

PHỤC HỒI RỪNG NGẬP MẶN BẰNG TƯỜNG MỀM DỌC BỜ BIỂN ĐỒNG BẰNG SÔNG CỬU LONG: CƠ CHẾ VẬT LÝ VÀ THẨM ĐỊNH MÔ HÌNH SWASH

Đào Hoàng Tùng, Vũ Văn Lâm, Nguyễn Thị Lan, Vũ Thu Huyền
Trường Đại học Tài nguyên và Môi trường Hà Nội

Tóm tắt

Bờ biển khu vực Đồng bằng sông Cửu Long đang phải đối mặt với nguy cơ xói lở, ảnh hưởng nghiêm trọng đến hệ sinh thái rừng ngập mặn trong một vài thập kỷ trở lại đây, đặc biệt, trong thời kỳ nước biển dâng và biến đổi khí hậu. Cùng với những công trình cứng có sẵn, như đê biển và kè biển, tường mềm đang được sử dụng để hỗ trợ cho những nơi rừng ngập mặn bị thu hẹp mạnh. Nghiên cứu này sẽ giới thiệu cơ chế suy giảm dòng chảy của tường mềm theo quy mô phòng thí nghiệm và quá trình thẩm định mô hình toán SWASH, trong mô phỏng tương tác giữa sóng và tường mềm. Thí nghiệm Darcy-Forchheimer dùng để xác định hệ số cản của tường mềm ở các điều kiện dòng chảy khác nhau, thông qua số Reynolds. Hệ số cản sẽ có giá trị lớn trong điều kiện dòng chảy tầng, khi $Re < 400$ và giảm đến mức ổn định tại 3,8 khi $Re > 800$. Quy luật quan hệ giữa hệ số cản và số Re cũng đã được tìm ra và làm cơ sở cho việc thẩm định mô hình tương tác giữa sóng và tường mềm trong SWASH. Cùng với dữ liệu thu thập được từ mô hình vật lý, mô hình toán cho thấy mức độ tin cậy của mô hình trong mô phỏng tương tác sóng và tường mềm (hàng rào) là khá cao khi so sánh hai mô hình với nhau. Kết quả cho thấy độ lệch của chiều cao sóng trước tường mềm là 3,2 % và chiều cao sóng sau tường mềm là 4,6 %.

Từ khoá: Tường mềm; Đồng bằng sông Cửu Long; Rừng ngập mặn; SWASH; Thí nghiệm Darcy-Forchheimer.

Abstract

Recovering mangroves with wooden fence along Mekong deltaic coast: physical mechanism and SWASH model

The Mekong deltaic coast has been suffering from erosion that negatively affects the mangrove forest for the past decades, especially in the era of sea-level rise and climate change. Building alongside traditional coastal structures, porous structures, i.e., wooden fences, become sufficient support for restoration mangroves that are already squeezed significantly. This study presents the flow and wave reduction mechanism due to the wooden fence and validation for wave-fence interaction in the SWASH model. The application of the Darcy-Forchheimer experiment delivers a proper drag coefficient that is dependent on the Reynolds number. This coefficient has high values at the laminar flow condition, $Re < 400$, and becomes stable as 3.8 at the high turbulence, $Re > 800$. The relationship between the drag coefficient and Re has finally been found, which is the base for the SWASH model's validation of wave-fence interactions. With the data from the physical model, this model shows high confidence during the comparison. The results show low errors for incoming and transmission wave heights as 3.2 % and 4.6 %, respectively.

Keywords: Wooden fence; Mekong deltaic coast; Mangroves; SWASH; Darcy-Forchheimer experiment.

1. Mở đầu

Đồng bằng sông Cửu Long (ĐBSCL) được biết đến là vựa lúa và là nơi sinh sống của hơn 17 triệu người ở khu vực miền Nam, Việt Nam. Trong một vài thập kỷ trở lại đây, khu vực bờ biển ĐBSCL đã và đang phải gánh chịu nhiều thiệt hại về kinh tế và hệ sinh thái, trong đó có rừng ngập mặn (RNM) do sự gia tăng của xói lở bờ biển.

RNM được biết đến là dạng thực vật có thể sống trong môi trường nước mặn và nước lợ, thông thường được phân bố chủ yếu ở vùng nhiệt đới và cận nhiệt đới [1]. RNM còn được biết đến là một dạng đê biển tự nhiên khi chúng có thể làm suy giảm năng lượng sóng và dòng chảy một cách đáng kể do kết cấu tự nhiên của thân và rễ. Đồng thời, bùn cát có thể được tăng cường ở phía trong RNM và mở rộng diện tích bãi triều [2, 3]. Từ đó, hình thành nên khu vực chống xói lở hiệu quả [4]. Tuy nhiên, RNM lại rất nhạy cảm với môi trường xung quanh như chất lượng nước, thủy sinh vật, và sự hiện diện của các công trình chống xói lở truyền thống như đê biển, tường đứng và kè.

Các công trình bảo vệ bờ biển như hệ thống đê biển, tường chắn sóng, đập phá sóng và các kè mỏ hàn sẽ mang lại một sự đảm bảo nhất định cho đường bờ trong việc làm giảm chiều cao sóng cũng như việc tăng cường bùn cát cho một khu vực nói riêng [5]. Tuy nhiên, việc sử dụng những công trình truyền thống như đã nêu ở trên sẽ không hoàn toàn mang lại sự ổn định cho đường bờ, vì chúng sẽ làm mất cân bằng tự nhiên của đường bờ. Trong nghiên cứu của Dugan và cộng sự (2011) [6], họ cho rằng sự hiện diện của

các công trình “cứng” này sẽ làm thay đổi quá trình thủy lực đường bờ. Ví dụ, chế độ sóng và dòng chảy tại khu vực xây dựng công trình. Schoonees và cộng sự (2019) [5] nhấn mạnh rằng sự thay đổi chế độ thủy động lực sẽ dẫn đến sự bồi lắng ở phía đón sóng (thượng nguồn) và xói lở ở phía bị chắn sóng (hạ lưu) tại khu vực có công trình cứng. Tất nhiên, sự thay đổi này sẽ dẫn đến việc hệ thống sinh vật và thực vật tại nơi có công trình sẽ bị đe dọa cũng như bị suy giảm, tùy thuộc vào mức độ lớn hay nhỏ của công trình. Dọc bờ biển ĐBSCL hiện đã có đến 80 km trong tổng số 744 km đường bờ đã được bê tông hoá để ngăn xói lở bờ biển, theo thống kê của Viện Khoa học Thủy lợi miền Nam (2020) [7]. Mặc dù các dẫn chứng đều chưa chứng minh rõ mức độ ảnh hưởng lớn đến RNM tại ĐBSCL, tuy nhiên, RNM đã bị suy giảm lên đến 50 % tổng diện tích rừng trong vòng một thập kỷ vừa qua [8 - 10].

