

ĐÁNH GIÁ TIỀM NĂNG TÀI NGUYÊN NĂNG LƯỢNG GIÓ MỨC 100 M TRÊN LÃNH THỔ VIỆT NAM

Trần Quang Năng, Trần Thị Thanh Hải
Tổng cục Khí tượng Thủy văn

Ngày nhận bài: 14/01/2025; ngày chuyển phân biên: 15/01/2025; ngày chấp nhận đăng: 28/02/2025

Tóm tắt: Nghiên cứu này tập trung đánh giá tiềm năng tài nguyên năng lượng gió (NLG) ở độ cao 100 m trên lãnh thổ Việt Nam, sử dụng kết hợp số liệu quan trắc gió giai đoạn 1961-2023 và số liệu tái phân tích ERA5. Tốc độ gió ở độ cao 100 m được nội suy từ số liệu gió ở độ cao 10 m theo phương pháp logarit. Để phân tích sự phân hóa không gian của NLG, bản đồ tiềm năng NLG trung bình năm được xây dựng bằng phương pháp chuyên gia, kết hợp giữa số liệu quan trắc và tái phân tích. Kết quả nghiên cứu cho thấy sự khác biệt rõ rệt về tiềm năng NLG giữa các khu vực. Cụ thể, khu vực Nam Trung Bộ và Tây Nguyên có tốc độ gió trung bình cao nhất (3,1-3,4 m/s) với mật độ NLG dao động từ 5-143 Wh/m², được xếp vào nhóm có tiềm năng khai thác rất tốt. Đồng bằng Bắc Bộ và Bắc Trung Bộ có tốc độ gió trung bình từ 2,6-3,2 m/s, với mật độ NLG từ 10-100 Wh/m², phù hợp để phát triển điện gió ở quy mô vừa. Trong khi đó, Tây Bắc và Đông Bắc có tốc độ gió thấp hơn (2,1-2,3 m/s), mật độ NLG dao động từ 1,5-70 Wh/m², chỉ cho phép khai thác ở một số khu vực cụ thể. Tại các trạm ven biển và ngoài khơi, tiềm năng NLG vượt trội hơn hẳn so với đất liền. Các trạm đảo như Bạch Long Vĩ, Phú Quý và Trường Sa có tốc độ gió trung bình cao (7,1-8,8 m/s) và mật độ NLG rất lớn (300-823 Wh/m²), cho thấy tiềm năng phát triển điện gió quy mô lớn. Một số trạm khác như Lý Sơn, Cồn Cỏ, Hòn Dấu và Côn Đảo có mật độ NLG ở mức cao (80-200 Wh/m²), trong khi Phú Quốc có tiềm năng hạn chế hơn (7-77 Wh/m²).

Từ khóa: Tài nguyên NLG, tốc độ gió, mức 100 m, Việt Nam.

1. Mở đầu

Nghiên cứu và đánh giá tiềm năng tài nguyên năng lượng gió (NLG) là một trong những chủ đề trọng tâm của ngành khí tượng thủy văn (KTTV), đặc biệt trong bối cảnh thế giới đang chuyển dịch mạnh mẽ sang năng lượng tái tạo để ứng phó với biến đổi khí hậu (BĐKH). Từ những năm cuối của thế kỷ XX đến những năm đầu thế kỷ XXI, các nghiên cứu về NLG ở Việt Nam đã được nhiều tác giả quan tâm [1-10]. Năm 2009, atlas số về NLG đầu tiên ở Việt Nam trong atlas NLG toàn cầu được Ngân hàng Thế giới (WB) xây dựng [11] và được cung cấp tại địa chỉ trang web <https://globalwindatlas.info/>. Sau đó, WB đã cải tiến đáng kể về chất lượng thông tin và cũng như các khuyến nghị về khai thác NLG [12]. Năm 2022, Bộ Tài nguyên và Môi trường (TNMT)

đã công bố các báo cáo Báo cáo tiềm năng năng lượng gió, sóng ngoài khơi tại các vùng biển Việt Nam" và "Đánh giá tiềm năng năng lượng bức xạ, gió và sóng tại Việt Nam", dựa trên tổng hợp số liệu từ các nguồn công bố và quan trắc [13-14]. Cũng trong năm 2022, Nguyễn Văn Thắng và cộng sự (2022) đã thực hiện đánh giá tiềm năng NLG trên Biển Đông sử dụng số liệu vệ tinh CCMP [15]. Tập thể tác giả đã đánh giá tiềm năng NLG mức 100 m, 150 m và 200 m. Kết quả cho thấy, các khu vực có tiềm năng NLG lớn nhất là vùng biển Bình Định - Ninh Thuận, Bình Thuận - Cà Mau và giữa vịnh Bắc Bộ, với mật độ NLG trong năm khoảng 500 đến 700 W/m² ở mức 100 m. Kết quả này cũng tương đồng với kết quả công bố trong báo cáo của Bộ TMMT [13-14]. Đến nay, có thể khẳng định atlas NLG của WB là tài liệu số duy nhất; các báo cáo của Bộ TNMT là các báo cáo cập nhật nhất. Mặc dù vậy, các kết quả này vẫn còn một số hạn chế như, các báo

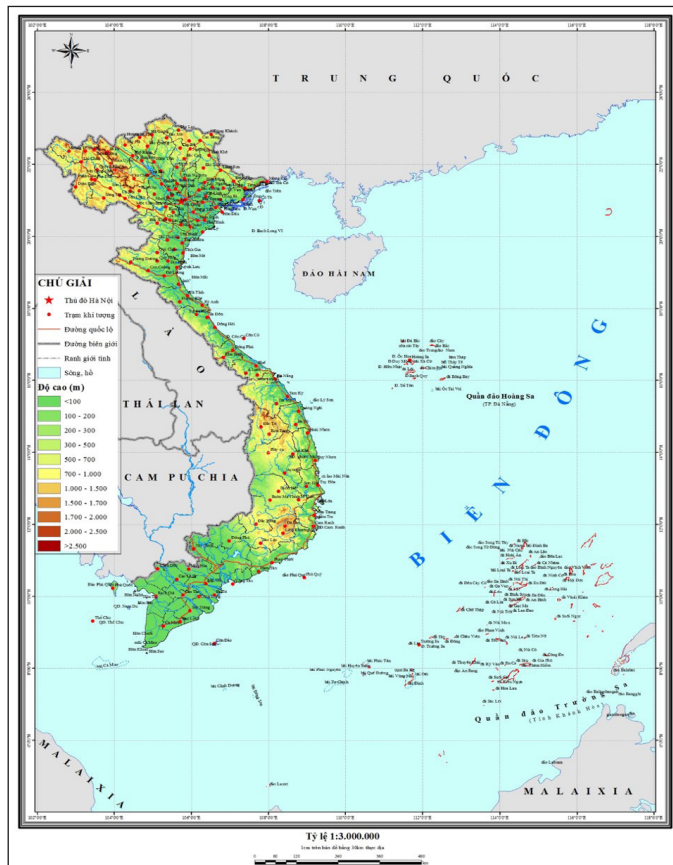
Liên hệ tác giả: Trần Quang Năng
Email: trannang030984@gmail.com

cáo của Bộ TNMT trình bày cho các vùng riêng lẻ dựa trên các nguồn số liệu khác nhau và chưa có sự thống nhất và đồng nhất về mặt phân bố theo không gian. Ví dụ như bản đồ NLG, được xây dựng riêng cho đất liền và vùng biển. Atlas NLG của WB thì được xây dựng dựa trên số liệu tái phân tích cho đất liền và ven biển. Nên số liệu gió trên đất liền chưa phản ánh được tính chất gió do tác động của điều kiện địa phương và chỉ có thông tin ven biển, những vùng ngoài khơi và quần đảo chưa có thông tin.

