

# Mô phỏng khả năng giảm sóng của kè cọc ly tâm bằng mô hình Flow-3D

Dư Duy Linh<sup>1</sup>, Phạm Đại Bằng<sup>2</sup>, Đinh Văn Duy<sup>3\*</sup>, Cao Tấn Ngọc Thân<sup>3</sup>, Trần Văn Tỷ<sup>3</sup>, Trần Gia Bảo<sup>4</sup>, Trần Hiếu Đức<sup>5</sup>

<sup>1</sup> Trường Bách Khoa, Trường Đại học Cần Thơ;

<sup>2</sup> Ban Quản lý dự án đầu tư xây dựng công trình dân dụng và công nghiệp tỉnh Hậu Giang;

<sup>3</sup> Khoa Kỹ thuật Thủy lợi, Trường Bách Khoa, Trường Đại học Cần Thơ;

<sup>4</sup> Trường Đại học Kỹ thuật - Công nghệ Cần Thơ

<sup>5</sup> Công ty TNHH Thương mại Dịch vụ Xây dựng Phương Vy

## TỪ KHÓA

Flow-3D  
Giảm sóng  
Kè ly tâm  
Mô hình số  
Chiều cao sóng

## TÓM TẮT

Nghiên cứu này được thực hiện nhằm mô tả khả năng giảm sóng của kè cọc ly tâm bằng mô hình thủy lực Flow-3D. Các số liệu đầu vào của mô hình như kết cấu kè, địa hình đáy, mực nước và số liệu gió được thu thập từ hồ sơ thiết kế kè và nguồn số liệu gió được cung cấp miễn phí từ Vortex FDC. Số liệu sóng thực đo cũng được sử dụng để so sánh với kết quả mô phỏng. Kết quả mô phỏng cho thấy chiều cao sóng lớn nhất trước kè đạt 0,69 m và chiều cao sóng lớn nhất sau kè đạt 0,24 m. Hiệu quả giảm sóng của kè cọc ly tâm mô phỏng bằng Flow-3D đạt 65 % đối với chiều cao sóng lớn nhất ( $H_{max}$ ) và 69 % cho chiều cao sóng có nghĩa ( $H_s$ ); trong khi đó, hiệu quả giảm sóng tính toán từ số liệu sóng thực đo là 86 % cho chiều cao sóng lớn nhất ( $H_{max}$ ) và 82 % cho chiều cao sóng có nghĩa ( $H_s$ ).

## KEYWORD

Flow-3D  
Wave reduction  
Pile-rock breakwater  
Numerical model  
Wave height

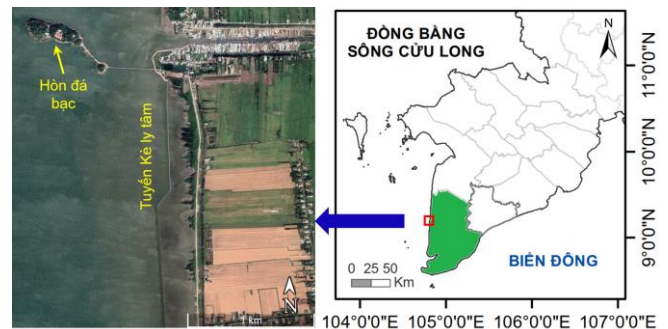
## ABSTRACT

The objective of this study is to model the wave reduction effectiveness of the pile-rock breakwater using Flow-3D. Input data such as breakwater geometry, bathymetry, water level and wind condition were collected from the shop drawings of the breakwater and the wind resource data from Vortex FDC. Measured wave heights are used to compare with the modelling results. The modelling results show that maximum wave heights in front of and behind the breakwaters are 0,69 m and 0,24 m, respectively. The wave reduction effectiveness from the Flow-3D model is 65% for maximum wave height ( $H_{max}$ ) and 69% for significant wave height ( $H_s$ ) while the wave reduction effectiveness from the measured data is 86% for maximum wave height ( $H_{max}$ ) and 82% for significant wave height ( $H_s$ ).