Trong những năm gần đây, sự chuyển giao công nghệ bảo vệ bờ biển cũng đã được thay đổi, ví dụ như sự chuyển đổi sử dụng các phương pháp mềm như trồng RNM hoặc cải thiện đụn cát trong việc chống xói lở do bão, hay sử dụng phương pháp xây dựng công trình “mềm” kết hợp cùng với công trình cứng truyền thống để nâng cao khả năng bồi lắng bùn cát và phục hồi hệ sinh thái, đặc biệt là RNM, trong việc chống xói lở [5]. Trong thực tế dọc bờ biển ĐBSCL, việc duy trì và phục hồi RNM đã và đang được tiến hành với phương pháp xây dựng công trình mềm, như tường mềm (hàng rào tre và gỗ), phía trước đê biển để đẩy nhanh phương án trồng RNM mới.



Hình 1: Ví dụ về tường mềm (hàng rào tre) tại Bạc Liêu, Việt Nam [11 - 13]

Tường mềm hay còn có tên gọi khác hàng rào cây hoặc tre, được kết cấu từ hai thành phần chính: phần khung và phần lõi. Phần khung có cấu tạo từ 02 - 03 hàng cọc tre (gỗ), dựng dọc, có đường kính từ 08 đến 10 cm và phần lõi là những bó cọc tre (cành cây), nằm ngang, có đường kính từ 01 đến 02 cm [11 - 21] (Hình 1). Theo đánh giá sơ bộ, phần khung có kết cấu khá thưa và khả năng giảm năng lượng sóng và dòng chảy khá thấp nếu so sánh với phần lõi của tường mềm, với kết cấu đặc hơn mặc dù có đường kính cành khá nhỏ. Những nghiên cứu về tường mềm trước đây như các tác giả Albers và Von Lieberman (2011) [14], Schmitt và Albers (2014) [16], Van Cuong và cộng sự (2015) [17] đề cập đến đều đánh giá sự suy giảm lên đến 50 % của năng lượng sóng thông qua chiều cao, gây ra bởi tường mềm và vai trò lớn trong việc bồi lắng ở phía hạ lưu của tường mềm. Tuy nhiên, những nghiên cứu này chưa cho thấy cơ sở suy giảm năng lượng sóng, cũng như tìm ra những thông số quan trọng của tường mềm trong việc mở rộng nghiên cứu và ứng dụng trong mô hình toán.

Trong nghiên cứu này, nhóm tác giả giới thiệu cơ chế giảm sóng và dòng chảy của tường mềm thông qua các thí nghiệm

vật lý nhằm tìm ra hệ số cản phù hợp để thẩm định và kiểm tra mô hình toán SWASH. Ngoài ra, một mô hình vật lý để làm cơ sở thẩm định mô hình toán cũng sẽ được mô tả. Ngoài ra, các kết quả về hệ số cản trong nghiên cứu này sẽ được ứng dụng trong các nghiên cứu về vận chuyển bùn cát qua tường mềm với quy mô lớn thông qua mô hình toán SWASH.

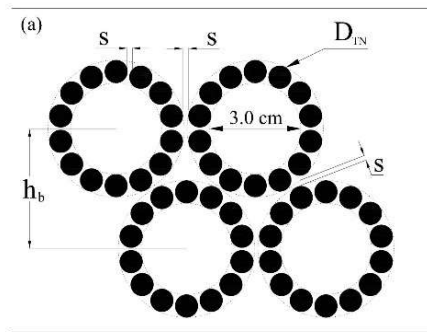
2. Phương pháp nghiên cứu

2.1. Mô tả tường mềm

Trong Hình 1, chúng ta có thể thấy rằng, phần lõi của tường mềm có kết cấu rỗng và có khả năng đóng vai trò chính trong cơ chế giảm sóng. Thiết kế của lõi tường mềm được dựa trên thiết kế ngẫu nhiên và được thí nghiệm với tỷ lệ phòng thí nghiệm là 5,0 - tỷ lệ giữa đường kính thật của vật liệu lõi ngoài thực địa ($D_{Thuc} = 0,02$ m), với đường kính mẫu trong thí nghiệm ($D_{TN} = 0,004$ mm) [12, 22, 23]. Các đường kính này được chọn từ thống kê đường kính của 630 mẫu tỷ lệ thí nghiệm, có đường kính từ 0,002 đến 0,006 m. Trong Hình 2, phần lõi theo thiết kế ngẫu nhiên được mô phỏng khá đồng nhất. Tuy nhiên, thiết kế này dựa trên đặc điểm không đồng nhất của cành cây ngoài thực địa, đó là đường kính không đồng nhất và độ thẳng

không đồng nhất giữa hai đầu cành cây. Chính vì vậy, khả năng có lỗ rỗng lớn và lỗ rỗng nhỏ trong phần lõi sẽ rất cao. Trong thí nghiệm, để tránh các hiện tượng không mong muốn xảy ra, việc tạo ra một thiết kế có tính đồng nhất nhiều nhất có thể là cần thiết để giải thích cơ chế vật lý một cách chính xác. Độ rỗng của lõi cũng sẽ được tính toán phù hợp theo công thức:

$$n = 1 - \frac{\pi D^2}{4} N \quad (1)$$



Hình 2: Thiết kế chính của lõi tường mềm trong thí nghiệm vật lý [12, 13]

(a) đại diện cho thiết kế ngẫu nhiên của lõi, được dùng trong thí nghiệm dòng chảy và sóng

(b) mẫu thực nghiệm trong thí nghiệm dòng chảy và sóng

Bảng 1. Trình tự thí nghiệm lõi tường mềm

TT	Thiết kế lõi	Quy mô	Đường kính (m)	Mật độ (cọc/)	Độ rỗng	Loại thí nghiệm	Mục tiêu
1	Ngẫu nhiên	Thí nghiệm	0,004	8011	90 %	Dòng chảy	Xác định hệ số cản
2	Ngẫu nhiên	Thí nghiệm	0,004	8011	90 %	Sóng	Thẩm định mô hình

2.2. Thí nghiệm dòng chảy qua tường mềm

2.2.1. Công thức tính toán

Trong thí nghiệm dòng chảy để xác định hệ số cản của lõi tường mềm, công thức tính lực cản lên một hệ cọc của Morison [24] được sử dụng:

$$F_D = \frac{1}{2} \rho D N \overline{C_D} u^2 \quad (2)$$

Trong đó:

$\overline{C_D}$: là hệ số cản của hệ que (hoặc hệ vật liệu rỗng);

u : (m/s) là vận tốc dòng chảy và (kg/m^3) là mật độ nước.

Hệ số cản ($\overline{C_D}$) thông thường sẽ bị ảnh hưởng bởi tính chất của cọc, như độ nhám, hình dáng mặt cắt ngang, điều kiện dòng chảy, sự sắp xếp của cọc và

mật độ cục [25, 26]. Đồng thời, hệ số cản cũng phụ thuộc vào chế độ dòng chảy xung quanh cục, thông qua số Reynolds ($Re=uD/\nu$, với ν (m^2/s) là độ nhớt động học của nước). Trong điều kiện của một hệ rỗng, số có thể được tính với vận tốc qua hệ rỗng và có công thức là $Re=uD/\nu$.