Trong bối cảnh hiện nay, Việt Nam đã và đang tham gia tích cực vào các cam kết quốc tế về BĐKH, nổi bật là Thỏa thuận Paris năm 2015 và cam kết đạt mức phát thải ròng bằng "0" vào năm 2050 tại Hội nghị Liên Hợp Quốc về Biến đổi Khí hậu lần thứ 26 (COP26). Những cam kết này đặt ra yêu cầu cấp thiết về việc chuyển đổi năng lượng, trong đó NLG được xác định là một trong những nguồn năng lượng tái tạo chủ chốt. Theo Quy hoạch điện VIII, đến năm 2030, tổng công suất điện gió trên bờ dự kiến đạt khoảng 21.880

MW, chiếm 14,5% tổng công suất các nhà máy điện, trong khi điện gió ngoài khơi hướng tới mục tiêu 6.000 MW vào năm 2030 và 70.000 - 91.500 MW vào năm 2050. Điều này cho thấy tiềm năng to lớn của NLG trong việc đáp ứng nhu cầu năng lượng quốc gia và góp phần thực hiện các mục tiêu phát triển bền vững.

Xuất phát từ thực tế đó, nghiên cứu này tập trung đánh giá tiềm năng tài nguyên NLG ở độ cao 100 m trên toàn lãnh thổ Việt Nam, dựa trên số liệu quan trắc gió trong giai đoạn 1961-2023. Đây là cập nhật quan trọng so với các báo cáo trước đây của Bộ TNMT (2022), nhằm cung cấp dữ liệu chính xác và toàn diện hơn. Nghiên cứu được thực hiện chi tiết tại 150 trạm quan trắc khí tượng trên cả nước, kết hợp với phân tích đặc điểm khí hậu và địa hình từng khu vực. Bên cạnh đó, các khuyến cáo về mức tài nguyên NLG cho các vùng khí hậu khác nhau cũng được đưa ra, nhằm hỗ trợ các nhà hoạch định chính sách và nhà đầu tư trong việc lựa chọn địa điểm và quy mô phát triển NLG một cách hiệu quả.



Hình 1. Bản đồ vị trí 150 trạm quan trắc (chấm tròn màu đỏ) được thu thập số liệu phục vụ nghiên cứu

Bài báo là sản phẩm khoa học thuộc đề tài KHCN cấp Bộ TNMT với mã số TNMT.2023.05.01: "Nghiên cứu, tổng hợp và đánh giá tiềm năng các dạng tài nguyên năng lượng mặt trời, gió, sóng, thủy triều, địa nhiệt, sinh khối, lựa chọn các dạng tài nguyên năng lượng phù hợp có thể phát triển ở Việt Nam". Nghiên cứu không chỉ góp phần làm sáng tỏ tiềm năng NLG ở Việt Nam mà còn cung cấp cơ sở khoa học và thực tiễn cho việc hoạch định chiến lược phát triển năng lượng tái tạo trong tương lai.

2. Số liệu và phương pháp nghiên cứu

2.1. Số liệu sử dụng

Số liệu tốc độ gió:

- Số liệu quan trắc tại các trạm khí tượng: Trong nghiên cứu này, số liệu tốc độ gió trung bình tháng (m/s) cập nhật đến năm 2023 (từ khi có quan trắc đến năm 2023) được thu thập tại

150 trạm quan trắc khí tượng trên lãnh thổ Việt Nam (Hình 1). Số liệu gió được thu thập là tốc độ gió trung bình 2 phút được đo ở mực 10 m.

- Số liệu tái phân tích: Số liệu gió tái phân tích ERA5 thời kỳ 2010-2020 được thu thập từ trang web <http://www.ecmwf.int/research/era>. Số liệu tái phân tích được thu thập nhằm mục đích bổ khuyết số liệu khuyết thiếu trên biển để xây dựng bản đồ phân bố theo không gian.

Số liệu độ gồ ghề (Zo) được tính toán từ bộ số liệu loại bề mặt được xác định bởi Phan Cao Dương và cộng sự (2021) [16]. Đây là bộ số liệu bề mặt trên lãnh thổ Việt Nam thời kỳ 1990-2020 được xây dựng dựa trên số liệu của dự án ALOS/ALOS-2 do Cơ quan Thăm dò Không gian Vũ trụ Nhật Bản thực hiện (JAXA). Trong đó, giá trị Zo tương ứng với từng loại bề mặt được kế thừa từ [13], [14], cụ thể kết quả được trình bày trong Bảng 1.

Bảng 1. Thông số độ nhám chi tiết ứng với từng loại lớp phủ sử dụng [13], [14]

Số thứ tự trong cơ sở phân loại bề mặt	Số thứ tự mô tả chi tiết hơn trong cơ sở phân loại bề mặt	Độ nhám tương ứng (m)
1,2: Đất ở	1: Đất ở với mật độ cao	0,8
	2: Đất ở với mật độ thấp	0,8
3: Đồng lúa	3: Đồng lúa	0,15
4,5,6: Đất trồng trọt	4: Đất trồng cây thân gỗ	0,2
	5: Đất trồng các loại cây khác	0,15
	6: Đất trồng cây trong nhà	0,15
7: Đồng cỏ	7: Đồng cỏ	0,12
8: Đất cần cỗi	8: Đất cần cỗi	0,01
9: Cây bụi	9: Cây bụi	0,05
10,11,12,14,20: Rừng	10: Rừng lá rộng, rụng lá theo mùa	0,5
	11: Rừng lá rộng thường xanh	0,5
	12: Rừng lá kim	0,5
	13: Rừng cây trồng	0,5
	20: Rừng tre	0,5
15: Đất ngập nước	15: Rừng ngập mặn	0,4
	16: Đất ngập nước nội địa	0,4
18: Vùng nước	18: Vùng nước	0,0001
19: Khu vực nuôi thủy sản	19: Khu vực nuôi thủy sản	0,0001

2.2. Phương pháp nghiên cứu

Tốc độ gió ở mực 100 m được nội suy từ gió quan trắc ở mực 10 m dựa theo công thức sau:

$$\frac{V}{V_1} = \frac{\ln(z/z_0)}{\ln(z_1/z_0)} \quad (1)$$

Hoặc

$$V_z = V_1 \frac{\ln(z/z_0)}{\ln(z_1/z_0)} \quad (2)$$

Trong đó, V_z là tốc độ gió ở độ cao cần tính là 100 m, V_1 là tốc độ gió quan trắc ở mực 10 m, Z_0 là độ gồ ghề của mặt đệm, mức Z_1 là độ cao của máy đo gió mặt đất ($Z_1 = 10$ m).