## 1. Mở đầu

Xói lở bờ biển đang xảy ra ngày càng nghiêm trọng tại Đồng bằng sông Cửu Long (ĐBSCL) [1-3]. Vì vậy, chống xói lở bờ biển đang là một nhiệm vụ cấp bách của các địa phương ven biển ở ĐBSCL. Một trong các giải pháp bảo vệ bờ đang được áp dụng rộng rãi ở ĐBSCL là kè phá sóng (breakwater) với các kết cấu khác nhau. Hiện nay có ba kết cấu kè phá sóng chính được áp dụng ở ĐBSCL là: (1) kè cọc ly tâm, (2) kè Busadco và (3) kè bán nguyệt [4]. Trong đó, các kết quả nghiên cứu gần đây cho thấy kè cọc ly tâm có tính ổn định cao nhất trong ba loại kết cấu kể trên [5, 6]. Tuy nhiên, việc đánh giá khả năng giảm sóng của kè cọc ly tâm còn phụ thuộc nhiều vào kết quả đo đạc sóng tại hiện trường và thí nghiệm vật lý trong phòng [4, 6-8]. Việc đo đạc sóng tại hiện trường hoặc sử dụng mô hình vật lý tuy cho kết quả chính xác và tin cậy tuy nhiên không thể tránh khỏi những khó khăn sau: (1) chi phí cao; (2) khó có thể đo được liên tục trong một thời gian dài và (3) nguy hiểm cho kỹ thuật viên khi lắp đặt thiết bị đo đạc tại thời điểm sóng

lớn. Vì những lý do nêu trên, bài báo này trình bày một phương pháp có độ an toàn và tính kinh tế hơn bằng việc sử dụng mô phỏng khả năng giảm sóng của kè cọc ly tâm trên máy tính thông qua mô hình thủy lực ba chiều Flow-3D với khu vực nghiên cứu là đoạn kè chống xói lở bờ biển Tây huyện Trần Văn Thời, tỉnh Cà Mau (Hình 1).



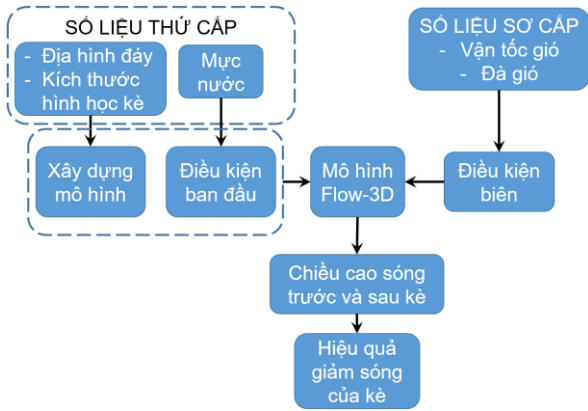
Hình 1. Khu vực nghiên cứu.

\*Liên hệ tác giả: dveduy@ctu.edu.vn

Nhận ngày 12/05/2023, sửa xong ngày 30/05/2023, chấp nhận đăng 31/06/2023

Link DOI: <https://doi.org/10.54772/jomc.04.2023.537>

**2. Phương pháp nghiên cứu**



**Hình 2.** Sơ đồ nghiên cứu.

Các bước nghiên cứu được tiến hành như trong sơ đồ trên Hình 2. Đầu tiên, các số liệu sơ cấp và thứ cấp sẽ được thu thập. Sau khi thu thập, các số liệu địa hình đáy và kích thước hình học kè sẽ được sử dụng để dựng mô hình ba chiều. Số liệu mực nước và điều kiện gió sẽ được sử dụng để gán điều kiện ban đầu và điều kiện biên cho mô hình. Sau khi chạy mô hình, các số liệu về chiều cao sóng trước và sau kè sẽ được trích xuất để đánh giá hiệu quả giảm sóng của kè.

