

ĐÁNH GIÁ TÁC ĐỘNG THỦY LỰC CỦA KÊNH DẪN DÒNG ĐẾN HIỆU QUẢ KHAI THÁC CỦA TUABIN DÒNG TRIỀU SAVONIUS BẰNG MÔ PHỎNG DÒNG CHẢY 2D

THE INVESTIGATION OF THE FLOW CHANNEL WALL'S EFFECT ON THE PERFORMANCE OF A SAVONIUS TIDAL-CURRENT TURBINE USING 2D FLOW SIMULATION

Lê Minh Vũ, Nguyễn Đình Nam, Trương Việt Anh*

Trường Cơ khí, Đại học Bách Khoa Hà Nội

*Email: anh.truongviet@hust.edu.vn

TÓM TẮT

Các nghiên cứu về khai thác năng lượng tái tạo đang ngày càng được quan tâm trong những năm gần đây, đặc biệt là nguồn năng lượng rất lớn từ đại dương như sóng, thủy triều và dòng triều. Tua-bin Savonius có hiệu suất hạn chế nhưng có ưu điểm kết cấu đơn giản, dễ chế tạo, giá thành thấp và khả năng làm việc đa hướng. Nhiều nghiên cứu đã cải tiến các kết cấu hướng dòng hoặc dạng cánh tua-bin Savonius trong việc gia tăng khả năng trao đổi năng lượng. Nghiên cứu này đề xuất khả năng ứng dụng hiệu ứng thành tường của kênh dẫn để nâng cao hiệu quả khai thác năng lượng cho tua-bin. Kết quả nghiên cứu ban đầu thực hiện mô phỏng dòng chảy 2D qua hệ thống tua-bin trục đứng Savonius với kênh dẫn dòng ở hai trường hợp: (i) Khoảng cách thành tường xa tua-bin và (ii) Khoảng cách thành tường sát với tua-bin. Sự thay đổi vị trí thành tường có sự tác động đáng kể tới phân bố áp suất và trường dòng chảy, đặc biệt là vùng xoáy sau tua-bin. Hiệu suất nghẽn dòng thủy lực có hiệu ứng gia tăng chênh lệch áp suất và tăng cường trao đổi năng lượng đáng kể với hệ số công suất C_p tăng trên 0,2. Việc nâng cao hiệu suất thông qua sự ảnh hưởng của thành tường kênh dẫn mở ra khả năng tối ưu thiết kế cho thiết bị khai thác năng lượng dòng triều ở vận tốc thấp.

Từ khóa: Tua-bin Savonius; Tua-bin dòng triều; Tua-bin trục đứng; Thiết bị năng lượng tái tạo; Năng lượng tái tạo.

ABSTRACT

Renewable energy is increasing attention in recent years, especially the vast energy resources from the ocean such as waves, tides, and tidal currents. Savonius turbines have limited operating efficiency but having advantages such as simple construction, low cost, and multi-directional operating possibility. Other studies were interested in improvements to Savonius turbine blades or hydraulic structure to enhance the power coefficient of turbines. In the idea, this study proposes the potential application of the flow channel's wall effect to improve the hydraulic efficiency of turbines. The initial research results simulate a 2D process with a conventional Savonius turbine in the two cases of (i) the far distance and (ii) the near distance between the wall of channel to

the turbine rotor. The significant effects of the channel's wall on flow characteristics, especially the vortex region downstream of the turbine are clear by comparison. The blockage flow caused in the near wall effects to make the pressure differential increasing and the power coefficient C_p increasing above 0.2. The result gives a new approach to improvement in efficiency of the tidal current Savonius turbine based on the near-wall effects.

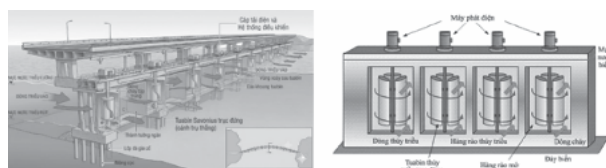
Keywords: Savonius turbine; Tidal current turbine; Vertical-axis turbine; Renewable energy device; Renewable energy.

