

TỐI ƯU HÓA CÁNH TUABIN DẪN ĐỘNG CHO MÁY PHÁT ĐIỆN CÔNG SUẤT NHỎ PHỤC VỤ KHU VỰC VÙNG NÚI

DESIGN OPTIMIZATION OF SMALL POWER HYDROKINETIC TURBINE GENERATOR OPERATING IN MOUNTAIN AREA

ThS. Mai Nguyễn Trần Thành¹, TS. Đặng Xuân Phương²

¹Khoa Xây dựng, Trường Đại học Nha Trang

²Khoa Cơ khí, Trường Đại học Nha Trang

TÓM TẮT

Bài báo này trình bày đề xuất loại tuabin thủy năng công suất nhỏ dùng để phát điện áp dụng cho khu vực miền núi. Các thông số hình dáng, hình học của cánh tuabin được tối ưu hóa bằng phương pháp mô phỏng số bằng CFD, kết hợp với quy hoạch thực nghiệm Box-Behnken và xây dựng phương trình hồi quy biểu diễn mối quan hệ giữa hiệu suất thủy động các thông số của cánh tuabin. Kết quả nghiên cứu cho thấy tốc độ làm việc tốt nhất của cánh nằm lân cận ở mức 40 vòng/phút. Qua việc giải bài toán tối ưu, hiệu suất thủy động của tuabin có thể đạt đến mức 33%.

Từ khóa: *Tuabin thủy năng, tối ưu hóa thiết kế, hiệu suất tuabin.*

ABSTRACT

This article presents the proposed hydrokinetic turbines for small power generators apply to mountain areas. The parameters of the geometry turbine blades is optimized by method of CFD numerical simulation combination with Box-Behnken experimental planning and build regression equation represent the relationship between the parameters hydraulic efficiency of the turbine blades. The study results showed that the operating speed of the blades best located nearby at 40 cycles/min. Through solving optimization problems, hydraulic efficiency of the turbine can be reached 33%

Keywords: *Hydrokinetic turbine, design optimization, hydrokinetic power coefficient*

1. MỞ ĐẦU

Ngoài năng lượng mặt trời, năng lượng gió thì năng lượng nước là một nguồn năng lượng thiên nhiên mà loài người đang chú trọng đến cho nhu cầu năng lượng trên thế giới trong tương lai, vì loại năng lượng này không gây ô nhiễm môi trường [1]. Ở vùng núi của Việt

Nam, do địa hình phức tạp và xa xôi nên thiếu năng lượng điện để phục vụ sản xuất và sinh hoạt. Với điều kiện địa hình dốc và có nhiều hệ thống sông suối, chúng ta có thể sử dụng thủy năng để sản xuất điện phục vụ sinh hoạt hoặc bơm nước phục vụ trồng trọt nhờ các tuabin thủy năng công suất nhỏ.



Trên thế giới, việc sử dụng tuabin thủy năng sử dụng nguồn năng lượng tái tạo từ sông, suối đã được nghiên cứu nhiều, nhưng ở Việt Nam việc nghiên cứu, thiết kế và chế tạo loại tuabin này chưa được chú trọng. Hiện nay, chỉ xuất hiện những mô hình tuabin thủy năng công suất nhỏ tự chế của bà con nông dân nên chưa đem lại hiệu suất cao (hình 1). Trong nước các bài báo, tài liệu liên quan đến vấn đề nghiên cứu, thiết kế các loại tuabin thủy động sử dụng thủy năng của các dòng sông, suối là quá ít. Nghiên cứu này tập trung vào việc tối ưu hóa các thông số hình học của cánh tuabin công suất nhỏ dưới 1 kW, sao cho cho hiệu suất thủy động thu được là lớn nhất, giúp cho tuabin có hình dáng nhỏ gọn, tiết kiệm chi phí chế tạo nhưng vẫn phát ra công suất lớn.