Mật độ năng lượng gió trung bình E (W/m^2) tại một nơi trong thời gian T nào đó (năm, mùa, tháng ...) được tính theo công thức:

$$E = \frac{1}{2} \rho \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N v_i^3 \quad (3)$$

Trong đó, ρ là mật độ không khí được giả định là hằng số $1,225$ kg/m^3 , v_i là tốc độ gió tức thời (m/s), N là dung lượng mẫu.

Như vậy, năng lượng gió là đại lượng dẫn xuất từ tốc độ gió và phụ thuộc vào tốc độ gió nên những nghiên cứu về tốc độ gió là cơ sở để đánh giá tiềm năng của gió trên lãnh thổ.

3. Kết quả nghiên cứu

3.1. Đặc trưng tốc độ gió và tiềm năng năng lượng gió mực 100 m trên đất liền

(1) Diễn biến theo thời gian, không gian:

Hình 2 trình bày kết quả tính tốc độ gió (m/s) và mật độ NLG (Wh/m^2) trung bình tháng cho các vùng khí hậu (trung bình từ các trạm). Mối quan hệ giữa tốc độ gió và NLG mực 100 m tại các khu vực được nghiên cứu có sự tương quan mạnh mẽ, với hệ số tương quan trung bình từ 0,7 đến 0,9. Điều này cho thấy sự phụ thuộc rõ rệt giữa tốc độ gió và năng lượng gió, giúp tối ưu hóa việc khai thác năng lượng gió trong các khu vực có tốc độ gió cao. Việc nắm bắt được sự biến động này là rất quan trọng trong việc phát triển các dự án năng lượng gió và ứng dụng nguồn năng lượng tái tạo tại các khu vực có tiềm năng.

Tây Bắc: Hệ số tương quan giữa Tốc độ gió (m/s) và Năng lượng gió (NLG) (Wh/m^2) được tính toán là 0,9, cho thấy mối quan hệ tương quan thuận mạnh mẽ. Điều này có nghĩa là khi tốc độ gió tăng, năng lượng gió cũng tăng theo tỷ lệ thuận, và ngược lại. Tốc độ gió cao nhất được ghi nhận vào các tháng như tháng 2 và

tháng 3, với giá trị dao động khoảng 2,8 m/s, trong khi năng lượng gió thu được cũng đạt giá trị cao, khoảng 23,15 Wh/m^2 trong tháng 2. Ngược lại, các tháng có tốc độ gió thấp hơn, như tháng 8 và tháng 9, giá trị năng lượng gió thu được cũng thấp hơn đáng kể, dao động từ 6,36 Wh/m^2 đến 7,11 Wh/m^2 . Điều này chứng tỏ rằng tốc độ gió càng lớn thì năng lượng gió càng cao, tạo ra một nguồn năng lượng có thể khai thác hiệu quả hơn.

Đông Bắc: Hệ số tương quan giữa tốc độ gió và NLG ở khu vực Đông Bắc là 0,9. Tốc độ gió dao động từ 1,64 m/s đến 2,14 m/s trong suốt năm, với các tháng có tốc độ gió cao như tháng 2 và tháng 3, ghi nhận giá trị từ 2,1 m/s đến 2,14 m/s. Điều này dẫn đến mức NLG cao nhất trong các tháng này, đạt khoảng 8,93 Wh/m^2 và 7,31 Wh/m^2 . NLG đạt giá trị thấp nhất trong các tháng có tốc độ gió thấp hơn, như tháng 7 (khoảng 4,14 Wh/m^2), tháng 8 (khoảng 4,93 Wh/m^2), và tháng 9 (khoảng 6,2 Wh/m^2). Điều này cho thấy sự biến động của năng lượng gió phản ánh trực tiếp sự thay đổi trong tốc độ gió.

Đông bằng Bắc Bộ: Kết quả tính toán cho thấy, hệ số tương quan giữa tốc độ gió và NLG mực 100 m ở khu vực này đạt 0,7, thấp hơn các khu vực lân cận nhưng vẫn ở mức cao và thể hiện quan hệ rõ ràng. Tốc độ gió trung bình khu vực này dao động từ 2,58 m/s đến 3,21 m/s, với các tháng có tốc độ gió cao nhất vào các tháng đầu và giữa năm, như tháng 1 và tháng 6. Tốc độ gió cao trong những tháng này cũng đi kèm với mức NLG mực 100 m khá cao, dao động từ 45,45 Wh/m^2 đến 43,77 Wh/m^2 . NLG mực 100 m dao động từ khoảng 23,49 Wh/m^2 trong tháng 8, với tốc độ gió thấp, lên đến 48,21 Wh/m^2 vào tháng 6, khi tốc độ gió đạt cao nhất. Tuy nhiên, sự biến động của năng lượng gió không hoàn toàn tỷ lệ thuận với tốc độ gió như trong khu vực Tây Bắc và Đông Bắc. Điều này có thể do các yếu tố khác như địa hình, độ ẩm, hoặc các yếu tố khí hậu khác có thể ảnh hưởng đến hiệu suất thu năng lượng gió.

Bắc Trung Bộ: Kết quả tính toán cho thấy, hệ số tương quan giữa tốc độ gió và NLG mực 100 m trung bình khu vực này là 0,8, cho thấy mối quan hệ đồng biến rõ ràng. Tốc độ gió trong khu vực này dao động từ 2,05 m/s đến 2,8 m/s, với

các tháng có tốc độ gió cao nhất vào các tháng như tháng 6 và tháng 7 (2,8 m/s và 2,73 m/s). Các tháng có tốc độ gió cao này tương ứng với các giá trị NLG cũng cao, dao động từ 18,99 Wh/m² đến 21,08 Wh/m². NLG mực 100 m có xu hướng thay đổi tương đối mạnh mẽ khi tốc độ gió thay đổi. Các tháng có tốc độ gió thấp, như tháng 9 và tháng 10, ghi nhận giá trị năng lượng gió thấp, dao động từ 8,17 Wh/m² đến 10,32 Wh/m². Điều này cho thấy sự phụ thuộc rõ ràng của năng lượng gió vào tốc độ gió trong khu vực Bắc Trung Bộ.

Nam Trung Bộ: Hệ số tương quan giữa tốc độ

gió và NLG mực 100 m ở khu vực đạt 0,9. Tốc độ gió mực 100 m trung bình khu vực Nam Trung Bộ dao động từ 2,88 m/s đến 4,32 m/s, với các tháng có tốc độ gió cao nhất vào các tháng 12, 1 và 11, ghi nhận giá trị từ 3,96 m/s đến 4,32 m/s. Trong những tháng này, NLG mực 100 m cũng ghi nhận giá trị cao, dao động từ 75,41 Wh/m² đến 131,11 Wh/m². Đây là sự tương quan rõ ràng giữa tốc độ gió và năng lượng thu được. NLG mực 100 m đạt giá trị thấp nhất vào các tháng có tốc độ gió thấp, như tháng 5 và tháng 9, với mức năng lượng thu được dao động từ 21,79 Wh/m² đến 26,26 Wh/m².