1. GIỚI THIỆU VẤN ĐỀ NGHIÊN CỨU

Trong bối cảnh hiện nay, cơ cấu nguồn điện của Việt Nam vẫn còn phụ thuộc lớn vào các nguồn năng lượng truyền thống gây phát thải cao, với tỷ lệ nhiệt điện than chiếm từ 30% đến 40%, kết hợp cùng dầu khí lên tới 50%. Trong khi đó, các nguồn thủy điện vừa và lớn đang bị giới hạn do nguồn nước, còn cơ cấu năng lượng tái tạo (NLTT) mới chỉ tập trung chủ yếu vào điện gió và điện mặt trời. Theo dự báo từ Quy hoạch điện VIII và Tập đoàn Điện lực Việt Nam (EVN), ước tính công suất lắp đặt hệ thống điện sẽ tăng trưởng mạnh mẽ hướng đến năm 2045. Với quan hệ tác động giữa năng lượng và tăng trưởng kinh tế của Việt Nam ở mức cao (GDP tăng 1% thì nhu cầu điện tăng 1,5%), việc phát triển NLTT là yêu cầu cấp thiết để tăng cường an ninh năng lượng quốc gia, giảm sự phụ thuộc vào nguồn nhiên liệu hóa thạch, đồng thời thực hiện mục tiêu Net-zero (NLTT chiếm 40% vào năm 2030 và 70% vào năm 2050).

Một trong những hướng đi tiềm năng là tối ưu hóa thiết kế và khai thác năng lượng từ các dòng chảy (sông ngòi, kênh dẫn, dòng hải lưu) thông qua việc phát triển hệ thống tuabin dòng chảy trực đứng ở dưới nước nhờ độ chênh áp lực thủy tĩnh do thủy triều. Trên thế giới, nhà máy điện thủy triều Rance nằm trên cửa sông Rance ở Brittany (Pháp), là nhà máy điện thủy triều quy mô lớn đầu tiên trên thế giới. Nhà máy được đưa vào vận hành năm 1966,

bao gồm một đập chắn thủy triều dài 750 m với 24 tuabin làm việc 2 chiều, cung cấp tổng công suất lắp đặt khoảng 240 MW. Nhà máy sản xuất khoảng 500 GWh điện mỗi năm, sử dụng biên độ thủy triều của cửa sông Rance, đạt khoảng 8–13 m và là một dự án mang tính bước ngoặt trong công nghệ năng lượng biển tái tạo. Sơ đồ hệ thống để khai thác năng lượng dòng chảy thủy triều được minh họa ở Hình 1.



Hình 1. Hệ thống hàng rào tuabin khai thác năng lượng dòng triều kết hợp công trình đường giao thông qua biển, cửa sông (hình vẽ được trợ giúp bởi AI – Gemini)

Trong bài báo này, việc nghiên cứu tập trung về phương án sử dụng tua-bin Savonius trục đứng đặt trong kênh dẫn dòng ở dải vận tốc thấp (0,2 – 1,5 m/s) phù hợp với điều kiện hải văn, thủy văn của Việt Nam [1]. Tuy hiệu suất khí động (hệ số công suất C_p) nguyên bản của dòng tuabin này tương đối thấp so với các loại tuabin cánh khác, nhưng Tuabin Savonius trục đứng sở hữu nhiều ưu điểm như khả năng hoạt động với dòng chảy đa hướng, thích ứng khi dòng chảy đảo chiều theo dòng thủy triều, cấu trúc cơ khí đơn giản hơn, cấu tạo đơn giản, giá thành chế tạo thấp, mô-men khởi động tốt và phù hợp với môi trường nước nông, dải tốc độ làm việc rộng từ ngưỡng vận tốc thấp. Mặc

