

MÔ HÌNH VẬT LÝ ĐÁNH GIÁ HIỆU QUẢ CỦA MỘT SỐ DẠNG KẾT CẤU ĐÊ GIẢM SÓNG

Mai Trọng Luân

Viện Sinh thái và Bảo vệ công trình

Thiều Quang Tuấn

Trường Đại học Thủy lợi

Tóm tắt: Cà Mau là tỉnh cực Nam của Việt Nam, thuộc khu vực Đồng bằng sông Cửu Long và nằm trên bán đảo, có vị trí địa lý khá đặc biệt với ba mặt tiếp giáp biển, chiều dài bờ biển trên 254km với hơn 52.000 ha rừng ngập mặn. Tuy nhiên những năm gần đây, ở khu vực biển Tây tình trạng sạt lở đang diễn ra rất nghiêm trọng làm mất rừng ngập mặn, ảnh hưởng đến đời sống dân sinh, kinh tế - xã hội của người dân trong tỉnh. Đã có rất nhiều giải pháp được đưa vào áp dụng nhằm hạn chế tình trạng xói lở, mất rừng, tuy nhiên chưa có lý luận thiết kế rõ ràng, đặc biệt là về thiết kế chức năng yêu cầu cho công trình. Bài báo trình bày kết quả nghiên cứu mô phỏng quá trình truyền sóng qua 3 dạng công trình bảo vệ bờ (đê kết cấu hộp lỗ rỗng, đê cọc bê tông ly tâm đá đổ, đê kết cấu khối xếp CT3N-WIP1) bằng mô hình vật lý trên máng sóng với mục tiêu định hướng lựa chọn dạng công trình giảm sóng, gây bồi hỗ trợ trồng rừng thích hợp với khu vực biển Tây Cà Mau. Xem xét với mục tiêu tổng hợp là công trình có thể hỗ trợ trồng và khôi phục rừng ngập mặn phân ảnh qua các khía cạnh về hiệu quả giảm sóng, sóng phản xạ và khả năng trao đổi bùn cát có thể đi đến kết luận rằng kết cấu đê giảm sóng với loại cấu kiện CT3N-WIP1 (PA3) là phương án phù hợp nhất trong các phương án so sánh ở đây với các ưu điểm về sóng phản xạ và khả năng trao đổi bùn cát.

Từ khóa: Xói lở, mô hình vật lý, công trình bảo vệ bờ, biển Tây Cà Mau.

Summary: Ca Mau is the southernmost province of Vietnam, in the Mekong Delta region and located on the peninsula, with a quite special geographical position with three sides facing the sea, a coastline length of over 254km with more than 52,000 hectares of mangrove forest. However, in recent years, the coastal erosion problem has been very serious, causing loss of mangrove forests, affecting the daily life, economy and society of people in the coastal area. There are many solutions applied to protect the coastal, but have not much effect. This paper shows the results of a study about wave transmission through three types of coastal protection structures (hollow box structure dike, centrifugal concrete pile dike with rip-rap, CT3N-WIP1 structure dike) using the physical model. The comparison the ability of reducing wave and sediment exchange of these structures will be implemented to select the most suitable with the goal that structure can support restoration of mangroves.

Keywords: Erosion, physical model, coastal protection structure, West Sea of Camau province.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Cà Mau là tỉnh cực nam của Việt Nam, thuộc khu vực Đồng bằng châu thổ sông Cửu Long, phía bắc giáp tỉnh Kiên Giang, phía đông bắc giáp tỉnh Bạc Liêu, phía đông và đông nam giáp biển Đông và phía tây giáp Vịnh Thái Lan. Cà Mau nằm trên bán đảo, có vị trí địa lý khá đặc

biệt với ba mặt tiếp giáp biển, chiều dài bờ biển trên 254km và hơn 52.000 ha rừng ngập mặn. Tuy nhiên những năm gần đây, ở khu vực biển Tây tình trạng sạt lở đang diễn ra rất nghiêm trọng làm mất rừng ngập mặn, ảnh hưởng đến đời sống dân sinh, kinh tế - xã hội của người dân trong tỉnh. Ở một bãi triều rừng ngập mặn