Hình 2. Biến trình năm của tốc độ gió trung bình tháng (m/s) và mật độ NLG (Wh/m²) trung bình của các vùng khí hậu

Tây Nguyên: Hệ số tương quan giữa tốc độ gió mực 100 m với NLG mực 100 m ở khu vực Tây Nguyên đạt 0,9. Tốc độ gió mực 100 m trung bình khu vực Tây Nguyên dao động từ 2,15 m/s đến 3,79 m/s, với các tháng có tốc độ gió cao nhất vào các tháng như tháng 11 và tháng 12, ghi nhận giá trị từ 3,3 m/s đến 3,79 m/s. Các tháng này cũng chứng kiến mức NLG mực 100 m cao nhất, đạt tới 30,2 Wh/m² trong tháng 11 và 45,91 Wh/m² trong tháng 12. NLG mực 100 m có sự thay đổi rõ rệt khi tốc độ gió thay đổi. Các tháng có tốc độ gió thấp, như tháng 4 và tháng 5, ghi nhận giá trị năng lượng gió thấp hơn nhiều, dao động từ 8,25 Wh/m² đến 8,56 Wh/m². Điều này cho thấy một sự tương quan rõ rệt và trực tiếp giữa tốc độ gió và năng lượng thu được tại khu vực Tây Nguyên.

Nam Bộ: Hệ số tương quan giữa tốc độ gió mực 100 m với NLG mực 100 m ở khu vực Nam Bộ đạt 0,9. Tốc độ gió trung bình khu vực Nam Bộ dao động từ 1,96 m/s đến 3,08 m/s, với các tháng có tốc độ gió cao nhất vào các tháng 8 và 9, ghi nhận giá trị từ 2,81 m/s đến 3,08 m/s. Các tháng này cũng chứng kiến mức NLG mực 100 m cao nhất, đạt tới 32,19 Wh/m² và 25,03 Wh/m². NLG mực 100 m có sự thay đổi rõ rệt khi tốc độ gió thay đổi. Các tháng có tốc độ gió thấp, như tháng 10 và tháng 11, ghi nhận giá trị năng lượng gió thấp hơn nhiều, dao động từ 5,81 Wh/m² đến 9,76 Wh/m². Điều này cho thấy mối quan hệ trực tiếp giữa tốc độ gió và năng lượng thu được tại khu vực Nam Bộ.

(2) Đánh giá tiềm năng khai thác tài nguyên NLG mực 100 m:

Kết quả tính toán và phân tích tiềm năng NLG mực 100 m được trình bày trong Hình 3, Bảng 2 và Bảng 3 cho thấy, tiềm năng NLG cao phân bố chủ yếu ở vùng núi cao phía Bắc, khu vực Nghệ An - Hà Tĩnh, khu vực phía Đông Tây Nguyên, Nam Trung Bộ và ven biển Nam Bộ. Khu vực có tiềm năng NLG thấp nhất là phía Tây khu vực Tây Bắc, tỉnh Lào Cai. Kết quả tính trong Bảng 2 và Bảng 3 tại 7 vùng khí hậu cho thấy sự biến động rõ rệt về tốc độ gió giữa các khu vực. Tốc độ gió trung bình năm tại các vùng khí hậu dao động từ 2,1 m/s (Đông Bắc) đến 3,2 m/s (Đồng bằng Bắc Bộ), với sự khác biệt rõ ràng giữa các trạm quan trắc. Các khu vực như Tây Bắc và Đông Bắc có

tốc độ gió trung bình năm thấp (2,3 m/s và 2,1 m/s), trong khi Đồng bằng Bắc Bộ và Nam Trung Bộ ghi nhận tốc độ gió trung bình cao hơn, đạt 3,2 m/s và 3,1 m/s, cho thấy tiềm năng khai thác NLG tại các khu vực này tốt hơn.

Kết quả tính toán trong Bảng 3 về tiềm năng NLG mực 100 m cho thấy sự phân bố NLG giữa các khu vực khí hậu tại Việt Nam rất khác biệt. Các khu vực như Nam Trung Bộ và Tây Nguyên ghi nhận mật độ NLG trung bình rất cao, với Nam Trung Bộ đạt tới 143 W/m² và Tây Nguyên đạt 122 W/m², đánh giá tiềm năng NLG rất tốt. Các trạm như Phan Thiết và Tuy Hòa ở Nam Trung Bộ, cùng với Đà Lạt và An Khê ở Tây Nguyên, ghi nhận NLG cao, như vậy hai khu vực này có tiềm năng lớn trong phát triển NLG. Khu vực Đồng bằng Bắc Bộ cũng có tiềm năng khá với mật độ NLG dao động từ 15 W/m² đến 100 W/m². Các trạm như Văn Lý và Phủ Liễn ghi nhận mức NLG cao, do đó khu vực này có khả năng khai thác NLG tốt. Mặc dù Tây Bắc và Đông Bắc có mật độ NLG thấp hơn (dao động từ 2 W/m² đến 70 W/m²), nhưng các trạm như Pha Đin, Bắc Yên và Cửa Ông, Bãi Cháy vẫn ghi nhận NLG khá cao, cho thấy khu vực này vẫn có tiềm năng khai thác NLG, mặc dù ở mức độ trung bình. Khu vực Bắc Trung Bộ có mật độ NLG dao động từ 10 W/m² đến 75 W/m², với các trạm như Khe Sanh và Đồng Hới ghi nhận NLG cao, cho thấy tiềm năng khai thác NLG ở khu vực này là tốt. Tuy nhiên, so với các khu vực khác, mật độ NLG tại khu vực Nam Bộ dao động từ 4 W/m² đến 156 W/m², được đánh giá là trung bình - tốt, với các trạm như Vũng Tàu và Bạc Liêu ghi nhận mức NLG cao, nhưng mức tiềm năng không bằng các khu vực như Nam Trung Bộ.

Nhìn chung, mỗi khu vực khí hậu ở Việt Nam có một mức tiềm năng NLG khác nhau. Nam Trung Bộ và Tây Nguyên nổi bật với tiềm năng NLG rất tốt, đặc biệt với mật độ NLG cao tại các trạm như Phan Thiết, Tuy Hòa và Đà Lạt. Các khu vực như Đồng bằng Bắc Bộ và Bắc Trung Bộ có tiềm năng NLG khá tốt, với các trạm ghi nhận mật độ NLG cao. Mặc dù các khu vực Tây Bắc và Đông Bắc có mật độ NLG thấp hơn, tiềm năng NLG của những khu vực này vẫn đáng chú ý, đặc biệt là tại các trạm có tốc độ gió cao. Những kết

quả này cho thấy tiềm năng phát triển NLG tại Việt Nam là rất lớn, đặc biệt ở những khu vực có mật độ NLG cao như Nam Trung Bộ và Tây Nguyên. Khi so sánh với các kết quả công bố gần đây trong [13], [14], kết quả tính toán tiềm năng NLG trong nghiên cứu của chúng tôi về cơ bản có sự phân bố theo không gian là tương đồng và chênh lệch về giá trị là không lớn. Mặc dù vậy, các kết quả trong nghiên cứu này cũng cho thấy sự khác biệt về giá trị ở các vùng núi cao có xu thế cao hơn.