dù có những ưu điểm này, vẫn còn những thách thức đáng kể trong việc phát triển hàng rào thủy triều sử dụng tuabin trục đứng. Các nghiên cứu gần đây về động lực học dòng chảy của tuabin thủy triều đã chỉ ra rằng tương tác dòng chảy với tua-bin và kết cấu hướng dòng đóng vai trò quan trọng đối với hiệu suất của dãy tuabin và sự ổn định hoạt động lâu dài [2]. Nghiên cứu này góp phần vào việc hiểu biết về sự ảnh hưởng của kênh dẫn dòng đối với hiệu suất thủy động lực học tuabin, được đánh giá bằng mô phỏng số động lực học dòng chảy (CFD) để đánh giá về hiệu quả khai thác năng lượng của tuabin. Qua kết quả đánh giá, việc thiết kế được tiếp tục tối ưu trong khai thác năng lượng tua-bin ở vùng cửa sông – biển và khu vực có dòng triều hoạt động mạnh, góp phần phát triển công nghệ năng lượng thủy triều hiệu quả.

2. PHƯƠNG PHÁP TÍNH TOÁN MÔ PHỎNG

2.1. Mô hình tính toán

Nghiên cứu sử dụng công cụ mô phỏng số thương mại Ansys Fluent để tính toán dòng chảy 2D bao quanh tuabin và kênh dẫn. Về cấu trúc hình học, mô hình khảo sát bao gồm một tuabin Savonius đặt trong miền tính toán dòng chảy. Hai trường hợp biên không gian thành kênh được thiết lập để đối sánh bao gồm:

(i) Trường hợp kênh dẫn mở rộng: Chiều rộng kênh B triển khai là $B = 3D$ (với D là đường kính bánh công tác của tuabin).

(ii) Trường hợp kênh hẹp: Kênh dẫn được thu hẹp áp sát để đánh giá hiệu ứng thành tường ($B = 1,2 D$).



Hình 2. Chia lưới vùng tính toán cho trường hợp kênh dẫn rộng và hẹp

Miền tính toán được chia làm hai phân vùng chính để phục vụ kỹ thuật lưới trượt (Sliding Mesh): (i) Vùng lưới tĩnh (Static domain): Bao gồm toàn bộ không gian kênh dẫn dòng vào và dòng ra; và (ii) Vùng lưới động (Rotating domain): Là vùng bao quanh sát tuabin để mô tả chuyển động quay. Lưới vùng sát bề mặt tường cánh tuabin được làm mịn nhằm đảm bảo giá trị kích thước phần tử lưới đủ mịn để bắt được các hiện tượng rối lớp biên sát tường. Tỷ lệ kích thước lưới chữ nhật mịn có cấu trúc (0,007D) hiển thị ở Hình 2. Số phần tử lưới tính toán cho trường hợp kênh hẹp là trên $4,3 \times 10^6$; trường hợp kênh rộng, tổng số phần tử lưới là trên $10,8 \times 10^6$.

Về điều kiện biên tính toán, các bài toán được khảo sát cố định tại tỷ số tốc độ đầu cánh (TSR) với $\lambda = 1$. Vận tốc dòng chảy vào V thay đổi ở các giá trị khác nhau (từ 0,2 đến 1,5 m/s) và tốc độ quay tương ứng (trong khoảng từ 10 đến 80 rad/s) của tuabin được khảo sát (Bảng 1). Các điều kiện để giải phương trình Navier-Stokes bằng cách tính toán dựa trên áp suất, từ đó có thể tính được vận tốc với dòng chảy không nén được. Giá trị đầu vào là vận tốc dòng chảy và giá trị đầu ra là áp suất. Các điều kiện biên khác như dòng không trượt, không có ảnh hưởng đáng kể của trọng lực được áp dụng.

Bảng 1. Các trường hợp khảo sát

Trường hợp khảo sát	Vận tốc dòng chảy V [m/s]	Tốc độ vòng quay tua-bin ω [rad/s]
1	0,2 m/s	11
2	$v = 0,4$ m/s	21
3	$v = 0,8$ m/s	42
4	$v = 1,2$ m/s	63
5	$v = 1,5$ m/s	79

