

THÍ NGHIỆM VỀ TRAO ĐỔI TRẦM TÍCH LƠ LŨNG QUA CÁC ĐÊ GIẢM SÓNG KẾT CẤU RỔNG Ở ĐỒNG BẰNG SÔNG CỬU LONG

Nguyễn Nguyệt Minh, Đỗ Văn Dương, Lê Duy Tú, Trần Thùy Linh

Viện Khoa học Thủy lợi miền Nam

Nguyễn Công Thành

Trường Đại học Khoa học Tự nhiên Tp Hồ Chí Minh

Tóm tắt: Bài báo này đánh giá khả năng trao đổi trầm tích lơ lửng của các công trình đê giảm sóng kết cấu rỗng đã được áp dụng ở vùng bờ biển Đồng bằng sông Cửu Long. Ba kết cấu được đánh giá, bao gồm kết cấu xếp rỗng (Đê cọc ly tâm đổ đá học, CMD), đê giảm sóng thân rỗng đục lỗ hai mặt (TC1, DRT/VTC), và đê giảm sóng tường mái nghiêng hở chân (CWB45). Trong nghiên cứu này, mô hình FLOW3D được áp dụng để phân tích cấu trúc dòng chảy theo phương thẳng đứng ở vị trí phía trước và sau các dạng kết cấu. Mô hình vật lý trong các thí nghiệm máng sóng được sử dụng để đánh giá tác động của kết cấu đối với sự trao đổi trầm tích. Kết quả cho thấy, các kết cấu xếp rỗng, đê giảm sóng thân rỗng, tường nghiêng hở chân có khả năng trao đổi môi trường tốt. Đê giảm sóng thân rỗng đục lỗ (TC1 & DTR/VTC) có lợi thế khác biệt trong việc tích tụ trầm tích mịn phía sau công trình. Vì vậy, các loại đê giảm sóng kết cấu rỗng có khả năng trao đổi trầm tích mịn được khuyến khích áp dụng nhằm hỗ trợ bùn cát hạt mịn tích tụ phía sau đê giảm sóng, tạo điều kiện thuận lợi cho việc phục hồi rừng ngập mặn, tăng cường đa dạng sinh học và cải thiện hệ sinh thái ven biển.

Từ khóa: Đê giảm sóng kết cấu xếp rỗng, đê giảm sóng thân rỗng đục lỗ hai mặt, trao đổi trầm tích lơ lửng, thí nghiệm vật lý, máng sóng, đồng bằng sông Cửu Long

Summary: This paper evaluated the exchange capacity of suspended sediments of porous/hollow breakwater constructions, which has been applied in the coastline of the Mekong Delta. Three construction structures were evaluated, including porous structure (Pile-rock breakwater), two-sided perforated hollow breakwater (TC1, DRT/VTC), and Curtain breakwater (CWB45). In this research, the most recent CFD of FLOW3D technology is used to provide a detail approach in analyzing the interaction between waves and structures, providing vertical profile wave-induced current in front and behind structures. The physical modeling in wave flume experiments was employed to assess the impact of structure on sediment transport. The results show that the hollow porous structures, hollow breakwater, open-legged inclined walls have good environmental exchange capacity. It was also found that the perforated hollow breakwater (TC1 & DTR/VTC) has a distinct advantage in accumulating fine sand and mud behind the construction. Therefore, applying these types of hollow structures for wave reduction and mud exchange is recommended to restore alluvium behind the breakwaters, creating favourable conditions for mangrove forest restoration, biodiversity enhancement, and improving coastal ecosystems.

Keywords: Porous/hollow breakwaters, suspended sediment exchange, physical experiments, wave tank, Mekong Delta Coastal Area