Ngày nhận bài: 06/11/2023

Ngày thông qua phản biện: 01/12/2023

Ngày duyệt đăng: 05/12/2023

khỏe mạnh (cây có khả năng tự tái sinh) sẽ tồn tại một trạng thái ổn định động về vận chuyển và trao đổi bùn cát hạt mịn: bùn cát lơ lửng đem vào theo con triều được giữ lại bởi cây ngập mặn và quá trình cố kết bùn cát mới được lắng đọng - cân bằng với bùn cát bị đem đi bởi sóng. Việc xây dựng các công trình cứng ở mép rừng phía ngoài như bờ bao nuôi tôm, đê biển, đê chắn sóng xa bờ sẽ dễ gây sự cân bằng này và có thể thúc đẩy làm xảy ra một quá trình xói lở bờ biển... Đã có rất nhiều giải pháp được đưa vào áp dụng nhằm hạn chế tình trạng xói lở, mất rừng, tuy nhiên chưa có lý luận thiết kế rõ ràng, đặc biệt là về thiết kế chức năng yêu cầu cho công trình. Các công trình cứng dạng này gây ra tác động kép làm mất sự cân bằng về trao đổi bùn cát một cách nghiêm trọng: (1) cản trở và thậm chí là ngăn chặn thủy triều đem bùn cát trở lại rừng (do không hoặc ít có tính thấm và chiều cao công trình lớn) và (2) tạo hiệu ứng sóng phản xạ phía trước công trình làm gia tăng lượng bùn cát đem đi bởi sóng. Nguyên lý cơ bản của giải pháp công trình phù hợp cho việc hỗ trợ trồng tái sinh rừng là công trình cần có chức năng tiêu giảm sóng (vẫn cho phép một phần năng lượng sóng truyền qua), chứ không phải chắn sóng. Dạng kết cấu công trình phù hợp nhất do vậy là dạng kết cấu thấm rộng lớn nhưng có khả năng tiêu hao năng lượng sóng, do đó giảm được sóng phản xạ, và đồng thời cho phép trao đổi bùn cát qua công trình.

Bài báo trình bày kết quả nghiên cứu mô phỏng quá trình truyền sóng qua 3 dạng công trình đê giảm sóng (ĐGS) bằng mô hình vật lý trên máng sóng với mục tiêu định hướng lựa chọn dạng công trình giảm sóng, gây bồi hỗ trợ trồng rừng thích hợp với khu vực biển Tây Cà Mau [1].

2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

Sử dụng mô hình vật lý trong máng sóng nhằm mô phỏng và phân tích tương tác sóng-công trình thông qua các hệ số truyền sóng, sóng phản xạ và tiêu tán năng lượng sóng. Sử dụng

phương pháp làm đục nước bằng bột kaolinite (cao lanh) và đo nồng độ kaolinite trong nước trước và sau công trình để đánh giá khả năng trao đổi bùn cát qua công trình ĐGS.

Nghiên cứu được thực hiện trên máng sóng có chiều dài hữu ích 43m, rộng 1,0m và cao 1,2m, được trang bị với thiết bị hấp thụ sóng phản xạ chủ động (Active Reflecion Compensation-ARC) cho phép khử nhiễu sóng phản xạ lại từ bản tạo sóng. Máy tạo sóng có khả năng tạo sóng ngẫu nhiên theo phổ yêu cầu (JONSWAP, TMA, PM) với chiều cao sóng ngẫu nhiên lớn nhất là 0,25 m và chu kỳ dài nhất là 2,5s.