2.2. Mô hình toán học bản chất rối

Để giải quyết các đặc tính nhiễu loạn phức tạp và hiện tượng bong tách dòng chảy rất gần vùng biên hoặc vùng tường cánh tuabin, mô hình rối SST k- ω được lựa chọn. Đây là mô hình cải tiến kết hợp ưu điểm của mô hình k- ϵ tiêu chuẩn ở vùng sát tường và mô hình k- ω ở dòng tự do, phù hợp giải quyết các tính chất nhiễu loạn rất gần vùng biên hoặc vùng tường đã được kiểm chứng [3, 4]. Để làm rõ các hiện tượng trong vùng như vậy, phải tạo lưới rất mịn gần tường, sao cho giá trị Y^+ càng nhỏ càng tốt. Hai phương trình mô hình SST k- ω được thể hiện như sau [5]:

$$\frac{\partial(\rho k)}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho u_j k) = \tau_{ij} \frac{\partial u_i}{\partial x_j} - \beta \rho k \omega + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[(\mu + \sigma_k \mu_t) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] \quad (1)$$

$$\frac{\partial(\rho \omega)}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho u_j \omega) = \frac{\gamma}{v_t} \tau_{ij} \frac{\partial u_i}{\partial x_j} - \beta \rho \omega + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[(\mu + \sigma_\omega \frac{\rho k}{\omega}) \frac{\partial \omega}{\partial x_j} \right] + 2(1-F) \frac{\rho \sigma_\omega}{\omega} \frac{\partial k}{\partial x_j} \frac{\partial \omega}{\partial x_j} \quad (2)$$

$$\tau_{ij} = \mu_t \left(2S_{ij} - \frac{2\partial u_k}{3\partial x_k} \delta_{ij} \right) - \frac{2}{3} \rho k \delta_{ij} \quad (3)$$

$$S_{ij} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \quad (4)$$

$$\mu_t = \frac{\rho a_1 k}{\max(a_1 \omega, \Omega F_2)} \quad (5)$$

Hằng số sử dụng trong mô hình: $\alpha_{kl} = 0,88$; $\alpha_{w1} = 0,5$; $\beta_1 = 0,075$; $\alpha_1 = 0,31$; $\beta^* = 0,09$.

Với môi trường nước, khối lượng riêng là 1025 kg/m^3 , độ nhớt là $0,001003 \text{ kg/m.s}$

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

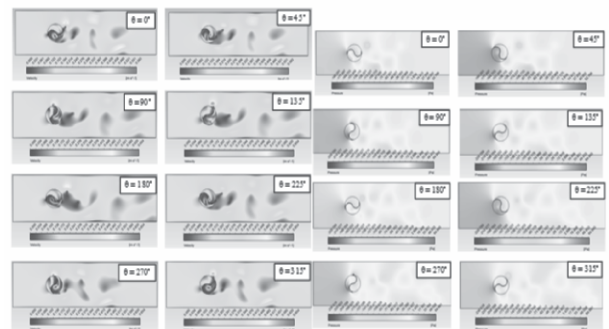
3.1. Kết quả khảo sát trường vận tốc và áp suất

Kết quả mô phỏng ghi nhận chi tiết sự biến thiên liên tục của trường vận tốc và trường áp suất theo góc phương vị tương ứng với chuyển động quay của tua-bin tương ứng với

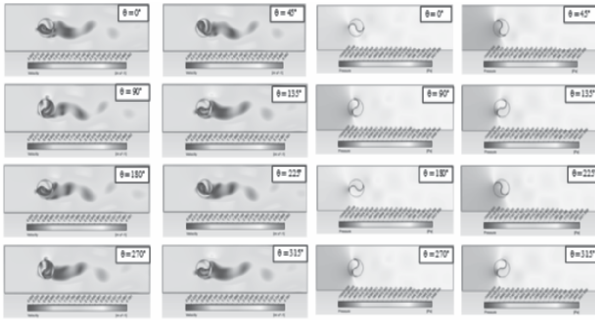
các dải vận tốc dòng vào từ $0,2 \text{ [m/s]}$ đến $1,5 \text{ [m/s]}$. Kết quả mô phỏng hiển thị trường vận tốc và áp suất của dòng chảy ở hai trường hợp khảo sát với kênh dẫn rộng (Hình 3) và kênh dẫn hẹp (Hình 4).