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Xói lở bờ biển đã diễn ra trên quy mô lớn và mức độ ngày càng nghiêm trọng tại khu vực ven biển ĐBSCL. Hiện tượng nóng lên toàn cầu, băng tan, mực nước biển tiếp tục tăng sẽ khiến ĐBSCL càng dễ bị tổn thương. Để bảo vệ sự toàn vẹn của vùng đồng bằng rộng lớn này đòi hỏi các giải pháp mang tính bền vững, khôi phục đai rừng ngập mặn để thiết lập lại hệ thống bảo vệ tự nhiên được coi là một hướng đi bền vững thích ứng với biến đổi khí hậu cho 744 km bờ biển ở ĐBSCL. Các phương pháp tiếp cận dựa trên hệ sinh thái nhằm bảo vệ bờ biển khỏi xói lở bằng cách duy trì các hệ sinh thái ven bờ phát triển khỏe mạnh nên được ưu tiên mở rộng. Ở những khu vực xói lở nghiêm trọng nơi vành đai rừng ngập mặn đã bị phá hủy, việc phục hồi chỉ có thể thực hiện sau khi năng lượng sóng tới bờ bị suy yếu, trầm tích hạt mịn được tích tụ, môi trường nước được lưu thông duy trì môi trường sống tự nhiên cho các loài sinh vật. Thực tế ở ĐBSCL cho thấy các giải pháp công trình bảo vệ vùng ven bờ thường là các giải pháp cấp bách, việc nghiên cứu chức năng của công trình hỗ trợ duy trì hệ sinh thái ven bờ còn nhiều bỏ ngỏ.

2. KHU VỰC NGHIÊN CỨU

ĐBSCL nằm trong khu vực cận xích đạo nóng ẩm và khí hậu chịu ảnh hưởng rõ rệt của gió mùa (Hordoir et al., 2006). Gió mùa thịnh hành chi phối trường sóng ở khu vực biển Đông. Gió mùa mùa hè thúc đẩy các đợt sóng Tây Nam, thường là các cơn sóng ngắn và có năng lượng thấp, trong khi gió mùa mùa đông tạo ra các đợt sóng có chu kỳ dài (swells, chu kỳ trung bình lớn hơn 8s) gây ảnh hưởng tới cả khu vực phía Đông Nam của ĐBSCL. Theo số liệu tái phân tích 29 năm của NOAA và kết quả tính toán bằng mô hình Telemac 9 năm, sóng ở độ sâu <3m khu vực đồng bằng sông Cửu Long 90% sóng có Hs <1m và chu kỳ <5s, sóng có biên độ lớn > 1m và chu kỳ dài (>8s) xuất hiện với tần

suất lớn hơn ở khu vực biển phía Đông của ĐBSCL trong thời kỳ gió mùa Đông Bắc. Kết quả phân tích mẫu trầm tích đáy trên nhiều mặt cắt phân bố rộng khu vực ĐBSCL của dự án LMDCZ của Viện Khoa học Thủy lợi Miền Nam cũng như công bố của Thanh, N. T., et al., 2017 cho thấy đặc trưng bùn cát của khu vực biển phía Tây là cát hạt mịn với hai thành phần chính là bùn và sét (cấp hạt trung bình <8 micrometer), khu vực biển phía Đông có đặc trưng của cát và bùn (cấp hạt trung bình ~200 micrometer). Đặc trưng của loại trầm tích kết dính (bùn, sét) ngoài đặc điểm cấp hạt rất mịn thì nó có độ nhớt cao (viscosity) và rất dễ di chuyển (tính linh động cao – high mobility).

3. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

Một chuỗi các thí nghiệm trong máng sóng tại phòng thí nghiệm Thủy động lực sông biển thuộc Viện Khoa học Thủy lợi Miền Nam được tiến hành nhằm đánh giá khả năng trao đổi trầm tích lơ lửng của 4 dạng công trình.

Kaolin được sử dụng nhiều khi nghiên cứu bùn lỏng trong máng sóng do tính tương đồng về đặc điểm lưu biến (rheological) giữa kaolin và bùn tự nhiên, như Soltanpour, M. et al., 2011 nghiên cứu tiêu tán năng lượng sóng của bùn lỏng, Winterwerp J. C. et al. (1997) nghiên cứu xói lở của lớp bùn lỏng, hay nghiên cứu của Farzin Samsami et al. (2011). Tính tương đồng về lưu biến học của kaolin và bùn tự nhiên đã được nghiên cứu bởi Sihang N. et al. (2018), Ahmad S. et al. (2020) thông qua đặc điểm về tính nhớt-đàn hồi (viscoelasticity) và trạng thái di chuyển. Trong thí nghiệm này, chúng tôi sử dụng một loại kaolin được sử dụng trong lĩnh vực công nghiệp, nguồn gốc phong hóa từ đá trầm tích, thành phần chính là kaolinit, một loại khoáng chất sét với thành phần hóa học là $Al_2Si_2O_5(OH)_4$, có trọng lượng riêng 2.58-2.6 g/cm³, đường kính hạt trung bình là 2.8

Ngày nhận bài: 04/5/2022

Ngày thông qua phản biện: 05/7/2022

Ngày duyệt đăng: 02/8/2022

micromet. Kích thước hạt của kaolin đủ nhỏ để không bị ảnh hưởng bởi trọng lực. Tương tác giữa chúng chịu chi phối bởi cả lực đẩy tĩnh điện. Việc sử dụng kaolin công nghiệp giúp cho việc cung cấp vật liệu thí nghiệm được đảm bảo cũng như duy trì tính đồng nhất giữa các lần thực hiện thí nghiệm.