Hình 1. Mô hình tuabin của đồng bào vùng núi

2. ĐỐI TƯỢNG VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

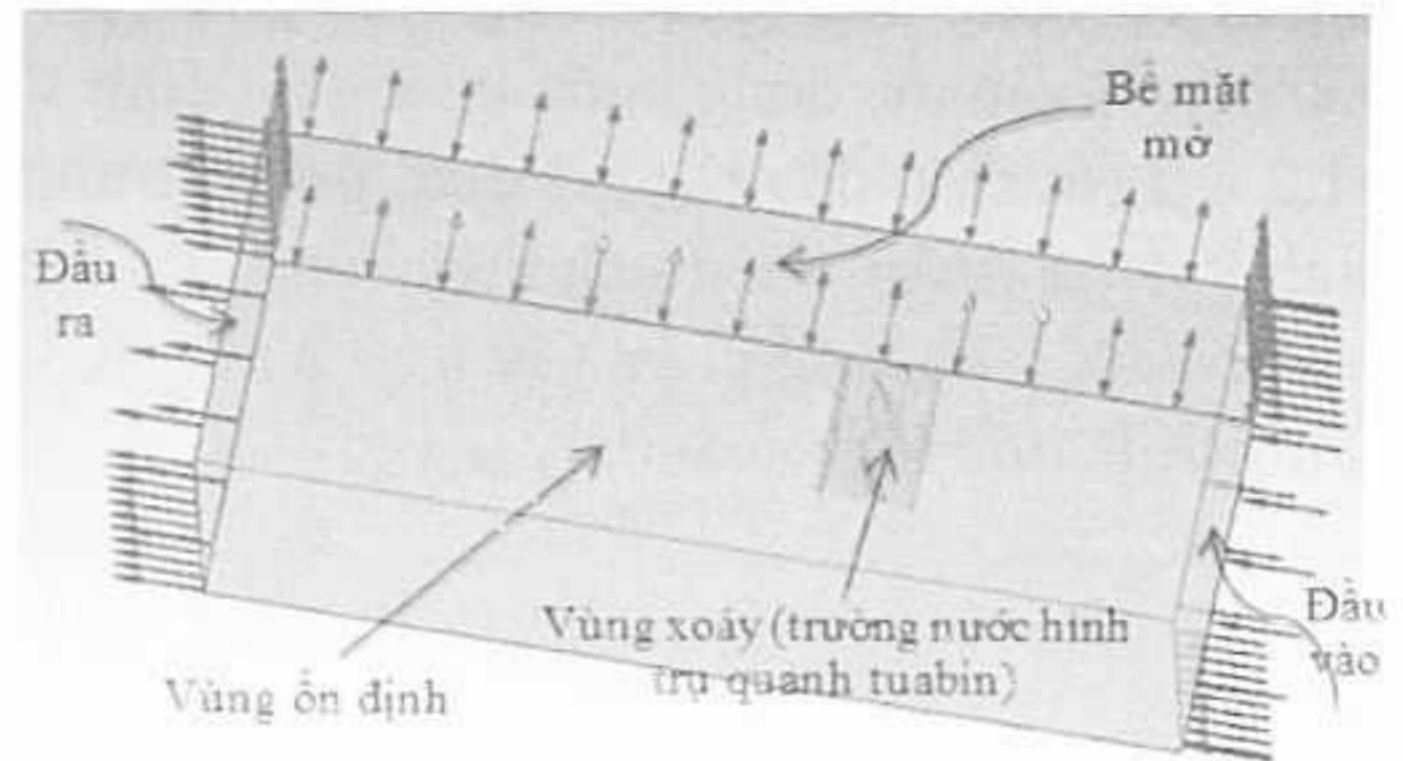
2.1. Đối tượng nghiên cứu

Nghiên cứu này, tối ưu hóa các thông số hình dáng của tuabin thủy năng có dạng cánh của bơm hướng trục, làm việc trong môi trường nước hở nhằm thu được hệ số công suất cực đại.

