

## EVALUATING THE WIND RESOURCES IN AN AREA THAT IS EQUIVALENT TO THE SIZE OF A WIND POWER PLANT: A METHODOLOGY

Dinh Van Thin<sup>1</sup>, Nguyen Huu Duc<sup>1\*</sup>, Le Quang Sang<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Electric Power University, <sup>2</sup>Institute of Energy Science - Vietnam Academy of Science and Technology

ARTICLE INFO	ABSTRACT
<b>Received:</b> 09/02/2023	Surveying the wind resources in a specific area is one of the first and important stages to be able to proceed with the construction of a wind power plant in order to proceed with building a wind power plant. In fact, the current meteorological forecasting software usually only conducts calculations on a large scale and the given results are also representative, the average value for the entire area. In this paper, we will present a method of assessing wind resources in a small area, equivalent to the size of a wind power plant. The selected area to build the model is the hilly part of Ninh Phuoc district, Ninh Thuan province. The Computational Fluid Dynamics (CFD) method in Ansys CFX software and Blender GIS data will be used to accurately model the topography of the area and conduct wind flow analyzes in this area. The results obtained are the values of the wind velocity with respect to the height in the entire three-dimensional space of the model, especially at characteristic locations such as valleys, mountain slopes and peaks. Based on the obtained results, we can accurately determine the distribution of wind speed at each specific location and from there can determine the best locations to install wind turbine towers.
<b>Revised:</b> 27/02/2023	
<b>Published:</b> 28/02/2023	
<b>KEYWORDS</b>	
Wind Resources	
Wind Power Plant	
CFD Method	
Ansys CFX Software	
Blender GIS Data	

## ĐÁNH GIÁ NGUỒN GIÓ TRONG KHU VỰC TƯƠNG ĐƯƠNG VỚI DIỆN TÍCH CỦA MỘT NHÀ MÁY ĐIỆN GIÓ: PHƯƠNG PHÁP

Dinh Văn Thin<sup>1</sup>, Nguyễn Hữu Đức<sup>1\*</sup>, Lê Quang Sáng<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Trường Đại học Điện lực, <sup>2</sup>Viện Khoa học Năng lượng - Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam

THÔNG TIN BÀI BÁO	TÓM TẮT
<b>Ngày nhận bài:</b> 09/02/2023	Khảo sát nguồn gió tại một khu vực cụ thể là một trong các giai đoạn đầu tiên và quan trọng để có thể tiến hành xây dựng một nhà máy điện gió. Trên thực tế, các phần mềm dự báo khí tượng hiện nay thường chỉ tiến hành các tính toán trên phạm vi rộng lớn và những kết quả đưa ra cũng mang tính chất đại diện, giá trị trung bình cho toàn bộ khu vực. Trong bài báo này, chúng tôi sẽ trình bày một phương pháp đánh giá nguồn gió trong một khu vực nhỏ, tương đương với phạm vi của một nhà máy điện gió. Khu vực được lựa chọn để xây dựng mô hình là phần đồi núi thuộc huyện Ninh Phước, tỉnh Ninh Thuận. Phương pháp Động lực học chất lưu tính toán (CFD) trong phần mềm Ansys CFX và dữ liệu Blender GIS sẽ được sử dụng để mô hình hóa chính xác địa hình của khu vực và tiến hành các phân tích chuyển động của gió tại khu vực này. Kết quả nhận được là các giá trị của vận tốc gió theo độ cao trong toàn bộ không gian ba chiều của mô hình, đặc biệt là tại các vị trí đặc trưng như là thung lũng, sườn núi và đỉnh núi. Dựa trên các kết quả thu được, chúng ta có thể xác định chính xác phân bố vận tốc gió tại từng vị trí cụ thể và từ đó có thể xác định được các vị trí tốt nhất để lắp đặt các trụ tuabin điện gió.
<b>Ngày hoàn thiện:</b> 27/02/2023	
<b>Ngày đăng:</b> 28/02/2023	
<b>TỪ KHÓA</b>	
Nguồn gió	
Nhà máy điện gió	
Phương pháp CFD	
Phần mềm Ansys CFX	
Dữ liệu Blender GIS	

DOI: <https://doi.org/10.34238/tnu-jst.7299>

\* Corresponding author. Email: [ducnh@epu.edu.vn](mailto:ducnh@epu.edu.vn)

## 1. Giới thiệu

Hiện nay, khủng hoảng năng lượng đang gây ra nhiều trở ngại cho sự phát triển kinh tế - xã hội tại nhiều quốc gia trên thế giới. Bên cạnh đó, ảnh hưởng của biến đổi khí hậu cũng đang ngày càng trở nên rõ ràng, gây ra nhiều thiệt hại to lớn trên phạm vi toàn cầu. Để ngăn chặn diễn biến xấu hơn của biến đổi khí hậu, nhiều quốc gia đã cùng nhau thỏa thuận và cam kết cắt giảm phát thải khí CO<sub>2</sub> trong các hội nghị thượng đỉnh về biến đổi khí hậu. Tại hội nghị biến đổi khí hậu lần thứ 26 của Liên hợp quốc (COP26) diễn ra tại Glasgow, Scotland, đại diện của các nước đã cùng ký cam kết cắt giảm, loại bỏ dần các nhà máy sử dụng nhiên liệu hóa thạch, và ưu tiên phát triển các dự án năng lượng tái tạo [1].