**2.1. Thu thập số liệu thứ cấp**

Các số liệu thứ cấp về mực nước, điều kiện sóng, địa hình đáy, kích thước hình học của kè cọc ly tâm được thu thập từ hồ sơ khảo sát, thiết kế BVTC-DT Xây dựng đoạn kè bảo vệ bờ Biển Tây tỉnh Cà Mau [9].

Số liệu gió được thu thập từ Vortex FDC và được thể hiện như trên Hình 4. Để đảm bảo đà gió bằng  $10^5$  m như trong hướng dẫn mô phỏng điều kiện biên bằng phổ sóng Jonswap của Flow-3D [10], số liệu gió được chiết xuất tại điểm W ( $9.201^{\circ}$ ;  $103.897^{\circ}$ ) cách bờ biển Tây tỉnh Cà Mau khoảng  $10^5$  m.



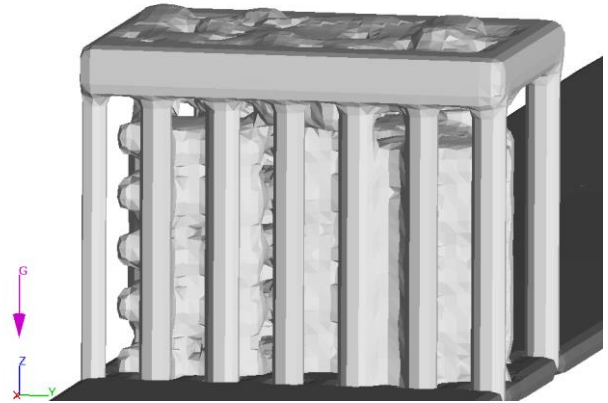
**Hình 3.** Số liệu gió khu vực nghiên cứu.

**2.2. Xây dựng mô hình Flow-3D**

Để thực hiện mô phỏng lan truyền sóng qua kè cọc ly tâm, một mô hình ba chiều của cọc ly tâm được dựng trên địa hình đáy biển thực đo

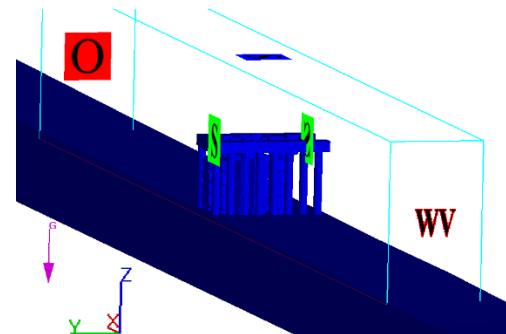
tại khu vực nghiên cứu. Các số liệu dùng để xây dựng mô hình được thu thập từ hồ sơ thiết kế kè cọc ly tâm tại khu vực bờ biển tây tỉnh Cà Mau.

Vì khu vực nghiên cứu có chiều cao sóng tương đối nhỏ trong khoảng từ 0,4 đến 0,7 m [11] nên trong nghiên cứu này, các ô lưới cấu trúc với kích thước các cạnh bằng nhau và bằng 0,1 m được sử dụng để có thể mô phỏng được chiều cao sóng tại khu vực nghiên cứu. Mô hình kè cọc ly tâm đổ đá với kích thước lưới cấu trúc đều 0,1 m sau khi kết xuất (render) được mô tả như trên Hình 4.



**Hình 4.** Mô hình kè cọc ly tâm đổ đá sau khi kết xuất với kích thước lưới cấu trúc 0,1 m và G là gia tốc trọng trường.

Trong mô hình này, sóng được mô phỏng lan truyền theo phương X. Vì vậy, điều kiện biên về sóng sẽ được gán cho biên Xmin và điều kiện dòng chảy ra (Outflow) sẽ được gán cho biên Xmax. Các biên còn lại theo phương Y và Z sẽ được để ở chế độ mặc định là đối xứng (phù hợp cho việc mô phỏng một lát cắt cho một đơn nguyên kè ly tâm như trong mô hình này).



