*): Mô hình chảy rối hai phương trình là một trong những mô hình phổ biến nhất của các mô hình chảy rối. Theo định nghĩa, mô hình chảy rối hai phương trình bao gồm thêm hai

(turbulent transport equation) thường là động năng chảy rối. Nguồn gốc mô hình một phương trình chảy rối là mô hình một phương trình của Prandtl

$$\nu_t = k^{\frac{1}{2}} l = C_D \frac{k^2}{\varepsilon} \quad (9)$$

phương trình đối lưu để mô tả cho tính chảy rối của dòng chảy. Thông thường một trong các biến đối lưu là động năng chảy rối (turbulent kinetic energy) k , biến đối lưu thứ hai khác nhau phụ thuộc vào kiểu của mô hình hai phương trình. Lựa chọn phổ biến là tiêu tán rối ε (turbulent dissipation)

$$\nu_t = C_\mu \frac{k^2}{\varepsilon} \quad (11)$$

Phương trình k:

$$\frac{\partial k}{\partial t} + \frac{\partial \bar{u}_i k}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left[\left(\nu + \frac{\nu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_i} \right] - \bar{u'_i u'_j} \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} - \varepsilon \quad (12)$$

Phương trình

$$\varepsilon : \frac{\partial \varepsilon}{\partial t} + \frac{\partial \bar{u}_i \varepsilon}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left[\left(\nu + \frac{\nu_t}{\sigma_\varepsilon} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_i} \right] - C_{1\varepsilon} \frac{\varepsilon}{k} \bar{u'_i u'_j} \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} - C_{2\varepsilon} \frac{\varepsilon^2}{k} \quad (13)$$

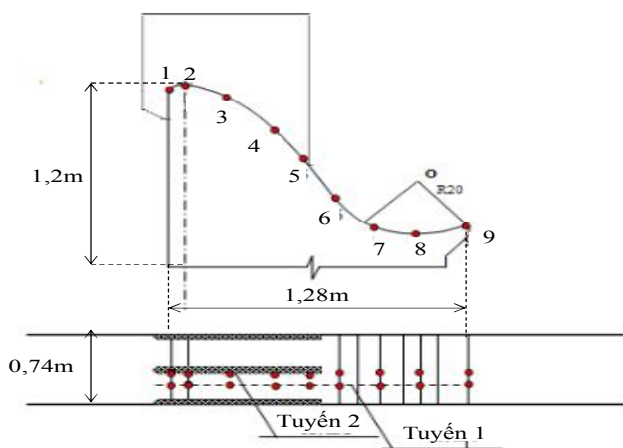
Trong đó: $C_\mu = 0.09$; $\delta_k = 1.0$; $\sigma_\varepsilon = 1.3$; $C_{1\varepsilon} = 1.44$; $C_{2\varepsilon} = 1.92$;

- Mô hình RNG (Renormalization-Group): Mô hình này dùng chung 2 phương trình với mô hình *K-epsilon*, tuy nhiên những giá trị hằng số thực nghiệm trong phương trình *K-epsilon* sẽ được tìm dưới dạng hiện (explicit method). Trong Flow 3D, mô hình RNG được khuyến khích sử dụng và được cho rằng có độ chính xác hơn so với các mô hình dòng rối khác (Kermani et al. 2014, Sadegh et al. 2016).

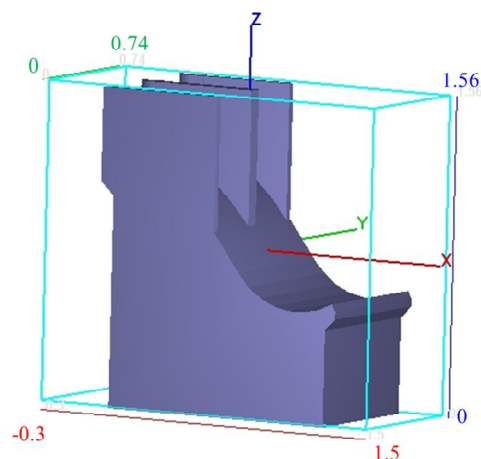
2.2. Mô hình vật lý

Mô hình vật lý được xây dựng tại Phòng thí nghiệm Thủy lực tổng hợp Trường Đại học

Thủy lợi. Tại đây, mô hình mặt cắt tràn với tỉ lệ 1:50 được thiết kế và lắp đặt trong máng kính chữ nhật gồm 2 khoang, 1 trụ pin ở giữa và 2 nửa trụ pin 2 bên, được mô tả chi tiết trong Hình 1. Vận tốc dòng chảy trên tràn được đo tại vị trí sát mặt tràn tại 9 điểm dọc theo tuyến ở giữa khoang tràn. Thiết bị điện tử P.EMS của Hà Lan với đầu đo E40 và E30 được sử dụng để đo vận tốc. Áp suất trung bình, áp suất mạch động trên tràn và mũi phun được đo bằng thiết bị điện tử SDA- 830C do Nhật bản chế tạo cùng các thiết bị điện tử khác.



