

NGHIÊN CỨU CHIỀU CAO SÓNG LEO LÊN MÁI DỐC CÔNG TRÌNH BẢO VỆ BỜ ỨNG DỤNG CÔNG NGHỆ ELASTOCOAST RESEARCH ON WAVE RUN-UP HEIGHT ON SLOPES OF COASTAL PROTECTION STRUCTURES USING ELASTOCOAST TECHNOLOGY.

NGUYỄN THỊ DIỄM CHI

Khoa Công trình, Trường Đại học Hàng hải Việt Nam

Email liên hệ: chintd@vimaru.edu.vn

DOI: <https://doi.org/10.65154/jmst.2025.i84.845>

Tóm tắt

Việc nghiên cứu ảnh hưởng của sóng leo lên mái dốc của các công trình bảo vệ bờ giúp tối ưu hóa thiết kế, nâng cao hiệu quả chống xói lở, giảm chi phí xây dựng, đồng thời đảm bảo an toàn cho công trình. Thí nghiệm mô hình thủy lực đã được thực hiện trong máng sóng để nghiên cứu ảnh hưởng độ nhám và độ rỗng của mái dốc lên hiện tượng sóng leo của công trình bảo vệ bờ. Ngoài ra, chiều cao sóng leo đo được theo mô hình thực nghiệm được so sánh với kết quả các nghiên cứu khác. Kết quả nghiên cứu phục vụ dự án thí điểm xây dựng công trình bảo vệ bờ biển dạng mái dốc có độ nhám là khối xếp hình cầu đồng nhất ứng dụng công nghệ Elastocoast.

Từ khóa: Sóng leo, công trình bảo vệ bờ, máng sóng, độ nhám, độ rỗng.

Abstract

Studying the effects of wave run-up on the slopes of coastal protection structures helps optimize design, enhance erosion resistance, reduce construction costs, and ensure the safety of the structures. Hydraulic model experiments were conducted in a wave flume to investigate the influence of slope roughness and porosity on wave run-up in coastal protection works. Additionally, the measured wave run-up heights from the experimental model were compared with results from other studies. The research findings support a pilot project for constructing coastal protection structures with homogeneous spherical block slopes using Elastocoast technology.

Keywords: Wave run-up, coastal protection structures, wave flume, roughness, porosity.

1. Giới thiệu

Khi tương tác với các công trình ven biển như đê chắn sóng, tường kè, mỏ hàn và kè ốp bờ, sóng biển trải qua nhiều quá trình vật lý bao gồm phản xạ, truyền sóng, vỡ sóng kèm theo tổn thất năng lượng, sóng leo hoặc tràn qua đỉnh kè. Trong số các hiện tượng này, sóng leo và tràn đỉnh là hai hiện tượng phức tạp, có ảnh hưởng trực tiếp đến thiết kế của các công trình bảo vệ bờ biển.

Khi thiết kế đê chắn sóng, chiều cao sóng leo là thông số quan trọng để xác định chiều cao đê, trong khi lưu lượng tràn đỉnh trung bình quyết định cao trình đỉnh đê. Hai yếu tố này chịu ảnh hưởng bởi thông số hình học của công trình bảo vệ bờ (độ dốc, chiều cao tự do và bề rộng đỉnh), thông số kết cấu (độ rỗng, độ thấm, hình dạng/kích thước, độ dày lớp phủ) và thông số thủy lực (mức nước biển trung bình, tốc độ gió, chiều cao sóng, dạng phổ sóng, hướng sóng, chu kỳ sóng, hiện tượng sóng vỡ và dòng chảy) [4].