Các khu vực có năng lượng gió trung bình cao: Miền Trung (từ Quảng Bình đến Ninh Thuận): Đây là khu vực có mật độ năng lượng gió trung bình năm cao, đặc biệt là ở các tỉnh ven biển như Bình Thuận, Ninh Thuận và Bà Rịa - Vũng Tàu. Những khu vực này có mật độ năng lượng gió dao động trong khoảng từ 300 W/m² đến 600 W/m², với những khu vực như Bình Thuận và Ninh Thuận có mật độ năng lượng gió rất cao, đạt tới 600 W/m² và có thể lên đến 750 W/m² tại một số khu vực ngoài khơi. Điều này cho thấy tiềm năng phát triển năng lượng gió trên đất liền ở các khu vực này là rất lớn, đặc biệt là các vùng có địa hình cao, thảo nguyên hoặc bờ

biển. Các khu vực Tây Nguyên như Đà Lạt, An Khê cũng ghi nhận mức năng lượng gió tương đối cao, với mật độ dao động trong khoảng từ 200 W/m² đến 400 W/m². Tuy không cao bằng các khu vực ven biển miền Trung, nhưng khu vực này vẫn có tiềm năng phát triển năng lượng gió tốt, đặc biệt tại các khu vực đồi núi và cao nguyên.

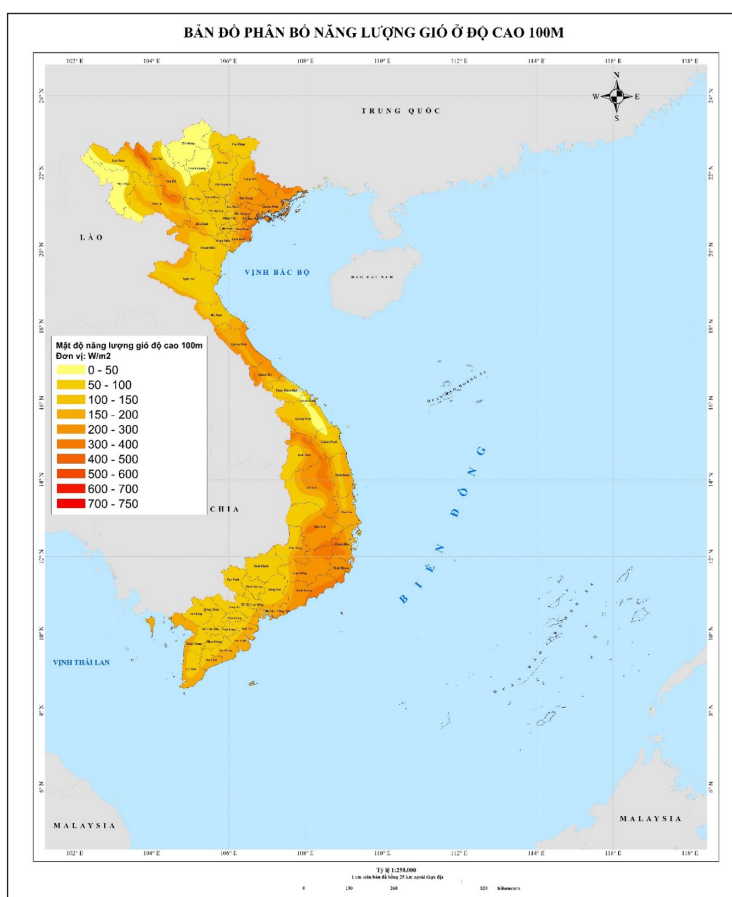
Các khu vực có năng lượng gió trung bình thấp: Miền Bắc (đặc biệt là Đồng bằng Bắc Bộ), tại các điểm như Hòa Bình, Lục Ngạn, và các khu vực Đồng bằng Bắc Bộ ghi nhận mật độ năng lượng gió thấp, dao động từ 50 W/m² đến 150 W/m². Mặc dù đây là những khu vực có mật độ năng lượng gió thấp, nhưng vẫn có thể khai thác một số dự án năng lượng gió quy mô nhỏ hoặc sử dụng năng lượng gió trong các khu vực đặc biệt có điều kiện khí hậu thuận lợi. Miền Tây Nam Bộ và Đồng bằng sông Cửu Long, tại các tỉnh như Đồng Tháp, Tây Ninh và Long An có mật độ năng lượng gió trung bình thấp, với giá trị dưới 150 W/m². Đây là những khu vực ít thích hợp cho các dự án năng lượng gió lớn, do có điều kiện gió không mạnh và ít ổn định.

Bảng 2. Các đặc trưng thống kê về kết quả tính toán tốc độ gió (m/s) mực 100 m ở 7 vùng khí hậu

Vùng	Tốc độ gió trung bình năm (m/s)	Tốc độ gió trung bình năm thấp nhất (m/s)	Tốc độ gió trung bình năm cao nhất (m/s)	Các trạm có gió thấp nhất	Các trạm có gió cao nhất
Tây Bắc	2,3	0,9 (Mường Tè)	5,4 (Bắc Yên)	Mường Tè, Tuần Giáo, Điện Biên	Pha Đin, Bắc Yên, Mộc Châu
Đông Bắc	2,1	0,7 (Bảo Lạc, Thất Khê)	4,9 (Cửa Ông)	Thất Khê, Hàm Yên, Chiêm Hóa	Cửa Ông, Bãi Cháy, Lạng Sơn
Đồng bằng Bắc Bộ	3,2	1,1 (Hòa Bình)	5,0 (Văn Lý)	Hòa Bình, Lục Ngạn	Văn Lý, Tam Đảo, Phú Liên
Bắc Trung Bộ	2,6	0,6 (Quỳ Hợp)	5,0 (Khe Sanh)	Quỳ Hợp, Quỳ Châu	Khe Sanh, Đồng Hới, Ba Đồn
Nam Trung Bộ	3,1	1,0 (Trà My)	5,6 (Phan Thiết)	Trà My, Quảng Ngãi	Phan Thiết, Tuy Hòa, Nha Trang
Tây Nguyên	2,9	1,1 (Đắc Tô)	5,8 (Đà Lạt)	Đắc Tô, Bảo Lộc	Đà Lạt, An Khê, Liên Khương
Nam Bộ	2,7	1,0 (Đồng Phú)	4,8 (Vũng Tàu)	Đồng Phú, Tây Ninh	Vũng Tàu, Rạch Giá, Bạc Liêu

