

Bài báo khoa học

Nghiên cứu, đánh giá tiềm năng năng lượng điện thủy triều khu vực quần đảo Trường Sa và nhà giàn DK Việt Nam

Đoàn Quang Trí¹, Phạm Văn Hùng^{2*}, Phạm Trí Thức³

¹ Tạp chí Khí tượng Thủy văn, Tổng cục Khí tượng Thủy văn;
doanquangtrikttv@gmail.com

² Đoàn Đo đạc biên vẽ hải đồ và Nghiên cứu biển - Bộ Tham mưu Hải quân;
phamvanhung2t@gmail.com

³ Học viện Hải quân Nhân dân Việt Nam - Bộ Tư lệnh Hải quân;
pthucacademy@yahoo.com.vn

*Tác giả liên hệ: phamvanhung2t@gmail.com; Tel.: +84-988579358

Ban Biên tập nhận bài: 12/6/2023; Ngày phản biện xong: 18/8/2023; Ngày đăng bài: 25/9/2023

Tóm tắt: Bài báo trình bày kết quả nghiên cứu, đánh giá tiềm năng năng lượng điện thủy triều (NLĐTT) khu vực quần đảo Trường Sa và nhà giàn DK Việt Nam. Với nhu cầu sử dụng điện của quân - dân trên các đảo ngày càng cao và yêu cầu nghiên cứu, đánh giá tiềm năng năng lượng tái tạo (NLTT) trong Chiến lược năng lượng quốc gia, việc nghiên cứu, đánh giá tiềm năng NLĐTT ở khu vực quần đảo Trường Sa và nhà giàn DK Việt Nam là yêu cầu cần thiết hiện nay. Bài báo trình bày phương pháp nghiên cứu, đánh giá tiềm năng NLĐTT của các tua-bin trạm điện thủy triều và năng lượng dòng triều. Kết quả nghiên cứu cho thấy: Tại tầng mặt, tổng tiềm năng NLĐTT ước tính (AEP) từ 3,3-27,0 GWh/năm; tại tầng nước 20 m, AEP từ 2,3-26,4 GWh/năm; tại tầng nước 50 m, AEP từ 0,7-20,5 GWh/năm. AEP có giá trị lớn nhất tại khu vực bãi ngầm Chim Biển, An Bang, Trường Sa Đông và tương đối ổn định với dao động từ 20,5-27,0 GWh/năm. Kết quả nghiên cứu, đánh giá tiềm năng NLĐTT khu vực quần đảo Trường Sa và nhà giàn DK Việt Nam làm cơ sở phục vụ công tác quy hoạch phát triển, xây dựng, khai thác nguồn NLTT điện thủy triều khu vực ngoài khơi đáp ứng nhu cầu sử dụng điện sinh hoạt, nghiên cứu khoa học biển và các hoạt động chuyên môn khác.

Từ khóa: Dòng triều; Năng lượng tái tạo; Tiềm năng năng lượng; Trường Sa và nhà giàn DK Việt Nam.

1. Giới thiệu

Năng lượng tái tạo (NLTT) tăng trưởng kỷ lục về công suất điện và có vai trò tích cực ngày càng lớn trong Chiến lược an ninh năng lượng của các quốc gia ven biển, cải thiện an ninh năng lượng với mục tiêu giảm thiểu việc sử dụng nhiên liệu hóa thạch đã trở thành vấn đề trọng tâm tại các cuộc thảo luận quốc tế [1]. Tiềm năng của nguồn năng lượng từ biển rất lớn, trong những năm đầu của thế kỷ 21, trên thế giới, nhiều quốc gia tiên tiến và phát triển đã đi sâu vào nghiên cứu, triển khai khai thác các nguồn NLTT, trong đó có nguồn năng lượng tái tạo điện thủy triều. Hiện tại, nguồn năng lượng từ biển đại diện cho một phần nhỏ nhất của thị trường năng lượng tái tạo [1-3]. Hoạt động nghiên cứu, ứng dụng khoa học trong khai thác, sử dụng nguồn năng lượng tái tạo từ biển, đặc biệt là nguồn năng lượng thủy triều phát triển tập trung chủ yếu tại Châu Âu (Anh, Pháp, Scotland ...), Châu Á (Hàn Quốc, Trung Quốc ...), khu vực Bắc Mỹ (Canada, Mỹ) và Australia [3-6].

Các nguồn năng lượng tái tạo như: năng lượng Mặt trời, năng lượng sinh khối, sóng, gió, dòng chảy, năng lượng thủy triều ... Hiện nay, việc đánh giá tiềm năng nguồn NLTT trong chiến lược phát triển, đảm bảo an ninh năng lượng quốc gia đang được các quốc gia trên thế giới quan tâm nghiên cứu, khai thác và sử dụng [3, 6–9].

Dự tính thủy triều, dòng triều bằng phương pháp bình phương tối thiểu theo chuẩn IOS [10–14] đã đạt được độ chính xác cao về thời gian, biên độ, pha, tốc độ và hướng, dòng triều được sử dụng trong tính toán, ước tính tiềm năng năng lượng điện thủy triều (NLĐTT) cho các tua-bin của trạm điện thủy triều; các nghiên cứu đánh giá tiềm năng NLTT, công nghệ khai thác NLTT; đánh giá tác động môi trường, hiệu quả kinh tế được đầu tư và quan tâm ngày càng nhiều [4–5, 15–17].

Việt Nam là quốc gia có lợi thế và thế mạnh về biển với hơn 3260 km đường bờ biển và hơn một triệu km² vùng đặc quyền kinh tế. Tiềm năng về NLTT từ biển là rất lớn như: năng lượng sóng biển, năng lượng dòng chảy biển, năng lượng gió biển, năng lượng thủy triều ... [7, 9]. Nghị quyết số 55 của Bộ Chính trị xác định bảo đảm vững chắc an ninh năng lượng quốc gia là nền tảng, tiền đề phát triển kinh tế-xã hội và đa dạng hóa các loại hình năng lượng, ưu tiên khai thác, sử dụng các nguồn NLTT, trong đó có nguồn năng lượng điện thủy triều. Các nghiên cứu [7–9] ở Việt Nam trong thời gian gần đây mới chỉ tập trung vào việc đánh giá tiềm năng NLĐTT ở các vùng biển ven bờ.

Đối với khu vực quần đảo Trường Sa và nhà giàn DK Việt Nam, việc đánh giá tiềm năng năng lượng điện thủy triều; tính toán, phân tích và lựa chọn các vị trí khả thi để lắp đặt các tua-bin, xây dựng trạm điện thủy triều là vấn đề cần được quan tâm và tiếp cận một cách chủ động. Năng lượng dòng triều với tính ổn định theo chu kỳ và sự dự tính thủy triều, dòng triều đạt độ chính xác cao [10–14, 16–17] đã thúc đẩy các quốc gia ven biển tập trung nghiên cứu các phương thức, tiêu chuẩn kỹ thuật đánh giá tiềm năng NLĐTT, ứng dụng công nghệ khai thác nguồn NLTT điện thủy triều [2, 4–5]. Phân bố không gian đặc tính thủy triều, dòng triều, tiềm năng NLTT khu vực quần đảo Trường Sa và nhà giàn DK Việt Nam cần được nghiên cứu, phân tích và tính toán chi tiết, khoa học cho từng đảo, các đảo liền kề, các bãi cạn, nhà giàn tại thời điểm hiện nay và cho những năm tiếp theo.