4. THIẾT LẬP THÍ NGHIỆM

Mô hình được lựa chọn theo tỉ lệ 1:7 đây là tỉ lệ lớn nhất có thể thực hiện mà vẫn đảm bảo các điều kiện tương tự số Froude, dòng chảy rối, khả năng của máng sóng thí nghiệm cũng như các điều kiện biên thí nghiệm bao gồm mực nước, chiều cao và chu kỳ sóng (Đỗ Văn Dương

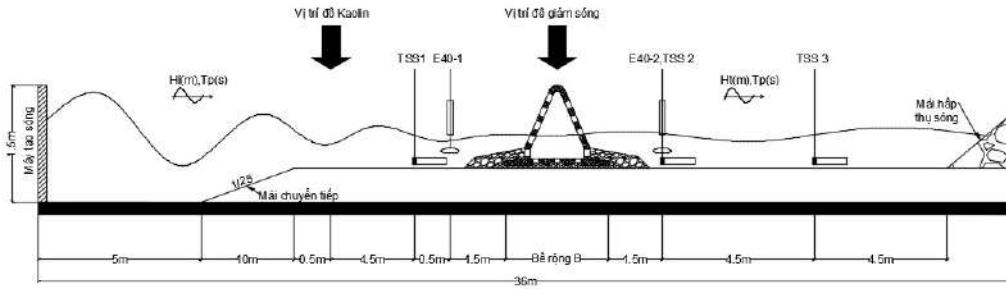
& nnk., 2021). Khoảng cách từ mực nước đến đỉnh đê $R_c=15\text{cm}$ tương đương với ngoài thực tế là đê nhô 1.05 m. Tham số sóng được lựa chọn để thí nghiệm là sóng khi tới trước công trình có chiều cao, chu kỳ là 0.91m, 5.5s bằng cách thiết lập sóng tại biên đầu vào có chiều cao và chu kỳ là 17cm, 1.89s được tạo ra từ phổ JONSWAP. Đây là sóng ở khu vực nước sâu, sau khi truyền qua mái dốc, sóng bị biến đổi do tương tác với đáy. Kết cấu thí nghiệm được lựa chọn từ 3 dạng đê giảm sóng làm việc hiệu quả ở ĐBSCL là: Cọc ly tâm đổ đá học ở Cà Mau (CMD), đê trụ rỗng (DTR/VTC), cấu kiện TC1, kết cấu CWB45 được đề xuất bởi nhóm nghiên cứu KIT (cộng hòa LB Đức) (Hình 1).



Hình 1: Các kết cấu thí nghiệm

Một lượng kaolin được hòa vào nước và đổ qua phễu dẫn xuống máng ở cùng một vị trí giống nhau giữa các thí nghiệm. Ba sensor có tần số lấy mẫu 1 số liệu/phút đều được kiểm định, số liệu dùng để phân tích đã loại bỏ offset riêng của mỗi sensor để việc so sánh đảm bảo tính đồng nhất được bố trí như Hình 2. Để xem xét khả năng tiếp nhận và giữ

trầm tích lơ lửng phía sau công trình, thí nghiệm bố trí theo hai cách (S1&S2) giả định theo hai điều kiện về nguồn cung cấp trầm tích ngoài thực tế. S1 là thí nghiệm với cách cung cấp kaolin chỉ một lần duy nhất trong toàn bộ thí nghiệm còn S2 theo cách cung cấp kaolin liên tục trong quá trình thí nghiệm.