Về cơ bản, lực cản của mẫu rỗng có thể được chia ra làm 02 loại. Thứ nhất là lực cản đến từ ma sát và áp lực của toàn bộ mẫu. Thứ hai là ma sát tại mặt tiếp xúc của từng vật liệu. Với giả thiết điều kiện dòng chảy rối ($Re > 300$) và bỏ qua ma sát bề mặt thì lực cản (F_D) sẽ chỉ có thành phần thứ nhất và là thành phần chính vào lực cản của toàn bộ mẫu. Đến đây, lực cản của một mẫu rỗng có thể được tính toán nhờ chênh lệch áp lực của chất lỏng (không nén được) qua một mẫu rỗng của thí nghiệm Darcy-Forchheimer [27], và chênh lệch này có công thức sau:

$$I = -\frac{1}{g\rho} \frac{\delta p}{\delta x} \quad (3)$$

Trong đó, I là chênh lệch áp lực phát sinh từ chênh lệch cột nước δp (kg/ms^2). Khi đó, lực cản có thể được viết lại từ công thức (2) và (3) như sau:

$$I = \frac{DN\overline{C_D}u^2}{2g} \quad (4)$$

2.2.2. Mô tả thí nghiệm

Để có thể tính toán được lực cản theo phương trình (4), thí nghiệm xác định chênh lệch thủy lực được thực hiện tại phòng thí nghiệm kỹ thuật thủy lực tại Trường Đại học Công nghệ Delft, Hà Lan. Trong thí nghiệm này, một máy bơm thủy lực với khả năng cung cấp một lượng xả thay đổi từ 3×10^{-3} đến 26×10^{-3} (m^3/s), được tính toán từ vận tốc dòng chảy khả thi ngoài thực địa, từ 0,05 đến 2,5 m/s

[19]. Lượng xả từ máy bơm cung cấp dòng chảy ổn định đi qua ống đựng mẫu có kích thước $A = 26 \times 26$ cm. Mẫu tường lõi sẽ được đặt trong ống đựng mẫu và bề rộng có thể được thay đổi chiều rộng (B). Để đo chênh lệch áp lực (I), 04 đầu đo áp lực (PS1 đến PS4, Hình 3b, 3c) được cố định ở hai đầu mẫu. Các cột nước đại diện cho đầu đo áp lực ($H_{p,i}$, với i từ 1 đến 4 đại diện cho 04 đầu đo) được hiển thị như trong Hình 3a. Tất cả các thiết bị trên được đặt trong một bể nước có kích thước ($2 \times 2 \times 2$ m) và bố trí như trong Hình 3.

Vận tốc dòng chảy qua mẫu được tính theo công thức sau:

$$u_n = \frac{Q}{nA} \quad (m/s) \quad (5)$$

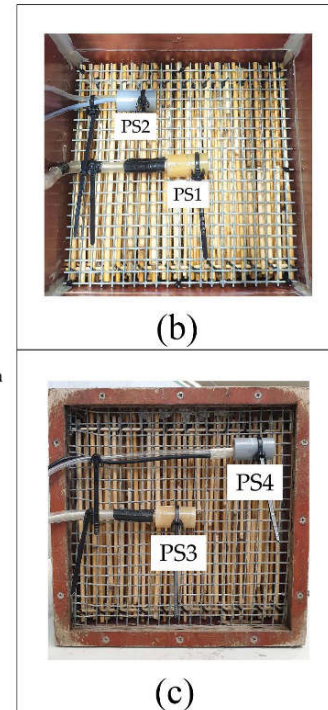
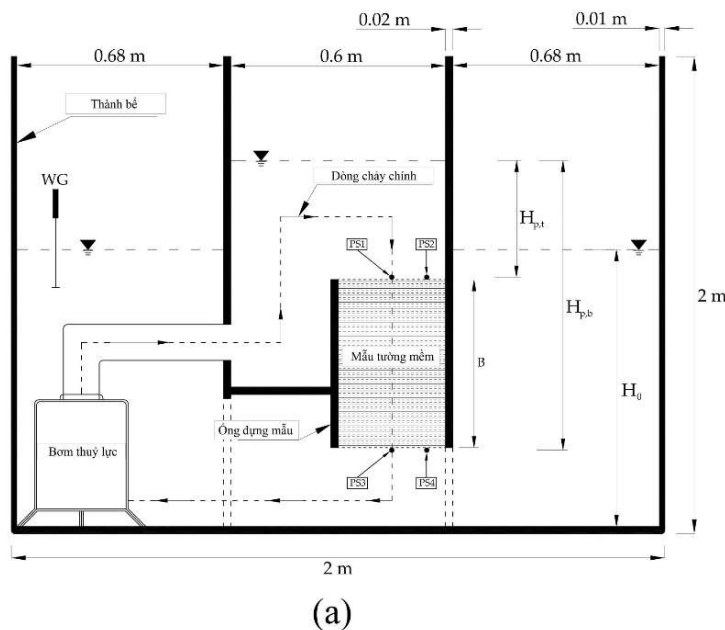
Trong đó:

A là diện tích mặt cắt ngang của ống đựng mẫu;

u_n là vận tốc dòng chảy đi qua mẫu, được cho là vận tốc thực bên trong mẫu [28, 29].

Thí nghiệm dòng chảy sẽ được thực hiện cho một mẫu thiết kế ngẫu nhiên, với bề rộng thay đổi từ 26,5 cm đến 58,0 cm. Khi bắt đầu đo, lượng xả sẽ được cố định cho đến khi các cột nước được ổn định, các đầu đo áp lực sẽ được ghi lại theo định dạng Voltage với tần số ghi là 100 Hz. Các dữ liệu này có thể được chuyển đổi qua đơn vị chiều dài, thông qua quan hệ hồi quy tuyến tính. Khi đó, áp lực tổn thất khi dòng chảy đi qua mẫu được tính như sau:

$$I = \frac{\Delta H_p}{B} \quad (6)$$



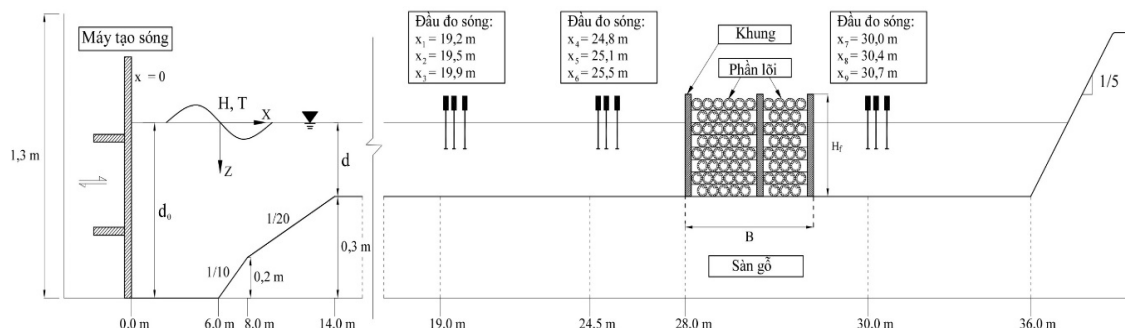
Hình 3: (a) Thiết lập thí nghiệm xác định hệ số cản của mẫu lõi tường mềm. Hình (b) và (c): Bố trí đầu đo áp lực nước phía trên của mẫu (b) và dưới đáy của mẫu (c) [12]