2.1. Thiết kế mô hình

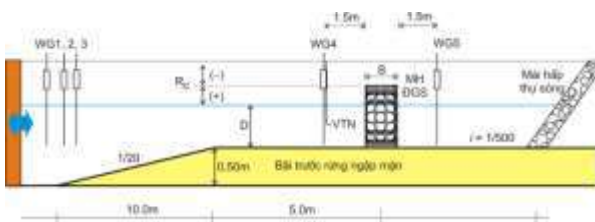
Vùng biển Tây của bán đảo Cà Mau có độ sâu nước hạn chế $D < 3,0\text{m}$, bãi trước rừng rất rộng và thoải (độ dốc $\sim 1/1.000$), mặc dù chiều cao sóng gió mùa ở nước sâu có thể lên tới 3,0m, tuy nhiên sóng bị tiêu hao phần lớn năng lượng do bị vỡ trên bãi nên chiều cao sóng tới trước rừng phổ biến là $H_s < 1,5\text{m}$. Căn cứ vào điều kiện địa hình, điều kiện biên thủy lực thực tế này và cũng như là khả năng đáp ứng của máng sóng (kích thước máng và năng lực tạo sóng), mô hình được chọn làm chính thái với tỷ lệ dài $N_L = 8$. Tỷ lệ thời gian mô hình N_t (bao gồm cả chu kỳ sóng) sẽ được xác định tương ứng với tỷ lệ dài theo tiêu chuẩn Froude. Là dạng mô hình lòng dẫn cứng được làm chính thái theo luật tỷ lệ Froude nên mô hình sẽ đảm bảo điều kiện các điều kiện tương tự về thủy động lực sóng.

$$N_t = \sqrt{N_L} = 2.83 \quad (2.1)$$

Sơ đồ bố trí thí nghiệm bao gồm: mô hình bãi rừng là bê tông vữa xi măng trát nhẵn có chiều cao 0,5m nhằm tạo điều kiện sóng nước sâu trước bãi. Chiều dài mặt bãi là 10m có độ dốc $i = 1/500$, đoạn chuyển tiếp có chiều dài 10m độ dốc 1/20 (Hình 1). Sóng tới từ nước sâu khi đi qua đoạn chuyển tiếp có độ dốc này sẽ bị vỡ, tạo ra điều kiện sóng vỡ trong mô hình tương tự với điều kiện sóng vỡ trên bãi rừng ngập mặn

trong thực tế. Phía cuối máng sóng là biên hấp thụ sóng phản xạ bị động có cấu tạo là mái đá đổ rời có độ dốc thoải.

Các mô hình ĐGS trong máng sóng được thu nhỏ theo tỷ lệ mô hình có chiều cao dao động trong khoảng 0,25m - 0,40m (từ 2m - 3m trong điều kiện nguyên hình) và bề rộng $B = 0,20 - 0,4m$ (rộng từ 1,5m đến 3,0m trong điều kiện nguyên hình) (Bảng 1). Các mô hình ĐGS trong máng sóng được trên một lớp thảm lót đáy đá dăm dày 3cm. Hình 2 minh họa hình ảnh mô hình ĐGS trong máng sóng.