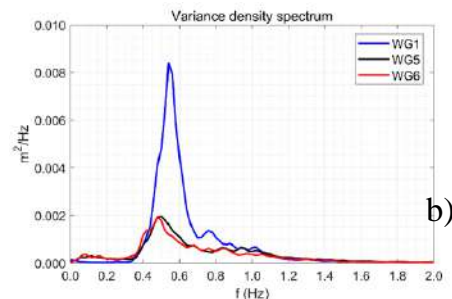
Hình 2: Sơ đồ bố trí thí nghiệm: TSS1&2&3: vị trí sensor độ đục, E40: đầu đo dòng chảy

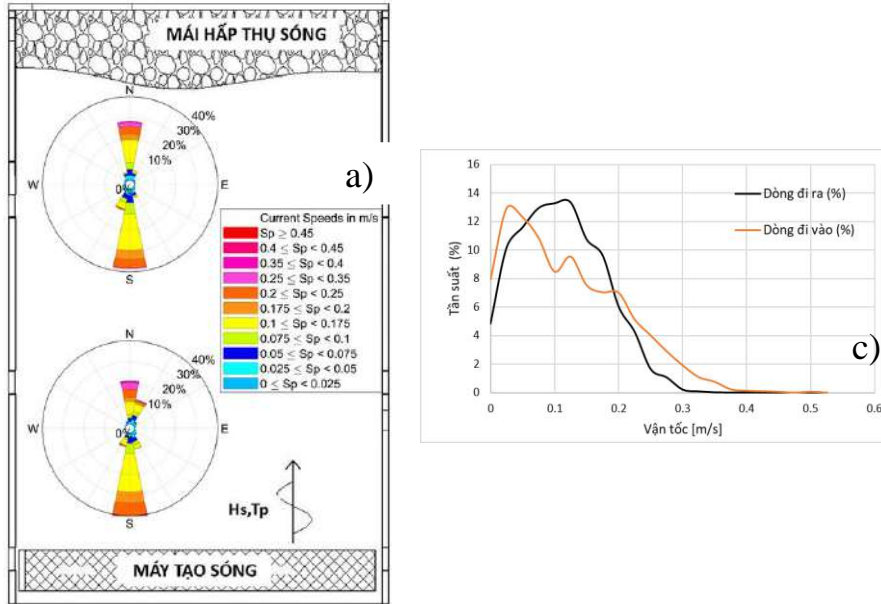
5. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

5.1. Vai trò của công trình trong phân bố trầm tích lơ lửng

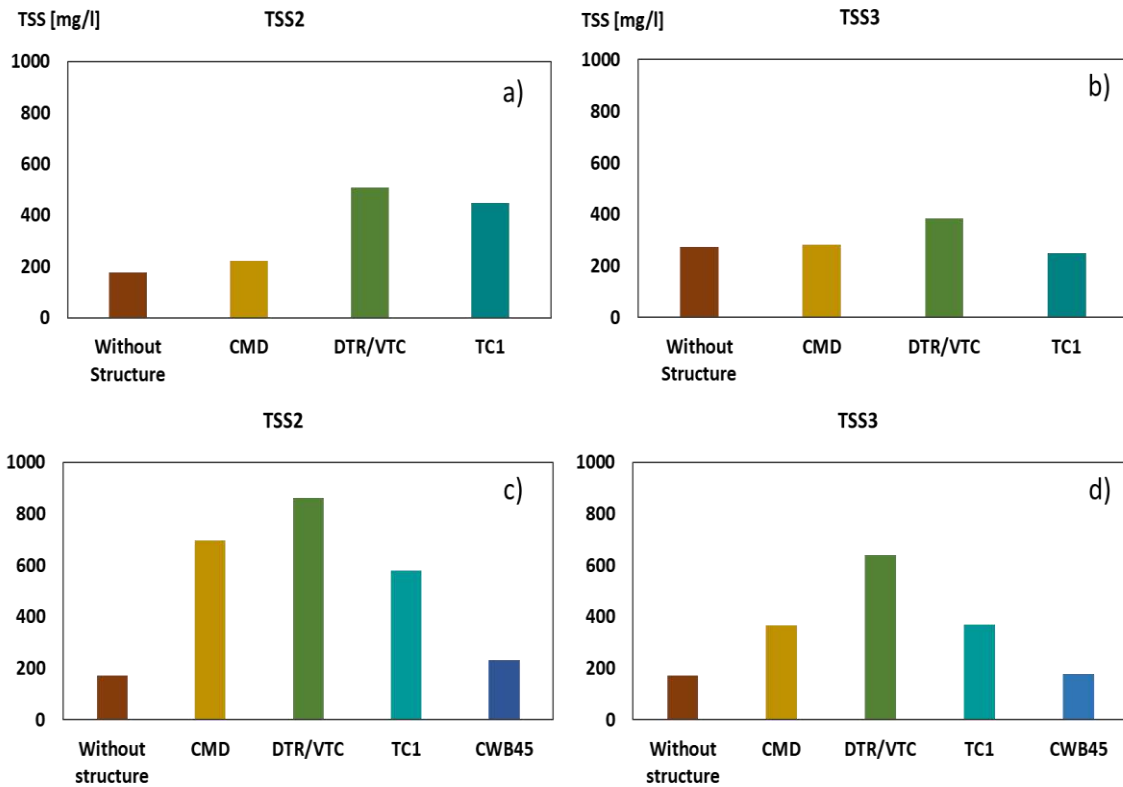
Sóng sau khi lan truyền qua mái chuyển tiếp bị biến đổi do độ sâu nước thay đổi, sóng vỡ làm năng lượng đỉnh sóng tại vị trí phía trước công trình bị suy giảm đáng kể (vị trí E40-1, E40-2), sóng tiếp tục suy giảm khi tiến về phía mái hấp thụ. Dòng chảy tạo ra bởi con sóng này phân bố theo 2 hướng chính: hướng đi vào (tiến về phía mái hấp thụ) và hướng đi ra (quay trở lại phía máy tạo sóng) nhưng có tính bất đối xứng (Hình 3). Cả hoa dòng chảy và phân bố tần suất dòng chảy đều cho thấy dòng chảy đi ra xuất hiện với tần suất nhiều hơn so với dòng đi vào, tuy nhiên ở dòng đi vào phân bố tần suất của các giá trị vận tốc lớn > 0.2 m/s xuất hiện nhiều hơn so với dòng đi ra, kết quả thí nghiệm với kaolin cho thấy trường hợp không có công trình, trầm tích giữ lại ở hai vị trí TSS2&TSS3 thấp nhất (Hình 4). Phân bố của dòng chảy đi ra có tần suất lớn do hiện tượng nước dồn nhưng không có chỗ thoát do thí nghiệm thực hiện trong máng kín.

