



ĐÁNH GIÁ TIỀM NĂNG NĂNG LƯỢNG SÓNG KHU VỰC BỜ BIỂN VIỆT NAM THEO SỐ LIỆU SÓNG DÀI KỲ CỦA NOAA

Nguyễn Thanh Hoàn^{1*}, Nguyễn Thị Hải Lý², Nguyễn Minh Dũng³

Tóm tắt: Bài báo trình bày kết quả nghiên cứu về phân bố năng lượng sóng dọc bờ biển Việt Nam căn cứ theo cơ sở dữ liệu sóng mới nhất trích rút từ mô hình sóng toàn cầu WaveWatch III của Cơ quan quản lý Khí quyển và Đại dương Mỹ NOAA. Số liệu trích rút theo chuỗi thời gian timeseries với bước thời gian mỗi 3 giờ trong thời gian 35 năm từ năm 1979 đến năm 2014 bao gồm các thông số gió và sóng (tốc độ và chu kỳ gió, chiều cao và chu kỳ sóng theo hướng). Dựa trên cơ sở dữ liệu về sóng, nhóm tác giả tính toán, lập bình đồ, biểu đồ, bảng thống kê các giá trị trung bình và maximum phân bố chiều cao sóng, năng lượng sóng, timeseries dòng năng lượng sóng và hoa sóng theo từng tháng, từng mùa và cho toàn năm. Từ đó đánh giá được chi tiết về tiềm năng năng lượng sóng tại 6 vùng biển điển hình thuộc bờ biển Việt Nam từ Móng Cái đến Hà Tiên.

Từ khóa: Năng lượng sóng; dòng năng lượng sóng; sóng vùng biển Đông; thông lượng năng lượng sóng; tiềm năng năng lượng sóng.

Summary: This paper presents a new investigation on the potential of the wave energy flux distribution in the East Sea and along the coast of Vietnam based on the latest wave database obtained from the global NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) wave model. The NOAA hindcast data was extracted for wind (speed and direction) and wave parameters (wave height, wave period, wave direction) for 35 years from January 1979 to December 2014, every 3-hour a data set. Based on this newly available and highly reliable wave data, a statistical analysis was made to derive the wave energy flux for the whole East Sea. The results are presented in the forms of maps showing spatial variation, the plots and tables for the averaged and maximum values of wave height, the wave energy, the time series of wave parameters and wave energy flux for each months, each seasons and all year. Based on this, an assessment of the potential of wave energy flux was made for 6 representative regions along the coast of Vietnam, from Mong Cai to Ha Tien.

Keywords: Wave power; wave energy; spatial variation of wave; potential of wave energy.

Nhận ngày 6/6/2016, chỉnh sửa ngày 13/7/2016, chấp nhận đăng 26/12/2016



1. Đặt vấn đề

Khai thác sử dụng nguồn năng lượng tái tạo sạch hiện đang trở thành một giải pháp quan trọng trong việc đảm bảo an ninh năng lượng, bảo vệ môi trường và đa dạng hóa nguồn năng lượng trên Thế giới cũng như ở Việt Nam. Tiềm năng khai thác năng lượng tái tạo tại Việt Nam khá đa dạng gồm năng lượng gió, mặt trời, thủy điện, đại dương (sóng và triều), sinh khối, khí sinh học, ... trong đó năng lượng về sóng mới chỉ được tiếp cận nghiên cứu bước đầu và ứng dụng thử nghiệm tại Việt Nam. Các nghiên cứu bài bản ở nước ta về dạng năng lượng này mới chỉ được thực hiện ở một số ít đề tài với cơ sở dữ liệu sóng xuất phát hoặc là đã cũ, hoặc mới chỉ được xem xét trong một khoảng thời gian ngắn (1 năm) [1] nên kết quả tính toán vẫn còn có những hạn chế.

Thông số sóng nước sâu sử dụng cho các đề tài nghiên cứu, dự án xây dựng công trình ven bờ ở nước ta thường được lấy theo mô hình sóng toàn cầu WaveWatch III. Đây là mô hình sóng thế hệ thứ ba được xây dựng và phát triển bởi Trung tâm dự báo môi trường quốc gia Mỹ - NCEP (the National Centers for Environmental Prediction) thuộc Cơ quan quản lý Khí quyển và Đại dương Mỹ NOAA (the National Oceanic and Atmospheric Administration). Trước đây, NOAA công bố số liệu sóng liên tục cho chuỗi thời gian là 13 năm. Từ cuối năm 2013, đầu năm 2014, NOAA có mô hình sóng mới phát triển, lưới chi tiết và có độ phân giải cao hơn (0.5° thay cho

¹ TS, Khoa Xây dựng Công trình thủy, Trường Đại học Xây dựng.