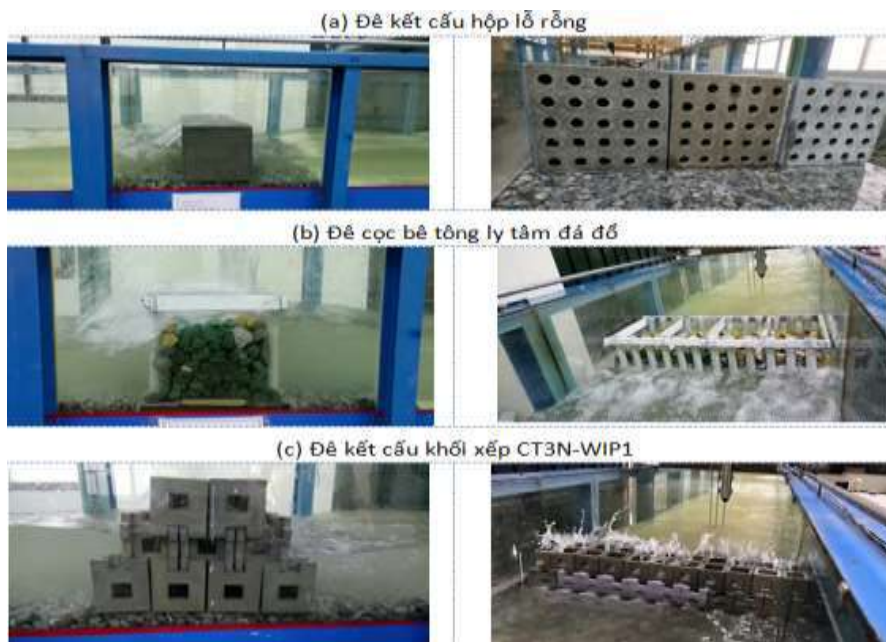
Hình 1: Sơ đồ bố trí thí nghiệm

Năm đầu đo sóng (kí hiệu WG) sẽ được sử dụng để đo sự biến đổi sóng phía trước bão, trước và sau công trình ĐGS. Trong số đó 03

đầu đo tại biên phía máy tạo sóng (WG1,2,3) được đặt ở các khoảng cách định trước sẽ được sử dụng để phân tách sóng phản xạ nước sâu phía trước bãi theo phương pháp của Zelt và Skjelbreia (1992). Thiết bị đo lưu tốc Vectrino (VTN) đo đồng bộ với sóng tại vị trí trước ĐGS (WG4) được sử dụng để kiểm tra điều kiện sóng phản xạ trong điều kiện nước nông (sóng phi tuyến) trước công trình theo phương pháp của Sheremet và nnk. (2002).

Bảng 1: Các thông số hình học cơ bản của các phương án so sánh

Mô hình	Bề rộng B (m)	Chiều cao đê H (m)	Độ rỗng khối n (-)
PA1	0,30	0,30	0,41
PA2	0,30	0,30	0,40
PA3	0,16 - 0,32	0,30	0,62



Hình 2: Các phương án ĐGS trong thí nghiệm

2.2. Bố trí thí nghiệm

Ba phương án kết cấu ĐGS được thí nghiệm

với 02 kích bản sóng với chiều cao sóng ở mức độ trung bình cho đánh giá hiệu quả giảm sóng và cho đánh giá khả năng trao đổi bùn cát.

Đối với hiệu quả giảm sóng, tham số đo đặc chủ yếu trong thí nghiệm là đường quá trình sóng tại các vị trí trên bãi, trước và sau công trình đối

với cả 3 dạng công trình với PA1 là đê hộp lỗ rỗng, PA2 đê cọc ly tâm đá đổ và PA3 là đê khối xếp CT3N-WIP1 (Bảng 1, hình 1, 2), bao gồm: Chiều cao sóng phổ trước và sau ĐGS ($H_{m0,i}$, $H_{m0,t}$), chu kỳ sóng (chu kỳ đỉnh phổ T_p và chu kỳ phổ trung bình T_m), chiều dài sóng nước sâu (L_0), chiều dài sóng nước nông (L) và hệ số phản xạ sóng (K_R).

Bảng 2: Các kích bản thí nghiệm

Mô hình (PA)	Kích thước MH		Độ sâu nước D (m)	Kích bản sóng H_{m0} (m), T_p (s)	Ghi chú
	Cao h (m)	Rộng B (m)			
PA1 Khối lập phương đục lỗ	0,30	0,30	D = 0,20	$H_{m0} = 0,10\text{m}$, $T_p = 1,35\text{s}$	Đánh giá hiệu quả giảm sóng
				$H_{m0} = 0,14\text{m}$, $T_p = 2,10\text{s}$	
				$H_{m0} = 0,10\text{m}$, $T_p = 1,35\text{s}$	Đánh giá khả năng trao đổi bùn cát
				$H_{m0} = 0,14\text{m}$, $T_p = 2,10\text{s}$	
PA2 Kè bê tông ly tâm đổ đá hộp c	0,30	0,30	D = 0,20	$H_{m0} = 0,10\text{m}$, $T_p = 1,35\text{s}$	Đánh giá hiệu quả giảm sóng
				$H_{m0} = 0,14\text{m}$, $T_p = 2,10\text{s}$	
				$H_{m0} = 0,10\text{m}$, $T_p = 1,35\text{s}$	Đánh giá khả năng trao đổi bùn cát
				$H_{m0} = 0,14\text{m}$, $T_p = 2,10\text{s}$	
PA3 Kết cấu lắp ghép CT3N-WIP1	0,30	0,30	D = 0,20	$H_{m0} = 0,10\text{m}$, $T_p = 1,35\text{s}$	Đánh giá hiệu quả giảm sóng
				$H_{m0} = 0,14\text{m}$, $T_p = 2,10\text{s}$	
				$H_{m0} = 0,10\text{m}$, $T_p = 1,35\text{s}$	Đánh giá khả năng trao đổi bùn cát
				$H_{m0} = 0,14\text{m}$, $T_p = 2,10\text{s}$	