Bảng 1. So sánh công nghệ Elastocoast với công nghệ truyền thống

Tiêu chí	Elastocoast (Đá + PU)	Bê tông cứng	Rọ đá (Gabion)
Độ linh hoạt	Cao (co giãn theo sóng)	Thấp (đẽ nứt)	Trung bình
Thấm nước	Tốt	Không	Tốt
Tuổi thọ	>50 năm	20-30 năm	15-20 năm
Chi phí ban đầu	Cao	Trung bình	Thấp
Bảo trì	Rất ít	Thường xuyên	Thường xuyên

Sóng leo trên mái dốc trơn, có lớp phủ, thấm nước hoặc không thấm cho kết quả khác biệt dù trong cùng điều kiện sóng. Mục tiêu chính của nghiên cứu tập trung vào việc đánh giá ảnh hưởng của độ nhám, độ

dày lớp phủ, độ rộng của công trình bảo vệ bờ mái nghiêng lên công trình bảo vệ bờ dạng mái dốc có độ nhám là các khối xếp hình cầu đồng nhất và ứng dụng công nghệ Elastocoast đến các thông số thủy lực: Chiều cao sóng, chu kỳ sóng, độ dốc sóng. Elastocoast là một công nghệ bảo vệ bờ biển tiên tiến, sử dụng hệ thống lớp phủ linh hoạt liên kết bằng phụ gia Polyurethane để tăng cường độ bền và ổn định cho các công trình như kè biển, đê chắn sóng và các kết cấu công trình bảo vệ bờ khác [1], [2].

2. Thiết lập mô hình thí nghiệm

Các thí nghiệm mô hình vật lý được thực hiện trong máng sóng (dài 39m, rộng 1m, sâu 1,2m) cho phép quan sát trực tiếp các hiện tượng sóng và quá trình tương tác giữa sóng và mô hình đê. Máy tạo sóng được đặt tại đầu máng, có khả năng tạo các điều kiện sóng điều hòa với biên độ và chu kỳ điều chỉnh linh hoạt. Các cảm biến đo chiều cao sóng KENEK CHT4-30 được lắp đặt cố định tại hai vị trí cách máy tạo sóng lần lượt là 17,65m và 18,65m. Vị trí này đảm bảo vùng sóng phát triển ổn định trước khi tương tác với mô hình đê. Mức nước trong máng được đo và hiệu chỉnh bằng thước thủy chuẩn dọc thành máng, có sai số nhỏ hơn 1mm. Mẫu công trình đê chắn sóng dạng mái dốc được lắp đặt tại đoạn cuối máng, cách thành cuối khoảng 2m để tránh phản xạ sóng gây nhiễu. Bề mặt mái dốc được phủ lớp hạt nhựa tạo nhám với độ dày thay đổi (1,0cm, 1,8cm và 3,0cm), cố định bằng lưới chắn chuyên dụng. Mẫu Elastocoast được chế tạo sẵn theo kích thước tiêu chuẩn, gắn chắc chắn vào thân mái bằng keo liên kết PU. Chiều cao sóng leo tối đa được đo bằng cách sử dụng thước đo mực nước gắn dọc theo mái dốc và hệ thống camera tốc độ cao ghi lại quá trình sóng tác động trong từng đợt sóng. Dữ liệu được xử lý để xác định vị trí sóng leo cao nhất trong mỗi chu kỳ sóng.

Đối với mỗi tổ hợp điều kiện sóng (chiều cao H_i , chu kỳ T) và cấu hình kết cấu (độ dốc, lớp phủ), thí nghiệm được lặp lại tối thiểu 5 lần. Kết quả được lấy trung bình để đảm bảo tính đại diện và giảm nhiễu do dao động không đều hoặc lỗi thiết bị. Tất cả thí nghiệm đều được thực hiện trong điều kiện ổn định, kiểm soát chặt chẽ trong phòng thí nghiệm.

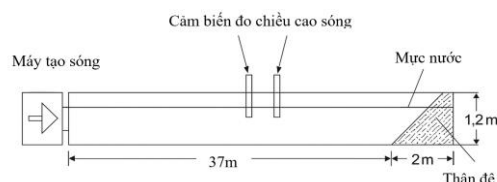
Tỷ lệ hình học của mô hình được lựa chọn là 1:20, đảm bảo phù hợp với kích thước của máng thí nghiệm, đồng thời vẫn duy trì được tính chính xác và khả năng quan sát các hiện tượng sóng leo lên mái dốc. Việc lựa chọn tỷ lệ mô hình tuân theo nguyên lý tương đồng Froude, nhằm duy trì tính tương đồng động lực học giữa mô hình và thực tế đối với các hiện tượng sóng

tràn, sóng vỡ và sóng leo.