2.3. Mô hình tương tác sóng và tường mềm

2.3.1. Mô hình vật lý

Mô hình vật lý mô phỏng tương tác giữa sóng và tường mềm được thực hiện tại máng sóng, trong phòng thí nghiệm kỹ thuật thủy lực tại Trường Đại học Công nghệ Delft, Hà Lan. Máng sóng có kích thước là 38,0 x 0,8 x 1,0 m, được mô tả như Hình 4. Máng sóng được thiết kế dựa trên bờ biển thoải ở vùng bờ biển DBSCL. Tổng hợp độ dốc 1/10 và 1/20

nhằm tạo ra một vùng có thể tạo ra sóng vỡ, trước khi sóng tiến vào bờ vùng thoải gần bờ. Tường mềm được đặt tại vị trí $x = 28,0$ m, có cấu tạo giống với thực tế. Phần khung được cấu tạo từ các ống nhựa PVC (Hình 4), tròn và độ dày thấp, nhằm giảm hiệu ứng sóng do khung nhiều nhất có thể, phần lõi được thiết kế ngẫu nhiên như mô tả ở mục 2.1, Hình 2. Bên trái của máng sóng là máy tạo sóng, được thiết kế để hấp thụ sóng phản xạ từ công trình phía bên phải và có thể tạo ra sóng phi tuyến bậc hai.



Hình 4: Kết cấu mô hình tương tác sóng và tường mềm trong máng sóng

Các kim đo sóng được đặt phía trước và sau tường mềm, vị trí của các kim đo được mô tả trong Hình 4. Tất cả các số liệu thu được từ kim đo sóng có tần số ghi là 100 Hz, có đơn vị là Voltage và có thể chuyển qua đơn vị mét, thông qua hệ hồi quy tuyến tính. Theo mô tả trong Hình 4, 03 kim đo từ 19,2 m đến 19,9 m, dùng để tính sóng đến làm dữ liệu cho mô hình toán SWASH. Ba kim đo từ 24,8 m đến 25,5 m, dùng để tính sóng đến và sóng phản xạ. Ba kim đo từ 30,0 m đến 30,7 m, dùng để xác thực sóng truyền qua tường mềm. Sóng đến và sóng phản xạ được phân tích theo phương pháp của Zelt và Skelbreia (1993) [30]. Chiều cao sóng có nghĩa được tính như sau: $H_{m0} = 4\sqrt{m_0}$. Trong đó, m_0 là momen bậc không của dao động mực nước. Các điều kiện sóng được tạo ra bởi máy tạo sóng là không đều với phổ JONSWAP, có hệ số đỉnh tăng cường là $\gamma = 3,3$. Các điều kiện sóng được mô tả trong Bảng 2.

2.3.2. Mô hình toán SWASH

Mô hình toán SWASH là mô hình mở được phát triển bởi các nhà khoa học tại Trường Đại học Công nghệ Delft, Hà Lan. Mô hình đã được ứng dụng rất nhiều trong các nghiên cứu về sóng gần bờ (vùng nước nông), với độ chính xác cao [31 - 35]. Trong nghiên cứu về mô phỏng tương tác sóng và tường mềm, mô hình SWASH sẽ được thiết lập dựa trên mô hình vật lý ở mục 2.3.1 và dữ liệu sóng truyền qua hàng rào, dùng để kiểm tra tính chính xác của mô hình SWASH.

$$\tilde{\beta} = \frac{1}{3\sqrt{\pi}} \overline{C_D} D N H_0 k \frac{\sinh^3(kaH_f) + 3 \sinh(kaH_f) + \cosh^3(kaH_f) - 3 \cosh(kaH_f) + 2}{[\sinh(2kd) + 2kd] \sinh(kd)} \quad (8)$$

Trong đó, hệ số aH_f (m) là mực nước tính toán từ chân tường mềm đến vị trí ngập nước; k là số con sóng. Theo đó,

Một số thiết lập cần thiết cho mô hình như sau: Độ phân giải theo không gian (Δx) được tính với tỷ lệ là 1/100 của bước sóng (L_p). Trong nghiên cứu này, $\Delta x = 0,01$ (m). Vì thế, sẽ có tổng 4000 điểm lưới trong tổng số 40 m chiều dài máng sóng. Vì kim đo sóng để tính chiều cao sóng đến bắt đầu từ 19,0 m nên biên sóng để thẩm định sẽ được đặt tại $x = 19,0$ m. Mực nước ban đầu được tính bằng 0,0 m. Bước thời gian là 0,001 s. Hệ số nhám đáy được thiết lập mặc định bằng 0,019 ($m^{-1/3} s$) [32]. Các thiết lập khác được mô tả rõ trong nghiên cứu của Zijlema, Stelling và Smit (2011) [32].

Trong SWASH, mô hình mô phỏng hệ thống cọc (Vegetation) được sử dụng để mô phỏng tường mềm. Thiết lập cố định cho tường mềm và chiều cao tường mềm (H_f) là 0,3 m, mật độ cọc của tường mềm (N) là 8011 cọc/ m^2 , độ rỗng là 90 %. Giả thiết, sóng ngẫu nhiên đến tường mềm, chiều cao sóng truyền trong mô hình được tính toán dựa trên phương trình vi phân tuyến tính. Nếu chiều cao sóng phía trước tường mềm được giả thiết là H_0 thì chiều cao sóng truyền sẽ được tính như sau:

$$\frac{H}{H_0} = \frac{1}{1 + \tilde{\beta}x} \quad (7)$$

Trong đó, hệ số $\tilde{\beta}$ được tính toán theo nghiên cứu của Suzuki và cộng sự (2019) [36] sau khi tổng hợp thành phần lực ngang và dọc trên cọc. Dựa vào tính toán của Mendez và Losada (2004) [37], hệ số được mô tả như sau:

trong tính toán truyền sóng của mô hình, ngoài các giá trị được cố định như: chiều cao sóng, đường kính cọc và các thông

số sóng thì hệ số cản $\overline{C_D}$ đóng vai trò lớn trong việc giảm năng lượng sóng đến. Vì vậy, hệ số này sẽ đóng vai trò là hệ số

thẩm định cho mô hình. Bước thẩm định sẽ được mô tả trong mục 3.2. Đồng thời, các thiết lập chính cho tường mềm và các kích bản sóng được mô tả trong Bảng 2.