² ThS, Khoa Xây dựng Công trình thủy, Trường Đại học Xây dựng.

³ Sinh viên, Khoa Xây dựng Công trình thủy, Trường Đại học Xây dựng.

*Tác giả chính. E-mail: hoannt@nuce.edu.vn.

1.25° trước đây), cho kết quả chính xác hơn vì phản ánh tốt hơn ảnh hưởng của trường gió biến đổi, chuỗi số liệu dài hơn (35 năm) [2]. Tuy nhiên, các kết quả này hiện chưa được ứng dụng nhiều ở Việt Nam, rất cần có những nghiên cứu chuyên sâu để khai thác số liệu ấy.

Vì vậy, nhóm tác giả thực hiện đề tài KHCN cấp Trường trọng điểm 134-2015/KH XD-TĐ [3] của Trường Đại học Xây dựng đã đi sâu tìm hiểu và khai thác các số liệu sóng mới từ mô hình tính sóng của NOAA để từ đó xây dựng cơ sở dữ liệu và đánh giá tiềm năng năng lượng sóng biển khu vực biển Đông và dọc bờ biển Việt Nam. Đây là kết quả tính toán từ chuỗi số liệu sóng dài kỳ và cập nhật mới nhất nên kết quả phản ánh về năng lượng sóng sẽ chính xác hơn, làm cơ sở cho các nghiên cứu tiếp theo về ứng dụng năng lượng sóng vào khai thác thực tế.

2. Phương pháp tính toán dòng năng lượng sóng

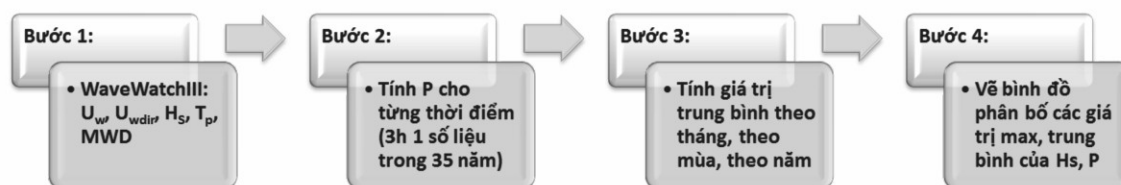
Dòng năng lượng sóng hay thông lượng năng lượng sóng là năng lượng sóng truyền theo hướng truyền sóng ngang qua một mặt phẳng thẳng đứng vuông góc với hướng sóng. Theo các tài liệu chuyên ngành như CIRIA C683 - Rock Manual [4], CEM - Coastal Engineering Manual [5], dòng năng lượng sóng đối với sóng ngẫu nhiên được xác định theo công thức rút gọn và đơn giản sau:

$$\overline{P_0} = \overline{E_0} C_{g0} = \frac{1}{2} \overline{E_0} C_{g0} = \frac{\rho g^2}{64\pi} T_e H_{s0}^2 \quad \text{trong khu vực nước sâu} \quad (1)$$

$$\overline{P} = \overline{E} C_g = \frac{1}{2} \overline{E} C = \frac{\rho g^2}{32\pi} T_e H_s^2 \quad \text{trong khu vực nước nông} \quad (2)$$

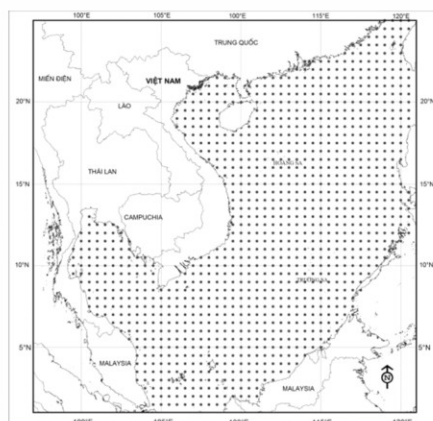
trong đó, E là năng lượng đơn vị; C_{g0} và C_g là tốc độ của nhóm sóng khu vực nước sâu và nước nông; T_e là chu kỳ sóng và được xác định thông qua T_p chu kỳ sóng đỉnh phổ, $T_e = \alpha T_p$ với α là hệ số phụ thuộc vào dạng phổ, (s); H_{s0} và H_s là chiều cao sóng có nghĩa khu vực nước sâu và nước nông, (m); ρ là trọng lượng riêng của nước, (t/m^3); g là gia tốc trọng trường, (m/s^2). Thứ nguyên của P là $[L.F/(T.L)]$, đơn vị thường dùng của P là kW/m.