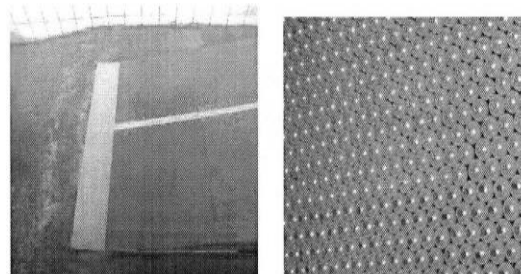
Hình 1 thể hiện sơ đồ bố trí tổng thể của máng sóng thí nghiệm. Các thông số được lựa chọn trong giới hạn thiết bị phòng thí nghiệm để đo chiều cao sóng leo tối đa (xem Bảng 2), với độ sâu khu nước (d_s, m) và $g = 9,81 m/s^2$: Gia tốc trọng trường.

Bảng 2. Điều kiện thực nghiệm

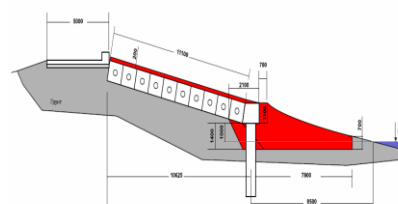
Thông số	Phạm vi thử nghiệm
Chu kỳ sóng (T, s)	0.8-1.2
Chiều cao sóng tới chân công trình (H_i, cm)	5-1.2
Độ dày lớp phủ (l, mm)	1.0, 1.8, 3.0
Tỷ số d_s/H	3.1-6.6
Tỷ số $H/(gT^2)$	0.006-0.011
Tỷ số $d_s/(gT^2)$	0.019-0.073
Hệ số sóng vỡ (ξ)	1.90-2.65



Hình 1. Sơ đồ bố trí của máng sóng



Hình 2. Mô hình thí nghiệm



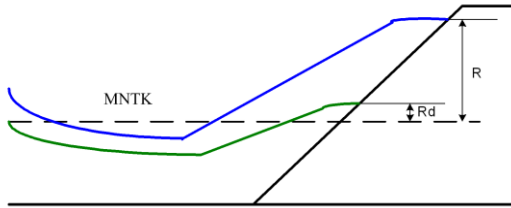
Hình 3. Mặt cắt ngang công trình bảo vệ bờ

3. Phân tích kết quả thực nghiệm

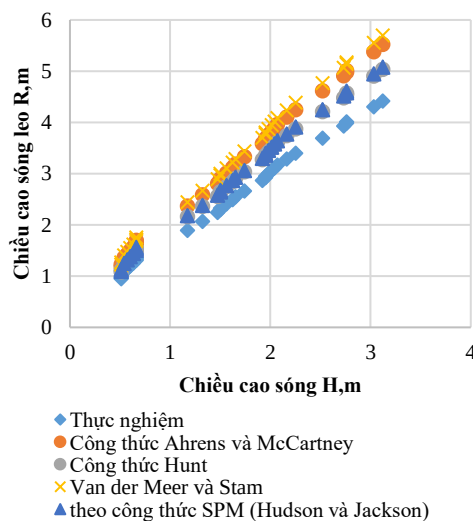
3.1. So sánh kết quả thí nghiệm và các nghiên cứu

Các dữ liệu đo đạc về sóng leo từ thí nghiệm ban đầu được xử lý và so sánh với các công thức lý thuyết hiện có để kiểm tra tính hợp lệ của kết quả. Hình 4 mô

tả sơ đồ xác định hiện tượng sóng leo, sóng rút trên mái dốc tương ứng với chiều cao sóng leo (R) và chiều cao sóng rút R_d .



Hình 4. Sơ đồ xác định hiện tượng sóng tràn, sóng rút trên mái dốc



Hình 5. Kết quả so sánh

Chiều cao sóng leo theo công thức SPM (Hudson và Jackson) cao hơn khoảng 15% so với chiều cao sóng leo thực nghiệm đối với mô hình đê chắn sóng tròn và không thấm nước (Hình 5). Sự sai lệch này do sai số khi nội suy các giá trị trên các biểu đồ thực nghiệm.