Bảng 2. Điều kiện sóng và thiết kế tường mềm

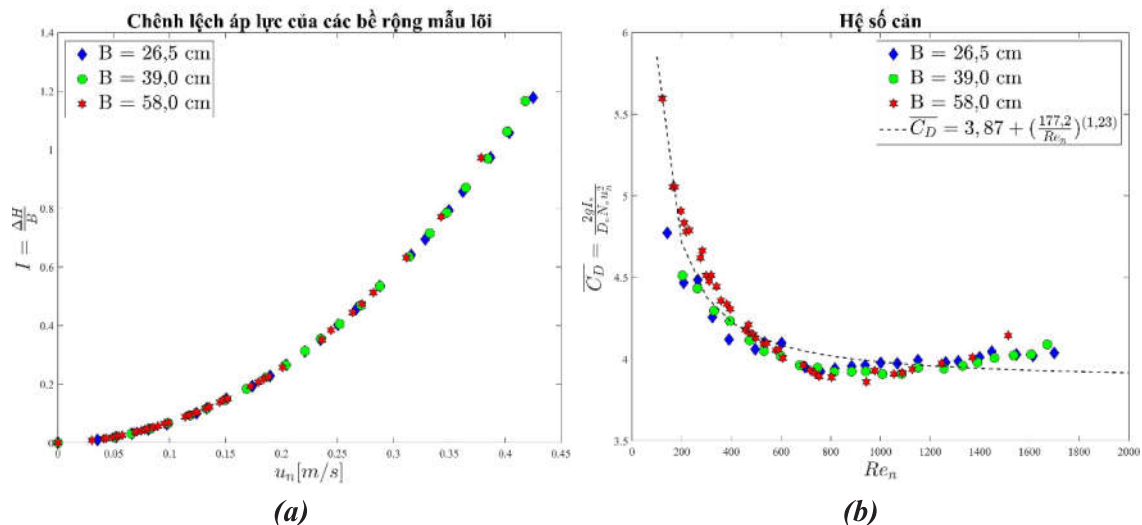
TT	Chiều cao sóng (m)	Chu kỳ (s)	Độ sâu nước (m)	Bề rộng (m)	Mật độ cọc (cọc/)	Độ rỗng
1	0,035; 0,055; 0,075	1,1	0,15	0,28	8011	90 %
2	0,030; 0,050; 0,070	1,2	0,15	0,28		
3	0,030; 0,050; 0,070	1,4	0,15	0,28		
4	0,030; 0,055; 0,070	1,3	0,20	0,40		
5	0,030; 0,050; 0,070	1,6	0,20	0,40		
6	0,030; 0,050; 0,070	1,8	0,20	0,40		
7	0,030; 0,045; 0,055	2,7	0,25	0,66		
8	0,030; 0,050; 0,070	2,4	0,25	0,66		
9	0,030; 0,055; 0,070	2,1	0,25	0,66		

3. Kết quả nghiên cứu

3.1. Hệ số cản

Trước hết, đối với dòng chảy qua một mẫu rỗng, tổn thất áp lực có thể được thể hiện thông qua tổn thất dòng chảy tầng và dòng chảy rối. Những tổn thất này tỷ lệ thuận với vận tốc dòng chảy (u_n) và bình phương của vận tốc dòng chảy (u_n^2) [38,

39]. Mối quan hệ giữa chênh lệch áp lực (I) và vận tốc dòng chảy (u_n) được mô tả trong Hình 5a. Có thể thấy rằng, chênh lệch thủy lực đều tăng khi vận tốc dòng chảy tăng và khá đồng nhất đối với tất cả các độ dày của mẫu lõi tường mềm. Điều này cho thấy rằng, chênh lệch cột nước đường như không phụ thuộc vào độ dày của mẫu khi thí nghiệm.



Hình 5: (a) Quan hệ chênh lệch thủy lực và vận tốc u_n (b) Quan hệ giữa hệ số cản và số Reynolds

Từ phương trình (4), hệ số cản của mẫu có thể được viết lại như sau:

$$\overline{C_D} = \frac{2gl}{D Nu_n^2} \quad (9)$$

Trong công thức trên, dễ dàng nhận thấy tương quan tỷ lệ nghịch giữa hệ số cản với bình phương vận tốc dòng chảy hay bình phương số $Re_n = u_n D / \nu$, đường kính cọc và mật độ cọc. Như đã trình bày ở phần mô tả thí nghiệm, một hệ số cản sẽ được tính toán từ một vận tốc khi làm thí nghiệm. Tuy nhiên, do không có quan sát bên trong lõi tường mềm, nên các đánh giá sẽ được biện luận dựa vào bản chất mối quan hệ có sẵn giữa hệ số cản và số Reynolds. Cụ thể, khi vận tốc nhỏ, điều kiện dòng chảy có thể trong trạng thái phân tầng, lúc này số Re sẽ nhỏ, mức độ cản dòng chảy của mẫu lõi sẽ rất lớn. Vì thế, hệ số cản của mẫu từ 5,0 đến 7,0 khi Re nhỏ hơn 400. Khi vận tốc dòng chảy nhỏ, mức độ phân tầng của dòng chảy bên trong mẫu cũng sẽ thay đổi theo độ dày. Có thể thấy trong Hình 5b, khi $Re < 600$, $\overline{C_D}$ không đồng nhất với các độ dày của mẫu, do mức độ ngẫu nhiên sẽ tăng thêm khi độ dày của mẫu tăng và $\overline{C_D}$ càng lớn đối với mẫu càng dày. Tuy nhiên, $\overline{C_D}$ sẽ giảm dần khi vận tốc dòng chảy tăng lên. Khi điều kiện dòng chảy rối xảy ra, $Re > 1000$, $\overline{C_D}$ sẽ ít bị phụ thuộc vào dòng chảy xung quanh hệ cọc mà chúng chỉ bị ảnh hưởng bởi mật độ cũng như mức độ ngẫu nhiên của mẫu. Vào thời điểm này, $\overline{C_D}$ sẽ dần ổn định ở giá trị khoảng 3.8. Đường hội tụ theo hàm số mũ liên kết $\overline{C_D}$ và Re được mô tả trong Hình 5b và có công thức biểu thị như sau:

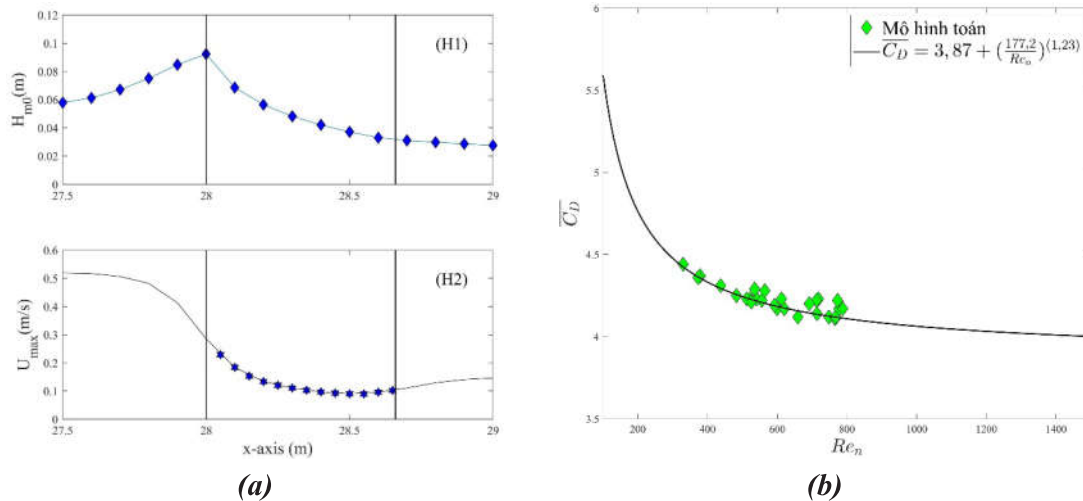
$$\overline{C_D} = 3,87 + (177,2/Re_n)^{(1.23)} \quad (10)$$