Tại Việt Nam, Chính phủ cũng đã đưa ra nhiều chính sách nhằm khuyến khích, hỗ trợ cho các dự án liên quan đến phát triển nguồn điện năng lượng tái tạo, đặc biệt là điện mặt trời và điện gió. Thực tế, Việt Nam có diện tích biển lớn, vùng lãnh thổ trải dài rất thuận lợi cho việc khai thác nguồn năng lượng gió. Theo báo cáo trong dự thảo “Đề án quy hoạch phát triển điện lực quốc gia thời kỳ 2021- 2030, tầm nhìn đến năm 2045” của Viện Năng lượng, Bộ Công thương thì tiềm năng lý thuyết điện gió trên bờ của Việt Nam khoảng 179,8 GW và theo dữ liệu của Ngân hàng thế giới thì tiềm năng lý thuyết điện gió ngoài khơi là 475 GW [2]. Tuy nhiên, địa hình của nước ta rất đa dạng và phức tạp, nhiều khu vực đồi núi xen kẽ thung lũng và các mặt tiếp giáp với biển. Do vậy cần có những nghiên cứu về ảnh hưởng của địa hình đến tiềm năng khai thác nguồn gió cho từng vị trí khu vực cụ thể. Trong công bố của nhóm tác giả Huynh-Goo Kim và các cộng sự, nhóm này cũng đã tiến hành các mô hình phân tích về đặc trưng địa hình của Hàn Quốc, trong đó tập trung vào các khu vực địa hình đồi núi và đảo, từ đó đưa ra đánh giá tiềm năng nguồn gió tại tỉnh Gangwon [3].

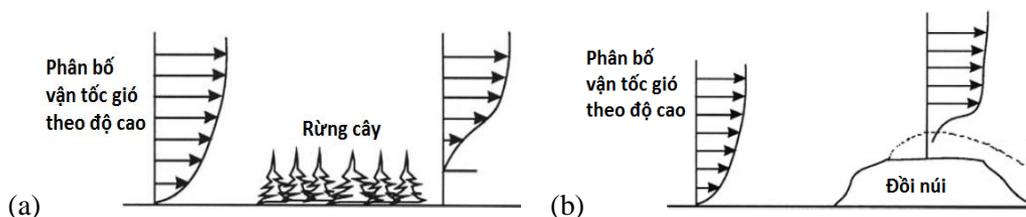
Để xây dựng được một nhà máy điện gió đạt hiệu quả hoạt động tốt nhất thì cần phải tiến hành khảo sát phân bố của nguồn gió theo địa hình tại khu vực được lựa chọn. Các nghiên cứu về nguồn gió hiện nay chủ yếu dựa vào dữ liệu vệ tinh để xây dựng bản đồ gió cho các khu vực rộng lớn, độ phân giải không gian khoảng từ 1 km đến vài chục km [4], [5]. Vì vậy, các yếu tố ảnh hưởng của địa hình trong phạm vi hẹp gần như không được xem xét đến. Đây là nguyên nhân chính dẫn đến nhiều sự cố, tai nạn làm hỏng các cánh quạt của tuabin điện gió, gây thiệt hại lớn về mặt kinh tế. Gần đây, một số nhóm nghiên cứu trên thế giới đã tiến hành các mô hình phân tích đối với phạm vi diện tích nhỏ, tuy nhiên các nhóm này chủ yếu dựa vào dữ liệu vệ tinh GIS để thực hiện [6] – [8]. Các công bố về đánh giá nguồn gió này chủ yếu dựa trên các dữ liệu khí tượng đã xảy ra trong quá khứ, dữ liệu tái phân tích, kết hợp với các phương pháp thống kê để tiến hành mô phỏng và đưa ra các dự báo. Trong bài báo này, dữ liệu Blender GIS sẽ cung cấp các đặc trưng địa hình có độ chính xác cao, kết hợp với các phương trình toán học về động lực học chất lưu trong phần mềm Ansys CFX. Chuyển động của nguồn gió sẽ được tính toán trong độ phân giải không gian nhỏ, 200m.

Để xác định phân bố vận tốc gió theo độ cao, chúng ta sử dụng công thức như sau [9]:

$$\frac{v_h}{v_{h_0}} = \left( \frac{h}{h_0} \right)^\alpha \quad (1)$$

Trong đó:  $h$ ,  $h_0$  lần lượt là độ cao tại vị trí  $h$  bất kỳ và vị trí  $h_0$  đã xác định trước,  $m$ ;  $v_h$  và  $v_{h_0}$  lần lượt là vận tốc tại vị trí  $h$  và  $h_0$  tương ứng,  $m/s$ ;  $\alpha$  là hệ số phụ thuộc vào loại địa hình, trong trường hợp địa hình là bằng phẳng thì  $\alpha = \frac{1}{7}$ .

Trong trường hợp địa hình có vật cản, không bằng phẳng thì luồng gió sẽ có sự rối loạn và phân bố vận tốc gió có thể bị thay đổi lớn như thể hiện trong hình 1.