Bảng 3. Kết quả tính toán tiềm năng năng lượng gió (Wh/m^2) mực 100 m ở 7 vùng khí hậu

Vùng khí hậu	Mật độ năng lượng gió trung bình (W/m^2)	Mức đánh giá tiềm năng	Các trạm có năng lượng gió cao nhất	Các trạm có năng lượng gió thấp nhất
Tây Bắc	2-70	Trung bình	Pha Đin, Bắc Yên, Tam Đường	Mường Tè, Tuần Giáo
Đông Bắc	1.5-70	Trung bình	Cửa Ông, Bãi Cháy	Bảo Lạc, Thất Khê
Đồng bằng Bắc Bộ	15-100	Khá	Văn Lý, Phủ Liễn	Hòa Bình, Lục Ngạn
Bắc Trung Bộ	10-75	Tốt	Khe Sanh, Đồng Hới	Quỳ Châu, Quỳ Hợp
Nam Trung Bộ	5-143	Rất tốt	Phan Thiết, Tuy Hòa	Trà My, Ba Tô
Tây Nguyên	5-122	Tốt	An Khê, Đà Lạt	Bảo Lộc, Đắc Tô
Nam Bộ	4-156	Trung bình - Tốt	Vũng Tàu, Bạc Liêu	Đồng Phú, Tây Ninh



Hình 3. Bản đồ phân bố tiềm năng NLG mực 100 m trên đất liền Việt Nam được xây dựng dựa trên số liệu quan trắc cập nhật đến năm 2023

3.2. Tiềm năng tài nguyên năng lượng gió mực 100 m tại các trạm ven biển và ngoài khơi

Kết quả nghiên cứu về tốc độ gió và tiềm năng năng lượng gió tại các trạm đảo ven biển và ngoài khơi Việt Nam ở độ cao 100 m được

trình bày chi tiết trong Bảng 4 và Bảng 5. Các số liệu này không chỉ phản ánh sự đa dạng về tiềm năng năng lượng gió giữa các khu vực khác nhau mà còn cung cấp cơ sở khoa học quan trọng để đánh giá và khai thác hiệu quả nguồn tài nguyên

này. Dưới đây là phân tích chi tiết về các đặc điểm và tiềm năng năng lượng gió tại từng khu vực.

(1) Phân tích tốc độ gió và biến động theo mùa

Tốc độ gió trung bình tại các trạm đảo dao động từ 3,7 m/s đến 8,8 m/s, thể hiện sự khác biệt rõ rệt giữa các khu vực. Bạch Long Vĩ nổi bật với tốc độ gió trung bình cao nhất (8,8 m/s), cùng với sự chênh lệch đáng kể giữa tốc độ gió thấp nhất (7,5 m/s) và cao nhất (10,3 m/s). Điều này cho thấy khu vực này có tiềm năng lớn để phát triển năng lượng gió, đặc biệt là vào các tháng có gió mạnh như tháng 1, 11 và 12. Ngược lại, các tháng 4, 5 và 8 có tốc độ gió thấp hơn, cần được lưu ý khi lập kế hoạch khai thác.

Tại Hòn Dấu, tốc độ gió trung bình thấp hơn (5,8 m/s), với sự biến động từ 4,9 m/s đến 7,0 m/s. Khu vực này có gió mạnh vào tháng 6 và 7, trong khi các tháng 9, 10 và 11 lại có gió yếu hơn. Điều này cho thấy sự biến động theo mùa rõ rệt, cần được tính toán kỹ lưỡng để đảm bảo hiệu quả khai thác.

Cồn Cỏ và Lý Sơn cũng thể hiện sự biến động đáng kể về tốc độ gió. Tại Cồn Cỏ, tốc độ gió trung bình là 5,1 m/s, với gió yếu vào tháng 4 và 5, và gió mạnh vào tháng 11 và 12. Trong khi đó, Lý Sơn có tốc độ gió trung bình cao hơn (6,1 m/s), nhưng sự chênh lệch giữa gió thấp nhất (3,8 m/s) và cao nhất (9,2 m/s) khá lớn, đặc biệt là vào tháng 11 và 12. Điều này cho thấy khu vực này có tiềm năng lớn, nhưng cần được nghiên cứu kỹ để tối ưu hóa hiệu suất khai thác.

Phú Quý và Trường Sa là hai khu vực có tốc độ gió trung bình cao (7,1 m/s và 7,6 m/s), với tốc độ gió tối đa lên đến 11,0 m/s. Đặc biệt, Trường Sa có tiềm năng rất lớn với gió mạnh vào tháng 1 và 12, trong khi Phú Quý có gió mạnh vào tháng 7 và 8. Tuy nhiên, cả hai khu vực này đều có gió yếu vào tháng 5 và 6, cần được cân nhắc khi thiết kế hệ thống khai thác.

Côn Đảo và Phú Quốc có tốc độ gió trung bình thấp hơn so với các khu vực khác, lần lượt là 3,7 m/s và 4,0 m/s. Tại Côn Đảo, tốc độ gió dao động từ 2,0 m/s đến 5,0 m/s, trong khi tại Phú Quốc, tốc độ gió dao động từ 2,8 m/s đến 6,6 m/s. Cả hai khu vực này đều có gió yếu vào tháng 5 và 6, và gió mạnh vào tháng 1 và 12.

Điều này cho thấy tiềm năng năng lượng gió tại đây không cao bằng các khu vực khác, nhưng vẫn có thể khai thác hiệu quả nếu kết hợp với các nguồn năng lượng tái tạo khác.

(2) Đánh giá tiềm năng năng lượng gió

Mật độ năng lượng gió trung bình tại các trạm đảo dao động từ 7 W/m² đến 823 W/m², phản ánh sự khác biệt rõ rệt về tiềm năng giữa các khu vực. Bạch Long Vĩ và Trường Sa là hai khu vực có tiềm năng năng lượng gió rất cao, với mật độ năng lượng gió trung bình lần lượt là 300-650 W/m² và 86-823 W/m². Đặc biệt, Trường Sa có mật độ năng lượng gió tối đa lên đến 823 W/m², cho thấy tiềm năng khai thác rất lớn.

Lý Sơn và Phú Quý cũng được đánh giá là có tiềm năng rất cao, với mật độ năng lượng gió trung bình lần lượt là 34-475 W/m² và 91-810 W/m². Tại Phú Quý, mật độ năng lượng gió tối đa lên đến 810 W/m², thể hiện tiềm năng lớn để phát triển các dự án điện gió quy mô lớn.

Hòn Dấu và Cồn Cỏ có tiềm năng cao, với mật độ năng lượng gió trung bình lần lượt là 80-200 W/m² và 165-180 W/m². Mặc dù không cao bằng các khu vực khác, nhưng đây vẫn là những khu vực có tiềm năng đáng kể để phát triển năng lượng gió.