Từ cơ sở lý thuyết trên, dòng năng lượng sóng được tính toán theo 4 bước (Hình 1):

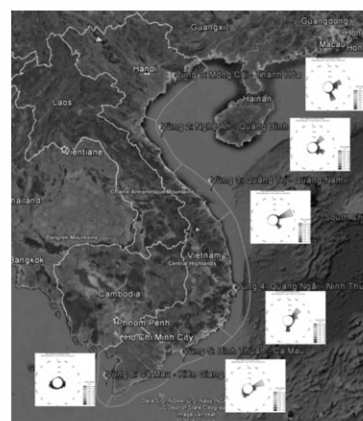


Hình 1. Các bước tính toán thông lượng năng lượng sóng

Trong đó, số liệu sóng đầu vào tại bước 1 bao gồm: vận tốc gió (U_w); hướng gió (U_{wdir}); chiều cao sóng (H_s); chu kỳ đỉnh phổ sóng (T_p); hướng sóng (MWD). Các số liệu sóng trên được trích rút từ kết quả của mô hình sóng toàn cầu Wave Watch III của NOAA [2] cho các điểm trong phạm vi khu vực biển Đông (Hình 2) với bước thời gian là 3 giờ một số liệu, thời gian khai thác số liệu là 35 năm, từ năm 1979 đến năm 2014.



Hình 2. Lưới các điểm tính toán của mô hình WaveWatchIII (khu vực biển Đông 1124 điểm)



Hình 3. Hoa sóng đặc trưng tại các vùng bờ biển Việt Nam

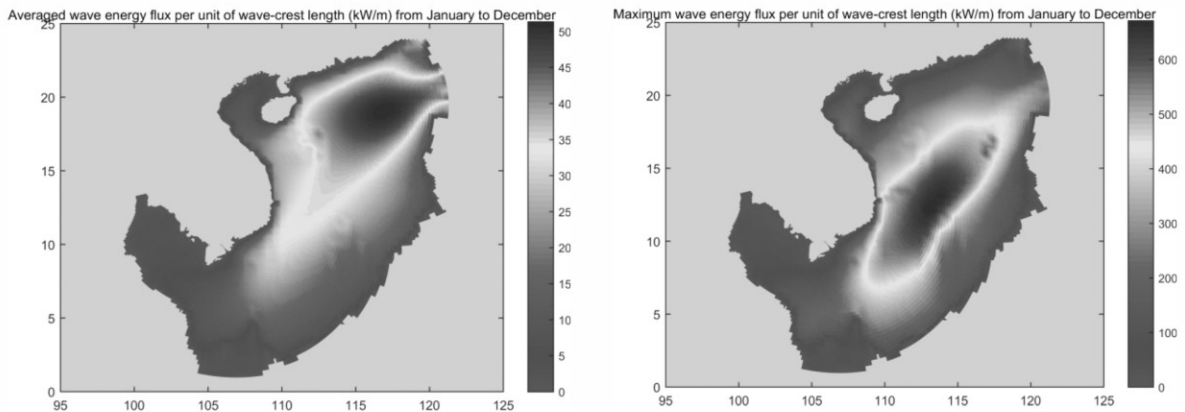
Các số liệu này trước khi đưa vào tính toán dòng năng lượng sóng tại bước 2 đã được xử lý, phân tích, tổng hợp thành các hoa tốc độ gió, hoa chiều cao sóng, hoa chu kỳ sóng theo từng tháng và cho cả năm. Hình 3 thể hiện hoa sóng đặc trưng tại 6 vùng bờ biển Việt Nam từ Móng Cái đến Hà Tiên. Từ số liệu sóng đầu vào nếu

trên, bước 3 áp dụng công thức (1) và (2) tính toán được dòng năng lượng sóng cho từng điểm có số liệu sóng thuộc khu vực tính toán. Sau đó, dùng cách nội suy tuyến tính để vẽ được bình đồ phân bố chiều cao sóng, năng lượng sóng trung bình và maximum theo từng tháng, theo mùa và theo năm, vẽ biểu đồ biến đổi theo thời gian (timeseries) của dòng năng lượng sóng, hoa dòng năng lượng sóng tại các điểm đặc trưng.



3. Năng lượng sóng biển dọc bờ biển Việt Nam

Theo kết quả tính toán, nhìn chung, dòng năng lượng sóng dọc bờ biển Việt Nam có sự phân bố khá đối xứng về hai phía bờ biển Bắc và Nam, lấy khu vực Sa Huỳnh (Quảng Ngãi) làm vị trí chuyển tiếp. Dòng năng lượng sóng đạt giá trị lớn nhất tại Quảng Ngãi và giảm dần về hai phía Bắc và Nam, đạt giá trị nhỏ nhất tại khu vực vịnh Bắc Bộ và vịnh Thái Lan (Hình 4).