Hình 1. Phân bố vận tốc gió khi gặp rừng cây (a) và đồi núi (b) [9]

Thực tế, phần đất liền của Việt Nam chủ yếu là đồi núi, địa hình có độ chênh lệch về chiều cao lớn, do đó mà chúng ta cần phải có những nghiên cứu cho từng địa điểm xây dựng nhà máy cụ thể để có thể xác định được phân bố vận tốc gió chính xác nhất. Trong nghiên cứu này, chúng tôi đã lựa chọn khu vực đồi núi thuộc huyện Ninh Phước, tiếp giáp giữa hai tỉnh Ninh Thuận và Bình Thuận, đây là nơi có vận tốc gió lớn, phù hợp để xây dựng một nhà máy điện gió.

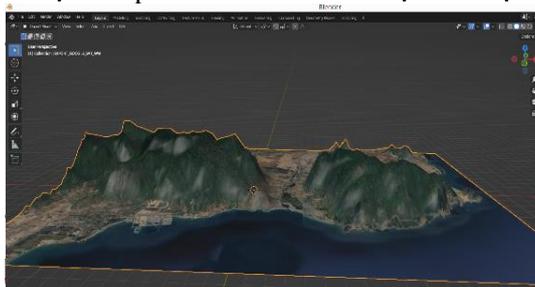
Để mô hình hóa được địa hình chính xác của khu vực này, nhóm nghiên cứu đã sử dụng dữ liệu Blender GIS và sau đó chuyển đổi sang định dạng của phần mềm Ansys CFX để tiến hành các cài đặt và chạy phân tích dựa trên phương pháp CFD. Kết quả thu được là các phân bố vận tốc gió theo độ cao tại các điểm như là thung lũng, sườn núi, đỉnh núi sẽ được thể hiện. Từ đó chúng ta có thể xác định được các vị trí tốt nhất cho việc lắp đặt các trụ tuabin điện gió.

Bài báo này sẽ trình bày về phương pháp tạo mô hình từ Blender GIS kết hợp với phần mềm Ansys CFX, tiếp theo là các bước cài đặt, thiết lập điều kiện biên và điều kiện ban đầu cho mô hình trong mục 2 về phương pháp nghiên cứu. Phần kết quả, đánh giá và nhận xét sẽ trình bày trong mục 3, cuối cùng là phần kết luận sẽ được đưa ra trong mục 4.

## 2. Phương pháp nghiên cứu

### 2.1. Dữ liệu Blender GIS

Blender là một phần mềm mã nguồn mở miễn phí nhằm giúp người dùng tạo ra các mô hình không gian ba chiều, hoặc các video sống động, chân thực, phần mềm này có thể chạy trên các nền tảng như Linux, macOS, và Windows [10]. Dữ liệu Blender GIS sẽ được nạp vào thư viện của phần mềm Blender để tạo ra bản đồ địa hình không gian 3D từ dữ liệu ảnh vệ tinh của Google [11]. Giao diện làm việc của phần mềm Blender được thể hiện như trong hình 2.

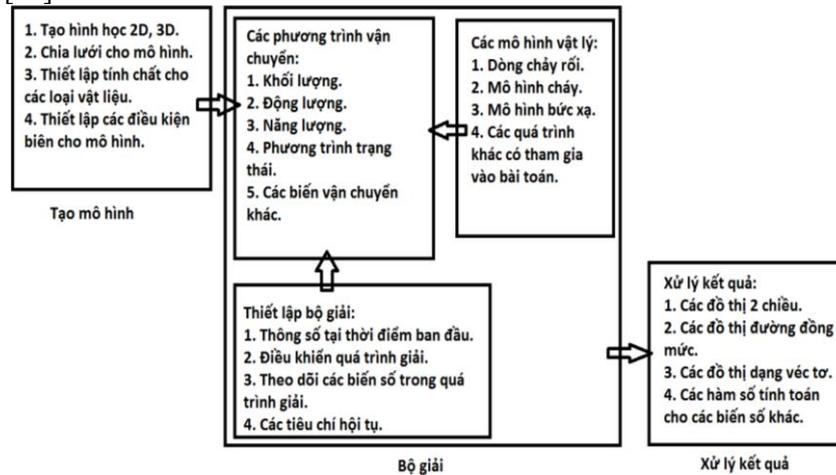


Hình 2. Tạo mô hình 3D trên phần mềm Blender

### 2.2. Phương pháp CFD và phần mềm Ansys CFX

Phương pháp CFD thường được biết đến với tên gọi là Phương pháp Động lực học chất lưu tính toán, đây là phương pháp nghiên cứu dành riêng cho sự tạo thành định dạng và chuyển động của chất lưu, có bao gồm cả các quá trình truyền nhiệt và phản ứng hóa học. Các đặc tính vật lý của quá trình chuyển động chất lưu được mô tả thông qua các phương trình toán học ở dạng vi phân từng phần. Hệ các phương trình toán học này được biết đến với tên gọi là hệ phương trình điều khiển, để giải được hệ phương trình thì chúng ta cần phải sử dụng các máy vi tính có cấu

hình cao. Các quá trình đóng góp chủ yếu vào phương pháp CFD được thể hiện tổng quan như trong hình 3 [12].