Hình 1. Mặt cắt tràn và sơ đồ bố trí các điểm đo



Hình 2. Hình ảnh tràn được mô phỏng trong Flow-3D

2.3. Phương pháp đánh giá

Để đánh giá kết quả tính của mô hình toán, chúng tôi sử dụng hai trị số: hệ số Nash, NSE (the Nash – Sutcliffe efficiency) và sai số trung bình, X_{tb} , với các công thức tính dưới đây.

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (X_{obs,i} - X_{sim,i})^2}{\sum_{i=1}^n (X_{obs,i} - \overline{X_{obs}})^2} \quad (14)$$

$$X_{tb} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{|X_{obs,i} - X_{sim,i}|}{X_{obs,i}} * 100 \quad (15)$$

Trong đó: $X_{obs,i}$ là giá trị thực đo; $\overline{X_{obs}}$ là giá trị thực đo trung bình; $X_{sim,i}$ là giá trị mô phỏng; n là số lượng giá trị tính toán.

Hệ số Nash là hệ số thể hiện sự tương quan giữa giá trị thực đo và giá trị tính toán. Mô hình toán cho kết quả tốt khi có Nash lớn gần bằng 1 và sai số trung bình nhỏ.

3. KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU

Dòng chảy qua đập tràn là dòng chảy rối và chịu ảnh hưởng của trọng lực là chính. Do đó trong Flow-3D cần lựa chọn mô hình dòng chảy chịu ảnh hưởng của trọng lực và mô hình dòng chảy rối. Việc lựa chọn kích thước lưới hợp lý cho ô tính toán là một nhiệm vụ rất quan trọng. Giá trị này ảnh hưởng không chỉ đến độ chính xác của mô hình mà còn cả thời gian tính toán. Do đó, số lượng ô tính toán cần được khống chế ít nhất có thể nhưng vẫn phải đảm bảo đủ độ phân giải thể hiện mối quan hệ giữa dòng chảy và vật cản như trụ pin và mố bên. Kích thước ô

tính toán $\Delta x = \Delta y = \Delta z = 0.01m$ trong nghiên cứu này được lựa chọn qua các tiêu chí sau: a) nhỏ hơn bề rộng tràn và độ sâu mực nước nhỏ nhất trên tràn; b) tham khảo các nghiên cứu đã thực hiện trước đây (Kermani et al. 2014, Sadegh et al. 2016, Kumcu et al. 2016).

Để thiết lập mô hình đập tràn, cần định dạng mặt cắt tràn trên Autocad, sau đó xuất file dưới dạng *.stl và nhập trực tiếp vào Flow-3D (Hình 2). Xác định các điều kiện biên như sau: dòng chảy trong miền tính toán được đặt trong hệ tọa độ Đề các 6 mặt, với thứ tự lần lượt là: biên thượng lưu (X_{min}) được gán là điều kiện biên áp suất với chiều cao cụ thể của cột nước tràn H : $X_{min} \equiv P$ (Hydrostatic Pressure), biên hạ lưu (X_{max}) là biên của dòng chảy ra (Outflow) sẽ được gán: $X_{max} \equiv O$ (Outflow), biên thấp nhất trên trục Z (đáy kênh hạ lưu) sẽ được gán điều kiện biên như một tường cứng: $Z_{min} \equiv W$ (Wall), biên cao nhất trên trục Z sẽ được gán như một biên đối xứng: $Z_{max} \equiv S$, biên theo phương Y gồm tường bên trái với $Y_{min} \equiv W$ (Wall) và tường bên phải $Y_{max} \equiv W$ (Wall). Trong đó: X là phương dọc theo chiều dòng chảy từ thượng lưu đến hạ lưu tràn; Y là phương vuông góc với dòng chảy, từ tường cánh bên trái sang tường cánh bên phải; Z là phương thẳng đứng theo độ sâu dòng chảy.