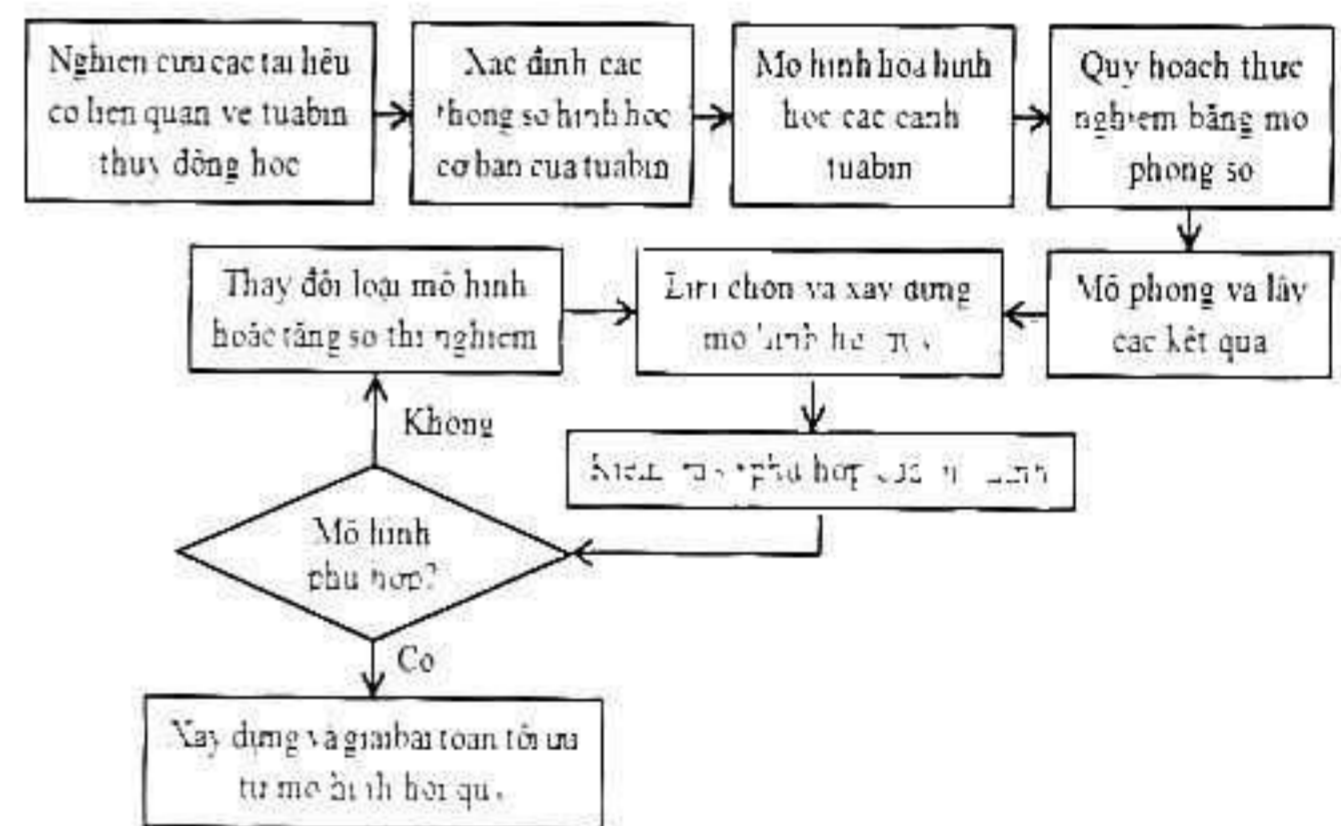
2.2. Phương pháp nghiên cứu

Nghiên cứu này sử dụng phương pháp lý thuyết kết hợp với mô phỏng số CFD và quy

hoạch thực nghiệm để xác định tốc độ quay tối ưu của cánh và xây dựng mối quan hệ giữa các thông số hình học của cánh tuabin với hiệu suất hay hệ số công suất của cánh tuabin. Việc mô phỏng được thực hiện bằng phần mềm CFD Ansys CFX. Mô hình hóa bài toán cánh tuabin làm việc trong môi trường nước được trình bày trên hình 2.



Hình 2. Mô hình hóa các vùng và điều kiện biên của bài toán trong CFD CFX



Hình 3 Quy trình nghiên cứu

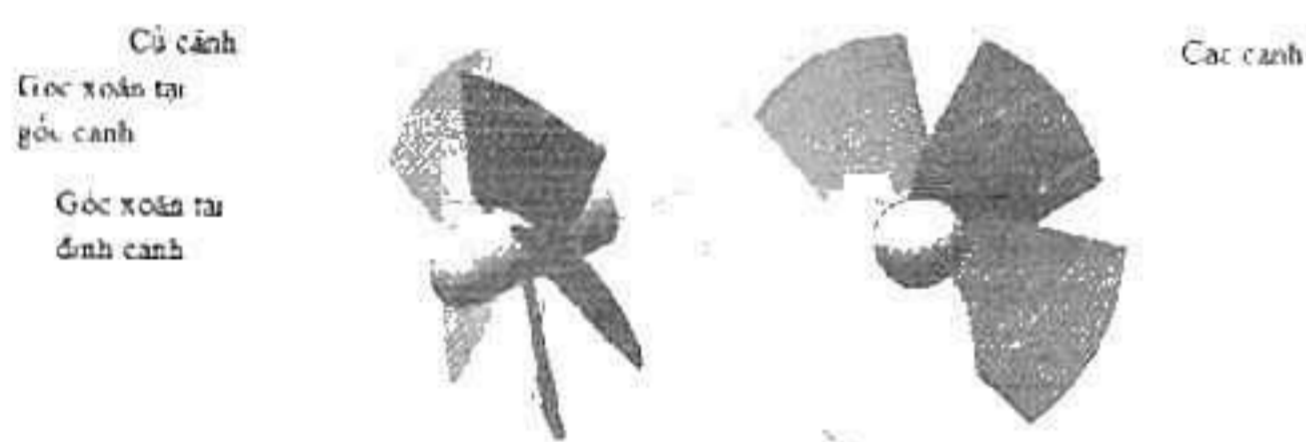
Quy trình nghiên cứu tổng thể được thể hiện trên hình 3. Chúng tôi sử dụng phương pháp quy hoạch thực nghiệm Box – Behnken. Số biến số thiết kế là 4 thông qua nghiên cứu tài liệu, bao gồm: Góc xoắn tại gốc cánh (x_1), hiệu góc xoắn tại gốc và đỉnh cánh (x_2), tỉ số mặt đĩa (x_3) và số cánh tuabin (x_4) như trên hình 4. Giá trị của mỗi biến số được chia thành 3 mức: Mức trên, mức dưới và mức trung bình [4,5]. Tỷ số mặt đĩa được định nghĩa bằng tỷ số hình chiếu diện tích của các cánh lên mặt phẳng vuông góc

với trục và diện tích hình tròn có bán kính bằng bán kính của mép cánh. Mặt cắt của cánh được xây dựng theo biên dạng NACA0011 ở gốc cánh và NACA0009 ở mép cánh.