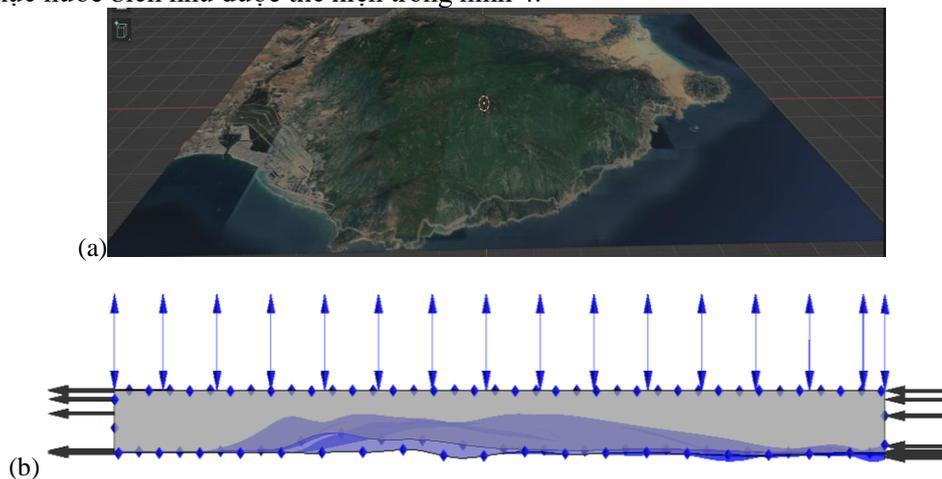


Hình 3. Các quá trình tham gia vào phương pháp CFD

Ansys CFX là phần mềm thuộc quyền sở hữu của công ty Ansys, phần mềm này được sử dụng rất phổ biến tại các nước tiên tiến trên thế giới trong lĩnh vực thiết kế cánh quạt của máy bơm, và cánh của các loại tuabin khác nhau, trong đó có cả cánh của tuabin điện gió. Bộ giải của phần mềm này dựa trên phương pháp CFD và có thêm một số công cụ hỗ trợ hiện đại giúp người dùng giải quyết được các vấn đề liên quan đến chất lưu có độ chính xác cao [13].

**2.3. Xây dựng mô hình phân tích**

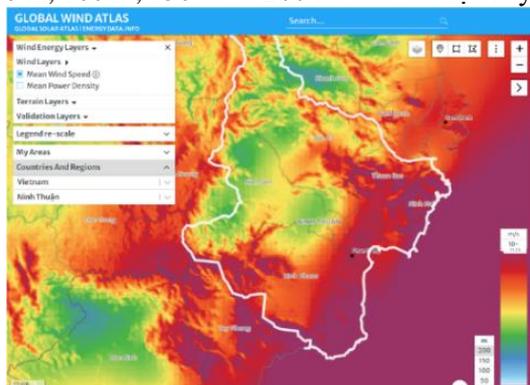
Trước tiên, địa hình khu vực đồi núi thuộc xã Ninh Phước được mô hình hóa sử dụng dữ liệu Blender GIS và sau đó chuyển sang phần mềm Ansys CFX để chỉnh sửa hoàn thiện. Mô hình có dạng hình hộp chữ nhật với chiều rộng là 12040 m, chiều dài là 16882 m và độ cao là 936 m so với mực nước biển như được thể hiện trong hình 4.



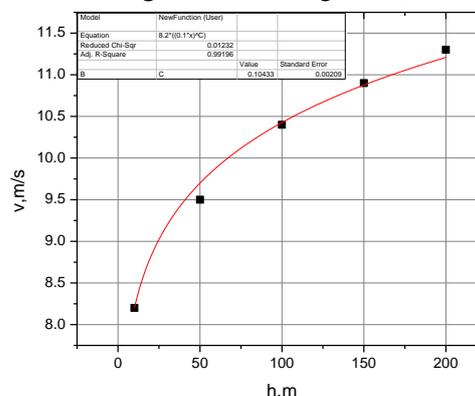
Hình 4. Địa hình khu vực trên Blender (a) và mô hình trên Ansys CFX (b)

Mô hình sau đó được chia lưới thành các không gian nhỏ hơn, kích thước lưới chia là 200 m, điều này có nghĩa là độ phân giải không gian của mô hình này là 200 m. Loại lưới được sử dụng là kết hợp giữa lưới Tứ giác và Lục giác, tổng số lưới của mô hình này là 384766 lưới, phù hợp với yêu cầu giới hạn của phần mềm Ansys CFX phiên bản Student. Chất lượng chia lưới của toàn bộ mô hình đạt xấp xỉ 0,85, thuộc loại chất lượng chia lưới tốt.

Mô hình được thiết lập điều kiện biên cho gió thổi từ hướng biển Đông vào theo hướng Đông – Tây, các mặt phẳng hai bên cạnh và phía trên của mô hình đều được thiết lập trong điều kiện tương tác mở như thể hiện trong hình 4b. Để xác định được điều kiện ban đầu của phân bố vận tốc cho mô hình, nhóm tác giả đã sử dụng dữ liệu được cung cấp bởi Ngân hàng thế giới tại các độ cao 10 m, 50 m, 100 m, 150 m và 200 m. Các dữ liệu này được thể hiện trong hình 5 và bảng 1 [14].



Hình 5. Dữ liệu vệ tinh về nguồn gió theo Ngân hàng thế giới



Hình 6. Khớp hàm phân bố vận tốc gió theo độ cao

Bảng 1. Phân bố vận tốc gió trung bình theo độ cao tại vùng biển ngay sát khu vực đất liền

STT	h, m	$\bar{v}$ , m/s
1	10	8,2
2	50	9,5
3	100	10,4
4	150	10,9
5	200	11,3

Từ công thức số (1), nhóm tác giả tiến hành khớp hàm số để tìm ra được hàm phân bố vận tốc gió theo độ cao tại khu vực biển tiếp giáp với đất liền, đồ thị hàm khớp được trình bày trong hình 6.