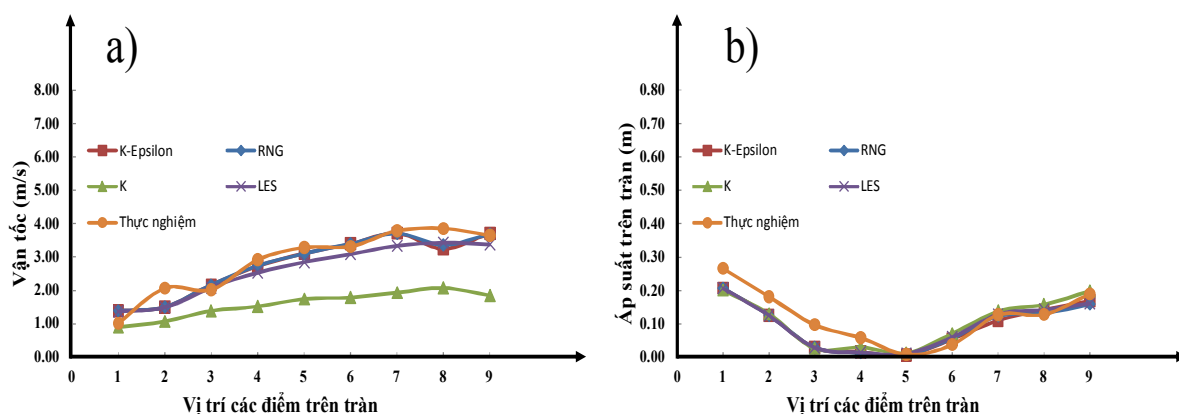
Trong bài báo này, phần mềm Flow-3D đã được áp dụng thử nghiệm nhằm xác định vận tốc dòng chảy và phân bố áp suất trên mặt đập

tràn của thủy điện Đồng Nai 2. Các mô hình dòng rối khác nhau sẽ được tính toán với lưu lượng qua đập tràn là $Q = 150.76 \text{ l/s}$ và cột nước tràn $H = 0.232 \text{ m}$. Kết quả tính toán của 4 mô hình dòng chảy rối được thể hiện trong các mục dưới đây. Dựa trên kết quả tính toán, các tác giả sẽ lựa chọn mô hình dòng rối tốt nhất phục vụ việc mô phỏng dòng chảy qua tràn.

3.1. Vận tốc dòng chảy

Nhà máy thủy điện Đồng Nai 2 là bậc thang thứ 3 trên sông Đồng Nai, có nhiệm vụ chính là khai thác tiềm năng thủy điện, kết hợp sử dụng tổng hợp

nguồn nước và đảm bảo chống lũ cho hạ du. Tràn tổng thể của công trình thủy điện Đồng Nai 2 là đập tràn thực dụng mặt cắt hình cong không chân không. Toàn bộ đập tràn gồm 5 khoang, chiều rộng mỗi khoang 15m, trụ pin và móng bên phía thượng lưu dạng lượn tròn, phía hạ lưu vuông góc, chiều dày trụ pin và móng bên là 3,5m, có bố trí khe van. Việc tính toán chính xác vận tốc dòng chảy qua đập tràn đóng một vai trò vô cùng quan trọng, đảm bảo an toàn của cả hệ thống công trình. Kết quả tính toán vận tốc dòng chảy được trình bày trong bảng và đồ thị dưới đây.



Hình 3. So sánh: a) vận tốc và b) áp suất thực đo với tính toán bằng các mô hình dòng rối

Bảng 1. So sánh giữa giá trị vận tốc thực đo và tính toán bằng 4 mô hình dòng rối

Mô hình dòng rối		RNG	K	K-epsilon	LES
Chỉ tiêu so sánh	Hệ số Nash	0.86	-1.53	0.84	0.72
	X_{tb}	10.9%	42.6%	11.4%	15%