Nhận xét chung về cơ chế dòng chảy, có thể thấy nổi bật là chuỗi xoáy tương tự như chuỗi Karrman đặc trưng của dòng chảy qua vật cản dạng trụ. Đối với tua-bin Savonius truyền thống 2 cánh trụ, dòng chảy tương tác có sự phụ thuộc vào góc phương vị khi xoay 1 chu kỳ vòng quay. Tuy nhiên, trong trường hợp của tua-bin Savonius, chuỗi xoáy này được hình thành do sự tách thành của dòng chảy từ các đầu mút biên cánh cùng với sự tương tác dòng chảy và độ chênh áp suất của 2 mặt lưng và bụng cánh.

Đối với kênh dẫn rộng, sự ảnh hưởng của thành tường không làm thay đổi dạng đặc trưng chuỗi xoáy của dòng chảy phía sau tua-bin (Hình 3). Sự chuyển động của tua-bin theo chiều quay thuận kim đồng hồ và vận tốc tách thành của dòng chảy ở phần nửa dưới tua-bin được gia tăng bởi sự ngược chiều với vận tốc theo vùng đỉnh cánh nên cường độ xoáy cũng như vùng xoáy tạo ra mạnh và rộng hơn. Chiều quay của tua-bin do vậy tạo sự bất đối xứng của dạng chuỗi xoáy đi về phía hạ lưu. Hiện tượng chuỗi xoáy này cũng đã được quan sát ở các nghiên cứu trước đây [6].

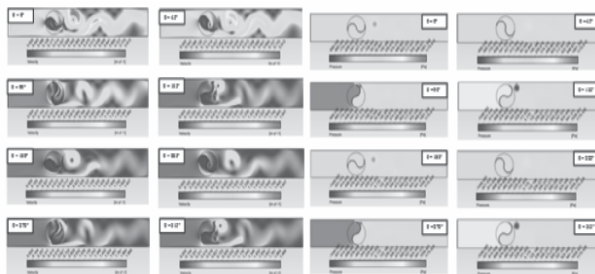


a) Kết quả mô phỏng khi $V = 0,2 \text{ m/s}$

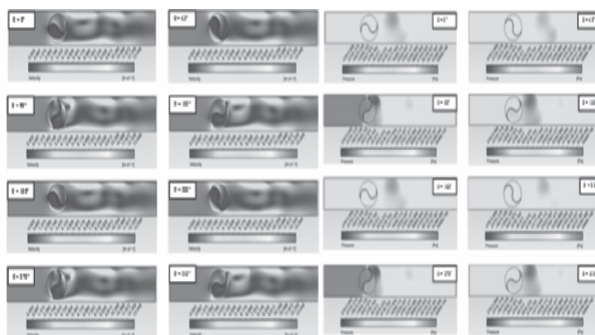


b) Kết quả mô phỏng khi $V = 1,5$ m/s

Hình 3. Kết quả mô phỏng trường vận tốc (bên trái) và trường áp suất của dòng chảy bao tua-bin trục đứng Savonius qua kênh rộng ($B = 3D$)



a) Kết quả mô phỏng khi $V = 0,2$ m/s



b) Kết quả mô phỏng khi $V = 1,5$ m/s

Hình 4. Kết quả mô phỏng trường vận tốc (bên trái) và trường áp suất của dòng chảy bao tua-bin trục đứng Savonius qua kênh hẹp ($B = 1,2D$)

Đối với kênh hẹp, có sự khác biệt nổi bật khi so sánh sự thay đổi cấu trúc dòng chảy với trường hợp kênh dẫn rộng. Ở Hình 4a với vận tốc thấp, có thể thấy rõ sự xuất hiện xoáy lớn ngay phía sau tua-bin và tạo vết dao động điều hòa phát triển mạnh dạng hình sin. Hình