Hình 4 biểu diễn kết quả độ đục trung bình sau khi để lắng tại 2 vị trí phía sau công trình TSS2 & TSS3 theo cả 2 cách thức làm thí nghiệm S1 & S2. Kết quả cho thấy độ đục tại cả 2 vị trí TSS2 & TSS3 trong trường hợp không có công trình đều thấp khi so sánh với các trường hợp có công trình. Điều này cho thấy khi có công trình, lượng kaolin được đưa từ phía trước công trình, qua công trình và giữ lại nhiều hơn khi không có công trình. Như đã trình bày ở phần phía trên, sóng lựa chọn làm thí nghiệm có đặc điểm về dòng chảy tạo ra do sóng có phân bố tần suất đi ra nhiều hơn và mạnh hơn do đó kaolin được trộn lẫn nhờ quá trình tái lơ lửng của sóng (resuspension) và phân bố lại trên khắp cả máng, cả về hai phía của điểm đổ kaolin, sau khi lắng lại thì giá trị độ đục của cả 3 vị trí đều khá tương đồng. Các công trình khác nhau gây ra những biến đổi khác nhau của sóng (quá trình tiêu tán năng lượng sóng) phía sau công trình dẫn đến cùng một lượng kaolin đưa vào nhưng mỗi thí nghiệm với mỗi loại công trình khác nhau thì lượng kaolin giữ lại khác nhau.





Hình 3: Hoa dòng chảy tại vị trí phía trước và sau vị trí đặt công trình (a). Phổ sóng (b) và phân bố tần suất xuất dòng chảy (c) cho trường hợp không có công trình với mực nước 65cm, sóng chiều cao 17cm và chu kỳ 1.89s tại vị trí E40-1



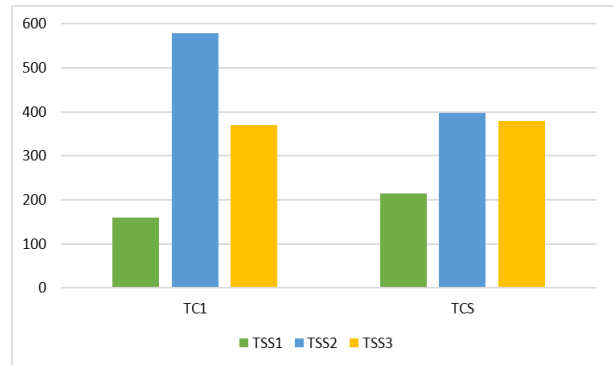
Hình 4: Độ đục trung bình [mg/l] tại 2 sensor TSS2 & TSS3 theo cách thí nghiệm S1 (a,b) và S2 (c,d)