Đối với khả năng trao đổi bùn cát, nghiên cứu được thực hiện theo các bước sau:

- Bước 1: Chuẩn bị mẫu bột cao lanh: hòa 100g bột cao lanh vào 10 lít nước.
- Bước 2: Lấy mẫu số 0 (mẫu ban đầu, thời gian

quy ước $t = 0$ phút) tại trước và sau công trình 1,0m.

- Bước 3: Phút thứ 5 (sau khi máy chạy 5 phút): đổ dung dịch cao lanh đã chuẩn bị vào vị trí phía trước cách công trình 1,0m.

- Bước 4: Phút thứ 10 (thời gian quy ước $t = 10$ phút): lấy mẫu số 1 tại vị trí trước và sau công trình 1,0m.
- Bước 5: Phút thứ 20 (thời gian quy ước $t = 20$ phút): lấy mẫu số 2 tại vị trí trước và sau công trình 1,0m.
- Bước 6: Phút thứ 30 (thời gian quy ước $t = 30$ phút): lấy mẫu số 3 tại vị trí trước và sau công trình 1,0m.

3. KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU

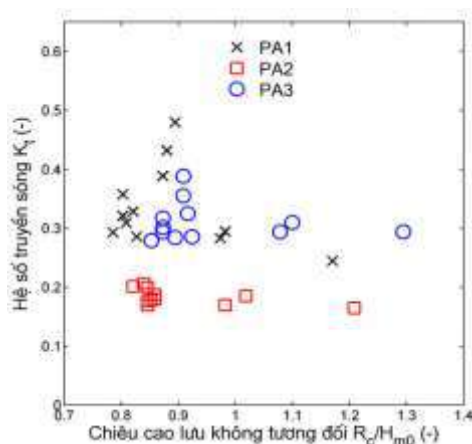
Trong thiết kế công trình giảm sóng, gây bồi hỗ trợ trồng rừng thì chức năng của công trình không chỉ là giảm sóng, mà quan trọng hơn là phải trả lại hoặc tái tạo lại vùng bãi triều tự nhiên cân bằng bùn cát mịn. Do đó, giải pháp công trình phù hợp cho mục tiêu hỗ trợ trồng tái sinh rừng cần được lựa chọn dựa trên các tiêu chí về hiệu quả giảm sóng, sóng phản xạ và khả năng trao đổi bùn cát qua công trình (xem hình 3, 4, 5).

Tương tự như các dạng đê truyền thống khác hệ số K_t của dạng đê PA1 chịu sự chi phối cơ bản của R_c/H_{m0} (quan hệ nghịch biến). Nhìn chung PA1 có hiệu quả giảm sóng ở mức độ trung bình với hệ số truyền sóng nằm trong khoảng $K_t = 0,30 - 0,40$. Tuy nhiên, do PA1 có dạng kết cấu dốc đứng nên hệ số phản xạ sóng vẫn khá cao ($K_R =$