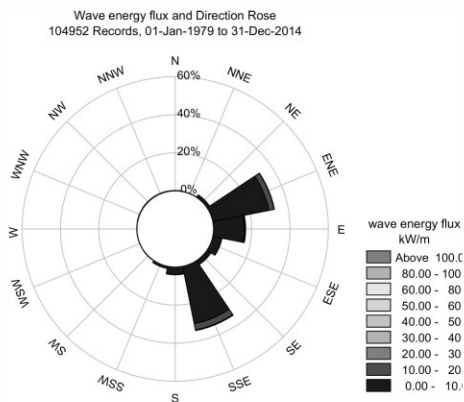


Hình 4. Dòng năng lượng sóng (P) trung bình (trái) và maximum (phải) khu vực biển Đông

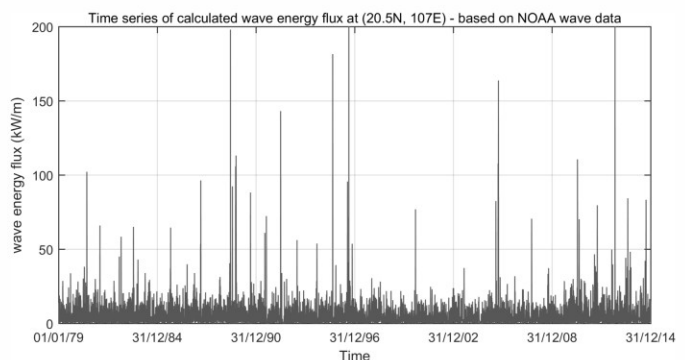
Đặc điểm dòng năng lượng sóng từng vùng bờ biển Việt Nam như sau:

3.1 Khu vực biển vịnh Bắc Bộ, từ Quảng Ninh đến Thanh Hóa

Khu vực vịnh Bắc Bộ từ Quảng Ninh đến Thanh Hóa do nằm trong Vịnh Bắc Bộ và được che chắn bởi đảo Hải Nam (Trung Quốc) nên có chế độ sóng, gió không quá phức tạp. Sóng ở đây được hình thành trong khu nước kín với đã gió hạn chế đối với các sóng đến từ hướng Bắc Đông Bắc đến Đông Đông Nam. Các sóng đến hướng Đông Đông Nam đến Nam có đã gió không hạn chế. Hoa dòng năng lượng sóng tại khu vực vịnh Bắc Bộ (Hình 5) cho thấy, dòng năng lượng sóng hướng Đông Đông Bắc và Nam Đông Nam là các hướng trội của khu vực này. Mùa đông, dòng năng lượng sóng trội theo hướng Đông Đông Bắc và mùa hè, dòng năng lượng sóng trội theo hướng Nam Đông Nam. Cấp năng lượng sóng trung bình năm lớn nhất đạt $(10 \div 20)$ kW/m.



Hình 5. Hoa dòng năng lượng sóng, Vùng 1: từ Móng Cái đến Thanh Hóa

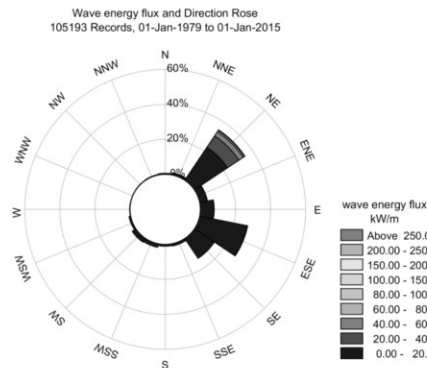


Hình 6. Biến đổi theo thời gian của dòng năng lượng sóng (35 năm), điểm đại diện: $20^{\circ}30'N$, $107^{\circ}00'E$ (vùng 1)

Biến thiên theo thời gian của dòng năng lượng sóng khu vực vịnh Bắc Bộ (Hình 6) cho thấy: dòng năng lượng sóng phổ biến nằm trong khoảng $(12 \div 18)$ kW/m, các giá trị cực bộ xuất hiện vào các thời điểm có bão, giá trị năng lượng sóng khi đó có thể lên đến $(100 \div 200)$ kW/m. Dòng năng lượng sóng lớn nhất trong năm vào khoảng tháng 7 đến tháng 10, trùng với thời điểm thường xuất hiện các cơn bão lớn đổ bộ vào khu vực này. Dòng năng lượng sóng trung bình mùa đông, mùa hè và cả năm tương đối giống nhau, khoảng $(15 \div 16)$ kW/m.