5.2. Các yếu tố ảnh hưởng tới phân bố trầm tích lơ lửng

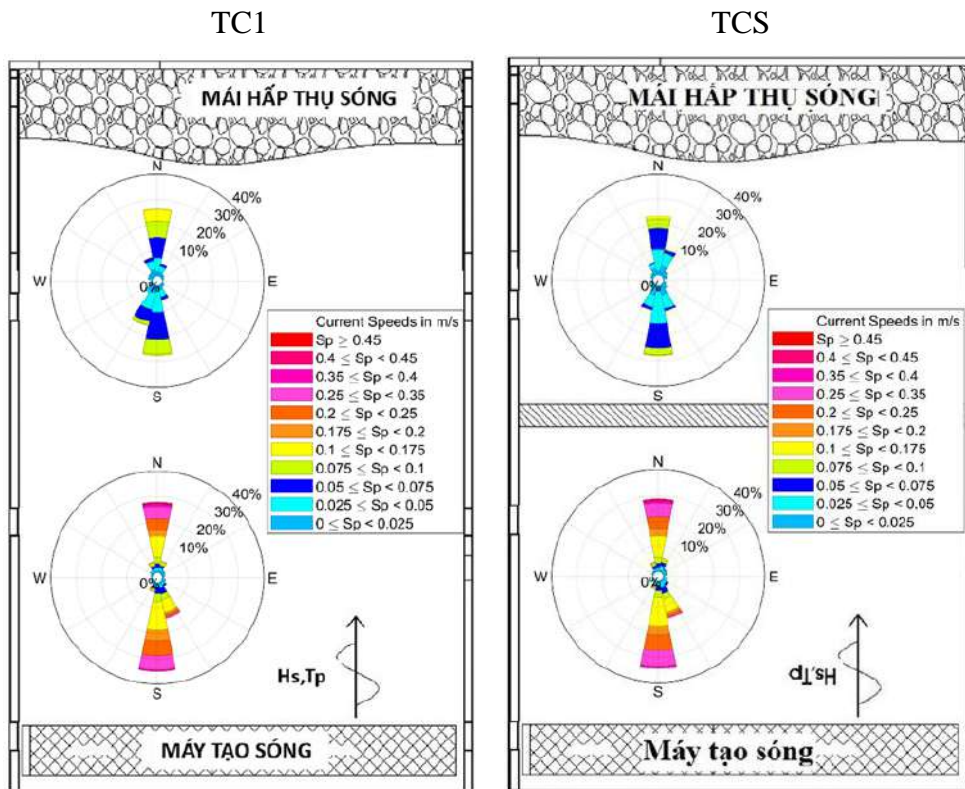
Các nghiên cứu trước đây đã chỉ ra rằng đối với đê thân rỗng đục lỗ 2 mặt thì hệ số truyền sóng

qua công trình phụ thuộc vào độ rỗng bề mặt của các loại cấu kiện và tương quan giữa độ rỗng bề mặt trước và sau của cấu kiện (Hee Min Teh et al., 2012; Lê Xuân Tú et al., 2019). Thí nghiệm với cấu kiện TC1 bịt kín hàng lỗ sát đáy của mặt sau cấu kiện (gọi là TCS) cho thấy hệ số truyền sóng của TCS thấp hơn 20% so với hệ số truyền sóng của TC1, tức là TCS giảm sóng tốt hơn TC1. Tuy nhiên kết quả thí nghiệm với kaolin lại chỉ ra phía sau công trình TCS kaolin giữ lại ở đây không lớn hơn của TC1 (tại 2 vị trí TSS2&TSS3) trong khi tại TSS1 của TCS lại lớn hơn tại TSS1 của TC1 cho thấy kaolin còn lại ở phía trước công trình của TCS nhiều hơn so với TC1 (Hình 5). Kết quả đo dòng chảy tại 2 vị trí trước và sau công trình cho thấy khi sóng

truyền qua công trình giảm đi thì dòng chảy tạo ra bởi sóng cũng giảm theo (Hình 6).