Hàm phân bố vận tốc gió theo độ cao tại bề mặt lối vào của mô hình được xác định từ đồ thị khớp hàm như sau:

$$v_h = 8.2 \times \left( \frac{h}{10} \right)^\alpha \quad (2)$$

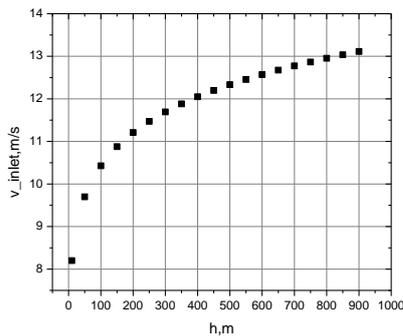
Với:  $\alpha = 0.10433 \pm 0.00209$ .

Công thức số (2) sẽ được sử dụng để cài đặt giá trị vận tốc ban đầu tại bề mặt lối vào của mô hình theo độ cao từ 0 m đến 936 m, giá trị vận tốc này được biểu diễn như trong hình 7.

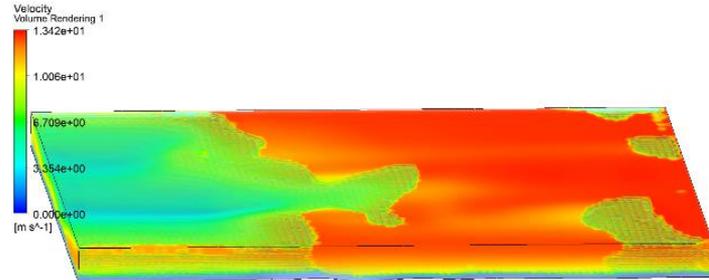
Các điều kiện ban đầu khác tại mặt phẳng lối vào của mô hình như là nhiệt độ và áp suất được cho như sau: Nhiệt độ là  $T_{in}=25^\circ\text{C}$  và áp suất là  $P_{in}=1\text{atm}$ .

### 3. Kết quả và bàn luận

Mô hình phân tích được xây dựng và cài đặt các thông số điều kiện biên dựa trên sự kết hợp giữa phần mềm Blender và Ansys CFX như được thể hiện trong hình 4. Bề mặt lối vào của mô hình được gán hàm phân bố vận tốc gió theo độ cao như trong công thức số (2). Toàn bộ mô hình sẽ được phân tích trong trạng thái ổn định với tổng số vòng lặp là 2000 vòng, tiêu chí hội tụ là  $10^{-15}$ . Bởi vì tính chất chuyển động của gió trong trường hợp này là chảy rối, do đó mà mô hình chảy rối được lựa chọn là mô hình vận chuyển ứng suất trượt (SST).

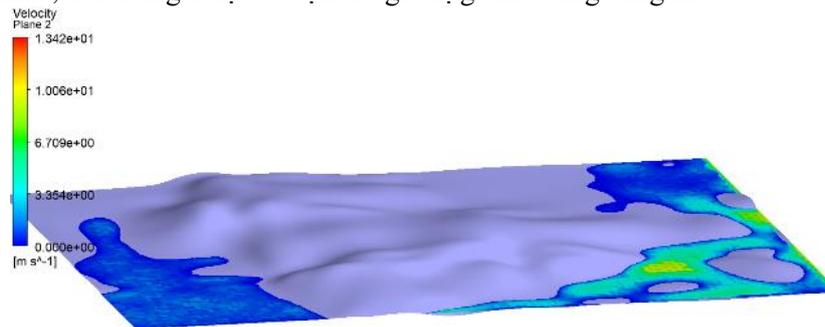


**Hình 7.** Phân bố vận tốc theo chiều cao tại mặt phẳng lối vào của mô hình



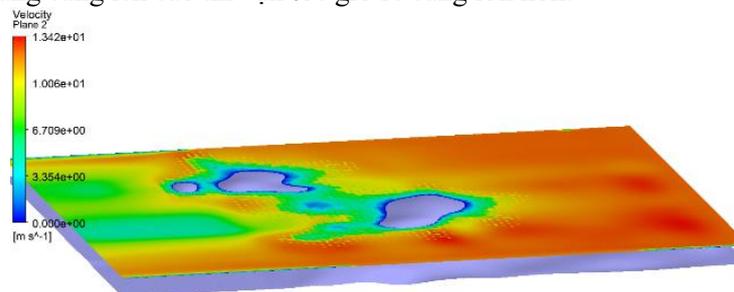
**Hình 8.** Phân bố vận tốc gió trong toàn bộ mô hình

Sau khi quá trình giải kết thúc, để có đánh giá tổng quan về phân bố vận tốc gió trong toàn bộ mô hình, nhóm tác giả đã tiến hành xử lý và đưa ra phân bố vận tốc gió trong không gian 3D như thể hiện trong hình 8. Từ hình 8 chúng ta nhận thấy rằng khu vực sườn núi phía trước, từ hướng biển đông thổi vào sẽ cho giá trị vận tốc gió cao hơn các khu vực khác. Ngược lại, khu vực sườn núi phía sau, sườn phía tây, lại cho vận tốc gió rất thấp. Lý do của sự khác biệt này có thể giải thích sơ bộ là khi gió gặp sườn núi phía trước thì phần không gian sẽ bị thu hẹp lại, dẫn đến vận tốc phải tăng lên để đảm bảo định luật bảo toàn khối lượng. Trong trường hợp gió đi sang sườn núi phía sau, thì luồng gió sẽ bị tạo thành các vòng xoáy theo địa hình, từ đó các hướng gió sẽ bị triệt tiêu lẫn nhau, dẫn đến giá trị của vận tốc gió bị giảm xuống đáng kể.