**Hình 5.** Điều kiện biên của mô hình với biên đầu vào là sóng (Waves) và biên đầu ra là dòng chảy (Outflow).

Đối với điều kiện biên về sóng (Wave) cho biên Xmin. Sóng được mô phỏng theo điều kiện sóng ngẫu nhiên (random waves) với phổ sóng Jonswap là dạng phổ sóng thích hợp để mô phỏng sóng ở vùng biển Việt Nam [12]. Điều kiện biên về sóng ngẫu nhiên được mô phỏng bằng cách cộng tác dụng của nhiều con sóng tuyến tính (linear waves) với biên độ, chu kỳ và pha khác nhau:

$$\eta = \sum_{j=1}^N a_j \cos(k_j x - \omega_j t + \varphi_j) \quad (1)$$

Trong đó:

- $N$  là tổng số lượng sóng tuyến tính;
- $t$  là thời gian;
- $x$  là phương lan truyền sóng;
- $a_j$  là biên độ sóng;
- $\omega_j$  là tần suất;
- $k_j$  là chiều dài sóng;
- $\varphi_j$  là phương ban đầu;

Phổ sóng Jonswap được mô tả thông qua đà gió theo công thức sau:

$$E(\omega) = \frac{\alpha g^2}{\omega^5} \exp\left[-\frac{5}{4}\left(\frac{\omega_p}{\omega}\right)^4\right] \gamma \exp\left[-\frac{(\omega-\omega_p)^2}{2\sigma^2\omega_p^2}\right] \quad (2)$$

Trong đó:

$$\omega_p = 22 \left[\frac{g^2}{v_{10} F}\right]^{0,22};$$

- $F$  là đà gió;
- $\alpha = 0,076 \left[\frac{v_{10}^2}{Fg}\right]^{0,22};$
- $\gamma = 3,3;$  (theo nghiên cứu của Lê Thanh Chương và ctv., 2020) [13]
- $\sigma = 0,07$  với  $\omega \leq \omega_p;$
- $\sigma = 0,09$  với  $\omega \geq \omega_p;$

Với cơ sở lý thuyết như trên và điều kiện gió chiết xuất tại khu vực bờ biển Tây tỉnh Cà Mau, điều kiện biên về sóng tại biên Xmin được khai báo như sau:

**Bảng 1.** Các thông số điều kiện biên mô hình.

TT	Thông số	Giá trị
1	Đà gió (m)	10 <sup>5</sup>
2	Vận tốc gió trung bình (m/s)	3,9
3	Hệ số $\gamma$	3,3

Trong Flow 3D, các sóng được giả định lan truyền từ ngoài khơi trên một địa hình đáy phẳng và đạt được điều kiện sóng như mô phỏng tại biên trước khi truyền vào miền tính toán. Vì vậy, chiều cao cột nước trong khu vực tính toán gần kè không bị ảnh hưởng bởi các điều kiện xa bờ. Do đó, điều kiện ban đầu được gán cho khu vực tính toán là chiều sâu cột nước trung bình khu vực trước kè ( $h = 0,76$  m).

### 2.3. Hiệu quả giảm sóng của kè

Các số liệu sóng sau khi mô phỏng sẽ được chiết xuất và thống kê để đánh giá hiệu quả giảm chiều cao sóng trước và sau công trình tại các vị trí trước và sau kè với khoảng cách từ các điểm trích xuất dữ liệu đến tim kè bằng 15 m như trên Hình 6.