Công thức tính chiều cao sóng leo (R) lên mái đê theo TAW (2002) [3], [5]:

$$R = 1,75\gamma_\beta\gamma_f\xi_0H_i \quad \text{khi } 0,5 < \gamma_b\xi_0 < 1,8 \quad (1)$$

$$R = H_i \cdot \gamma_\beta\gamma_f \left(4,3 - \frac{1,6}{\sqrt{\xi_0}}\right) \quad \text{khi } 1,8 < \gamma_b\xi_0 < 8 \div 10 \quad (2)$$

Trong đó:

H_i : Chiều cao sóng tới chân công trình (m);
 γ_β : Hệ số chiết giảm do sóng tới xiên góc;

γ_b : Hệ số chiết giảm khi có thềm giảm sóng;

γ_f : Hệ số chiết giảm do độ nhám trên mái dốc.

Chiều cao sóng leo được xác định theo công thức (Ahrens và Titus, 1985):

$$R = CH_i \begin{cases} C_p = 1,002\xi; \xi \leq 2 \\ C_t = \left(\frac{3,5-\xi}{1,5}\right)C_p + \left(\frac{\xi-2}{1,5}\right)C_{nb}; 2 \leq \xi \leq 3,5 \\ C_{nb} = 1,181\left(\frac{\pi}{2\theta}\right)^{0,375} \exp\left[3,187\left(\frac{H_c}{H_i} - 0,5\right)^2\right]; \xi \geq 3,5 \end{cases} \quad (3)$$

Trong đó:

ξ : Thông số sóng vỡ (-);

C_p : Hệ số sóng vỡ kiểu đổ nhào (-);

θ : Góc dốc đê chắn sóng (radian);

C_t : Hệ số sóng vỡ chuyển tiếp (-);

H_c : Chiều cao đỉnh sóng so với mực nước trung bình (m);

C_{nb} : Hệ số sóng không vỡ (không thứ nguyên);

C : Hệ số sóng vỡ tương ứng (-).

Công thức Ahrens và McCartney [6] dựa trên hàm phi tuyến của thông số sóng vỡ (ξ) để xác định chiều cao sóng leo trên các công trình được bảo vệ bằng nhiều loại lớp phủ khác nhau.

$$R = H_i \left(\frac{a\xi}{1 + b\xi} \right) \quad (4)$$

Trong đó:

a, b = Các hệ số thực nghiệm phụ thuộc vào lớp phủ, lần lượt là 0,956 và 0,398 (Smith, 1986; ACES, 1992) với giả định lớp phủ là đá xếp có kích thước hỗn hợp.

Công thức Hunt (1959) [5], tính toán chiều cao sóng leo trên các bề mặt trơn nhẵn.

$$R = \frac{H_i \tan \theta}{(H_i/L_0)^{1/2}} \quad (5)$$

Trong đó:

θ : Góc mái nghiêng của đê chắn sóng (độ);

L_0 : Bước sóng ở vùng nước sâu (m);

Chue (1980) đã kết hợp và điều chỉnh nhiều công thức dự đoán tiêu chuẩn để đề xuất một phương trình tổng quát có khả năng áp dụng rộng rãi hơn cho tính toán chiều cao sóng leo.

$$R_{u2\%}/H_s = 1,5\xi; \text{ if } \xi \leq 2 \quad (6)$$

Trong đó:

H_0 : Chiều cao sóng vùng nước sâu (m);

L_0 : Bước sóng vùng nước sâu (m);

Kết quả theo công thức này thấp 35% so với kết quả thực nghiệm. Phương trình không tính đến ảnh hưởng của độ nhám hoặc hình dạng sóng vỡ.

Van der Meer và Stam, De Waal và Van der Meer (1992) [6] đã xác định hai vùng sóng vỡ trên một cấu trúc dốc trơn tru và các mối quan hệ được rút ra cho mức sóng dâng 2% và tốc độ tràn bờ. Chiều cao sóng leo tương đối xác định theo công thức:

$$R_{u2\%}/H_s = 1.5\xi; \text{ if } \xi \leq 2 \quad (6)$$

$$R_{u2\%}/H_s = 3 \text{ if } \xi \geq 2 \quad (7)$$

$$\frac{Q}{(gH_s^3)^{1/2}} = 8 \times 10^{-5} \exp[3.1 \left(\frac{R_{u2\%} - R_c}{H_s} \right)] \quad (8)$$

Trong đó:

$R_{u2\%}$: Chiều cao sóng leo 2% (m);

R_c : Độ cao tự do của đỉnh dề (m);

H_s : Chiều cao sóng tính toán (m);

Q : Lưu lượng tràn đỉnh ($m^3/s/m$);

Các phương trình (7) và (8) cho kết quả cao hơn khoảng 30% so với chiều cao sóng leo đo được.