**Hình 9.** Phân bố vận tốc gió tại độ cao  $z = 10\text{ m}$

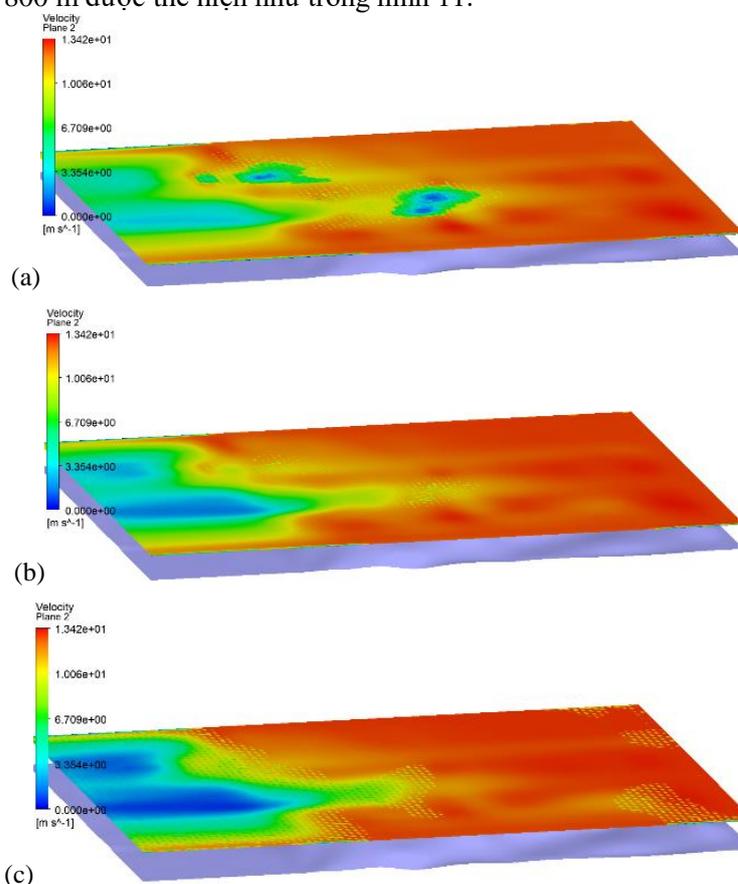
Phân bố vận tốc gió tại mặt cắt sát mặt đất và tại đỉnh núi được thể hiện trong hình 9 và hình 10, chúng ta có thể thấy rõ ràng sự chênh lệch vận tốc gió ở hai mức độ cao khác nhau này. Điều này khẳng định rằng càng lên cao thì vận tốc gió sẽ càng lớn hơn.



**Hình 10.** Phân bố vận tốc gió tại độ cao  $z = 500\text{ m}$

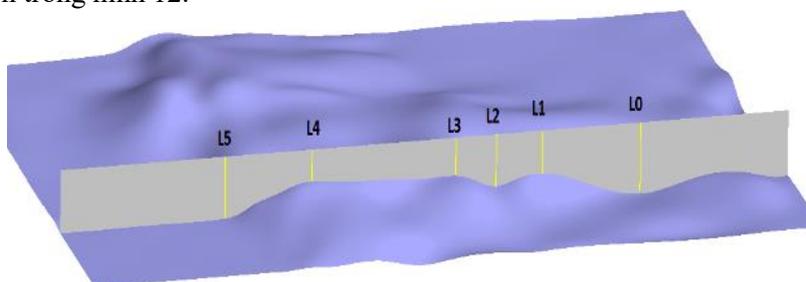
Sau khi xem xét ở phần trên, chúng ta thấy rằng khu vực sườn núi phía trước là nơi có vận tốc gió lớn, khu vực này sẽ được lựa chọn để tiến hành các phân tích tiếp theo. Hiện nay, công nghệ chế tạo tháp tuabin điện gió có thể đạt độ cao trên 100 m, do vậy chúng ta cần tiếp tục khảo sát

đối với phần không gian cao hơn đỉnh núi. Phân bố vận tốc gió tại các bề mặt ở độ cao  $z=600$  m,  $z = 700$  m và  $z = 800$  m được thể hiện như trong hình 11.



**Hình 11.** Phân bố vận tốc gió tại độ cao  $z = 600$  m (a), tại độ cao  $z = 700$  m (b) và tại độ cao  $z = 800$  m (c)

Từ dữ liệu ở hình 11, chúng ta thấy rằng khu vực phía Nam của mô hình là nơi có giá trị vận tốc gió tốt nhất ở độ cao từ 600 m đến 800 m so với mặt nước biển, tương đương với khoảng cách từ đỉnh núi vào khoảng trên 100 m. Để khảo sát rõ hơn khu vực này, chúng tôi đã tiến hành dựng một mặt phẳng cắt dọc theo mô hình, sau đó chúng tôi đã xây dựng các đường thẳng ở các vị trí đặc trưng cho điểm ở thung lũng  $L_0$ , và điểm ở sườn núi  $L_2$  và  $L_5$ , điểm ở đỉnh núi  $L_1$ ,  $L_3$  và  $L_4$  như thể hiện trong hình 12.