3.2. Kết quả thẩm định mô hình

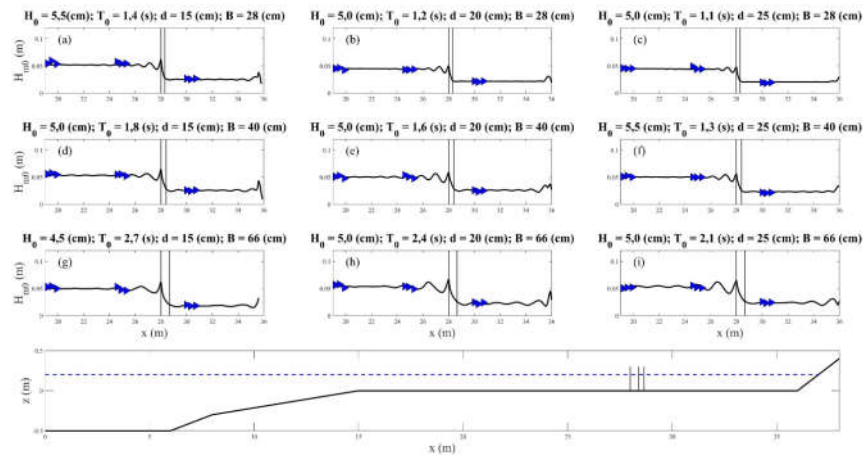
Từ cách trình bày ở phương trình (7) và (8), chiều cao sóng đến sẽ giảm sau mỗi một khoảng cách (x) của tường mềm và đây cũng là cách mô hình SWASH

thực hiện. Điều này dẫn đến việc vận tốc dòng chảy do sóng gây ra sẽ giảm sau mỗi khoảng cách (x). Hình 6a cho thấy chiều cao sóng giảm bên trong tường mềm sẽ dẫn đến vận tốc dòng chảy giảm (Hình 6a-H1 và 6a-H2). Đồng thời, theo đường hội tụ trong Hình 5b, số Re giảm do vận tốc dòng chảy giảm dẫn đến việc gia tăng hệ số cản. Như vậy, hệ số cản phù hợp sử dụng để thẩm định sẽ phụ thuộc vào vị trí của điểm được trích xuất giá trị vận tốc dòng chảy bên trong tường mềm. Đối với tất cả các trường hợp, vị trí được lựa chọn để tính $\overline{C_D}$ phù hợp là vị trí $x = 28,05$ m, ngay sau khi sóng truyền qua tường mềm. Tại vị trí này, số Re sẽ được tính từ vận tốc dòng chảy và $\overline{C_D}$ sẽ được tính dựa vào công thức của đường hội tụ $\overline{C_D}$ và Re như đã nêu ở trên. Đối với mỗi một trường hợp, khi chiều cao sóng truyền trong mô hình toán khớp với chiều cao sóng truyền từ mô hình vật lý thì $\overline{C_D}$ đã tính đó là giá trị phù hợp. Lưu ý rằng, sẽ mất ít nhất 01 lần kiểm tra để có thể tính được $\overline{C_D}$ phù hợp.

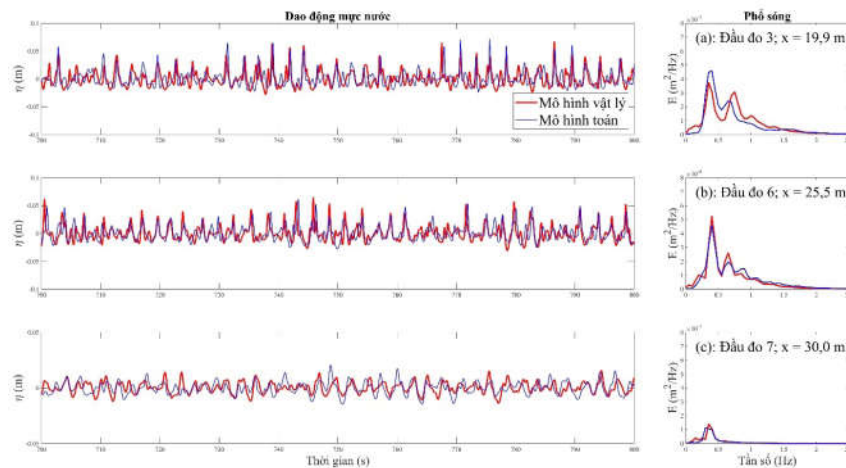
Hình 7 và Hình 8 là kết quả so sánh giữa mô hình toán và mô hình vật lý theo lần lượt hai nội dung là chiều cao sóng có nghĩa và dao động mực nước. Theo hai kết quả này, chúng ta có thể thấy được mức độ tin cậy của mô hình SWASH trong tính toán và mô phỏng tương tác giữa sóng và tường mềm. Hình 7 cho thấy mô hình toán và mô hình vật lý khớp với nhau về H_{m0} ở tất cả các đầu đo. Tuy nhiên, dao động mực nước tại đầu đo 7 trong Hình 8 thì chưa khớp với nhau ở hai mô hình. Điều này có thể do trong mô hình toán, dao động mực nước được tính toán dựa theo phương pháp cân bằng năng lượng, nhưng không có nghĩa kết quả này không chính xác vì phổ sóng giữa hai mô hình khá khớp nhau.



Hình 6: (a) Chiều cao sóng (H1) và vận tốc dòng (H2) do sóng bên trong tường mềm, số liệu được tạo từ mô hình SWASH. Hai biên của tường mềm được biểu thị bằng hai vạch đen từ $x = 28,0$ đến $28,66$ m. Trường hợp mô phỏng là $H_{m0}=0,07$ m; $T_p=2.1$ s; $d=0,25$ m; $B=0,66$ m; $C_D=4,2$; (b) Hệ số cản được chọn để thẩm định dựa vào đường hội tụ



Hình 7: So sánh kết quả của H_{m0} giữa mô hình vật lý (tam giác xanh) và mô hình toán (đường liền đen)

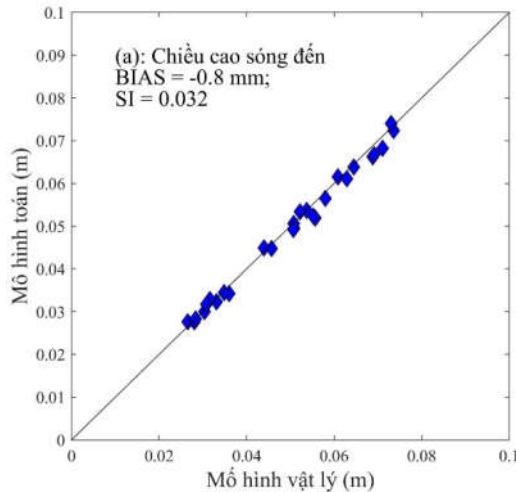


Hình 8: So sánh kết quả dao động mực nước và phổ sóng tại các đầu đo tương ứng giữa mô hình vật lý và mô hình toán