3.2. Ảnh hưởng của các thông số thủy lực

3.2.1. Độ dốc sóng (H_0/L_0)

Đề trơn không thấm: Chiều cao sóng leo tương đối (R/H_0) giảm rõ rệt khi độ dốc sóng (H_0/L_0) tăng, do năng lượng sóng tập trung vào phá vỡ sóng thay vì leo dốc.

Đề nhám không thấm: Ảnh hưởng của độ nhám lên tiêu tán năng lượng mạnh hơn.

Đề nhám thấm nước: Không quan sát thấy mối tương quan rõ do sự tương tác phức tạp giữa thông số sóng - kết cấu đề thấm nước.

3.2.2. Thông số sóng vỡ (ξ)

Thông số sóng vỡ là một chỉ số quan trọng trong nghiên cứu đặc tính sóng leo được xác định bằng công thức: $\xi = \tan\theta/(H/L_0)^{1/2}$. Kết quả nghiên cứu cho thấy:

- Xu hướng biến đổi: Khi ξ tăng từ 1,90 đến 2,65 (tương ứng với vùng sóng vỡ kiểu đồ và chuyển tiếp)

- Chiều cao sóng leo tương đối (R/H) tăng dần đối với cả mái dốc nhẵn và nhám không thấm nước.

Do cơ chế tiêu tán năng lượng qua hiện tượng sóng vỡ trên bề mặt nhám và độ rỗng của lớp phủ trong đề chắn sóng thấm nước, chiều cao sóng leo giảm đáng kể so với trường hợp bề mặt mái dốc nhẵn không thấm nước.

Khi thay lớp phủ bằng hạt nhựa được liên kết bằng phụ gia Polyurethane, giá trị $R/H \approx 1,45$. Kết quả thí nghiệm cho thấy sự chênh lệch chiều cao sóng leo giữa mô hình mái dốc nhẵn và nhám là rất rõ rệt.

3.2.3. Chiều cao sóng (H) và Chu kỳ sóng (T)

Theo kết quả thí nghiệm, đối với công trình có bề mặt nhẵn và không thấm nước, lưu lượng tràn đỉnh sẽ gia tăng khi chiều cao sóng (H) và chu kỳ sóng (T) tăng lên, trong phạm vi tỷ lệ $3.1 < d_s/H_0 < 6.6$.

3.3. Ảnh hưởng của các thông số kết cấu

Nghiên cứu thực nghiệm này tập trung vào 3 thông số kết cấu chính: Hệ số ảnh hưởng độ nhám (γ_f), độ dày lớp phủ (l) và độ rỗng lớp phủ (n).

3.3.1. Độ nhám (γ_f)

Bảng 3 mô tả ảnh hưởng của độ nhám đến chiều cao sóng leo cho các loại bề mặt khác nhau. Các hệ số ảnh hưởng của độ nhám γ_f được xác định bằng cách so sánh với chiều cao sóng leo lên mái dốc nhẵn và

Bảng 3. Xác định giá trị độ nhám

Lớp phủ bề mặt	Độ nhám (γ_f)
Bề mặt nhẵn, không thấm	1.0
Lưới hạt nhựa tạo độ nhám trên mái dốc không thấm:	
- Độ dày lưới hạt nhựa 1,0 cm.	0.60-0.80
- Độ dày lưới hạt nhựa 1,8 cm	0.55-0.75
- Độ dày lưới hạt nhựa 3,0 cm	0.5-0.70

không thấm.

Các mẫu thí nghiệm bao gồm 3 lớp hạt nhựa đơn với các thông số: GS=6,4mm và n=53,8%, GS=14,0mm và n=30,4%, GS=20,0mm và n=51,3%) được cố định trên mái dốc có kích thước khác nhau (loại 0,6mm dày, ô lưới 5×5mm, loại 1,2mm dày, ô lưới 10×10mm).