3.2 Khu vực biển Bắc Trung Bộ, từ Nghệ An đến Quảng Bình

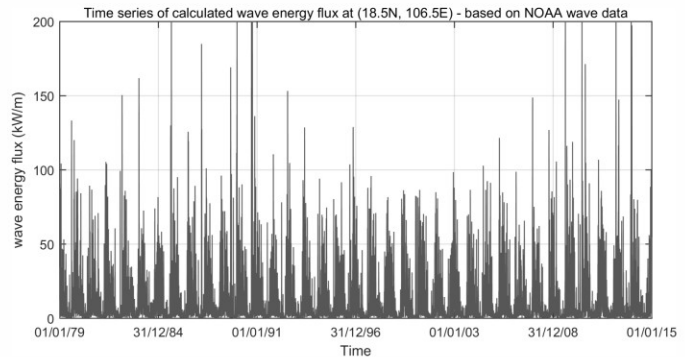
Khu vực biển Bắc Trung Bộ có đặc điểm địa hình gần tương tự như khu vực vịnh Bắc Bộ, nghĩa là có đa gió hạn chế đối với các sóng từ Bắc đến Đông Bắc nhưng không hạn chế đối với các sóng hướng Đông Đông Nam đến Nam Đông Nam.



Hình 7. Hoa dòng năng lượng sóng, Vùng 2: từ Nghệ An đến Quảng Bình

Hoa dòng năng lượng sóng của khu vực (Hình 7) phân bố tương ứng với hoa sóng với hướng trội là hướng Đông Bắc trong mùa đông và Đông Đông Nam trong mùa hè. Sóng gió mùa vào mùa đông có thể có năng lượng sóng đạt đến cấp (60 ÷ 80) kW/m, sóng mùa hè nhỏ hơn và năng lượng sóng cũng nhỏ hơn, khoảng dưới 20 kW/m.

Biến thiên theo thời gian của dòng năng lượng sóng khu vực biển Bắc Trung Bộ (Hình 8) cho thấy: dòng năng lượng sóng ở khu vực này có giá trị biến thiên trong khoảng rất rộng và phân biệt rất rõ trong những tháng mùa đông (tháng 9 đến tháng 2) và các tháng mùa hè (tháng 4 đến tháng 8). Biến thiên năng lượng sóng nằm trong phổ rộng, điều kiện thường có thể rất nhỏ khoảng 10 kW/m, nhưng cũng có lúc lại rất lớn khoảng 80 kW/m, trung bình khoảng 25 kW/m, trong điều kiện bão năng lượng sóng có thể lên đến (150 ÷ 200) kW/m. Mùa đông, giá trị trung bình dòng năng lượng sóng khoảng 28 kW/m, mùa hè chỉ khoảng 5 kW/m.

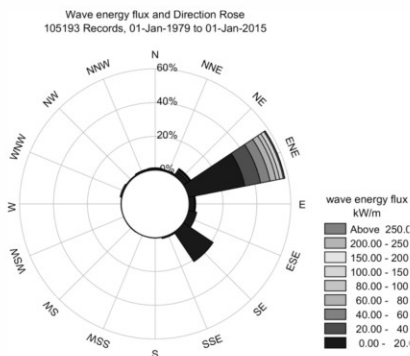


Hình 8. Biến đổi theo thời gian của dòng năng lượng sóng (35 năm), điểm đại diện: 18°30'N, 106°30'E (vùng 2)

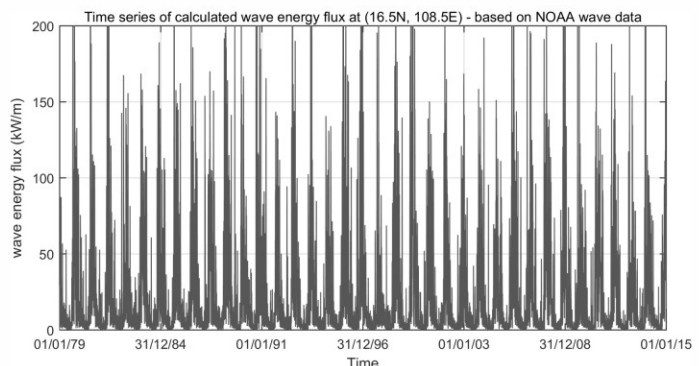
3.3 Khu vực biển Trung Trung Bộ, từ Quảng Trị đến Quảng Nam

Biển Trung Trung Bộ là có đường bờ biển phát triển theo hướng Tây Bắc - Đông Nam, vuông góc với hướng Đông Bắc là hướng gió chủ đạo trong mùa đông. Phân bố dòng năng lượng sóng (Hình 9) tương tự như phân bố chiều cao sóng với hướng chủ đạo là hướng Đông Đông Bắc trong mùa đông và Đông Nam trong mùa hè, các hướng khác có tần suất không đáng kể. Dòng năng lượng sóng gió mùa lớn nhất trong mùa đông ở khu vực này có thể đạt cấp (100 ÷ 150) kW/m nhưng mùa hè lại không đáng kể, nhỏ hơn 20 kW/m.