Côn Đảo có mật độ năng lượng gió trung bình từ 13 đến 180 W/m², được đánh giá là có tiềm năng cao, trong khi Phú Quốc có mật độ năng lượng gió trung bình thấp nhất (7-77 W/m²), được đánh giá là có tiềm năng trung bình. Tuy nhiên, với sự phát triển của công nghệ, các khu vực này vẫn có thể được khai thác hiệu quả, đặc biệt là khi kết hợp với các nguồn năng lượng tái tạo khác như năng lượng mặt trời.

Nhìn chung, kết quả phân tích tại các trạm đảo cho thấy, Việt Nam có tiềm năng năng lượng gió rất lớn, đặc biệt là tại các khu vực ven biển và ngoài khơi như Bạch Long Vĩ, Trường Sa, Lý Sơn và Phú Quý. Các khu vực này không chỉ có tốc độ gió trung bình cao mà còn có mật độ năng lượng gió ổn định, phù hợp để phát triển các dự án điện gió quy mô lớn. Tuy nhiên, sự biến động theo mùa của tốc độ gió cần được tính toán kỹ lưỡng để đảm bảo hiệu quả khai thác. Đối với các khu vực có tiềm năng thấp hơn như Côn Đảo và Phú Quốc, việc kết hợp năng lượng gió với các nguồn năng lượng tái tạo khác

có thể là giải pháp tối ưu. Ngoài ra, cần tiếp tục nghiên cứu sâu hơn về các yếu tố ảnh hưởng đến tiềm năng năng lượng gió, như địa hình, khí

hậu và công nghệ khai thác, để tối ưu hóa hiệu suất và đóng góp vào mục tiêu phát triển bền vững của Việt Nam.

Bảng 4. Các đặc trưng thống kê về kết quả tính toán tốc độ gió (m/s) mực 100 m tại các trạm đảo

Trạm đảo	Trung bình vùng (m/s)	Thấp nhất (m/s)	Cao nhất (m/s)	Các tháng có gió thấp	Các tháng có gió cao
Bạch Long Vĩ	8,8	7,5	10,3	T4, T5, T8	T1, T11, T12
Hòn Dấu	5,8	4,9	7,0	T9, T10, T11	T6, T7
Cồn Cỏ	5,1	3,9	6,7	T4, T5	T11, T12
Lý Sơn	6,1	3,8	9,2	T7, T8	T11, T12
Phú Quý	7,1	4,0	11,0	T5, T6	T7, T8
Trường Sa	7,6	4,8	11,0	T5, T6	T1, T12
Côn Đảo	3,7	2,0	5,0	T5, T6	T1, T12
Phú Quốc	4,0	2,8	6,6	T5, T6	T1, T12

Bảng 5. Kết quả tính toán tiềm năng năng lượng gió (Wh/m²) mực 100 m tại các trạm đảo

Trạm đảo	Mật độ năng lượng gió trung bình (W/m ²)	Mức đánh giá tiềm năng
Bạch Long Vĩ	300 - 650	Rất cao
Hòn Dấu	80 - 200	Cao
Cồn Cỏ	165 - 180	Cao
Lý Sơn	34 - 475	Rất cao
Phú Quý	91 - 810	Rất cao
Trường Sa	86 - 823	Rất cao
Côn Đảo	13 - 180	Cao
Phú Quốc	7 - 77	Trung bình

4. Kết luận và khuyến nghị

4.1. Kết luận

Đối với tiềm năng NLG mực 100 m tại các trạm ven biển và ngoài khơi: Việt Nam có tiềm năng rất lớn trong việc phát triển NLG ngoài khơi, đặc biệt tại các khu vực miền Trung và miền Nam như Bạch Long Vĩ, Phú Quý, Trường Sa, và Lý Sơn, với mật độ NLG rất cao. Các khu vực này có tốc độ gió mạnh mẽ và ổn định, là những địa điểm lý tưởng để triển khai các dự án điện gió quy mô lớn ngoài khơi. Mặc dù một số khu vực khác như Côn Đảo và Phú Quốc có tiềm năng NLG thấp hơn, nhưng vẫn có thể phát triển NLG quy mô nhỏ hoặc thí điểm. Những kết quả này cho thấy NLG tại Việt Nam có tiềm năng lớn và có thể đóng góp vào mục tiêu phát triển năng lượng tái tạo bền vững của quốc gia.

Đối với tiềm năng NLG mực 100 m trên đất liền:

- Các khu vực miền Trung, miền Nam và Tây Nguyên có tiềm năng NLG khá cao, đặc biệt là ở các tỉnh ven biển và cao nguyên, với mật độ NLG từ 200 W/m² đến 750 W/m². Những khu vực này, bao gồm các tỉnh như Bình Thuận, Ninh Thuận, và Bà Rịa - Vũng Tàu, cho thấy tiềm năng rất lớn trong việc phát triển các dự án NLG trên đất liền quy mô lớn. Mức độ ổn định của gió tại các khu vực này cũng cao, đặc biệt vào mùa gió mạnh, tạo ra cơ hội khai thác NLG bền vững.

- Ở các khu vực miền Bắc và Đồng bằng Bắc Bộ, mặc dù tốc độ gió trung bình có giá trị từ 1,1 m/s đến 3,2 m/s, nhưng mật độ NLG thấp hơn nhiều, dao động từ 50 W/m² đến 150 W/m². Điều này làm cho khả năng khai thác NLG tại

các khu vực này không đạt được mức cao như ở miền Trung và Nam. Các khu vực này có thể khai thác NLG quy mô nhỏ, phục vụ cho các ứng dụng nội bộ hoặc các dự án địa phương.

- Các khu vực Tây Bắc và Đông Bắc, với tốc độ gió trung bình từ 2,1 m/s đến 2,3 m/s, có mật độ NLG thấp hơn, nhưng vẫn có tiềm năng khai thác NLG, đặc biệt tại các trạm có tốc độ gió cao như Pha Đin và Bắc Yên. Mặc dù mức NLG không lớn, nhưng vẫn có thể phát triển các dự án NLG quy mô vừa, phục vụ cho các mục đích sử dụng nhỏ hoặc thí điểm.

Nhìn chung, NLG trên đất liền tại Việt Nam có tiềm năng khai thác lớn, đặc biệt ở miền Trung, miền Nam, và Tây Nguyên. Các khu vực này có thể trở thành những trung tâm phát triển NLG quy mô lớn trong tương lai, đóng góp vào

việc đạt được mục tiêu phát triển năng lượng tái tạo của quốc gia. Tuy nhiên, đối với các khu vực miền Bắc và Đồng bằng Bắc Bộ, cần có chiến lược khai thác hợp lý để tối ưu hóa việc sử dụng NLG quy mô nhỏ, đảm bảo hiệu quả và tính bền vững trong dài hạn.

4.2. Khuyến nghị

Bản đồ phân bố tiềm năng NLG mức 100 m trên lãnh thổ Việt Nam được xây dựng dựa trên số liệu quan trắc cập nhật đến năm 2023 kết hợp với số liệu tái phân tích 2010-2020. Do khác nhau về thời kỳ số liệu, nên kết quả này vẫn cần được đầu tư nghiên cứu thêm. Tuy nhiên, ở góc độ gần đúng khi mà tiềm năng NLG trung bình nhiều năm không biến động nhiều, bản đồ này vẫn có ý nghĩa tham khảo.