Các số liệu sóng dùng để đánh giá hiệu quả giảm sóng là chiều cao sóng lớn nhất  $H_{max}$  và chiều cao sóng có nghĩa  $H_s$ . Trong đó,  $H_{max}$  và  $H_s$  được tính toán như sau [14]:

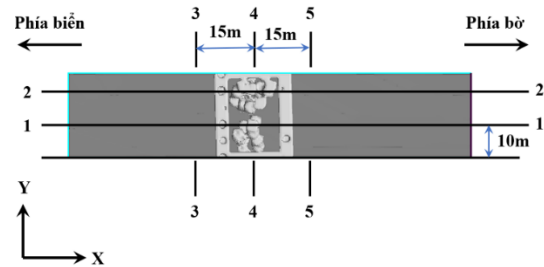
$$H \max\{H_1, H_2, \dots, H_n\}_{max} \quad (3)$$

$$H_s = \frac{1}{\frac{1}{3}N} \sum_{n=1}^{\frac{1}{3}N} H_n \quad (4)$$

Trong đó  $H_n$  là chiều cao sóng thứ  $n$  trong khoảng 1/3 sóng có

chiều cao lớn nhất của  $N$  số liệu sóng.

Hiệu quả giảm chiều cao sóng và năng lượng sóng được tính toán thông qua các công thức như trong nghiên cứu của Thuận và ctv. (2021) [6].

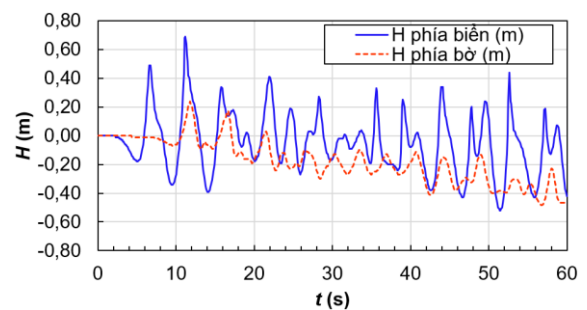


**Hình 6.** Sơ đồ các mặt cắt trích xuất dữ liệu chiều cao sóng.

### 3. Kết quả

#### 3.1. Chiều cao sóng trước và sau kè

Chiều cao sóng trước và sau kè được trình bày như trên Hình 7. Hình 7 mô tả chiều cao sóng được mô phỏng trong khoảng thời gian 60 s với đường liền nét là chiều cao sóng trước kè và đường đứt nét là chiều cao sóng sau kè. Có thể nhận thấy chiều cao sóng giảm rõ rệt sau khi truyền qua kè. Cụ thể, chiều cao sóng phía trước kè dao động trong khoảng từ 0,1 – 0,7 m trong khi chiều cao sóng phía sau kè dao động trong khoảng từ 0 – 0,2 m. Điều này thể hiện rõ hiệu quả giảm sóng của kè cọc ly tâm.



**Hình 7.** Chiều cao sóng trước kè (phía biển) và sau kè (phía bờ).

#### 3.2. Hiệu quả giảm sóng của kè

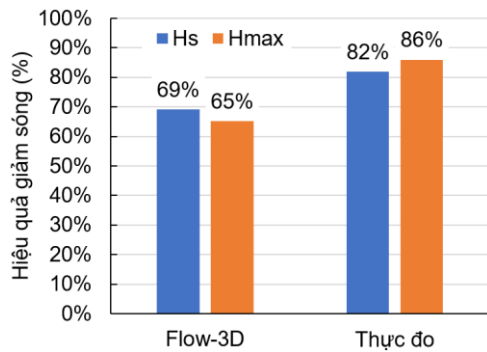
Sau khi trích xuất số liệu và thống kê chiều cao sóng theo các công thức, chiều cao sóng lớn nhất  $H_{max}$  và chiều cao sóng có nghĩa  $H_s$  phía trước và sau kè được xác định như trong Bảng 2.

**Bảng 2.** Chiều cao sóng phía trước và sau kè.

$H_{max}$ (m)		$H_s$ (m)	
Phía biển	Phía bờ	Phía biển	Phía bờ
0,69	0,24	0,43	0,13

Từ các chiều cao sóng thống kê, hiệu quả giảm sóng của kè cọc

ly tâm đối với các chiều cao sóng được tính toán và trình bày trên Hình 8. Các kết quả từ số liệu thực đo cũng được trình bày để so sánh với kết quả mô phỏng từ mô hình Flow-3D.