Giá trị từ $\gamma_f = 1,0$ đến $\gamma_f = 0,5$ tương ứng với sự giảm chiều cao sóng leo tương đối (R/H) khi bề mặt đề chắn sóng được thay đổi từ bề mặt nhẵn sang bề mặt nhám.

3.3.2. Độ dày lớp phủ (l)

Độ dày các lớp phủ (l) là thông số chính liên quan đến độ rỗng (n) của lớp bảo vệ. Khi kích thước của các khối phủ thay đổi, độ dày các lớp phủ (l) cũng thay đổi tương ứng. Thực hiện thí nghiệm với độ dày lớp phủ lần lượt: 1,0cm, 1,8cm và 3,0cm. Khi độ dày lớp phủ (l) tăng lên, nghiên cứu ghi nhận sự suy giảm trong chiều cao sóng leo tương đối (R/H) đối với các mái dốc nhám không thấm nước.

3.3.3. Độ rỗng của lớp phủ (n)

Không tìm thấy mối tương quan rõ ràng giữa chiều cao sóng leo và độ rỗng trên các mẫu mái dốc thấm

nước được thử nghiệm. Hơn nữa, việc dịch chuyển các khối phủ và mức độ nén chặt lớp phủ trong quá trình thi công không ghi nhận được sự thay đổi của chiều cao sóng leo.

Kết quả trong Bảng 4 cho thấy rõ sự suy giảm chiều cao sóng leo tương đối khi tăng độ nhám và độ dày lớp phủ. Trường hợp mặt nhẵn cho kết quả R/H cao nhất và mẫu có sử dụng Elastocoast cho thấy hiệu quả tiêu tán năng lượng sóng rõ rệt. Tuy nhiên, không ghi nhận được xu hướng tuyến tính rõ ràng theo độ rỗng, do sự ảnh hưởng đồng thời của hình dạng, mức độ nén và kích thước hạt.

Bảng 4. So sánh kết quả thí nghiệm

Loại lớp phủ	Độ nhám γ_f	Độ dày lớp phủ (cm)	Độ rỗng (%)	Chiều cao sóng leo tương đối (R/H)
Mặt nhẵn, không thấm	1	-	-	1,78
GS =6,4mm	0,75	1	53,8	1,42
GS =14mm	0,65	1,8	30,4	1,36
GS =20mm	0,55	3	51,3	1,28
GS=20mm Elastocoast	0,5	3	~ 40	1,22

3.4. Phân tích kết quả thí nghiệm so với các công thức tính toán công bố

Kết quả thực nghiệm cho thấy chiều cao sóng leo tương đối (R/H) chịu ảnh hưởng rõ rệt từ các thông số cấu tạo mái dốc như độ nhám (γ_f), độ dày lớp phủ (l) và độ rỗng lớp phủ (n) - đặc biệt khi ứng dụng vật liệu mới như Elastocoast có cấu trúc thấm nước, liên kết đàn hồi và khả năng tiêu tán năng lượng sóng lớn.

Khi so sánh với các công thức lý thuyết đã được công bố:

- Công thức TAW (2002) cho kết quả phù hợp trong khoảng sai số $\pm 10-15\%$ so với mô hình thực nghiệm khi mái dốc có độ nhám trung bình ($\gamma_f \approx 0,6-0,7$) và không xét đến độ thấm nước. Tuy nhiên, TAW chưa tính đến ảnh hưởng đồng thời của độ rỗng và lớp phủ thấm nước như Elastocoast.

- Công thức Ahrens & McCartney (1985) chỉ ra mối quan hệ phi tuyến với thông số sóng vỡ (ζ), nhưng vẫn được xây dựng trên giả thiết lớp phủ là đá khối có kích thước hỗn hợp, không mô tả chi tiết ảnh hưởng của độ rỗng và cấu kiện đặc biệt như PU liên kết.