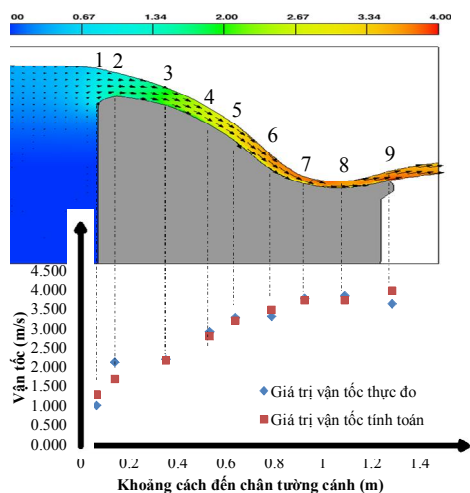
Có thể thấy rằng, mô hình Flow-3D cung cấp một góc nhìn dễ dàng và đầy đủ hơn về trường vận tốc dòng chảy qua tràn, so với mô hình vật lý, thông qua việc mô phỏng dòng chảy theo 3 chiều x, y, z . Hình 3a và bảng 1 cho thấy, mô hình dòng rối RNG và K-epsilon đều cho kết

quả tốt, trong đó mô hình dòng rối RNG có kết quả tốt nhất. Bảng 2 tổng hợp giá trị vận tốc đo đạc trên mô hình vật lý và kết quả tính toán bằng mô hình RNG trong Flow-3D tại 9 điểm trên mặt tràn.

Bảng 2. Các giá trị vận tốc thực đo và tính toán theo mô hình RNG

TT	Vận tốc thực đo (m/s)	Vận tốc tính toán (m/s)			
		u	v	w	Vận tốc tổng hợp
1	1.016	1.071	0.006	0.737	1.300
2	2.140	1.692	-0.002	0.187	1.702
3	2.212	1.962	-0.003	-0.957	2.183
4	2.922	2.010	0.003	-1.956	2.805

TT	Vận tốc thực đo (m/s)	Vận tốc tính toán (m/s)			
		u	v	w	Vận tốc tổng hợp
5	3.288	2.030	0.012	-2.508	3.208
6	3.320	2.373	0.006	-2.560	3.491
7	3.790	3.410	-0.036	-1.534	3.739
8	3.859	3.744	-0.028	-0.059	3.744
9	3.650	3.693	-0.010	1.501	3.986



Hình 4. So sánh vận tốc thực đo và tính toán theo mô hình RNG

Bảng 2 cho thấy: Vận tốc u theo phương X có xu hướng tăng dần dọc theo chiều dài dòng chảy đến trước mũi hắt. Vận tốc v theo phương Y có giá trị rất nhỏ, không ảnh hưởng nhiều đến vận tốc tổng hợp. Điều này là phù hợp bởi vị trí các điểm đo nằm giữa tràn, ít chịu ảnh hưởng của trụ pin, hướng dòng chảy vuông góc với trục Y. Ngoài ra, do tính chất đối xứng của tràn theo phương Y nên trường vận tốc tại các mặt cắt ở giữa là gần như nhau, trừ những mặt cắt sát trụ pin. Hình 4 mô tả sự thay đổi về hướng của vận tốc dòng chảy trên tràn và mũi hắt. Vận tốc w theo phương Z có những giá trị âm và dương xen lẫn nhau thể hiện những hướng chuyển động khác nhau. Những giá trị âm là phù hợp, phản ánh rõ tính chất rơi của dòng chảy khi ở vị trí mái tràn (từ V3 đến V8). Mặt khác, những giá trị dương là do ảnh hưởng của thiết kế tràn với phần vát phía trước tràn (V1, V2) và mũi hắt (V9) làm vận tốc tại những vị trí này có hướng lên trên. Hình 4 so sánh kết quả tính toán vận tốc theo mô hình RNG với số liệu

thực đo. Có thể thấy, các giá trị này có sự đồng nhất cao, thể hiện qua 2 chỉ tiêu: hệ số Nash là 0.86 và sai số trung bình bằng 10.9%.

3.2. Áp suất trên mặt tràn

Tương tự như vận tốc, áp suất trên tràn được đo tại 9 điểm, giá trị của nó cũng được tính toán bằng các mô hình dòng rối khác nhau và so sánh với số liệu thí nghiệm (Hình 3b). Có thể thấy rằng, cả 4 mô hình dòng rối đều cho kết quả xấp xỉ nhau, hệ số Nash dao động từ 0.71 đến 0.73 và sai số trung bình nằm trong khoảng 30-39% (Bảng 3). Giá trị áp suất nhỏ nhất xuất hiện tại điểm số 5 trên mặt tràn. Trong thực tế, áp suất trên tràn luôn là một vấn đề được quan tâm trong quá trình thiết kế và vận hành đập tràn, kết quả ở Bảng 3 cho thấy các mô hình dòng rối trong Flow-3D đã mô phỏng tương đối tốt áp suất trên tràn.