**Hình 8.** So sánh hiệu quả giảm chiều cao sóng của kè cọc ly tâm giữa kết quả mô phỏng và kết quả thực đo.

Có thể nhận thấy hiệu quả giảm chiều cao sóng của kè cọc ly tâm khi mô phỏng bằng mô hình Flow-3D cho kết quả thấp hơn so với kết quả tính toán từ số liệu sóng thực đo (60 % - 70 % so với 80 % - 90 %). Một trong các nguyên nhân gây ra sai số giữa mô hình và kết quả thực đo là mật độ của đá học trong kè. Trong nghiên cứu này, khoảng cách giữa các viên đá học được tạo một cách ngẫu nhiên và sai số giữa mật độ đá theo mô phỏng và thực tế có là điều hiển nhiên. Trong các nghiên cứu tiếp theo, hệ số rỗng cần được sử dụng để có thể mô tả mật độ đá học trong kè sát với điều kiện thực tế [15].

#### 4. Kết luận

Mô hình thủy lực ba chiều Flow-3D được sử dụng để mô phỏng hiệu quả giảm sóng của kè cọc ly tâm trong thực tế. Số liệu mô phỏng từ mô hình được so sánh với số liệu thực đo. Kết quả mô phỏng cho thấy hiệu quả giảm chiều cao sóng đáng kể của kè cọc ly tâm (60 % - 70 %). Tuy nhiên, kết quả mô phỏng bằng mô hình cho hiệu quả giảm sóng thấp hơn so với số liệu thực đo (60 % - 70 % so với 80 % - 90 %).

#### Lời cảm ơn

Tập thể tác giả chân thành cảm ơn Công ty Flow Science, Inc. đã cung cấp bản quyền miễn phí phần mềm Flow-3D (Hydro) cho Khoa Công Nghệ - Trường Đại học Cần Thơ (hiện nay là Trường Bách Khoa - Trường Đại học Cần Thơ) nhằm phục vụ mục tiêu đào tạo và nghiên cứu.

Đề tài này được tài trợ bởi Trường Đại học Cần Thơ, Mã số: T2023-101.

#### Tài liệu tham khảo

[1]. Diễm, P.K., D. Van Den, V.Q. Minh, and N.T.H. Điệp, *Đánh giá tình hình sạt*

*lở, bồi tụ khu vực ven biển tỉnh Cà Mau và Bạc Liêu từ 1995-2010 sử dụng viễn thám và công nghệ GIS*. Tạp chí Khoa học Trường Đại học Cần Thơ, 2013(26): p. 35-43.

[2]. Anthony, E.J., G. Brunier, M. Besset, M. Goichot, P. Dussouillez, and V.L. Nguyen, *Linking rapid erosion of the Mekong River delta to human activities*. Scientific Reports, 2015. 5(1): p. 14745.

[3]. Li, X., J.P. Liu, Y. Saito, and V.L. Nguyen, *Recent evolution of the Mekong Delta and the impacts of dams*. Earth-Science Reviews, 2017. 175: p. 1-17.

[4]. Le Xuan, T., H.T. Ba, V.Q. Thanh, D.P. Wright, A.H. Tanim, and D.T. Anh, *Evaluation of coastal protection strategies and proposing multiple lines of defense under climate change in the Mekong Delta for sustainable shoreline protection*. Ocean & Coastal Management, 2022. 228: p. 106301.

[5]. Vũ, Đ.T., T.C. Dân, H.T.T. Nữ, N.H. Tuấn, and C.T. Văn, *Một số giải pháp phục hồi và phát triển rừng ngập mặn phù hợp cho khu vực ven biển Tây, Việt Nam*. Tạp chí khí tượng thủy văn, 2021. 730: p. 8-21.