Đường kính của cánh được giữ cố định và được ước lượng trước dựa vào việc tính toán đường kính sơ bộ. Ví dụ cần thiết kế được cánh tuabin có công suất đầu ra đạt yêu cầu $P_T = 500W$, với vận tốc dòng nước không ổn định $V = 1,2 - 2$ (m/s), ở đây lấy giả định giá trị trung bình $V = 1,6$ (m/s). Hiệu suất thủy động $C_p = 0,3 - 0,35$ nằm ở khoảng giữa. Chọn sơ bộ $C_p = 0,3$. Công thức tính hiệu suất thủy động:

$$C_p = \frac{P_T}{P_w} = \frac{P_T}{\frac{1}{2} \rho A V^3} \rightarrow A = \frac{P_T}{\frac{1}{2} \rho C_p V^3} = \frac{500}{\frac{1}{2} \times 1000 \times 0,3 \times 1,6^3} = 0,814 (m^2)$$

$$\rightarrow R^2 = \frac{0,814}{\pi} = 0,259 \rightarrow R = 0,509 (m) \rightarrow D = 1,018 (m) \text{ lấy đường kính } D = 1 (m)$$



Hình 4 Hình dạng của cánh và các thông số hình học cơ bản

Mối quan hệ giữa các thông số hình học và hiệu suất thủy động của tuabin được xây dựng bằng mô hình hồi quy bậc hai hay còn gọi là mô hình mặt đáp ứng (Response Surface Methodology - RSM). Sau khi có hàm hồi quy, bài toán tối ưu được giải dựa vào phương trình đó theo phương pháp số sử dụng phần mềm tối ưu hóa iSight 5.8.

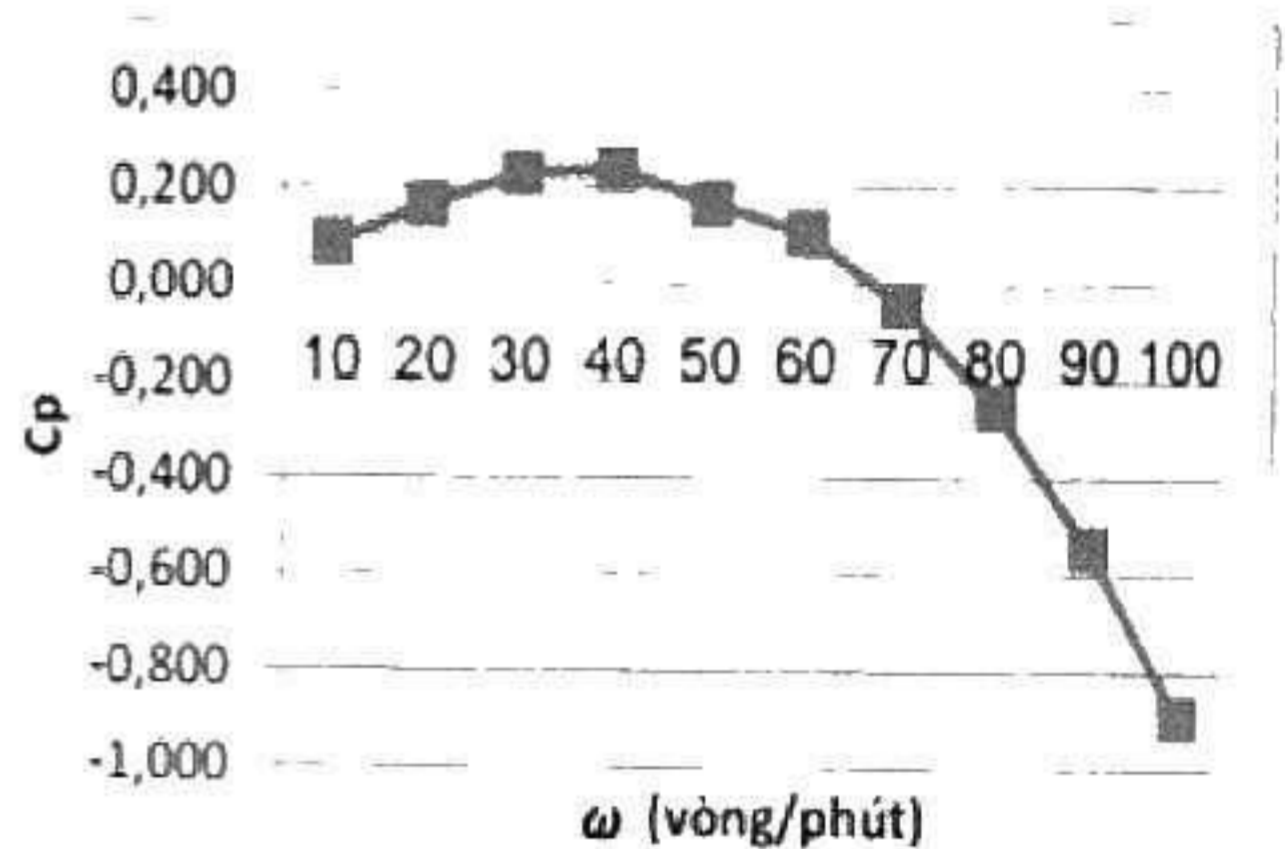
3. KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU VÀ THẢO LUẬN