Nghiên cứu

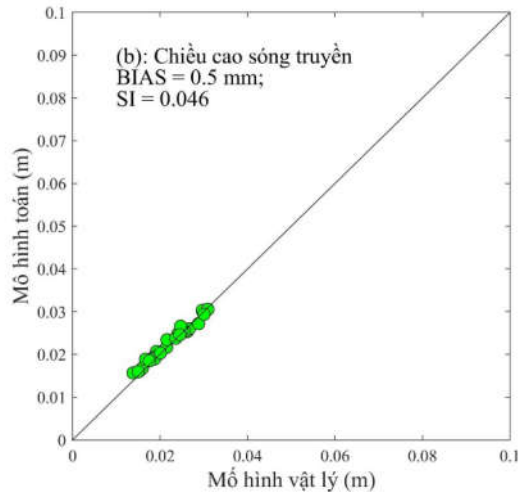
Để có một cái nhìn chính xác hơn thì chỉ số SI và BIAS [35] dùng để kiểm tra mức độ tin cậy của mô hình được tính toán và mô tả trong Hình 9. Công thức tính SI và BIAS như sau:

$$SI = \frac{\sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (H_{Mô phỏng}^i - H_{Đo đạc}^i)^2}}{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N H_{Đo đạc}^i} \quad (11)$$



$$BIAS = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (H_{Mô phỏng}^i - H_{Đo đạc}^i) \quad (12)$$

Có thể thấy rằng, mô hình toán có mức độ tin cậy khá cao khi không có nhiều sai lệch giữa hai mô hình. Ví dụ như mức độ sai giữa chiều cao sóng đến và chiều cao sóng truyền giữa hai mô hình lần lượt là 3,2 % và 4,6 %.



Hình 9: Chỉ số SI và BIAS

4. Kết luận

Trong nghiên cứu này, nhóm tác giả đã mô tả thí nghiệm dòng chảy qua lõi tường mềm và 02 mô hình tương tác giữa sóng và tường mềm. Thông qua thí nghiệm dòng chảy Darcy-Forchheimer qua tường mềm (hàng rào tre/gỗ), nhóm tác giả thấy rằng thấy hệ số cản ($\overline{C_D}$) đóng vai trò quan trọng trong cơ chế suy giảm năng lượng dòng chảy. Kết quả thí nghiệm cũng cho thấy, hệ số cản của tường mềm phụ thuộc nhiều vào điều kiện dòng chảy bên trong mẫu lõi tường mềm. Ở điều kiện dòng chảy tầng, khi số $Re < 400$, giá trị hệ số cản là khá lớn, tuy nhiên, hệ số cản sẽ giảm dần và trở nên ổn định khi ở điều kiện dòng chảy rối, khi số $Re > 800$. Mối quan hệ giữa $\overline{C_D}$ và Re khá đồng nhất với những nghiên cứu trước đây, như của Sumer (2006) [26] và của Keulegan (1958) [40].

Tương tác giữa sóng và tường mềm cũng được đề cập thông qua mô hình vật lý và mô hình toán. Ở đây, với sự có mặt của tường mềm, năng lượng sóng, thông qua chiều cao sóng, đã bị suy giảm một cách đáng kể. Chiều cao sóng giảm tại trong các kịch bản giảm lớn nhất là 50 %, từ 8 cm đến 4 cm. Tuy nhiên, trong kết quả nghiên cứu này, sóng phản xạ do tường mềm chưa được đề cập và sẽ được nghiên cứu sâu trong tương lai. Hơn nữa, các chỉ số dùng để thẩm định mô hình cũng cho thấy tính chính xác của mô hình. Cụ thể, sử dụng dữ liệu từ mô hình vật lý và các thông số tường mềm, bao gồm: đường kính cọc, mật độ và hệ số cản của mẫu lõi đã dùng trong thí nghiệm Darcy-Forchheimer, mô hình toán đã được thẩm định và mang đến độ tin cậy cao trong các nghiên cứu trong tương lai.

Mặc dù nghiên cứu cho thấy hệ số cản ($\overline{C_D}$) đóng vai trò lớn trong cơ chế

giảm sóng và dòng chảy qua tường mềm và các mẫu vẫn chỉ theo quy mô phòng thí nghiệm khá nhỏ, (tỷ lệ dài 5,0), nhưng việc nghiên cứu để tìm ra $\overline{C_D}$ cho mẫu có tỷ lệ thực tế vẫn rất cần thiết. Hơn nữa, mô hình toán cũng sẽ cung cấp thêm những giả thiết để nghiên cứu về tính khả thi khi xây dựng tường mềm (hàng rào) để phục hồi rừng ngập mặn, như tính giảm sóng phù hợp cho rừng và vận chuyển bùn cát.

Lời cảm ơn: Nhóm tác giả xin chân thành cảm ơn các cộng sự ở Trường Đại học Công nghệ Delft, Hà Lan đã giúp hoàn thành thí nghiệm dòng chảy và mô hình vật lý trong phòng thí nghiệm kỹ thuật thủy lực.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. N. C. Duke and K. Schmitt (2015). *Mangroves: unusual forests at the seas edge*. Tropical forestry handbook. Pancel L., Kohl M.(ed), Springer, p. 24.
- [2]. D. M. Alongi (2008). *Mangrove forests: resilience, protection from tsunamis, and responses to global climate change*. Estuarine, Coastal and Shelf Science, vol. 76, no. 1, pp. 1 - 13.
- [3]. L. K. Phan, J. S. M. van Thiel de Vries, and M. J. F. Stive (2014). *Coastal mangrove squeeze in the Mekong delta*. Journal of Coastal Research, pp. 233 - 243, doi: 10.2112/JCOASTRES-D-14-00049.1.
- [4]. H. Cao, Z. Zhu, T. Balke, L. Zhang, and T. J. Bouma (2018). *Effects of sediment disturbance regimes on Spartina seedling establishment: Implications for salt marsh creation and restoration*. Limnology and Oceanography, vol. 63, no. 2, pp. 647 - 659.
- [5]. T. Schoonees *et al.* (2019). *Hard structures for coastal protection, towards greener designs*. Estuaries and Coasts, vol. 42, no. 7, pp. 1709 - 1729.
- [6]. J. E. Dugan *et al.* (2011). *8.02-Estuarine and coastal structures: environmental effects, a focus on shore and nearshore structures*. Treatise on estuarine and coastal science, vol. 8, pp. 17 - 41.
- [7]. Viện Khoa học Thủy lợi miền Nam (2020). *Đánh giá thực trạng giải pháp bảo vệ bờ biển ở Đồng bằng sông Cửu Long*. TP. Hồ Chí Minh.
- [8]. P. N. Hong and H. T. San (1993). *Mangroves of Vietnam*. Vol. 7. Iucn.
- [9]. O. M. Joffre and K. Schmitt (2010). *Community livelihood and patterns of natural resources uses in the shrimp-farm impacted Mekong delta*. Aquaculture Research, Vol. 41, No. 12, pp. 1855 - 1866.
- [10]. H.-H. Nguyen, C. McAlpine, D. Pullar, K. Johansen, and N. C. Duke (2013). *The relationship of spatial-temporal changes in fringe mangrove extent and adjacent land-use: Case study of Kien Giang coast, Vietnam*. Ocean & coastal management, Vol. 76, pp. 12 - 22.
- [11]. T. Dao, M. J. F. Stive, B. Hofland, and T. Mai (2018). *Wave damping due to wooden fences along mangrove coasts*. Journal of coastal research, Vol. 34, No. 6, pp. 1317 - 1327, doi: 10.2112/JCOASTRES-D-18-00015.1.
- [12]. H. T. Dao, B. Hofland, M. J. F. Stive, and T. Mai (2020). *Experimental assessment of the flow resistance of coastal wooden fences*. Water, Vol. 12, No. 7, p. 1910.
- [13]. H. T. Dao, B. Hofland, T. Suzuki, M. J. F. Stive, T. Mai, and L. X. Tuan (2021). *Numerical and small-scale physical modelling of wave transmission by wooden fences*.
- [14]. T. Albers and N. von Lieberman (2011). *Current and erosion modelling survey, Deutsche gesellschaft für internationale zusammenarbeit (GiZ) GmbH management of natural resources in the coastal zone of Soc Trang province*.
- [15]. K. Schmitt, T. Albers, T. T. Pham, and S. C. Dinh (2013). *Site-specific and integrated adaptation to climate change in the coastal mangrove zone of Soc Trang province, Vietnam*. Journal of Coastal Conservation, Vol. 17, No. 3, pp. 545 - 558.
- [16]. K. Schmitt and T. Albers (2014). *Area coastal protection and the use of bamboo breakwaters in the Mekong delta, in coastal disasters and climate change in Vietnam*. Elsevier, pp. 107 - 132.
- [17]. C. van Cuong, S. Brown, H. H. To, and M. Hockings (2015). *Using melaleuca fences as soft coastal engineering for mangrove restoration in Kien Giang, Vietnam*. Ecological Engineering, Vol. 81, pp. 256 - 265.