Mục đích của nghiên cứu là: Đánh giá, xác định tiềm năng năng lượng điện thủy triều và phân bố không gian nguồn NLTT điện thủy triều tại các đảo, bãi đá khu vực quần đảo Trường Sa và nhà giàn DK Việt Nam làm cơ sở phục vụ cho mục đích quy hoạch, định hướng khai thác và sử dụng nguồn năng lượng tái tạo điện thủy triều ở vùng biển khơi.

2. Số liệu sử dụng và phương pháp nghiên cứu

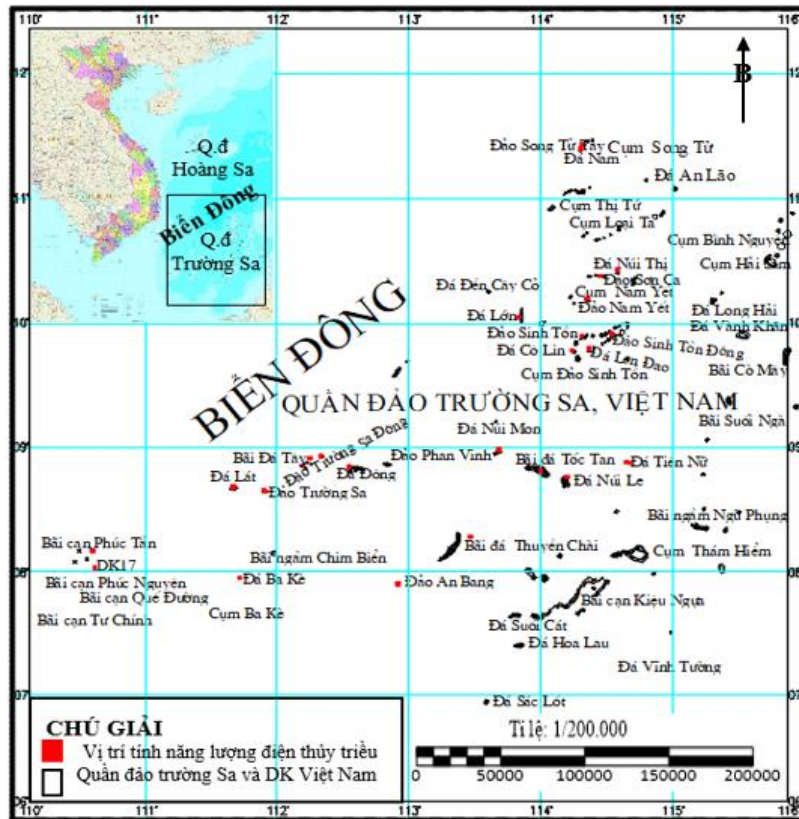
2.1. Số liệu sử dụng và khu vực nghiên cứu

Số liệu sử dụng trong khu vực nghiên cứu là số liệu dòng chảy từ Ngân hàng dữ liệu biển Châu Âu (*Copernicus Marine Data Store*) [18] với độ phân giải $0,25 \times 0,25$ độ kinh-vĩ tuyến trong năm 2021; Phân vùng chế độ thủy triều và dòng triều ở Biển Đông [19]; Atlas điều kiện tự nhiên và môi trường vùng biển Việt Nam và kế cận [20]; Dữ liệu hằng số điều hòa (HSDH) thủy triều toàn cầu độ phân giải $0,125$ độ \times $0,125$ độ kinh-vĩ tuyến trong mô hình MIKE_21 [21]; Số liệu quan trắc mực nước biển (thực đo) với tần suất 01 giờ/số liệu [14]. Các dữ liệu nêu trên được tổng hợp, phân tích để đánh giá tiềm năng năng lượng thủy triều của các đảo, bãi đá thuộc khu vực quần đảo Trường Sa và nhà giàn DK Việt Nam.

Khu vực nghiên cứu: Khu vực quần đảo Trường Sa và nhà giàn DK Việt Nam được lựa chọn trong nghiên cứu có vĩ độ từ $06^{\circ}00'00''$ N đến $12^{\circ}30'00''$ N, kinh độ từ $110^{\circ}00'00''$ E đến $116^{\circ}00'00''$ E (Hình 1), có diện tích khoảng 481.558 km². Khu vực quần đảo Trường Sa và nhà giàn DK có vai trò quan trọng trong chiến lược bảo vệ an ninh quốc phòng và phát triển kinh tế - xã hội, khu vực này có trên 100 đảo, bãi đá, bãi cạn, bãi ngầm, gò san hô nằm rải rác trong khu vực [22].

Chế độ thủy triều: Tính chất thủy triều khu vực nghiên cứu là nhật triều không đều [23]. Tuy nhiên, tại một số đảo, bãi đá: tính chất thủy triều không hoàn toàn là nhật triều không đều [14].

Nghiên cứu này tập trung vào việc đánh giá tiềm năng NLĐTT khu vực quần đảo Trường Sa và nhà giàn DK Việt Nam trong năm 2021 và trong các tháng có biên độ thủy triều cao (tháng 01, 6, 7 và 12) với đại diện là tháng 7, các tháng có biên độ thủy triều thấp (tháng 3, 4, 9 và 10) với đại diện là tháng 3 và các tháng có biên độ thủy triều trung bình (tháng 02, 5, 8 và 11) với đại diện là tháng 11 [23]; đồng thời, phân tích và đánh giá độ lớn thủy triều tăng dần từ giữa đến hai đầu Bắc và Nam của quần đảo ảnh hưởng tới phân bố không gian của tiềm năng năng lượng điện thủy triều; đánh giá tiềm năng năng lượng điện thủy triều tại một số đảo, bãi đá có đặc tính thủy triều không phải là nhật triều không đều [14].



Hình 1. Vị trí các đảo, bãi đá thuộc khu vực quần đảo Trường Sa và nhà giàn DK Việt Nam.

2.2. Phương pháp nghiên cứu

2.2.1. Phương pháp bình phương tối thiểu phân tích dòng triều

Phương pháp bình phương tối thiểu phân tích, dự tính thủy triều, dòng triều theo chuẩn *Institute of Ocean Sciences (IOS)* mô tả tốc độ dòng triều sử dụng hệ tọa độ hình chữ nhật và biến phức với góc thời gian tham chiếu của ngày 01 tháng 01 năm 1976 để tính toán các chu kỳ thiên văn [10–14] và dự tính dòng triều.