Đóng góp của từng tác giả trong bài báo: Xây dựng ý tưởng: Trần Quang Năng; Xử lý số liệu: Trần Quang Năng, Trần Thị Thanh Hải; Tổng quan: Trần Thị Thanh Hải; Vẽ biểu đồ: Trần Thị Thanh Hải; Xây dựng bản đồ: Trần Quang Năng; Phân tích, đánh giá: Trần Quang Năng, Trần Thị Thanh Hải; Kết luận: Trần Quang Năng.

Lời cảm ơn: Bài báo là sản phẩm khoa học thuộc đề tài KHCN cấp Bộ TNMT “nghiên cứu, tổng hợp và đánh giá tiềm năng các dạng tài nguyên năng lượng mặt trời, gió, sóng, thủy triều, địa nhiệt, sinh khối, lựa chọn các dạng tài nguyên năng lượng phù hợp có thể phát triển ở Việt Nam” (Mã số: TNMT.2023.05.01).

Lời cam đoan: Tác giả cam đoan bài báo này là công trình nghiên cứu của tác giả, chưa được công bố ở đâu, không được sao chép từ những nghiên cứu trước đây; không có sự tranh chấp lợi ích trong nhóm tác giả.

Tài liệu tham khảo

1. Bùi Thị Tân (1998), *Áp dụng phần mềm WASP để tính toán năng lượng gió cho các điều kiện địa hình phức tạp ở Việt Nam*, Hà Nội.
2. Bùi Thị Tân (2002), *Kiểm chứng mô hình WASP tính năng lượng gió theo số liệu quan trắc gió trên tháp khí tượng Láng*, Hà Nội.
3. Nguyễn Mạnh Hùng và cộng sự (2010), *Nghiên cứu đánh giá tiềm năng các nguồn năng lượng biển chủ yếu và đề xuất các giải pháp khai thác*, Đề tài KC.09.19/06-10, Bộ Khoa học và Công nghệ.
4. Nguyễn Trọng Hiệu và cộng sự (1989), *Xây dựng tập số liệu Atlas khí hậu Việt Nam*, Số liệu Khí tượng thủy văn Việt Nam (1989), Chương trình tiến bộ khoa học kỹ thuật cấp nhà nước 42A.
5. Phan Mỹ Tiên (1994), *Phân bố tiềm năng năng lượng gió trên lãnh thổ Việt Nam*, Luận án PTS. Khoa học Địa lý-Địa chất, Viện Khí tượng thủy văn, Hà Nội.
6. Phan Mỹ Tiên (2001), *Một số đặc điểm trong chế độ gió ở Việt Nam đối với việc khai thác năng lượng gió*, Hà Nội, 2001.
7. Tạ Văn Đa và cộng sự (2006), *Đánh giá tài nguyên và khả năng khai thác năng lượng gió trên lãnh thổ Việt Nam*, Báo cáo tổng kết đề tài KHCN cấp Bộ, Hà Nội, 10-2006.
8. Trần Thục và cộng sự (2012), *Năng lượng gió ở Việt Nam: Tiềm năng và khả năng khai thác*, Nhà xuất bản Khoa học Kỹ thuật.
9. Trần Việt Liên (2007), *"Tiềm năng năng lượng gió ở Việt Nam"*, Hội thảo Quốc gia về khí tượng thủy văn và môi trường.

10. Trần Việt Liễu, Bùi Thị Tân (1998), *Tiềm năng năng lượng gió huyện đảo Lý Sơn*, Hà Nội.
11. World Bank (WB) (2009), *Global Wind Atlas 3 -Validation - Viet Nam*.
12. World Bank (WB) (2021), *Offshore wind technical potential in Viet Nam*, online: <https://esmap.org/offshore-wind>.
13. Bộ Tài nguyên và Môi trường (2022a), *Báo cáo tiềm năng năng lượng gió, sóng ngoài khơi tại các vùng biển Việt Nam* (Báo cáo do Tổng cục Khí tượng thủy văn phối hợp với Viện Khoa học Khí tượng Thủy văn và Biến đổi khí hậu xây dựng).
14. Bộ Tài nguyên và Môi trường (2022b), *Đánh giá tiềm năng năng lượng bức xạ, gió và sóng tại Việt Nam* (Báo cáo do Tổng cục Khí tượng thủy văn phối hợp với Viện Khoa học Khí tượng Thủy văn và Biến đổi khí hậu xây dựng).
15. Nguyen Van Thang et al. (2022), "Assessment of wind energy potential in the Bien Dong seas using ccmp satellite data", *Journal of climate change science*, No 23, 1-13, doi: <https://doi.org/10.55659/2525-2496/23.75017>
16. Phan, D. C. et al. (2021), "First comprehensive quantification of annual land use/cover from 1990 to 2020 across mainland Viet Nam", *Scientific Reports volume 11*, doi:10.1038/s41598-021-89034-5.

ASSESSMENT OF 100 M WIND ENERGY POTENTIAL IN VIET NAM

Tran Quang Nang, Tran Thi Thanh Hai

The Viet Nam Meteorological and Hydrological Administrations

Received: 14/01/2025; Accepted: 28/02/2025

Abstract: *This study focuses on assessing the potential of wind energy resources (WER) at a height of 100 m across Viet Nam, utilizing a combination of observed wind data from 1961 to 2023 and ERA5 reanalysis data. Wind speeds at 100 m were interpolated from 10m height data using the logarithmic method. To analyze the spatial distribution of WER, an annual average wind energy potential map was constructed using an expert-based approach, integrating both observed and reanalysis data. The results reveal significant regional variations in wind energy potential. Specifically, the South Central Coast and Central Highlands regions exhibit the highest average wind speeds (3.1-3.4 m/s), with wind energy density ranging from 5 to 143 Wh/m², classifying them as areas with excellent exploitation potential. The Red River Delta and North Central Coast regions have average wind speeds of 2.6-3.2 m/s, with wind energy density ranging from 10 to 100 Wh/m², making them suitable for medium-scale wind energy development. In contrast, the Northwest and Northeast regions have lower wind speeds (2.1-2.3 m/s) and wind energy density of only 1.5-70 Wh/m², limiting exploitation to specific localized areas. In offshore areas, wind energy potential significantly surpasses that of onshore regions. Island stations such as Bach Long Vi, Phu Quy, and Truong Sa demonstrate high average wind speeds (7.1-8.8 m/s) and substantial wind energy density (300-823 Wh/m²), indicating strong potential for large-scale wind energy development. Other stations, including Ly Son, Con Co, Hon Dau, and Con Dao, exhibit high wind energy density (80-200 Wh/m²), while Phu Quoc shows more limited potential (7-77 Wh/m²).*

Keywords: *Wind energy resources (WER), wind speed, 100 m height, Viet Nam.*