4b, ở vận tốc cao hơn, chuỗi xoáy suy biến thành vết có biên độ dao động thấp hơn dọc theo tường kênh dẫn. Sự khác biệt giữa trường hợp kênh rộng và kênh hẹp cho thấy thành tường kênh dẫn có tác động lớn đến trường vận tốc, phạm vi của các vùng xoáy nhiều, tính chất dao động cũng như trường áp suất ở cả khu vực sau tua-bin. Nguyên nhân có thể thấy rõ hơn khi quan sát trường áp suất, đặc biệt ở các vị trí góc phương vị θ là 90° và 180° , hiện tượng nghẽn dòng do khe hẹp giữa thành tường và rô-to của tua-bin tạo sự chênh áp lớn và dòng tốc độ cao tách thành, phát động các xoáy lớn quan sát thấy khi chuyển động sang các vị trí $+15^\circ$ tiếp theo (115° và 225°). Theo chu kỳ quay, sự thay đổi chênh lệch áp suất trước và sau tua-bin, cùng với việc áp suất ở hạ lưu suy giảm do các xoáy phát sinh tạo ra sự khác biệt về tính chất dòng chảy ở kênh hẹp so với trường hợp kênh rộng.

3.2. Đánh giá hệ số công suất C_p

Hệ số công suất C_p phản ánh hiệu quả trao đổi năng lượng của tuabin được tổng hợp từ dữ liệu mô phỏng thu được qua bảng số liệu dưới đây (Bảng 2).

Bảng 2. Kết quả tính toán hệ số công suất

Vận tốc dòng vào V (m/s)	Hệ số C_p trong kênh rộng	Hệ số C_p trong kênh hẹp
0.2	0.150	0.250
0.4	0.144	0.244
0.8	0.137	0.236
1.2	0.124	0.223
1.5	0.120	0.217

Nhận xét chung, đối với cả hai trường hợp kênh mở và kênh hẹp, khi vận tốc dòng vào tăng dần (từ 0,2 [m/s] đến 1,5 [m/s], hệ số công suất C_p đều có xu hướng giảm nhẹ. Cụ thể, ở kênh mở, C_p giảm từ 0,15 xuống 0,12; ở kênh hẹp, C_p giảm từ 0,25 xuống 0,217. Kết quả so sánh giữa trường hợp kênh rộng (hiệu ứng thành tường tác động nhỏ) với mô hình tua-bin Savonius truyền thống tại $\lambda = 1$, hệ số công suất trong dải xấp xỉ 0,12 – 0,15 là phù hợp [7, 8].

Với ảnh hưởng của hiệu ứng thành tường như đã phân tích ở mục 3.1, khi đặt tuabin vào trong kênh hẹp, hiệu suất trao đổi năng lượng tăng lên một cách vượt trội nhờ hiện tượng nghẽn dòng và gia tăng độ chênh áp suất ở dải vận tốc khảo sát. Hệ số công suất C_p luôn đạt giá trị cao (đều vượt trên ngưỡng 0,2), tăng tới 65% – 80% so với khi tuabin hoạt động trong môi trường kênh dẫn rộng. Điều này chứng minh hiệu ứng nghẽn dòng dòng chảy (blockage effect) do thành tường kênh hẹp tạo ra đã làm gia tăng đáng kể vận tốc cục bộ đi qua các cánh tuabin, thúc đẩy quá trình nhận động năng của các cánh tua-bin Savonius. Hiện tượng này cũng đã có nghiên cứu về sự ảnh hưởng của tỷ lệ kích thước cản dòng của tua-bin Derrieus trong hầm gió thử nghiệm và tác động đáng kể tới thông số đo lường, đánh giá các mẫu tua-bin [9].

Về mặt ứng dụng thực tiễn, sự ảnh hưởng của thành tường kênh dẫn tạo ra hướng nghiên cứu tăng cường hiệu quả khai thác năng lượng dòng chảy thông qua kết cấu kênh dẫn, kết hợp giải pháp kỹ thuật trong khai thác năng lượng dòng triều thông qua hàng rào tua-bin như đề cập ở phần tổng quan. Nghiên cứu này còn hạn chế khi mới bắt đầu đánh giá thông qua mô phỏng dòng chảy 2D. Các vấn đề về tổn hao năng lượng do ma sát thành tường kênh dẫn cùng với việc tối ưu qua các yếu tố kết cấu và

thiết kế của tua-bin ở mô hình 3D là hướng cần thiết để nghiên cứu tiếp.