Thực tế, khi mô tả dòng triều, hướng đông/tây và hướng bắc/nam được chọn làm các hướng x và y trong hệ tọa độ Descartes (*Cartesian coordinate system*). Hai thành phần của dòng triều gồm: thành phần dòng triều theo chu kỳ và một tập hợp các thành phần dòng triều với các tần số ω_j [10–11], biểu thức dòng triều tổng quát được biểu diễn bằng một biến phức $Z(t)$ như sau:

$$Z(t) = X_0(t) + \sum_{j=1}^M X_j \cos(\omega_j t - \phi_j t) + i \left[Y_0(t) + \sum_{j=1}^M Y_j \cos(\omega_j t - \phi_j t) \right] \quad (1)$$

Với đóng góp của thành phần chung j vào $Z(t)$, ta có $Z_j(t)$ như sau:

$$Z_j(t) = Z_j^+(t) + Z_j^-(t) = a_j^+ \exp(i\varepsilon_j^+ + i\omega_j t) + a_j^- \exp(i\omega_j^- + i\omega_j t) \quad (2)$$

Trong đó $a_j^+ = \left[\left(\frac{CX_j + SY_j}{2} \right)^2 + \left(\frac{CY_j - SX_j}{2} \right)^2 \right]^{1/2}$; $a_j^- = \left[\left(\frac{CX_j + SY_j}{2} \right)^2 + \left(\frac{CY_j - SX_j}{2} \right)^2 \right]^{1/2}$

$$\varepsilon_j^+ = \arctan \left[\frac{CY_j - SX_j}{CX_j + SY_j} \right]; \varepsilon_j^- = \arctan \left[\frac{CY_j + SX_j}{CX_j - SY_j} \right]; CX_j = X_j \cos \varphi_j; SX_j = X_j \sin \varphi_j$$

$$CY_j = Y_j \cos \varphi_j; SY_j = Y_j \sin \varphi_j$$

Biểu thức (2) cho thấy với mỗi thành phần j, có hai vector liên kết $Z_j^+(t)$ và $Z_j^-(t)$ quay với tốc độ góc là ω_j (radians/h).

Sử dụng phương pháp bình phương tối thiểu phân tích dòng triều điều hòa [10–14] cho các chuỗi số liệu, kết hợp bổ sung các sóng triều điều hòa khi dự tính thủy triều để khắc phục tình trạng bỏ sót một số sóng triều ý nghĩa khi phân tích, tính toán dòng triều cho thời điểm hiện tại và dự tính cho các năm tiếp theo đúng chu kỳ thiên văn.

2.2.2. Phương pháp tính toán tiềm năng điện thủy triều khu vực ven biển và ngoài khơi

Năng lượng dòng triều do dòng nước biển tạo ra được xác định là năng lượng động học có sẵn trong dòng nước chảy tự do [5–6, 16–17], mật độ công suất trung bình (*Average Power Density*, kW/m²), được tính bởi công thức sau:

$$ADP = \frac{1}{2} \rho \sum_{i=1}^{N_B} (U_i^3 \times f(U_i)) = \frac{1}{2} \rho V_{mc}^3 \quad (\text{kW/m}^2) \quad (3)$$

Trong đó ρ là mật độ riêng của nước biển (kg/m³); U_i là giá trị vận tốc dòng triều trung tâm của bin (tia) thứ i; $f(U_i)$ là hàm phân phối giá trị vận tốc dòng triều trong khoảng thời gian đo; i là chỉ số bin (tia) của thiết bị đo ADP (*Acoustic Doppler Profiler*: AWAC, SonTek, DWR ...); N_B là số bin (tia) của thiết bị đo; V_{mc} là vận tốc trung bình khối mũ ba và được tính bởi công thức:

$$V_{mc} = \sqrt[3]{\sum_{i=1}^{N_B} (U_i^3 \times f(U_i))} \quad (\text{m/s}) \quad (4)$$

Tại các vị trí chưa xác định giá trị vận tốc dòng triều theo tầng sâu, qui luật 1/10th được sử dụng để tính toán vận tốc dòng triều trung bình cho các tầng sâu tại vị trí khảo sát [6], khi đó, vận tốc dòng triều suy giảm theo chiều sâu được tính như sau:

$$V = V_0 \left(\frac{z}{d} \right)^{1/10} \quad (\text{m/s}) \quad (5)$$

Trong đó V_0 là vận tốc dòng triều bề mặt (m/s); z là khoảng cách từ mặt biển (m); d là độ sâu (m).

Công suất điện trung bình năm (P_{mean} , kW) được tính bởi công thức sau:

$$P_{mean} = \sum_{i=1}^{N_B} P(U_i) \times f(U_i) \quad (\text{kW}) \quad (6)$$

Trong đó $P(U_i) = P_{av(i)} \times \eta_R$ (kW) là công suất điện trung bình cho mỗi bin (tia); $P_{av(i)} = 0,5\rho AU_i^3$ (kW) là mật độ công suất trung bình trên mỗi m²; $f(U_i)$ là % xác suất xuất hiện của giá trị vận tốc 0,10 m/s trong mỗi bin (tia) của thiết bị đo ADP; A (m²) là diện tích cắt ngang vuông góc với dòng chảy; η_R là % hiệu suất của rotor trong tua-bin trạm điện thủy triều, $\eta_R = 38-45\%$ [6];

Vận tốc dòng triều trung bình lớn nhất tại thời điểm nước lớn (V_{max}^F), nước ròng (V_{max}^E) và mật độ năng lượng trung bình được cho bởi công thức [16–17, 24] sau:

$$\bar{V}_{max} = 0,8 \times \frac{(V_{max}^F + V_{max}^E)}{2} \quad (\text{m/s}) \quad (7)$$

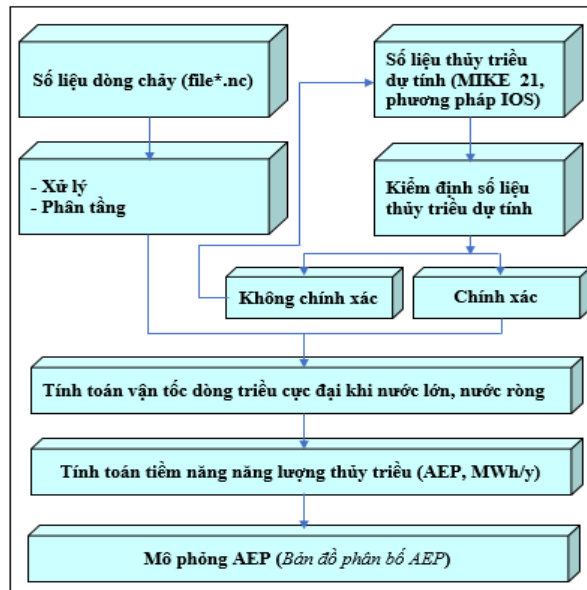
$$P_{\text{mean}} = \overline{\text{ADP}} \times A = \frac{1}{2} \times \frac{4}{3\pi} \times \frac{(0,9 \times \bar{V}_{\text{max}})^3 + (\bar{V}_{\text{max}})^3}{2} \times \rho \times A \quad (\text{kW}) \quad (8)$$

Khi đó, tổng lượng năng lượng điện (*Annual Energy Production - AEP*, kWh/y) hay tiềm năng năng lượng thủy triều tại một vị trí trong một năm xác định bởi công thức sau:

$$\text{AEP} = 8760 \times A_v \times P_{\text{mean}} \quad (\text{kWh/y}) \quad (9)$$

Trong đó AEP (kWh/y) là tổng lượng năng lượng điện hay tiềm năng năng lượng điện; A_v (%) là phần trăm khả dụng có thể khai thác nguồn năng lượng điện thủy triều tiềm năng và A_v thường không vượt quá 50% tổng công suất có thể khai thác (tiềm năng năng lượng ước tính) tại một khu vực tính toán [6, 16–17, 24].