Bảng 3. So sánh áp suất tính toán và thực đo bằng 4 mô hình dòng rối

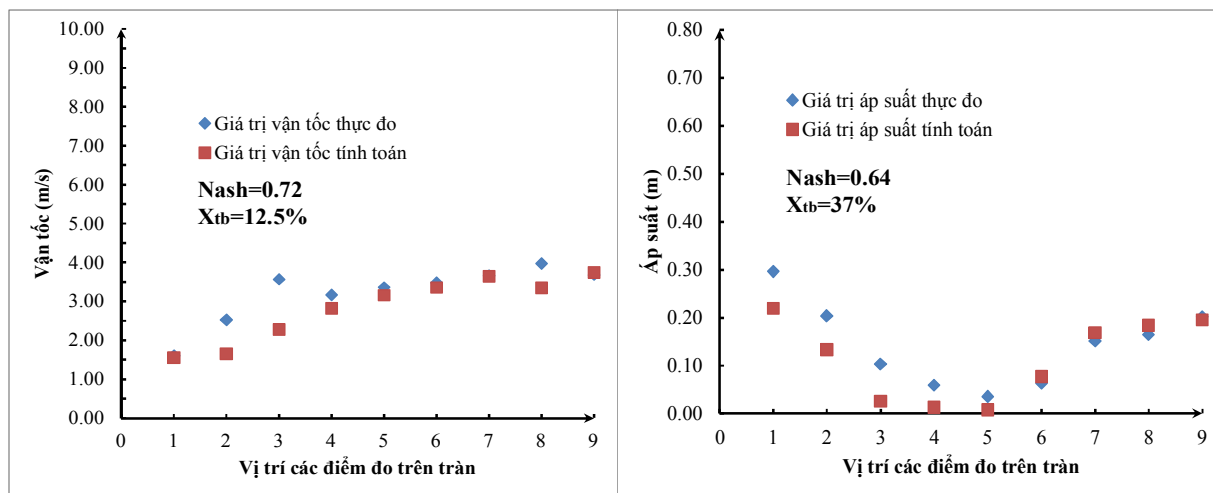
Mô hình dòng rối		RNG	K	K-epsilon	LES
Chỉ tiêu so sánh	Hệ số Nash	0.72	0.71	0.73	0.72
	X_{tb}	30%	33%	39%	35%

Từ những kết quả thu được khi mô phỏng dòng chảy qua tràn bằng các mô hình dòng rối khác nhau, có thể thấy mô hình dòng rối RNG có kết quả tốt hơn cả. Tuy nhiên, để kiểm tra tính phù hợp của mô hình trong việc mô phỏng dòng chảy qua tràn với các điều kiện khác nhau, điều kiện biên của mô hình được thay đổi và tiếp tục tính toán các giá trị vận tốc và áp suất trên mặt tràn. Kết quả tính toán với mô hình dòng rối RNG, với lưu lượng qua tràn là 184.13 l/s và cột nước $H = 0.261$ m, được thể hiện trong mục 3.3 dưới đây.

3.3. Kiểm định mô hình dòng rối RNG

Kết quả tính toán vận tốc dòng chảy và cột nước áp suất trên mặt tràn so với thực đo, khi lưu lượng $Q = 184.13 \text{ l/s}$ được trình bày trong hình 6 và bảng 4. Kết quả tính vận tốc theo RNG có hệ số Nash là 0.72 và sai số trung bình chỉ 12.5%. Kết quả tính áp suất có hệ số Nash bằng 0.64 và

sai số trung bình là 37%. Sau khi kiểm định, có thể nhận thấy mô hình Flow-3D đã thành công trong việc mô phỏng dòng chảy qua đập tràn thực dụng với các cấp lưu lượng khác nhau. Các chỉ tiêu so sánh đều ở mức đạt trở lên, một số trường hợp là tốt. Tuy nhiên, kết quả tính toán áp suất có sai số cao hơn so với tính toán vận tốc.