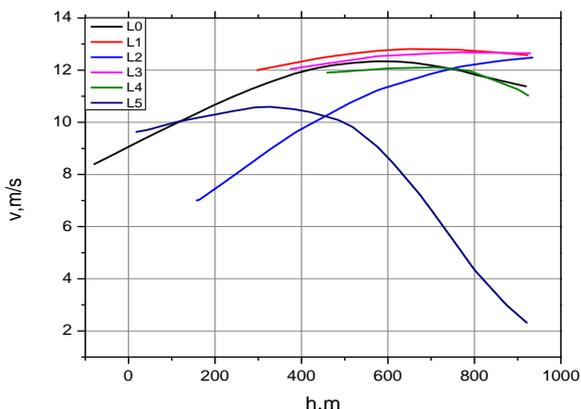


**Hình 12.** Mặt cắt dọc theo khu vực có cả thung lũng, sườn núi và đỉnh núi

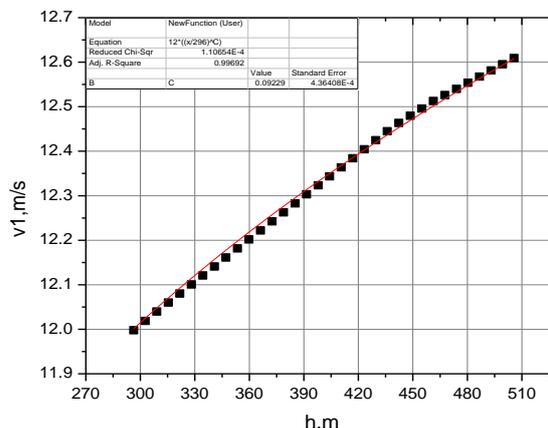
Từ hình 13, chúng ta thấy được phân bố định lượng của giá trị vận tốc gió theo độ cao tại các điểm đặc trưng  $L_0$ ,  $L_1$ ,  $L_2$ ,  $L_3$ ,  $L_4$  và  $L_5$ . Phân bố gió tại các điểm phía trước của đỉnh núi là  $L_0$ ,  $L_1$ ,  $L_2$ ,  $L_3$  thì càng lên cao hơn, gió sẽ có vận tốc lớn hơn. Tuy nhiên, tại hai điểm phía sau sườn núi  $L_4$  và  $L_5$  thì phân bố vận tốc gió lại có xu hướng không ổn định, và bị giảm xuống đáng kể khi độ

cao tăng lên. Nguyên nhân của hiện tượng này đã được giải thích ở phần trên. Từ đây, chúng ta lại xác nhận được rằng tại các vị trí L0, L1, L2, L3 phù hợp để xây dựng các trụ tuabin điện gió. Tuy nhiên, khi xem xét đến độ cao thực tế mà các trụ điện gió có thể chế tạo được thì chúng ta phải loại bỏ hai điểm là L0 và L2.

Chúng ta tiếp tục xem xét kỹ lưỡng hơn phân bố vận tốc gió tại hai điểm L<sub>1</sub> và L<sub>3</sub> tính đến độ cao z=500 m so với mặt nước biển như trong hình 14 và hình 15.



**Hình 13.** Phân bố vận tốc gió theo độ cao tại một số vị trí đặc trưng

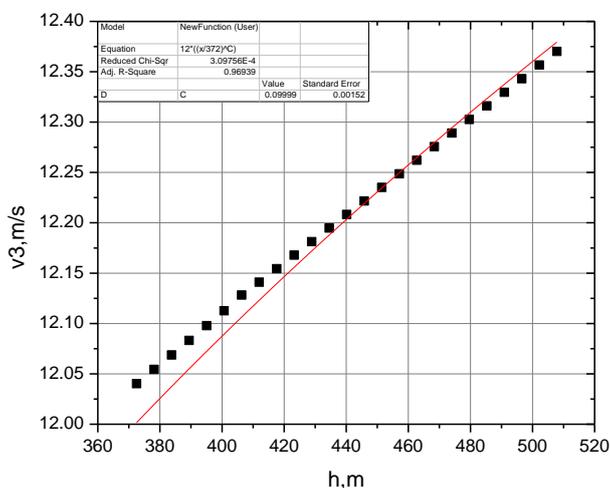


**Hình 14.** Khớp hàm phân bố vận tốc gió theo độ cao tại điểm L<sub>1</sub>

Hàm phân bố vận tốc gió theo độ cao tại đỉnh núi đầu tiên L<sub>1</sub> được xác định từ đồ thị khớp hàm như sau:

$$v_1 = 12 \times \left( \frac{z}{296} \right)^{\alpha_1} \tag{3}$$

Với:  $\alpha_1 = 0.09229 \pm 0.00044$  .



**Hình 15.** Khớp hàm phân bố vận tốc gió theo độ cao tại điểm L<sub>3</sub>

Hàm phân bố vận tốc gió theo độ cao tại đỉnh núi thứ hai L<sub>3</sub> của mô hình được xác định từ đồ thị khớp hàm như sau:

$$v_3 = 12 \times \left( \frac{z}{372} \right)^{\alpha_3} \tag{4}$$

Với:  $\alpha_3 = 0.09999 \pm 0.00152$  .