Quy trình tính toán, đánh giá tiềm năng NLĐTT được thực hiện theo sơ đồ sau:



Hình 2. Sơ đồ xác định, đánh giá tiềm năng năng lượng điện thủy triều.

2.2.3. Phương pháp đánh giá sai số

Dự tính thủy triều bằng phương pháp bình phương tối thiểu theo chuẩn IOS [10–14] và chất lượng dự tính, cảnh báo các trị số thủy văn, hải văn [23, 25–26] là “đủ độ tin cậy” được đánh giá thông qua các tiêu chí đánh giá sai số.

Tiêu chí đánh giá sai số thường được sử dụng trong thực tế dự báo như sau:

+ Sai số trung bình (Bias)

$$\text{Bias} = \frac{1}{N} \left(\sum_{i=1}^N (|F_i - O_i|) \right) \quad (10)$$

+ Sai số tuyệt đối trung bình MAE (*Mean Absolute Error*)

$$\text{MAE} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (|F_i - O_i|) \quad (11)$$

+ Căn của sai số bình phương trung bình RMSE (*Root Mean Squared Error*)

$$\text{RMSE} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (F_i - O_i)^2} \quad (12)$$

Xác định sai số cho phép của yếu tố trong trường hợp có thời gian dự kiến [25] được cho bởi công thức:

$$S_{\text{cf}} = 0,674\delta_1 \quad (13)$$

$$\delta_1 = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\Delta Y_i - \overline{\Delta Y})^2}{n-1}} \quad (14)$$

Trong đó N là số số hạng của dữ liệu; F_i là trị số dự báo; O_i là trị số thực đo tương ứng thứ i ; δ_1 là độ lệch chuẩn của các yếu tố trong thời gian dự kiến; ΔY_i là biên độ của yếu tố trong thời gian dự kiến được tính bằng hiệu số giữa trị số sau thời gian dự kiến ($t+\Delta t$) với trị số tại thời điểm (t); $\overline{\Delta Y}$ là chuẩn của chuỗi số liệu ΔY_i ; n là số số hạng trong dãy số tính toán (với điều kiện $n \geq 30$).

3. Kết quả và thảo luận

3.1. Đánh giá kết quả dự tính thủy triều

Số liệu thủy triều năm 2021 được dự tính bằng phương pháp bình phương tối thiểu theo chuẩn IOS. Biên độ và pha của 08 sóng triều chính tại một số đảo được thể hiện tại Bảng 1.

Bảng 1. Biên độ và pha của 08 sóng triều chính tại Phan Vinh, Tiên Nữ, Trường Sa, Trường Sa Đông và Nam Yết.

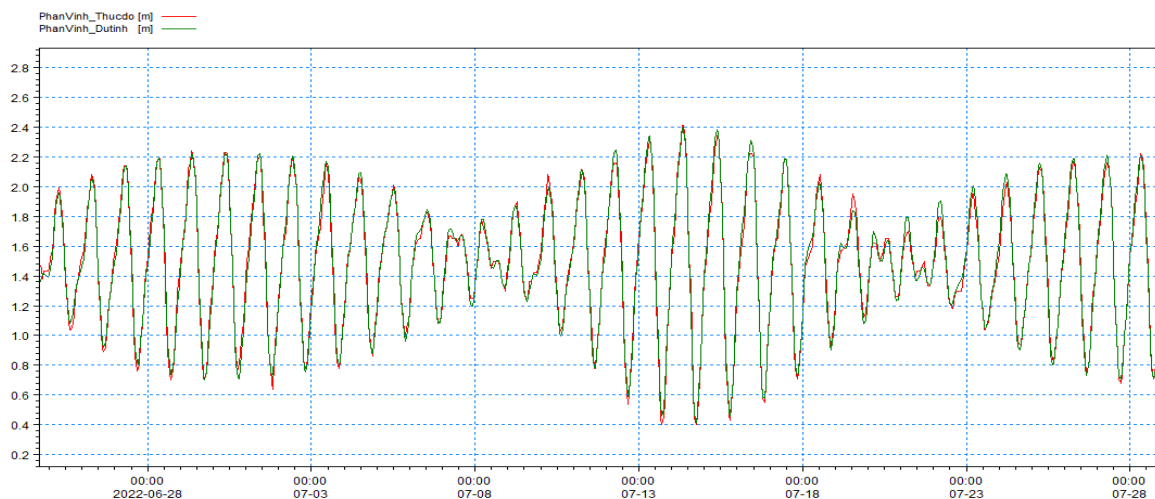
TT	Sóng triều	Phan Vinh		Tiên Nữ		Trường Sa		Trường Sa Đông		Nam Yết	
		$A_0 = 110$ cm		$A_0 = 105$ cm		$A_0 = 108$ cm		$A_0 = 106$ cm		$A_0 = 102$ cm	
		H	Pha	H	Pha	H	Pha	H	Pha	H	Pha
		(cm)	(độ)	(cm)	(độ)	(cm)	(độ)	(cm)	(độ)	(cm)	(độ)
1	M2	17,11	295,44	17,74	291,67	17,66	92,87	17,51	90,16	16,68	288,35
2	S2	4,37	344,24	8,13	341,70	7,24	120,39	7,41	117,42	8,98	316,22
3	N2	3,75	273,32	2,46	276,06	3,29	83,93	3,29	79,81	3,24	272,41
4	K2	1,19	348,19	2,21	345,75	1,90	121,10	1,90	119,26	2,44	318,47
5	K1	42,66	301,52	26,80	317,31	35,04	193,04	34,54	192,59	23,26	287,71
6	O1	28,28	251,44	30,10	255,14	30,30	152,37	30,09	151,89	26,72	242,65
7	P1	14,12	297,76	8,87	312,65	12,13	194,26	11,94	193,95	7,70	284,33
8	Q1	6,21	219,12	4,92	246,54	5,38	132,06	5,33	131,92	5,18	220,30

Đánh giá kết quả dự tính thủy triều tại một số vị trí thuộc khu vực quần đảo Trường Sa và nhà giàn DK Việt Nam trong nghiên cứu sử dụng các chỉ số thống kê Bias, MAE, RMSE và xác định sai số cho phép S_{cf} của yếu tố trong trường hợp dự tính có thời gian dự kiến.

Bảng 2. Thống kê sai số tại một số vị trí khu vực quần đảo Trường Sa và nhà giàn DK Việt Nam.