Khi mô phỏng sự làm việc của cánh tuabin trong môi trường nước bằng Ansys CFX, cần phải có thông số động học đó là vận tốc quay của cánh. Theo lý thuyết cánh tuabin, hiệu

suất của tuabin phụ thuộc và tỉ số vận tốc đầu cánh λ , trong đó λ được tính bằng công thức:

$$\lambda = \frac{\omega R}{V}$$

Trong đó, R là bán kính cánh, V là tốc độ của dòng nước. Như vậy, λ phụ thuộc vào tốc độ góc ω của cánh. Qua kết quả mô phỏng với các tốc độ quay của cánh khác nhau với một loại cánh có các thông số hình học ở mức trung bình, chúng tôi thu được đồ thị biểu diễn mối quan hệ giữa hệ số công suất và tốc độ quay của cánh. Khi tốc độ góc lớn hơn 70 vòng/phút, hiệu suất âm, tức là tuabin làm việc ở chế độ chân vịt hay chế độ thu năng lượng. Công suất của tuabin đạt cực đại trong phạm vi tốc độ 35-40 vòng/phút. Kết quả này phù hợp với các nghiên cứu của Garden và Schleicher [4,5].



Hình 5. Đồ thị $C_p - \omega$

Sau khi xác định được tốc độ quay tối ưu (chọn $\omega = 40$ vòng/phút), chúng tôi tiến hành thực hiện 24 thí nghiệm theo phương pháp Box - Behnken. Hình 6, minh họa kết quả đồ họa của trường vận tốc và phương pháp tính momen sinh ra trên trục tuabin để từ đó tính được công suất và hiệu suất thủy động. Kết quả mô phỏng cho toàn bộ các thí nghiệm được cho ở bảng 1. Dữ liệu này được sử dụng để xây dựng phương trình hồi quy bậc hai biểu diễn mối quan hệ giữa hiệu suất và các thông số hình

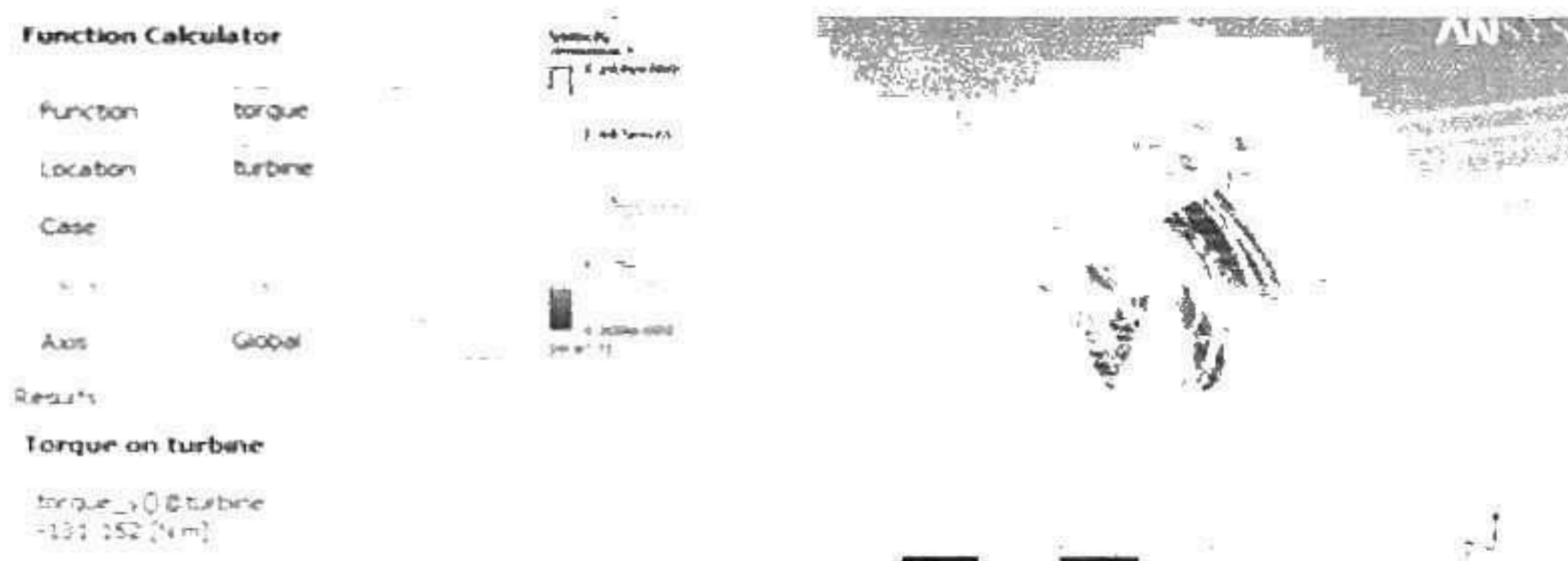
học của cánh. Phương trình được biểu diễn như sau:

$$C_p = 0,1887 + 0,0108x_1 - 0,0036x_2 + 0,0004x_3 - 0,049x_4 - 0,0003x_1^2 - 0,000034x_2^2 - 0,0000049x_3^2 + 0,0037x_4^2 + 0,00024x_1 * x_2 + 0,0000234x_1 * x_3 + 0,00097x_1 * x_4 - 0,0000143x_2 * x_3 - 0,00064x_2 * x_4 - 0,000029x_3 * x_4$$

Độ chính xác của phương trình hồi quy được kiểm định bằng hệ số xác định R-squared. Với kết quả $R^2 = 0,93 \approx 1$, độ chính xác xấp xỉ của mô hình là chấp nhận được. Vì vậy, mô hình toán học xấp xỉ được sử dụng để làm hàm mục tiêu xác định các thông số tối ưu của cánh.