Hình 6. So sánh vận tốc và áp suất thực đo với tính toán theo RNG

Bảng 4. So sánh giá trị vận tốc, áp suất thực đo với kết quả tính toán theo RNG

TT	Mặt cắt	Vị trí	Vận tốc (m/s)		Cột nước áp suất (m)	
			thực đo	tính toán	thực đo	tính toán
1	V1	Điểm đầu đường cong tràn	1.612	1.550	0.2199	0.2968
2	V2	Đỉnh tràn cao nhất	2.524	1.655	0.1334	0.204
3	V3	Mái tràn	2.675	2.283	0.0262	0.1034
4	V4	Mái tràn	3.169	2.816	0.0131	0.059
5	V5	Mái tràn	3.361	3.156	0.0083	0.0354
6	V6	Mái tràn	3.484	3.352	0.0772	0.0638
7	V7	Điểm thấp nhất	3.667	3.641	0.1689	0.1516
8	V8	Cong	3.977	3.343	0.1847	0.1646
9	V9	Mũi phun	3.687	3.738	0.1959	0.202

4. KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

Bài báo đã trình bày kết quả tính toán vận tốc và áp suất trên mặt tràn thực dụng của thủy điện Đồng Nai 2, khi sử dụng bốn mô hình dòng rối khác nhau trong phần mềm Flow-3D. Mô hình RNG cho kết quả mô phỏng tốt hơn so với các mô hình còn lại là K, K-epsilon và LES. Kết quả tính toán cho thấy mô hình dòng rối RNG có sự tương quan tốt giữa giá trị vận tốc thực đo và tính toán, thể hiện qua 2 chỉ tiêu: Hệ

số Nash dao động từ 0.86 đến 0.72; Sai số trung bình là 10.9%. Khi tính toán áp suất, hệ số Nash đạt từ 0.72 đến 0.64. Do hạn chế về độ dài của bài báo, ở đây các tác giả chỉ trình bày kết quả tính toán vận tốc và áp suất để đánh giá về các mô hình dòng rối trong Flow-3D. Mô phỏng độ sâu dòng chảy qua tràn với các cấp lưu lượng khác nhau sẽ được trình bày kỹ hơn trong bài báo tiếp theo. Phương pháp nghiên cứu dòng chảy qua tràn bằng mô hình số có

tính ưu việt hơn so với mô hình vật lý, bởi sự thuận tiện, hữu hiệu và chi tiết trong các thông tin có được khi phân tích dòng chảy. Mô hình Flow-3D cung cấp một góc nhìn về dòng chảy

qua toàn diện hơn so với mô hình vật lý. Tuy nhiên, mô hình vật lý vẫn là một công cụ hữu hiệu song hành và bổ trợ cho mô hình số cải thiện khả năng tính toán của mình.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- 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 kỹ thuật Thủy lợi và Môi trường, 45, 146-156.
- Nguyễn Công Thành, Hà Đình Phương, (2014), *Tiêu hao năng lượng của dòng chảy qua bậc nước trên mái hạ lưu đập dâng nước*. Tạp chí khoa học kỹ thuật Thủy lợi và Môi trường, 46, 63-70.
- Kumcu (2016), *Investigation of flow over spillway modeling and comparison between experimental data and CFD analysis*. KSCE Journal of Civil Engineering, No 3, pp 1-11.
- Sadegh, D. K. and Parsaie, A. (2016), *Numerical modeling of flow pattern in dam spillway's guide wall. Case study: Balaroud dam, Iran*. Alexandria Engineering Journal, No 55, pp 467-473.
- Kerami, E. F. and Barani, G. A. (2014), *Numerical simulation of flow over spillway based on the CFD method*. Scientia Iranica A, 21(1), pp 91-97.
- Flow-3D user's manual*.

Abstract:

THE SIMULATION OF FLOW VELOCITY AND PRESSURE ON AN OGEE SPILLWAY USING FLOW-3D

This paper aims to simulate the flow over ogee spillways by using Flow-3D software, which is applied for Dong Nai 2 hydropower station. The flow velocity and pressure were calculated and analyzed through four different turbulent models. The results indicated that the RNG model is better than K, K-epsilon and LES models, when they were both compared with observed data in case the discharge was 150.76 l/s. The Nash – Sutcliffe efficiency (NSE) and the percent difference of RNG model are 0.86 and 10.9%, respectively. The model was also validated through other discharge, $Q = 184.13$ l/s, and presented good agreement with experimental results.

Keyword: Flow 3D, Ogee spillway, RNG, Flow simulation.

Ngày nhận bài: 03/5/2018

Ngày chấp nhận đăng: 12/6/2018