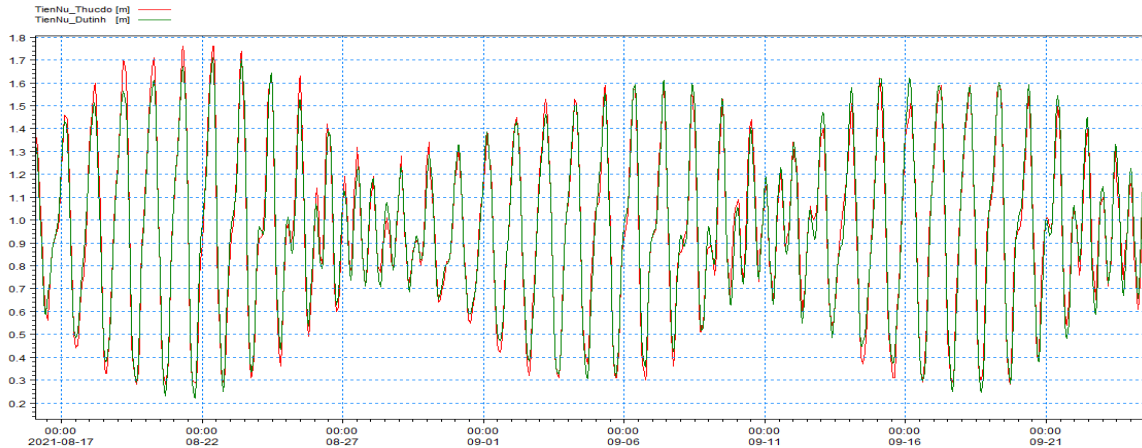
Chỉ số	Phan Vinh	Tiên Nữ	Trường Sa	Trường Sa Đông	Nam Yết
Bias	0,034	0,042	0,058	0,040	0,054
MAE	0,039	0,042	0,065	0,043	0,005
RMSE	0,043	0,052	0,068	0,046	0,019
Scf	0,037	0,045	0,061	0,042	0,013

Kết quả dự tính thủy triều bằng cách so sánh mực nước dự tính và thực đo tại đảo Phan Vinh và đảo Tiên Nữ [14, 25–26].



Hình 3. Thủy triều Phan Vinh (thực đo-đỏ, dự tính-xanh) từ ngày 28/06/2021 - 28/07/2021.

Các sai số thống kê cho thấy: Sai số trung bình (*Bias*) có giá trị từ 0,034-0,058 m, sai số tuyệt đối trung bình (MAE) có giá trị từ 0,005-0,065 m; chỉ số RMSE có giá trị từ 0,019-0,068 m; chỉ số S_{cf} có giá trị từ 0,013-0,061 m. Hình 3-4 là kết quả so sánh thủy triều dự tính và thực đo (biên độ và pha) tại đảo Phan Vinh, Nam Yết. Kết quả phân tích các chỉ số đánh giá sai số cho thấy: Độ chính xác của dự tính thủy triều đảm bảo “đủ độ tin cậy” đặc trưng bởi độ lệch bình phương trung bình giữa mực nước từng giờ dự tính và mực nước quan trắc [25–26].



Hình 4. Thủy triều Tiên Nữ (thực đo-đỏ, dự tính-xanh) từ ngày 17/08/2021 - 26/09/2021.

Các kết quả phân tích, tính toán cho thấy: Số liệu dự tính thủy triều tại các đảo, bãi đá khu vực quần đảo Trường Sa và nhà giàn DK Việt Nam với độ chính xác hơn 90% được dùng để tính toán vận tốc dòng triều cực đại khi nước lớn, nước ròng. Dòng triều cực đại khi nước lớn, nước ròng được tính toán theo khoảng thời gian 10 phút một lần [16–17, 24].

Số lượng các sóng triều điều hòa sử dụng trong phân tích dòng triều được xem xét chi tiết theo chuẩn IOS và phụ thuộc vào độ dài chuỗi số liệu quan trắc (thực đo) tại từng vị trí. Thực tế, khi số lượng các sóng triều điều hòa tăng lên, biên độ và tốc độ, pha và hướng trong dự tính thủy triều, dòng triều có độ chính xác cao hơn, mối tương quan số liệu thực đo-dự tính tốt và số liệu dự tính sát với thực tế.

3.2. Phân bố không gian của tiềm năng năng lượng thủy triều khu vực quần đảo Trường Sa và nhà giàn DK Việt Nam

Số liệu dòng chảy với độ phân giải $0,25 \times 0,25$ độ kinh-vĩ tuyến trong năm 2021 được xử lý từ định dạng file*.nc sang file*.txt và phân tầng dòng chảy. Số liệu dòng triều tại các đảo, bãi đá thuộc khu vực quần đảo Trường Sa và nhà giàn DK Việt Nam được phân tích và tính toán tại 24 vị trí. Tổng lượng năng lượng điện tiềm năng hàng năm trung bình (AEP) được tính toán cho từng vị trí với công thức (7, 8, 9).

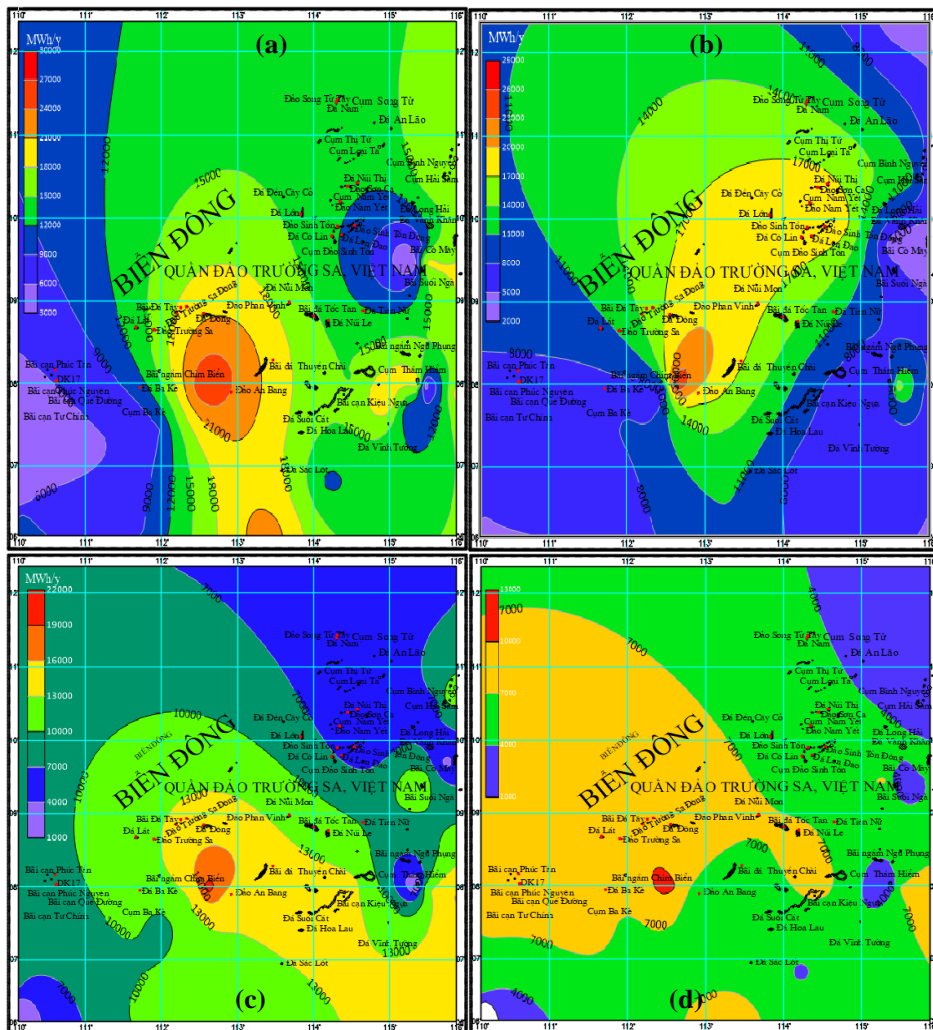
Bảng 3. Tiềm năng năng lượng tầng mặt khu vực quần đảo Trường Sa và nhà giàn DK Việt Nam (tháng 7 năm 2021).