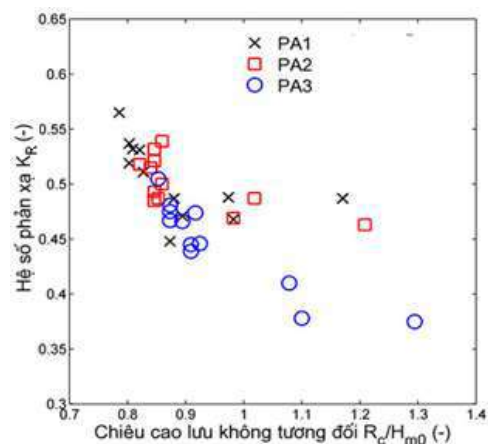
$0,46 - 0,57$). Phía trước đê xuất hiện hiện tượng sóng đứng một phần, một phần lớn năng lượng sóng không được hấp thụ mà bị phản xạ lại ra phía biển. Do kết cấu đê có lỗ rỗng với kích cỡ lớn nên khả năng trao đổi bùn cát của dạng đê này khá tốt.

Hiệu quả giảm sóng của đê PA2 là rất tốt với hệ số truyền sóng rất nhỏ, dao động xung quanh giá trị $K_t \leq 0,20$ (Hình 3). Hệ số phản xạ sóng vẫn khá lớn ($K_R = 0,46 - 0,54$) do PA2 cũng có kết cấu vách đứng, độ thấm lỗ đá đồ nhỏ. Tuy nhiên so với dạng kết cấu đê ở PA1 (đê kết cấu hộp lỗ rỗng) thì hiện tượng phản xạ sóng đã có cải thiện ít nhiều (K_R nhỏ hơn), do lỗ đá đã hấp thụ một phần năng lượng sóng. Khả năng trao đổi bùn cát qua đê cọc bê tông ly tâm đá đồ được đánh giá là không tốt (xem Hình 5). Chênh lệch hàm lượng TSS giữa phía trước và sau đê là khá lớn (50-100 mg/l), sự gia tăng nồng độ bùn cát phía sau đê diễn ra khá chậm.

Hiệu quả giảm sóng của đê PA3 là rất tốt với hệ số truyền sóng K_t nhỏ, dao động xung quanh giá trị trung bình vào khoảng 0,30 (Hình 3). Do đê có kết cấu rỗng lớn cùng với mái khô xếp nghiêng ở mặt trước làm tăng khả năng hấp thụ sóng, hiện tượng sóng phản xạ trước đê do vậy đã được cải thiện đáng kể so với hai phương án trước. Hệ số phản xạ sóng đã giảm rõ rệt ($K_R = 0,39 - 0,51$) (Hình 4).

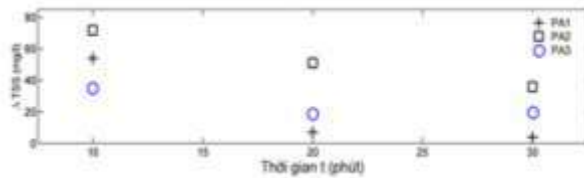


Hình 3: Tương quan chiều cao lưu không tương đối đỉnh đê ($R_c/H_{m0,i}$) và hệ số truyền



Hình 4: Tương quan chiều cao lưu không tương đối đỉnh đê ($R_c/H_{m0,i}$) và hệ số sóng

sóng (K_t) giữa các kết cấu



Hình 5: So sánh về khả năng trao đổi bùn cát

Về khả năng trao đổi bùn cát qua đê thì PA3 cho thấy sự trao đổi bùn cát diễn ra rất nhanh và nồng độ tổng lượng rắn lơ lửng TSS (mg/l) duy trì ở mức ổn định phía sau đê. Sau 20 phút thì độ chênh về TSS trước và sau đê chỉ còn khoảng từ 10 đến 20mg/l, tốt hơn hẳn so với các phương án đê so sánh ở trên (ví dụ với phương án đê cọc ly tâm đá đổ thì độ chênh này lên tới 50mg/l) (Hình 5).