Biến thiên theo thời gian của dòng năng lượng sóng khu vực biển Trung Trung Bộ (Hình 10) cho thấy: dòng năng lượng sóng ở khu vực này lớn hơn rất nhiều so với các khu vực 1 và 2. Giá trị dòng năng lượng sóng cũng biến thiên trong khoảng rất rộng và phân biệt rất rõ trong những tháng mùa đông (tháng 9 đến tháng 2) và các tháng mùa hè (tháng 4 đến tháng 8). Biến thiên năng lượng sóng nằm trong phổ rộng, điều kiện thường có thể rất nhỏ khoảng 10 kW/m, nhưng cũng có lúc lại rất lớn khoảng 120 kW/m, trung bình khoảng 38 kW/m, điều kiện bão năng lượng sóng có thể vượt qua giá trị 200 kW/m. Giá trị trung bình dòng năng lượng sóng mùa đông khoảng 35 kW/m, mùa hè chỉ khoảng 5 kW/m.



Hình 9. Hoa dòng năng lượng sóng, Vùng 3: từ Quảng Trị đến Quảng Nam

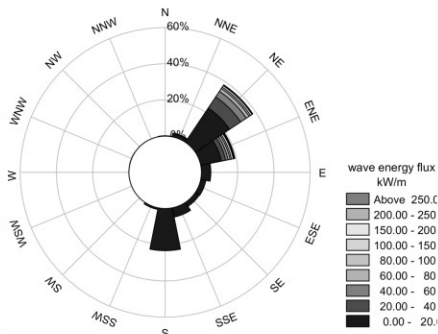


Hình 10. Biến đổi theo thời gian của dòng năng lượng sóng (35 năm), điểm đại diện: 16°30'N, 108°30'E (vùng 3)

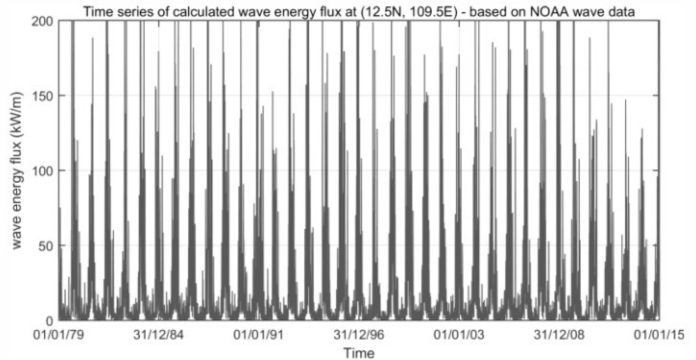
3.4 Khu vực biển Nam Trung Bộ, từ Quảng Ngãi đến Ninh Thuận

Bờ biển Nam Trung Bộ là khu vực có đường bờ theo hướng Bắc - Nam, tiếp xúc trực diện với biển Đông. Phân bố dòng năng lượng sóng (Hình 11) tương đồng với phân bố chiều cao sóng, trong đó hướng trội là hướng Đông Bắc và Đông Đông Bắc trong mùa đông, hướng Nam trong mùa hè. Năng lượng sóng trung bình lớn nhất trong mùa đông đạt cấp $(100 \div 150)$ kW/m, mùa hè lại không đáng kể, nhỏ hơn 20 kW/m.

Wave energy flux and Direction Rose
105193 Records, 01-Jan-1979 to 01-Jan-2015



Hình 11. Hoa dòng năng lượng sóng, Vùng 4: từ Quảng Ngãi đến Ninh Thuận



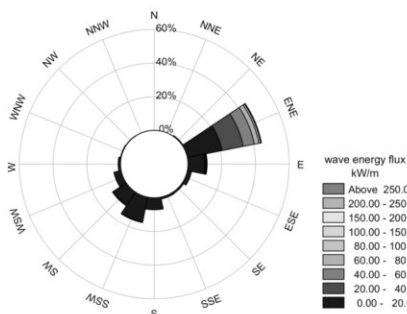
Hình 12. Biến đổi theo thời gian của dòng năng lượng sóng (35 năm), điểm đại diện: $12^{\circ}30'N$, $109^{\circ}30'E$ (vùng 4)