Tên trạm	V_{max}^F (m/s)	V_{max}^E (m/s)	$\overline{V_{max}}$ (m/s)	A (m^2)	P_{mean} kW	A_v (%)	AEP (GWh/y)
Song Tử Tây	0,550	0,245	0,318	2500	7456,0	0,4	1,5
Đá Nam	0,530	0,184	0,286	2500	5401,3	0,4	1,6
Nam Yết	0,300	0,096	0,158	2500	921,5	0,4	0,3
Sơn Ca	0,530	0,341	0,348	2500	9805,2	0,4	2,0
Đá Lớn	0,260	0,250	0,204	2500	1968,4	0,4	0,6
Núi Thị	0,470	0,423	0,357	2500	10567,1	0,4	1,5
Sinh Tồn	0,340	0,298	0,255	2500	3853,6	0,4	1,1
Sinh Tồn Đông	0,440	0,390	0,332	2500	8484,7	0,4	1,4
Cô Lin	0,330	0,141	0,188	2500	1550,5	0,4	0,5

Tên trạm	V_{max}^F (m/s)	V_{max}^E (m/s)	$\overline{V_{max}}$ (m/s)	A (m ²)	P_{mean} kW	A_v (%)	AEP (GWh/y)
Len Đảo	0,530	0,358	0,355	2500	10390,6	0,4	1,4
Trường Sa	0,270	0,263	0,213	2500	2246,9	0,4	0,7
Đá Đông	0,620	0,179	0,320	2500	7569,1	0,4	2,3
Đá Lát	0,260	0,156	0,166	2500	1068,3	0,4	0,3
Núi Le	0,440	0,171	0,244	2500	3384,7	0,4	1,0
Phan Vinh	0,330	0,165	0,198	2500	1799,8	0,4	0,5
Đá Tây	0,550	0,226	0,310	2500	6934,1	0,4	2,1
Tiên Nữ	0,490	0,197	0,275	2500	4811,4	0,4	1,4
Tốc Tan	0,440	0,378	0,327	2500	8122,0	0,4	1,6
Trường Sa Đông	0,560	0,257	0,327	2500	8092,2	0,4	2,4
An Bang	0,550	0,322	0,349	2500	9839,0	0,4	2,1
Thuyền Chài	0,430	0,134	0,226	2500	2662,2	0,4	0,8
Ba Kề	0,430	0,180	0,244	2500	3368,2	0,4	1,0
Phúc Tần	0,310	0,119	0,172	2500	1171,6	0,4	0,3
DK1_7	0,450	0,131	0,232	2500	2910,3	0,4	0,9

Trong đó V_{max}^F , V_{max}^E là vận tốc dòng triều cực đại khi nước lớn, nước ròng; A (m²) là diện tích cắt ngang vuông góc với dòng chảy; ρ (kg/m³) là mật độ riêng của nước biển; A_v (%) là phần trăm khả dụng có thể khai thác nguồn năng lượng điện thủy triều tiềm năng, trong nghiên cứu này, nhóm tác giả sử dụng $A_v = 40\%$, $\rho = 1023 \text{ kg/m}^3$ và $1\text{MW} = 1000 \text{ kW}$, $1\text{GW} = 1000 \text{ MW}$.

Phân bố không gian tiềm năng năng lượng thủy triều trong năm 2021 tại 24 vị trí thuộc quần đảo Trường Sa và nhà giàn DK Việt Nam ở các tầng nước 0m, 20m, 50m và 100m được thể hiện trên các hình 5a-5d.

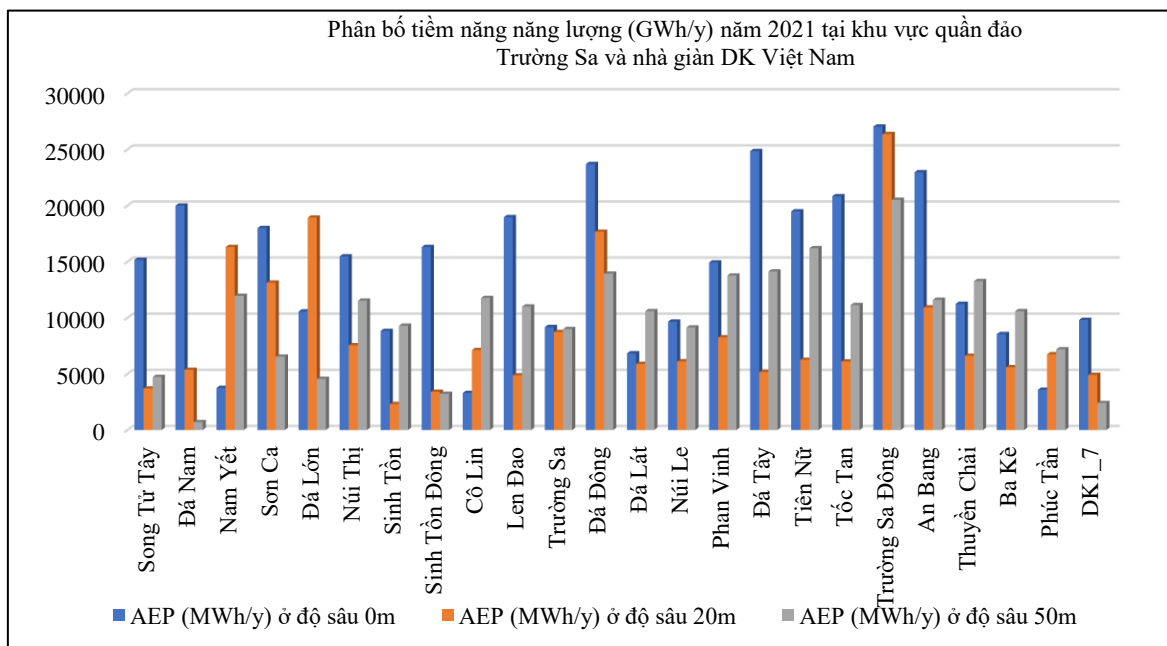


Hình 5. Phân bố không gian tiềm năng năng lượng điện thủy triều tầng: (a) 0m, (b) 20m, (c) 50m, (d) 100m năm 2021.

Phân bố không gian tiềm năng năng lượng thủy triều cho thấy: Ở khu vực bãi ngầm Chim Biển, đảo An Bang và đảo Trường Sa Đông, tại tầng mặt (0m), tiềm năng năng lượng thủy triều (AEP) đạt từ 23,0 đến 27,0 GWh/năm; tại tầng 20m, AEP đạt từ 11,0 đến 26,4 GWh/năm; tại tầng 50m, AEP đạt từ 11,6 đến 20,5 GWh/năm; tại tầng 100m, AEP đạt từ 8,3 đến 10,2 GWh/năm. Tuy nhiên, tại khu vực đảo Trường Sa Đông, tiềm năng năng lượng thủy triều khá ổn định tại tầng 0m, 20m và 50m trong cả năm với giá trị AEP dao động từ 20,5 đến 27,0 GWh/năm.

Bảng 4. Tiềm năng năng lượng điện thủy triều các tầng nước khu vực quần đảo Trường Sa và nhà giàn DK Việt Nam năm 2021.