4. KẾT LUẬN

Nghiên cứu đã thực hiện thông qua kết quả mô phỏng dòng chảy 2D cho mẫu tua-bin Savonius truyền thống với việc mở ra vấn đề hiệu ứng ảnh hưởng của thành tường kênh dẫn đối với hiệu quả khai thác năng lượng và tính chất dòng chảy của tua-bin trục đứng Savonius khi vận hành ở vận tốc dòng chảy thấp theo điều kiện dòng triều phổ biến ở Việt Nam. Qua phân tích, đánh giá đặc tính thủy lực, bài báo có một số kết luận như sau:

1) Kênh dẫn hẹp với thành tường kênh gần sát với rô-to của tua-bin tạo hiệu ứng nghẽn dòng và có thể nâng cao hiệu suất khai thác năng lượng dòng chảy khá rõ rệt. Kết quả mô phỏng 2D chứng minh hệ số công suất C_p của tuabin tăng đáng kể từ 60-80% tùy theo dải vận tốc, vượt trên giá trị 0,2 ở tất cả các vận tốc dòng khảo sát.

2) Sự thu hẹp của không gian thành tường tuy giúp tối ưu hóa hiệu suất năng lượng nhưng lại khiến các vùng xoáy động lực hình thành sau tuabin có cường độ mạnh hơn và sự tác động của dòng xoáy dao động sát thành tường có thể gây rung động, ảnh hưởng trực tiếp đến độ bền cơ học và gây hiện tượng rung động trong toàn bộ hệ thống cấu trúc.

3) Để có những đánh giá chính xác và hiện thực hóa ý tưởng ứng dụng hiệu ứng thành tường kênh dẫn, hướng phát triển tiếp theo của nghiên cứu có thể mở rộng bài toán mô phỏng từ dòng chảy 2D lên mô hình không gian 3D và tiến hành các thực nghiệm vật lý để kiểm chứng kết quả lý thuyết. ❖

Ngày nhận bài: 10/6/2026
Ngày phản biện: 20/6/2026

Tài liệu tham khảo:

- [1]. Nguyen Thanh Duong et al., “*Numerical simulation of seasonal currents in the Mekong Coastal Area: a case in 2019*”. Vietnam Journal of Marine Science and Technology 2026, 26(1) 1-19.
- [2]. Burçin Deda Altan et al., “*An experimental study on improvement of a Savonius rotor performance with curtaining*”. Experimental Thermal and Fluid Science 32, (2008), pp. 1673-1678.
- [3]. Iván Osto et al., “*A modified novel blade configuration proposal for a more efficient VAWT using CFD tools*”. Energy Conversion and Management, Volume 180 (2019), pp. 733-746.
- [4]. Anupam Dewan et al., “*Computational fluid dynamics and turbulence modelling in various blades of Savonius turbines for wind and hydro energy: Progress and perspectives*”. Ocean Engineering 283 (2023) 115168.
- [5]. Ansys Fluent Theory Guide, ANSYS, Inc. Release 2026 R1, Southpointe March 2026, 2600 Ansys Drive, Canonsburg, PA 15317.
- [6]. Tian et al., “*Computational Fluid Dynamics Prediction of a Modified Savonius Wind Turbine with Novel Blade Shapes*”. Energies 2015, 8, 7915-7929.
- [7]. Blackwell, B.; Sheldahl, R.; Feltz, L., “*Wind Tunnel Performance Data for Two-and-Three-Bucket Savonius Rotors*”. US Sandia Laboratories Report SAND76-0131; Sandia Laboratories: Springfield, VA, USA, 1977.
- [8]. Vimal Patel, Ravi Patel, “*Experimental investigations to improve the performance of the Savonius hydrokinetic turbines using wavy edge vanes*”. Applied Ocean Research 161 (2025) 104606.
- [9]. Houigab Jeong et al., “*Blockage corrections for wind tunnel tests conducted on a Darrieus wind turbine*”. Journal of Wind Engineering & Industrial Aerodynamics 179 (2018) 229-239.