Biến thiên theo thời gian của dòng năng lượng sóng khu vực biển Nam Trung Bộ (Hình 12) cho thấy: dòng năng lượng sóng ở khu vực này tương đương với khu vực 3. Dòng năng lượng sóng nổi trội trong những tháng mùa đông (tháng 10 đến tháng 3) và không đáng kể trong các tháng mùa hè (tháng 4 đến tháng 8). Giá trị năng lượng sóng trong điều kiện thường trung bình đạt khoảng 80 kW/m, nhưng các giá trị năng lượng sóng trên mức 120 kW/m cũng chiếm tỷ lệ lớn, điều kiện bão năng lượng sóng vượt qua giá trị 200 kW/m. Mùa đông giá trị trung bình dòng năng lượng sóng đạt khoảng 40 kW/m, mùa hè khoảng 30 kW/m.

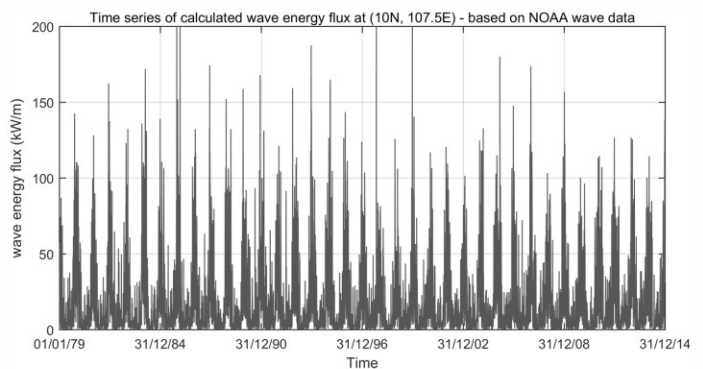
3.5 Khu vực biển Nam Bộ, từ Bình Thuận đến Cà Mau

Khu vực này có đường bờ biển theo hướng Đông Bắc - Tây Nam. Phân bố năng lượng sóng (Hình 13) tương tự như phân bố chiều cao và chu kỳ sóng, trội theo hướng Đông Đông Bắc trong mùa đông và Nam Tây Nam trong mùa hè. Dòng năng lượng sóng mùa đông đạt giá trị lớn nhất trong khoảng $(80 \div 100)$ kW/m, mùa hè lại không đáng kể, dưới 20 kW/m.

Wave energy flux and Direction Rose
104952 Records, 01-Jan-1979 to 31-Dec-2014



Hình 13. Hoa dòng năng lượng sóng, Vùng 5: từ Bình Thuận đến mũi Cà Mau

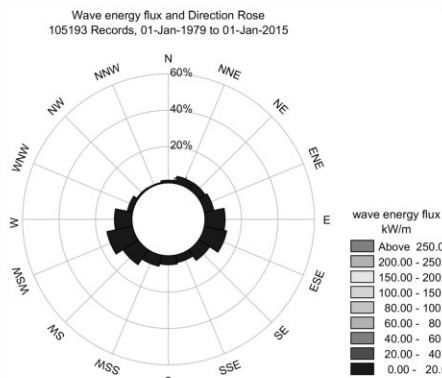


Hình 14. Biến đổi theo thời gian của dòng năng lượng sóng (35 năm), điểm đại diện: $10^{\circ}00'N$, $107^{\circ}30'E$ (vùng 5)

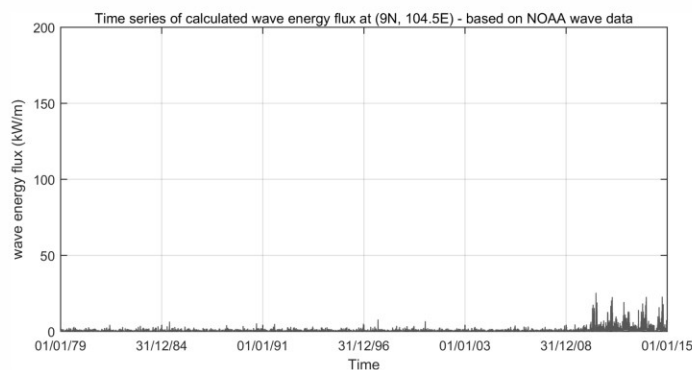
Biến thiên dòng năng lượng sóng tại khu vực (Hình 14) cho thấy năng lượng sóng trội hơn trong mùa đông và giảm trong mùa hè. Năng lượng sóng trung bình trong điều kiện thường đạt khoảng 30 kW/m, điều kiện bão có thể lên tới 180 kW/m. Dòng năng lượng sóng trung bình mùa đông vào khoảng 32 kW/m, mùa hè khoảng 18 kW/m.