Tên trạm	Tọa độ (độ, phút)		AEP (GWh/y) ở độ sâu			
	Vĩ độ (N)	Kinh độ (E)	0m	20m	50m	100m
Song Tử Tây	11°25'00"	114°19'00"	15,2	3,7	4,7	2,6
Đá Nam	08°56'00"	114°18'00"	20,0	5,4	0,7	1,4
Nam Yết	08°56'00"	114°21'00"	3,7	16,3	12,0	7,1
Sơn Ca	10°22'00"	114°27'00"	18,0	13,1	6,5	3,1
Đá Lớn	10°02'00"	113°50'52"	10,6	18,9	4,6	5,1
Núi Thị	10°25'00"	114°35'00"	15,5	7,5	11,5	2,1
Sinh Tồn	09°53'00"	114°19'00"	8,8	2,3	9,3	4,6
Sinh Tồn Đông	09°54'00"	114°33'00"	16,3	3,4	3,2	4,8
Cô Lin	09°46'00"	114°15'00"	3,3	7,1	11,8	7,2
Len Đảo	09°47'00"	114°22'00"	19,0	4,9	11,0	1,3
Trường Sa	08°38'00"	111°55'00"	9,2	8,7	9,0	6,1
Đá Đông	08°50'00"	112°33'00"	23,7	17,7	13,9	4,6
Đá Lát	08°39'00"	111°40'00"	6,8	5,9	10,6	8,5
Núi Le	08°45'00"	114°12'00"	9,7	6,1	9,1	4,3
Phan Vinh	08°58'00"	113°41'00"	14,9	8,3	13,8	8,1
Đá Tây	08°54'00"	112°15'00"	24,8	5,2	14,1	10,3
Tiên Nữ	08°52'00"	114°39'00"	19,5	6,2	16,2	8,6
Tốc Tan	08°48'00"	114°00'00"	20,8	6,1	11,1	4,3
Trường Sa Đông	08°55'00"	112°20'00"	27,0	26,4	20,5	10,2
An Bang	07°53'00"	112°55'00"	23,0	10,9	11,6	8,3
Thuyền Chài	08°16'00"	113°28'00"	11,2	6,6	13,3	3,7
Ba Kè	07°56'00"	111°43'00"	23,8	15,6	13,6	9,1
Phúc Tân	08°09'00"	110°36'00"	3,6	6,7	7,2	6,1
Nhà giàn DK1_7	08°01'00"	110°37'00"	9,8	4,9	2,4	0,1



Hình 7. Phân bố tiềm năng năng lượng điện thủy triều các tầng nước 0m, 20m và 50m năm 2021.

Theo kết quả trên Bảng 4, tổng tiềm năng năng lượng điện thủy triều phân bố cao nhất ở khu vực gần đảo Trường Sa Đông với AEP tại tầng 0m, tầng 20m và tầng 50m dao động từ 20,5 đến 27,0 GWh/năm; khu vực có AEP thấp nhất là bãi đá Phúc Tần và DK1_7 với mức năng lượng tiềm năng dao động từ 2,4 đến 9,8 GWh/năm.

Trong các tháng có biên độ thủy triều cao (tháng 7), tháng có biên độ thủy triều thấp (tháng 3) và tháng có biên độ thủy triều trung bình (tháng 11), tiềm năng năng lượng điện thủy triều trung bình tháng tại tầng mặt lần lượt là 1,213 GWh/tháng, 1,114 GWh/tháng và 1,177 GWh/tháng. Tốc độ dòng triều và biên độ thủy triều có ảnh hưởng lớn tới tiềm năng năng lượng điện thủy triều tại từng vị trí.

4. Kết luận

Bài báo nghiên cứu và đánh giá tiềm năng năng lượng điện thủy triều ở khu vực quần đảo Trường Sa và nhà giàn DK Việt Nam. Các kết quả phân tích và đánh giá cho thấy:

- Mục nước thủy triều dự tính từng giờ trong năm 2021 tại các trạm có độ chính xác hơn 90%, hệ số tương quan $R^2 \geq 0,90$ và kết hợp số liệu dòng chảy có độ phân giải 0,25 x 0,25 độ kinh-vĩ tuyến làm cơ sở dữ liệu đầu vào để tính toán dòng triều, ước tính và đánh giá tiềm năng năng lượng điện thủy triều. Độ lớn biên độ thủy triều tại khu vực quần đảo Trường Sa và nhà giàn DK Việt Nam từ 1,63m đến 2,10m.

- Tại khu vực quần đảo Trường Sa và nhà giàn DK Việt Nam, tiềm năng năng lượng điện thủy triều lớn nhất thuộc khu vực bãi ngầm Chim Biển, đảo An Bang và đảo Trường Sa Đông, tại tầng mặt (0m), tiềm năng năng lượng thủy triều (AEP) đạt từ 23,0 GWh/năm đến 27,0 GWh/năm; tại tầng 20m, AEP đạt từ 11,0 đến 26,4 GWh/năm; tại tầng 50m, AEP đạt từ 11,6 đến 20,5 GWh/năm.

- Tại khu vực đảo Trường Sa Đông, tiềm năng năng lượng thủy triều khá ổn định tại tầng 0m, 20m và 50m, giá trị AEP dao động từ 20,5 GWh/năm đến 27,0 GWh/năm với vận tốc dòng triều cực đại lúc nước lớn và nước ròng lần lượt là 0,560 m/s và 0,257 m/s. Tốc độ dòng triều và biên độ thủy triều có ảnh hưởng lớn tới tiềm năng năng lượng điện thủy triều tại từng vị trí.

- Cần có những nghiên cứu chi tiết hơn về phân bố không gian tiềm năng năng lượng điện thủy triều từ các chuỗi số liệu thực đo (dòng chảy, dòng triều, thủy triều, địa hình đáy biển ...) và ứng dụng các mô hình số trị mô phỏng, đánh giá tiềm năng năng lượng điện thủy triều tại các tầng nước làm cơ sở khoa học cho việc qui hoạch, định hướng phát triển, khai thác và sử dụng nguồn năng lượng thủy triều ở các vùng biển xa đất liền (các đảo, bãi đá, nhà giàn) trong thời gian tới.

- Tốc độ dòng triều cực đại lúc nước lớn, nước ròng cần được quan trắc cùng thời điểm quan trắc mực nước biển (nghiệm triều) trong các tháng thủy triều có biên độ cao, thấp, trung bình và xem xét, đánh giá ảnh hưởng, tác động của bão, gió, sóng, khí quyển, đặc tính địa hình đáy biển tới tốc độ dòng triều.

- Việc khai thác và sử dụng năng lượng tái tạo có ý nghĩa lớn trong việc ổn định cung cấp điện cho các vùng khơi xa và làm giảm lượng khí carbon gây hiệu ứng nhà kính. Bên cạnh đó, cần có những báo cáo, nghiên cứu khoa học đánh giá tác động môi trường, tính kinh tế khi triển khai thực hiện các trạm điện thủy triều.

- Xây dựng cơ sở dữ liệu hằng số điều hòa dòng triều và thủy triều phục vụ hoạt động nghiên cứu khoa học, nhiệm vụ cụ thể, đồng thời làm cơ sở dữ liệu đầu vào cho các mô hình số trị mô phỏng và đánh giá tiềm năng năng lượng tái tạo.