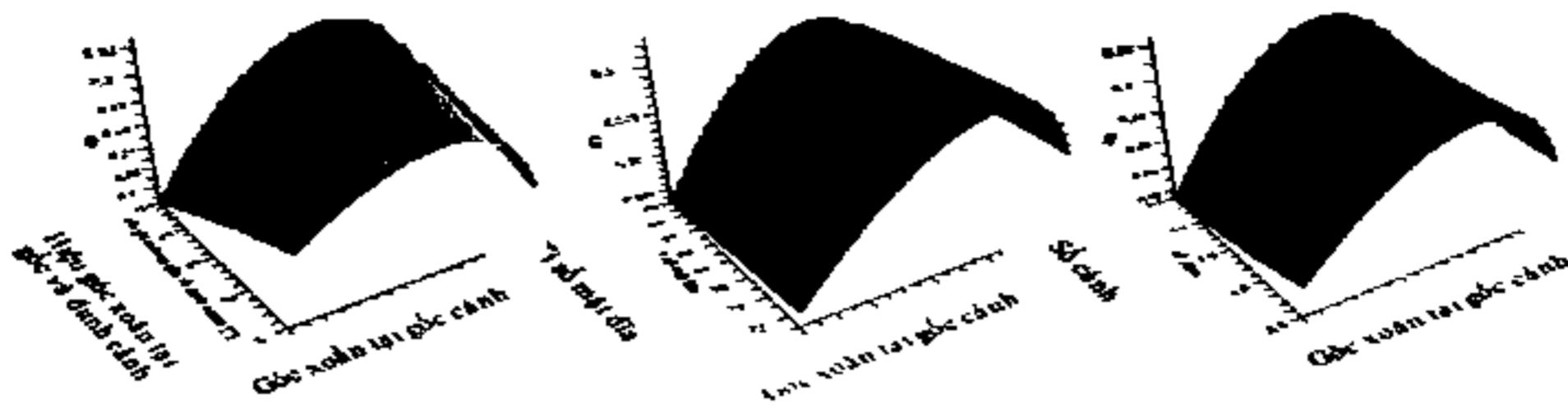
Bảng 1: Kết quả mô phỏng trong Ansys CFX với 24 thí nghiệm theo quy hoạch Box-Benhken:

TT	x_1	x_2	x_3	x_4	TS (Nm)	PS (W)	Cp	TT	x_1	x_2	x_3	x_4	TS (Nm)	PS (W)	Cp
1	20	7	85	4	99.1	415.2	0.25	13	35	7	100	4	124.6	521.8	0.31
2	20	23	85	4	73.4	307.4	0.18	14	35	23	70	4	120.5	504.7	0.30
3	50	7	85	4	95.0	397.8	0.24	15	35	23	100	4	122.9	515.0	0.31
4	50	23	85	4	127.5	533.9	0.32	16	20	15	70	4	92.9	388.9	0.23
5	35	15	70	3	121.6	509.1	0.31	17	20	15	100	4	83.5	349.7	0.21
6	35	15	70	5	125.5	525.5	0.32	18	50	15	70	4	112.1	469.5	0.28
7	35	15	100	5	127.0	531.9	0.32	19	50	15	100	4	111.1	465.3	0.28
8	20	15	85	3	94.7	396.8	0.24	20	35	7	85	3	120.6	505.4	0.30
9	20	15	85	5	84.3	353.0	0.21	21	35	7	85	5	127.5	534.2	0.32
10	50	15	85	3	107.4	450.0	0.27	22	35	23	85	3	125.1	524.1	0.31
11	50	15	85	5	120.0	502.8	0.30	23	35	23	85	5	121.9	510.5	0.31
12	35	7	70	4	118.7	497.1	0.30	24	35	15	85	4	123.5	517.4	0.31