Từ hình 14 và hình 15, chúng ta thấy rằng với độ cao từ đỉnh núi là khoảng 300 m cho đến 500 m, giá trị của vận tốc gió thay đổi tương đối nhỏ. Do đó, đối với các vị trí trên đỉnh núi cao này, chúng ta không cần phải lắp đặt các trụ tuabin gió quá cao, từ đây có thể tiết kiệm đáng kể chi phí sản xuất và vận chuyển. Bên cạnh đó, cho dù hai điểm  $L_1$  và  $L_3$  tương đối gần nhau, nhưng hệ số phụ thuộc theo địa hình  $\alpha$  có giá trị khác nhau như trong công thức số (3) và số (4). Từ đây, chúng ta khẳng định một lần nữa rằng đối với mỗi khu vực địa hình khác nhau thì chúng ta đều cần phải tiến hành xác định chính xác được hàm thay đổi vận tốc theo độ cao. Từ đó mới có cơ sở về vận tốc gió để tiến hành lựa chọn các thiết kế tuabin điện gió phù hợp nhất.

#### 4. Kết luận

Từ những kết quả thể hiện trong bài báo này, chúng ta có thể kết luận được rằng cần thiết phải có sự nghiên cứu, đánh giá nguồn gió tại những địa điểm dự kiến xây dựng nhà máy điện gió cụ thể. Từ đó, chúng ta mới có thể lựa chọn được loại công nghệ tuabin điện gió phù hợp nhất, tránh việc lãng phí đầu tư và nâng cao hiệu quả sử dụng.

Phần mềm Ansys CFX kết hợp với dữ liệu thông tin vệ tinh Blender GIS có thể giải quyết được bài toán đánh giá tiềm năng năng lượng gió theo khu vực cụ thể, các kết quả thu được có thể ở dạng hình ảnh định tính hoặc đồ thị định lượng rất rõ ràng và có độ tin cậy cao.

#### TÀI LIỆU THAM KHẢO/ REFERENCES

- [1] United Nations, “Delivering The Glasgow Climate Pact,” 2021. [Online]. Available: <https://ukcop26.org/>. [Accessed February 4, 2023].
- [2] Institute of Energy, Ministry of Industry and Trade of the Socialist Republic of Vietnam, “The national power development plan in the 2021-2030 period, with vision to 2045,” (in Vietnamese), April 2022.
- [3] H. G. Kim, Y. H. Kang, and J. Y. Kim, “Evaluation of Wind Resource Potential in mountainous region considering morphometric terrain characteristics,” *Wind Energy*, vol. 41, no. 2, pp.114-123, 2017.
- [4] Q. V. Dinh, Q. V. Doan, D. T. Ngo, V. N. Dinh, and D. D. Nguyen, “Offshore wind resource in the context of global climate change over a tropical area,” *Applied Energy*, vol. 308, 2022, Art. no. 118369.
- [5] V. H. Nguyen, X. T. Pham, D. N. Nguyen, X. A. Nguyen, L. K. Pham, H. S. Hoang, T. M. Nguyen, and C. C. Pham, “Observation and Simulation of Wind Speed and Wind Power Density over Bac Lieu Region,” *Advances in Meteorology*, vol. 2021, 2021, Art. no. 8823940.
- [6] H. A. Effat and A. M. El-Zeiny, “Geospatial modeling for selection of optimum sites for hybrid solar-wind energy in Assiut Governorate, Egypt,” *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Sciences*, vol. 25, no. 2, pp. 627-637, 2022.
- [7] Y. Back, P. Kumar, P. M. Bach, W. Rauch, and M. Kleidorfer, “Integrating CFD-GIS modelling to refine urban heat and thermal comfort assessment,” *Science of the Total Environment*, vol. 858, 2023, Art. no. 159729.
- [8] S. Chang, Q. Jiang, and Y. Zhao, “Integrating CFD and GIS into the Development of Urban Ventilation Corridors: A Case Study in Changchun City, China,” *Sustainability*, vol. 10, no. 6, pp. 1-16, 2018.
- [9] J. Manwell, J. McGowan, and A. Rogers, *Wind energy explained: theory, design, and application*. John Wiley & Sons Ltd., 2009.
- [10] Blender, “Blender 3.4 Reference Manual,” 2023. [Online]. Available: [https://docs.blender.org/manual/en/latest/getting\\_started/about/introduction.html](https://docs.blender.org/manual/en/latest/getting_started/about/introduction.html). [Accessed February 4, 2023].
- [11] GitHub, Inc., “BlenderGIS,” 2023. [Online]. Available: <https://github.com/domlysz/BlenderGIS>. [Accessed February 4, 2023].
- [12] J. Tu, G. H. Yeoh, and C. Liu, *Computational Fluid Dynamics: A Practical Approach*. Elsevier, 2008.
- [13] Ansys Inc, “Ansys CFX,” 2023. [Online]. Available: <https://www.ansys.com/products/fluids/ansys-cfx>. [Accessed February 4, 2023].
- [14] World Bank Group, “Global Wind Atlas,” 2023. [Online]. Available: <https://globalwindatlas.info/en/area/Vietnam/Ninh%20Thu%E1%BA%ADn>. [Accessed February 4, 2023].