Đóng góp của tác giả: Xây dựng ý tưởng nghiên cứu: P.V.H.; Đ.Q.T.; P.T.T.; Xử lý số liệu: P.V.H.; P.T.T.; Viết bản thảo bài báo: P.V.H.; Đ.Q.T.; Chỉnh sửa bài báo: P.V.H.; Đ.Q.T.

Lời cảm ơn: Bài báo hoàn thành nhờ vào kết quả của: Hội nghị Khoa học Quốc tế Biển Đông 2021 “Thế kỷ Khoa học Công nghệ biển vì tương lai của đại dương”.

Lời cam đoan: Tập thể tác giả cam đoan bài báo này là công trình nghiên cứu của tập thể 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. REN21. Renewables 2022 global status report: Renewable energy policy network for the 21st century. 2022, pp. 309. ISBN 978-3-948393-04-5.
2. IRENA. Offshore renewables: An action agenda for deployment. International Renewable Energy Agency, Abu Dhabi. 2021. ISBN 978-92-9260-349-6.
3. Ocean Energy Europe. Key trends and statistics 2019-2022.
4. SI OCEAN. Wave and tidal energy market deployment strategy for Europe. 1st Edition. 2014.
5. European Technology & Innovation Platform for Ocean Energy (ETIPOCEAN). Strategic research and innovation agenda for ocean energy. 2020.
6. EMEC. Assessment of tidal energy resource. Marine Renewable Energy Guides, European Marine Energy Center Ltd. 2009. ISBN 970-0-580-65642-2.
7. Toán, D.V.; Trinh, N.Q. Đánh giá tiềm năng điện thủy triều tại vùng cửa sông ven biển Đông Nam Bộ Việt Nam. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2011**, 609, 47-51.
8. Huy, Đ.N.; Trinh, N.Q. Đánh giá sơ bộ tiềm năng năng lượng thủy triều tại khu vực biển Cần Giờ-TP. HCM. *Tạp chí Khí tượng thủy văn* **2021**, 721, 54-65.
9. Hùng, N.M. và cs. Điều tra đánh giá tiềm năng các dạng Năng lượng biển chủ yếu và đề xuất các giải pháp khai thác. Đề tài KC.09/2006–2010, 2010.
10. Danish Hydraulic Institute. Tidal analysis and prediction module. MIKE_21 Scientific Documentation. User's and Reference Manual, 2011, 2017.
11. International Hydrographic Organization (IHO). Coastal tides. **2013**, pp. 411. ISBN: 978-2-903581-83-1.
12. Foreman, M.G.G. Manual for tidal currents analysis and prediction. Pacific Marine Science Report 78-6. Institute of Ocean Sciences: Patricia Bay, Sidney, BC, Canada, 2004.
13. National Oceanic and Atmospheric Administration. Assessment of the National Ocean Services's Tidal current program. NOAA Technical report NOS CO-OPS 022, 1999.
14. Trí, Đ.Q.; Hùng, P.V. Phân bố không gian của các sóng triều chính khu vực quần đảo Trường Sa, Việt Nam. *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2023**, 750, 79–92.
15. European Commission. H2020 Programme for Research & Innovation: Advanced monitoring, simulation and control of tidal devices in unsteady, highly turbulent realistic tide environment. RealTide Project - Grant Agreement No. 727689, 2019.
16. Byun, D.S.; Cho, C.W. Tidal current energy resources off the South and West coast of Korea: Preliminary observation - Derived estimates. *Energies* **2013**, 6, 566–578.
17. Hwang, S.J.; Jo, C.H. Tidal current energy resource distribution in Korea. *Energy* **2019**, 12, 4380.
18. Online available: http://www.data.marine.copernicus.eu/viewer/expert?View=dataset&dataset=MULTIOBS_GLO_REP_015_004.
19. Biển Đông. Tập II - Khí tượng thủy văn động lực biển. Nhà xuất bản Đại học Quốc gia Hà Nội, 2003. ISBN 45/241/XB-QLXB.
20. Atlas điều kiện tự nhiên và môi trường vùng biển Việt Nam và kế cận. Nhà xuất bản Khoa học Tự nhiên và Công nghệ. Hà Nội, 2009. ISBN: 978-604-913-008-3.
21. Online available: <http://www.dhigroup.com/download/mike-by-dhi-tools/coastalandseatools/global-tide-model>.
22. Hiệp, N.; Giao, N.; Quân, H.Q. Đặc điểm địa chất và tiềm năng DK vùng quần đảo Trường Sa. Báo cáo tổng kết đề tài NCKH cấp Nhà nước, 1993.

23. Vinh, T.Đ.; Hùng, P.V.; Tuấn, P.V.; Hưng, N.N. Bảng thủy triều năm 2021 (Quần đảo Hoàng Sa, Trường Sa và DK). Tập III. Bộ Tư lệnh Hải quân, 2021.
24. Triton Consultant Ltd. Green Energy Study for British Columbia Phase 2: Mainland tidal current energy. Report prepared for BC Hydro, Vancouver, Canada, 2002.
25. Bộ Tài nguyên và Môi trường. Thông tư số 42/2017/TT-BTNMT. Thông tư Quy định kỹ thuật đánh giá chất lượng dự báo, cảnh báo thủy văn, 2017.
26. Huân, P.V. Động lực học biển: Phần 3 - Thủy triều. Nhà xuất bản Đại học Quốc gia Hà Nội, 2002.

Researching and evaluating the tidal energy potential in the Truong Sa archipelago and the DK flatform, Viet Nam

Doan Quang Tri¹, Pham Van Hung^{2*}, Pham Tri Thuc³

¹ Journal of Hydro-Meteorological, Viet Nam Meteorological and Hydrological Administration; doanquangtriktvt@gmail.com

² Vietnam's Naval Hydrographic and Oceanographic Department, Naval Staff Department; phamvanhung2t@gmail.com

³ Vietnam People's Navy Academy - Navy Command Headquarters; pthucacademy@yahoo.com.vn

Abstract: The article presents the results of a study and evaluation of the tidal energy potential in the Truong Sa archipelago and the DK platform, Viet Nam. With the increasing electricity demand for both the military and civilian populations on the islands, along with the requirement to research and assess the potential of renewable energy sources in the National Energy Strategy, studying and evaluating the tidal energy potential in the Spratly archipelago and the DK platform Viet Nam is a necessary task at present. The article outlines the research method and evaluation of the tidal energy potential of tidal power stations and tidal current energy. The research results indicate the following: At the surface level, the estimated tidal energy potential (AEP) ranges from 3.3 to 27.0 GWh/year; at a water depth of 20m, AEP ranges from 2.3 to 26.4 GWh/year; at a water depth of 50m, AEP ranges from 0.7 to 20.5 GWh/year. The highest AEP is found in the areas of Chim Bien, An Bang, and Truong Sa Dong, with a relatively stable range from 20.5 to 27.0 GWh/year. The research outcomes and assessment of the tidal energy potential in the Truong Sa archipelago and the DK platform Viet Nam serve as a foundation for development planning, construction, and exploitation of offshore renewable tidal energy sources to meet electricity needs for daily use, scientific marine research, and other specialized activities.

Keywords: Tidal currents; Renewable energy; Energy potential; Truong Sa archipelago and DK platform, Viet Nam.