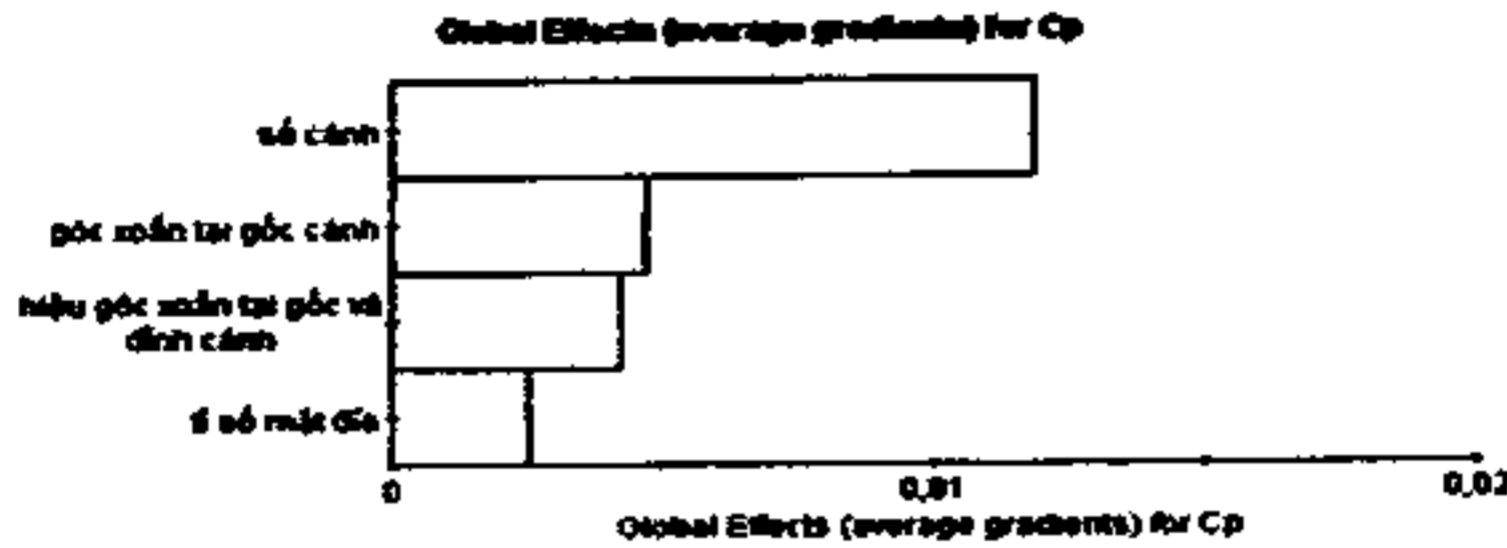


Hình 6. Vận tốc dòng chảy và phương pháp trích xuất momen

Minh họa đồ thị 3D về mối quan hệ của các thông số hình học đầu vào: Góc xoắn tại gốc cánh, hiệu góc xoắn tại gốc và đỉnh cánh, số cánh và tỉ số mặt đĩa với hiệu suất thủy động thể hiện trên hình 7. Mức độ ảnh hưởng của các thông số của cánh đến hiệu suất Cp được trình bày trên hình 8.



Hình 7. Đồ thị 3D biểu diễn mối quan hệ của hiệu suất với các thông số hình học của cánh



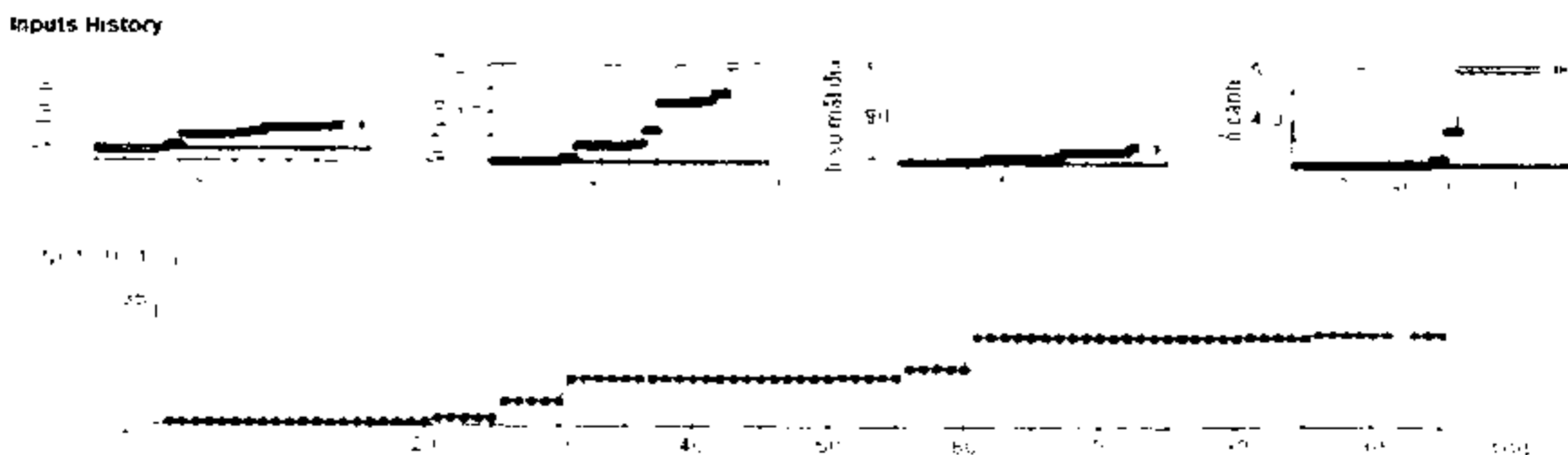
Hình 8. Mức độ ảnh hưởng của các thông số đối với Cp

Hình 8 cho thấy rằng, số cánh có ảnh hưởng lớn nhất đến Cp, khi tăng số cánh lên 5 cánh thì hiệu suất Cp tăng lên đáng kể. Về lý thuyết, số cánh nhiều vô cùng là lý tưởng nhất về mặt hiệu suất. Số cánh ít trong khi phải duy trì tỉ số mặt đĩa lớn dẫn đến cánh rất to. Dòng nước sẽ bị ngoặt trong cánh với quãng đường dài, tạo ra sự nhiễu loạn lớn, làm giảm hiệu suất của cánh. Thông số ảnh hưởng tiếp sau số cánh lần lượt góc xoắn tại gốc cánh, hiệu góc xoắn tại gốc và đỉnh cánh và ảnh hưởng ít nhất là tỉ số mặt đĩa. Nhìn vào đồ thị 3D ở hình 7, có thể thấy rằng Cp tăng phi tuyến với góc xoắn tại gốc cánh và đạt cực đại khi góc xoắn nằm khoảng 40°. Xuất hiện cực trị là điều có ý nghĩa đối với việc tối ưu hóa trong thiết kế.