[6]. Thuận, N.N., T.V. Tỷ, T.V. Hùng, H.T.C. Hồng, H.N. Nhạn, T.H. Lâm, Đ.V. Duy, T.K. Hải, T.V. Tuấn, and T.M. Quảng, *Đánh giá hiệu quả của các công trình kè giảm sóng tại bờ biển Tây tỉnh Cà Mau*. Tạp chí Khí tượng Thủy văn, 2021. 732: p. 93-105.

[7]. Nguyen, N.-M., D.D. Van, D.T. Le, S.D. Cong, L.T. Chuong, T.D. Hai, T.C. Nguyen, D. Wright, A.H. Tanim, N.T. Pham, P.N. Thanh, and D.T. Anh, *Experimental and numerical modeling of pile-rock breakwater gap arrangement for optimal coastal erosion protection in deltaic coasts*. Ocean Engineering, 2023. 280: p. 114625.

[8]. Le, C.T., D.V. Do, D.B. Nguyen, and P. Wang *A Laboratory Scale of the Physical Model for Inclined and Porous Breakwaters on the Coastline of Soc Trang Province (Mekong Delta)*. Water, 2023. 15, DOI: 10.3390/w15071366.

[9]. WB, *Khảo sát, thiết kế BVTC-DT Xây dựng kè bảo vệ bờ Biển Tây (Từ Sào Lưỡi đến Ba Tĩnh)*, in *Đầu tư xây dựng cơ sở hạ tầng để phòng, chống xói lở bờ biển, cung cấp nước ngọt và phục vụ nuôi tôm - rừng vùng ven biển Tỉnh Cà Mau thuộc dự án “Chống chịu khí hậu tổng hợp và sinh kế bền vững Đồng bằng Sông Cửu Long- ICRSL*. 2019, Ban quản lý các dự án ODA&NGO tỉnh Cà Mau: Cà Mau. p. 50.

[10]. Dentale, F., G. Donnarumma, E.P. Carratelli, V. Giovanni, P. Ii, and F. Sa, *A new numerical approach to the study of the interaction between wave motion and rubble mound breakwaters*. Latest Trends in Engineering, Mechanics, Structures and Engineering Geology, 2014: p. 45-52.

[11]. Zemann, M., R. van der Linden, D. Trinh Cong, D.H.T. Vu, N.M. Nguyen, F. Seidel, P. Oberle, F. Nestmann, and A.H. Fink, *Modelling ocean wave conditions at a shallow coast under scarce data availability—A case study at the western coast of the Mekong Delta, Vietnam*. EGUsphere, 2023: p. 1-22.

[12]. [TÀI, T.V., H.N. Quang, and M.C.H.U. Anh, *TỔNG QUAN VỀ CÁC MÔ HÌNH SÓNG ĐƯỢC SỬ DỤNG TRONG NGHIÊN CỨU DAO ĐỘNG CỦA TÀU TRÊN SÓNG*. Tạp chí Khoa học Công nghệ Hàng hải, 2019(59): p. 37-41.

[13]. Lê Thanh Chương, L.X.T. and Đ.V. Dương, *Nghiên cứu ảnh hưởng của cấu kiện rỗng đến sự thay đổi thông số sóng trên mô hình máng sóng*. Tạp chí khoa học và công nghệ Thủy Lợi, Viện khoa học Thủy Lợi Việt Nam, số 59 ISSN: 1859-4255, 04, 2020.

[14]. van Rijn, L.C., *Longshore sand transport*, in *Coastal Engineering 2002: Solving Coastal Conundrums*. 2003, World Scientific. p. 2439-2451.

[15]. Nguyen, N.-M., D. Do Van, D.T. Le, T.D. Hai, T.C. Nguyen, D. Wright, A.H. Tanim, N.T. Pham, P.N. Thanh, and D.T. Anh, *Experimental and numerical modeling of pile-rock breakwater gap arrangement for optimal coastal erosion protection in deltaic coasts*. Ocean Engineering, 2023. 280: p. 114625.