Có thể thấy rằng nhìn chung cả ba phương án đều có hiệu quả giảm sóng tốt (hệ số K_t nhỏ, Hình 3). Phương án PA3 có hiệu quả giảm sóng nằm ở giữa hai phương án PA1 và PA2. PA2 đem lại hiệu quả giảm sóng tốt nhất, sóng tới trước đê phần lớn bị chặn lại, phía sau đê hầu như lặng sóng. Hiệu quả giảm sóng này của các phương án đê có liên hệ mật thiết với sóng phản xạ trước đê như thể hiện trên Hình 4. Tuy có hiệu quả giảm sóng tốt nhưng cả hai phương án PA1 và PA2 đều có hiện tượng sóng phản xạ trước đê lớn hơn đáng kể so với PA3. PA3 cho phép một phần năng lượng sóng đi qua và sau đó tiêu hao năng lượng sóng dẫn tới sóng phản xạ trước đê nhỏ.

Bên cạnh các biểu hiện về chỉ số thủy động lực, khả năng trao đổi bùn cát hạt mịn qua công trình cũng đóng vai trò quan trọng đối với công trình có chức năng hỗ trợ trồng tái sinh rừng ngập mặn đang xét tới ở đây. Hình 5 so sánh khả năng trao đổi bùn cát hạt mịn đánh giá thông qua độ

phản xạ trước công trình (K_R)

chênh tổng hàm lượng chất lơ lửng phía trước và phía sau của công trình $\Delta TSS = (TSS)_A - (TSS)_B$ theo thời gian cho cả ba phương án mô hình. Giá trị ΔTSS càng nhỏ và suy giảm càng nhanh chứng tỏ khả năng trao đổi bùn cát càng tốt và ngược lại.

Có thể thấy ΔTSS có giá trị và xu thế biến đổi theo thời gian gần tương tự nhau cho hai phương án mô hình PA1 và PA3 với độ chênh hàm lượng ΔTSS trước và sau đê vào khoảng từ <10 mg/l đến < 20 mg/l sau thời gian 30 phút. Phương án mô hình đê cọc ly tâm đá đổ (PA2) cho thấy khả năng trao đổi bùn cát kém nhất. Với mục tiêu hỗ trợ trồng và khôi phục rừng ngập mặn phản ánh qua các khía cạnh về hiệu quả giảm sóng, sóng phản xạ và khả năng trao đổi bùn cát chúng ta có thể đi đến kết luận rằng kết cấu đê giảm sóng với loại cấu kiện CT3N-WIP1 (PA3) là phương án phù hợp nhất.

4. KẾT LUẬN

Xem xét với mục tiêu tổng hợp là công trình có thể hỗ trợ trồng và khôi phục rừng ngập mặn có thể đi đến kết luận rằng kết cấu đê giảm sóng với loại cấu kiện CT3N-WIP1 (PA3) là phương án phù hợp nhất trong các phương án so sánh ở đây với các ưu điểm về hiệu quả giảm sóng, sóng phản xạ và khả năng trao đổi bùn cát, ngoài ra phương án này còn cho thấy khả năng ứng dụng linh hoạt trong cách bố trí, sắp xếp cấu kiện tùy theo nhu cầu sử dụng. PA3 cho thấy nhiều ưu điểm khi được tiến hành thí nghiệm trong mô hình vật lý trên máng sóng, tuy nhiên chưa có điều kiện đánh giá khả năng thực tế của phương án này ngoài hiện trường. Vì vậy cần phải có thêm những nghiên cứu sâu hơn để bổ sung căn cứ đánh giá hiệu quả của phương án này khi được áp dụng ngoài thực tế.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Tuan, Thieu. (2021). Công trình giảm sóng, gây bồi hỗ trợ trồng rừng ở vùng ven biển Đồng

Bằng Sông Cửu Long: nguyên lý chung và lựa chọn dạng kết cấu.
10.13140/RG.2.2.25245.84961.

- [2] Sheremet, A., R. T. Guza, S. Elgar, and T. H. C. Herbers, 2002. Observations of nearshore infragravity waves: Seaward and shoreward propagating components. *Journal of Geophysical Research*, 107(C8), 3095.