3.6 Khu vực biển giáp vịnh Thái Lan, từ Cà Mau đến Kiên Giang

Đây là vùng vịnh kín, chế độ sóng và gió đều không quá phức tạp. Dòng năng lượng sóng (Hình 15) và biến thiên năng lượng sóng theo thời gian (Hình 16) cho thấy, năng lượng sóng tại khu vực rất nhỏ, không đáng kể, trung bình chỉ khoảng $(2 \div 5)$ kW/m và thời gian có thể khai thác năng lượng này trong năm cũng rất ít, chỉ khoảng 1 đến 2 tháng mùa hè. Vì vậy, khai thác biển ở khía cạnh năng lượng ở khu vực này sẽ khó khăn.



Hình 15. Hoa dòng năng lượng sóng, Vùng 6: từ Cà Mau đến Kiên Giang



Hình 16. Biến đổi theo thời gian của dòng năng lượng sóng (35 năm), điểm đại diện: $09^{\circ}00'N$, $104^{\circ}30'E$ (vùng 6)



4. Kết luận và Kiến nghị

- Năng lượng sóng khu vực biển Đông dọc bờ biển Việt Nam có sự phân bố khá đối xứng về hai phía bờ biển Bắc và Nam với khu vực Sa Huỳnh (Quảng Ngãi) là vị trí chuyển tiếp, nghĩa là dòng năng lượng sóng đạt giá trị lớn nhất tại Quảng Ngãi và giảm dần về hai phía Bắc và Nam, đạt giá trị nhỏ nhất tại khu vực vịnh Bắc Bộ và vịnh Thái Lan. Dòng năng lượng sóng khu vực vịnh Bắc Bộ đạt giá trị trung bình khoảng $(10 \div 20)$ kW/m, lớn nhất khoảng $(35 \div 50)$ kW/m. Khu vực vịnh Thái Lan trung bình chỉ đạt $(2 \div 5)$ kW/m, lớn nhất cũng chỉ đạt 20kW/m trong bão. Khu vực Trung Trung Bộ có năng lượng sóng trung bình khoảng 30 kW/m, lớn nhất đạt khoảng 250 kW/m trong bão.

- Nếu so sánh với các khu vực khai thác hiệu quả tiềm năng năng lượng sóng biển trên Thế giới (Mỹ, Canada, châu Âu, Australia) có năng lượng sóng trên 25kW/m thì khu vực có tiềm năng khai thác dòng năng lượng sóng nhiều nhất sát bờ biển nước ta chỉ có vùng Trung Trung Bộ từ Đà Nẵng đến Phan Thiết và tại các đảo, quần đảo ở cách xa bờ. Khu vực bờ biển Bắc Bộ, Bắc Trung Bộ, Nam Bộ và vịnh Thái Lan có năng lượng sóng trung bình khá nhỏ, nếu khai thác sẽ cần phải đưa các thiết bị ra xa bờ mới đạt được hiệu quả sử dụng.

- Các kết quả nghiên cứu về trường năng lượng sóng khu vực bờ biển Việt Nam nêu trên là các kết quả mới nhất, có tính cập nhật và có độ tin cậy do sử dụng nguồn số liệu sóng, gió dài kỳ (35 năm, từ 1979 đến 2014) của cơ quan quản lý Khí quyển và Đại dương Mỹ - NOAA. Các bình đồ, biểu đồ dạng timeseries, hoa năng lượng sóng cho từng vùng bờ biển Việt Nam là các cơ sở dữ liệu tin cậy để áp dụng cho ngành năng lượng sóng, một dạng năng lượng tái tạo đang còn mới mẻ ở Việt Nam./.

Tài liệu tham khảo

1. Vũ Hữu Hải & NNK (2015), *Nghiên cứu ứng dụng giải pháp kết hợp công trình dề chắn sóng với trạm năng lượng sóng biển ở Việt Nam*, Đề tài KH&CN trọng điểm cấp Bộ, B2012-03-05.
2. National Oceanic and Atmospheric Administration - USA (2015), NCEP, *WaveWatchIII Data*
3. Nguyễn Thanh Hoàn, Nguyễn Thị Hải Lý, Nguyễn Minh Dũng (2016), *Nghiên cứu tính toán năng lượng sóng biển khu vực biển Đông theo số liệu dài kỳ về sóng của NOAA*, Đề tài KH&CN cấp Trường trọng điểm, 134-2015/KHXD-TĐ.
4. CIRIA (2007), *The Rock Manual - The use of rock in hydraulic engineering (2nd edition)*, London
5. U.S. Army Coastal Engineering Research Center (2002), *Coastal Engineering Manual*, USA