Sau khi xây dựng được hàm hồi quy, giá trị tối ưu của các thông số hình học của cánh tuabin tìm được thông qua việc giải bài toán sau:

$$\begin{aligned} \text{Min } C_p &= f(x_1, x_2, x_3, x_4). \\ \text{Sao cho } &20 \leq x_1 \leq 50; \quad 7 \leq x_2 \leq 23; \quad 70 \leq x_3 \leq 100; \quad 3 \leq x_4 \leq 5. \end{aligned}$$

Bài toán được giải bằng phương pháp số dựa theo thuật toán sequential quadratic programming (SQP) nhờ phần mềm iSight. Hình 9, minh họa lịch sử quá trình tìm kiếm giá trị tối ưu khi giải bài toán nói trên. So với vị trí lựa chọn điểm xuất phát quá trình tìm kiếm, hiệu suất đã tăng từ 0,25 lên 0,33 (tăng thêm 8%). Giá trị tối ưu của các biến số là $x_1 = 41$, $x_2 = 23$, $x_3 = 76$ và $x_4 = 5$.



Hình 9 Minh họa lịch sử quá trình tìm kiếm giá trị tối ưu

4. KẾT LUẬN

Nghiên cứu này đã đề xuất được phương pháp tối ưu hóa các thông số hình học của tuabin thủy năng dẫn động cho máy phát điện phục vụ khu vực miền núi. Để tiết kiệm chi phí và thời gian nghiên cứu, phương pháp mô phỏng ảo CFD được sử dụng để tính toán hiệu suất thủy động. Phương pháp quy hoạch thực nghiệm Box- Behnken được áp dụng một cách khoa học để làm giảm số thí nghiệm nhưng vẫn thu được nhiều thông tin phản ảnh bản chất của vấn đề mối quan hệ giữa các thông số hình học của cánh tuabin và hiệu suất thủy động.

Bằng việc xây dựng phương trình hồi quy vào giải bài toán tối ưu, người thiết kế sẽ lựa chọn được các thông số hình học tốt nhất nhằm tối đa hóa hiệu suất thủy động của tuabin. Qua nghiên cứu này, chúng tôi cũng phát hiện rằng, tốc độ quay tốt nhất của tuabin phải nằm trong lân cận 40 vòng phút để có hiệu suất cao nhất. Đây là một nghiên cứu có ý nghĩa cả về mặt học thuật lẫn thực tiễn để mở rộng và khai thác tốt hơn nguồn năng lượng tái tạo tại các sông suối ở khu vực miền núi. ❖

Ngày nhận bài: 04/12/2016

Ngày phản biện: 18/12/2016

Tài liệu tham khảo:

[1]. Commission E. Climate Action, nguồn http://ec.europa.eu/clima/policies/package/index_en.htm, 2010

- [2]. Tổng quan về Khánh Hòa - Nguồn: <http://thuvienkhanhhoa.gov.vn/Default.aspx?ArticleId=d2b2e8ca-d72c-4002-94ca-6cfd3ec67a68,05/02/2010>.
- [3]. J. Twidell and T. Weir -Renewable Energy Resources - Chapter 13 Taylor & Francis e-library, 2006.
- [4]. DLF.Gaden -An investigation of river kinetic turbines: performance enhancements, turbine modelling techniques, and an assessment of turbulence models- Theses and Dissertations, University of Manitoba, 2007.
- [5]. WC Schleicher-Design optimization of a portable, micro-hydrokinetic turbine -Theses and Dissertations, Lehigh University, January, 2015.
- [6]. Đặng Xuân Phương, Vũ Ngọc Chiên; *Tối ưu hóa đa mục tiêu các thông số chế độ gia công EDM điện cực định hình*, Hội nghị Khoa học Công nghệ toàn quốc về cơ khí lần IV, 2015.
- [7]. A.N. Gorban, A. M. Gorlov, and V. M Silantyev; Limits of the turbine efficiency for free fluid flow -Journal of Energy Resources Technology, Vol. 123/317, 2001.
- [8]. AM. Gorlov, 1995, The helical turbine: A new idea for low-head hydropower - Hydro Rev 14, 44-50.
- [9]. A. Inagaki, T Kanemoto, Y. Yonayama, and M. Maruyama Proposition of gyro-type hydraulic turbine to coexist with natural ecosystem Proc of 22nd IAHR Symp. Hydraulic Machines and Systems, 2004.
- [10]. T. Kanemoto, H. Misumi, M. Uno, T Kashiwabara, S. Akaike, and M. Nemoto - Development of new type hydraulic turbine suitable for shallow stream - Proc. of the Hydraulic Machinery and Systems 21st IAHR Symposium, 2002.