- [18]. N. Anh, T. Mai, and C. Mai (2018). *Wave reduction by a bamboo fence*.
- [19]. T. Mai, T. Dao, A. Ngo, and C. Mai (2019). *Porosity effects on wave transmission through a bamboo fence*. In International Conference on Asian and Pacific Coasts, pp. 1413 - 1418.
- [20]. M. C. Trí, N. V. Vương, H. Đ. Đạt, N. T. T. Anh, and Đ. H. Tùng (2019). *Mô hình tính toán mô phỏng sóng truyền qua hàng rào tre*. Tạp chí Khoa học Công nghệ Xây dựng (KHCN XD)-ĐHXD, Vol. 13, No. 1V, pp. 75 - 83.
- [21]. C. Mai Van, A. Ngo, T. Mai, and H. T. Dao (2021). *Bamboo fences as a nature-based measure for coastal wetland protection in Vietnam*. Frontiers in Marine Science, Vol. 8, p. 1430. Available: <https://www.frontiersin.org/article/10.3389/fmars.2021.756597>.
- [22]. P. Novák and J. Čábelka (1981). *Models in hydraulic engineering: Physical principles and design applications*. Vol. 4. Pitman Publishing.
- [23]. V. Heller (2011). *Scale effects in physical hydraulic engineering models*. Journal of Hydraulic Research, Vol. 49, No. 3, pp. 293 - 306.
- [24]. J. R. Morison, J. W. Johnson, and S. A. Schaaf (1950). *The force exerted by surface waves on piles*. Journal of Petroleum Technology, vol. 2, no. 05, pp. 149 - 154.
- [25]. H. M. Nepf (1999). *Drag, turbulence and diffusion in flow through emergent vegetation*. Water resources research, vol. 35, no. 2, pp. 479 - 489.
- [26]. B. M. Sumer (2006). *Hydrodynamics around cylindrical structures*. Vol. 26. World scientific.
- [27]. P. Forchheimer (1901). *Wasserbewegung durch boden*. Z. Ver. Deutsch. Ing., vol. 45, pp. 1782 - 1788.
- [28]. R. A. Dalrymple, J. T. Kirby, and P. A. Hwang (1984). *Wave diffraction due to areas of energy dissipation*. Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering, vol. 110, no. 1, pp. 67 - 79.
- [29]. B. Jensen, N. G. Jacobsen, and E. D. Christensen (2014). *Investigations on the porous media equations and resistance coefficients for coastal structures*. Coastal Engineering, vol. 84, pp. 56 - 72.
- [30]. J. A. Zelt and J. E. Skjelbreia (1993). *Estimating incident and reflected wave fields using an arbitrary number of wave gauges*. In Coastal Engineering 1992, 1993, pp. 777 - 789.
- [31]. M. Zijlema and G. S. Stelling (2005). *Further experiences with computing non-hydrostatic free-surface flows involving water waves*. International journal for numerical methods in fluids, vol. 48, no. 2, pp. 169 - 197.
- [32]. M. Zijlema, G. Stelling, and P. Smit (2011). *SWASH: An operational public domain code for simulating wave fields and rapidly varied flows in coastal waters*. Coastal Engineering, vol. 58, no. 10, pp. 992 - 1012.
- [33]. T. Suzuki, M. Zijlema, B. Burger, M. C. Meijer, and S. Narayan (2012). *Wave dissipation by vegetation with layer schematization in SWAN*. Coastal Engineering, vol. 59, no. 1, pp. 64 - 71.
- [34]. D. P. Rijnsdorp, P. B. Smit, and M. Zijlema (2012). *Non-hydrostatic modelling of infragravity waves using SWASH*. Coastal Engineering Proceedings, vol. 1, no. 33, p. 27.
- [35]. P. Smit, M. Zijlema, and G. Stelling (2013). *Depth-induced wave breaking in a non-hydrostatic, near-shore wave model*. Coastal Engineering, vol. 76, pp. 1 - 16.
- [36]. T. Suzuki, Z. Hu, K. Kumada, L. K. Phan, and M. Zijlema (2019). *Non-hydrostatic modeling of drag, inertia and porous effects in wave propagation over dense vegetation fields*. Coastal Engineering.
- [37]. F. J. Mendez and I. J. Losada (2004). *An empirical model to estimate the propagation of random breaking and nonbreaking waves over vegetation fields*. Coastal Engineering, vol. 51, no. 2, pp. 103 - 118.
- [38]. S. Ergun (1952). *Fluid flow through packed columns*. Chem. Eng. Prog., vol. 48, pp. 89 - 94.
- [39]. M. R. A. van Gent (1996). *Wave interaction with permeable coastal structures*. In International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences and Geomechanics Abstracts, vol. 6, no. 33, p. 277A.
- [40]. G. H. Keulegan (1958). *Forces on cylinders and plates in an oscillating fluid*. J. Research of the National Bureau of Standards Research Paper, vol. 2857, pp. 423 - 440.

BBT nhận bài: 21/2/2022; Phản biện xong:
14/3/2022; Chấp nhận đăng: 28/3/2022