- Công thức Van der Meer & Stam (1992) áp dụng trong các trường hợp mái dốc nhám, đồng thời đưa vào thông số hình học của đê và đặc trưng sóng, cho kết quả tương đối sát với thực nghiệm trong các trường hợp lớp phủ có độ rỗng cao ($>50\%$). Tuy nhiên, vẫn cần hiệu chỉnh hệ số phù hợp nếu lớp phủ là vật liệu đàn hồi như Elastocoast.

- Công thức Chue (1980) và Hunt (1959) mặc dù đơn giản nhưng có độ sai lệch khá lớn trong các trường hợp mái dốc thấm nước và có vật liệu phủ phức hợp. Sai số trung bình lên tới 30-35% so với kết quả thí nghiệm.

Dựa trên kết quả phân tích, nếu lớp phủ có độ nhám cao ($\gamma_f < 0,6$) và độ rỗng lớn ($>50\%$), khuyến nghị sử dụng công thức Van der Meer kết hợp với hiệu chỉnh hệ số thực nghiệm từ mô hình để phản ánh đặc tính hấp thụ năng lượng sóng của vật liệu Elastocoast. Nếu lớp phủ là cấu kiện dạng đá xếp có độ nhám trung bình, có thể sử dụng công thức TAW (2002) với sai số chấp nhận được ($<15\%$) trong giai đoạn thiết kế sơ bộ. Trong trường hợp cần tính toán nhanh hoặc kiểm tra sơ bộ, công thức Ahrens & Titus (1985) có thể áp dụng với điều kiện hiệu chỉnh hệ số sóng vỡ (ζ) theo đặc tính lớp phủ thực nghiệm.

Việc lựa chọn công thức nên gắn với từng tổ hợp thông số kết cấu cụ thể của mái dốc (γ_f, l, n), thay vì áp dụng một công thức cố định. Cần ưu tiên các mô hình có khả năng hiệu chỉnh linh hoạt theo đặc trưng vật liệu phủ như Elastocoast để tăng độ chính xác và phù hợp với điều kiện thực tế.

4. Kết luận

Kết quả thực nghiệm về chiều cao sóng leo các mái dốc nhám và nhám của các công trình bảo vệ bờ biển có độ nhám là các khối xếp hình cầu đồng nhất và ứng dụng công nghệ Elastocoast phù hợp với kết quả tính toán theo các nghiên cứu trước đó.

Ảnh hưởng của chiều cao sóng, chu kỳ sóng, độ dốc sóng, độ nhám, độ dày lớp phủ đến chiều cao sóng leo đã được đánh giá theo mô hình thử nghiệm. Sự tiêu tán năng lượng khi sóng vỡ, độ nhám và độ rỗng của các lớp phủ làm chiều cao sóng leo thay đổi. Hệ số ảnh hưởng của độ nhám (γ_f), thay đổi trong khoảng từ 1,0 đến 0,5. Độ dày của lớp phủ cũng có ảnh hưởng đến chiều cao sóng leo nhưng không tìm thấy mối tương quan đáng kể nào giữa chiều cao sóng leo và độ rỗng lớp phủ đối với mái dốc thấm nước.

Lời cảm ơn

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Trường Đại học Hàng hải Việt Nam trong đề tài Mã số: **DT24-25.82**.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Dự án thí điểm bảo vệ bờ biển ứng dụng công nghệ Elastocoast® của Công ty TNHH ELASTOIMPEX
- [2] Dự án đê chắn sóng tại Hà Lan (Delta Works): *Ứng dụng công nghệ Elastocoast và khối phù Tetrapod.*
- [3] Phạm Văn Giáp, Nguyễn Hữu Đầu, Nguyễn Ngọc Huệ, Đinh Đình Trường (2000), *Bể cảng và đê chắn sóng*, NXB Xây dựng, Hà Nội.
- [4] Nguyễn Cảnh Cầm (2010), *Thủy lực công trình* NXB Xây dựng, Hà Nội.
- [5] Tiêu chuẩn TCVN 11820-6:2023. *Công trình cảng biển - Yêu cầu thiết kế - Phần 6: Đê chắn sóng.*
- [6] USACE (2002) - Coastal Engineering Manual (EM 1110-2-1100)

Ngày nhận bài:	10/04/2025
Ngày nhận bản sửa:	16/04/2025
Ngày duyệt đăng:	18/04/2025