Hình 5: Giá trị độ đục [mg/l] trung bình sau khi đọt lắng tại 3 vị trí TSS1, TSS2, TSS3 của thí nghiệm với cấu kiện TC1 và TCS



Hình 6: Hoa dòng chảy của TC1 (trái) và TCS (phải) tại 2 vị trí phía trước (bên dưới) và phía sau (bên trên)

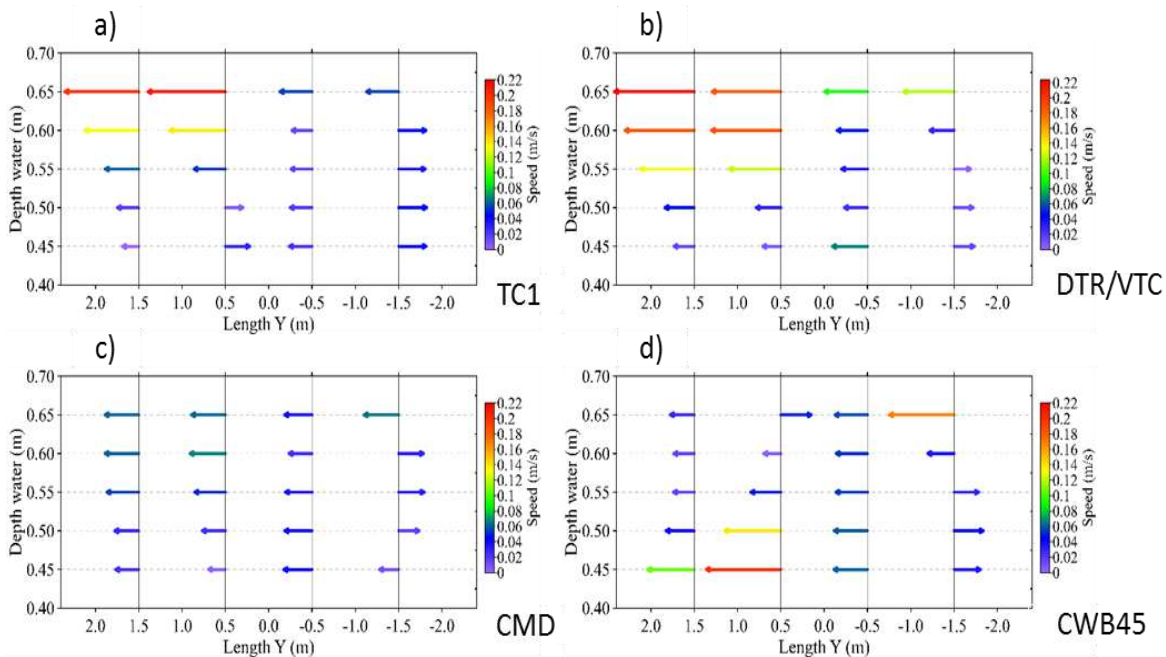
5.3. Ảnh hưởng của dòng chảy sinh ra do tương tác của sóng và công trình tới phân bố

trầm tích lơ lửng

Kết quả thí nghiệm với kaolin cho thấy dù cọc

ly tâm đồ đá học có hệ số giảm sóng khá tốt nhưng lượng kaolin thu nhận phía sau công trình của nó tương tự như của cấu kiện TC1 mặc dù cấu kiện TC1 do phần trăm lỗ rỗng cả hai mặt đều lớn nên hệ số giảm sóng thấp (Bảng 1, Hình 4). Để giải thích rõ khả năng trao đổi kaolin của từng loại công trình chúng tôi sử dụng số liệu dòng chảy tính toán từ mô hình toán Flow 3D để phân tích. Số liệu sóng đo đạc trong máng sóng thí nghiệm được sử dụng để hiệu chỉnh và kiểm định mô hình. Kết quả kiểm định khá tốt cho thấy khả năng mô hình phỏng tương tác sóng-công trình của mô hình Flow 3D đặc biệt là với các cấu kiện thân rỗng. Kết quả vận tốc được trích xuất theo 5 tầng độ sâu từ trên mặt xuống phía đáy tại 2 cặp vị trí: cách 2m trước và sau công trình

(E40-1, E40-2) và cách 0.15cm trước và sau công trình (WG51, WG61) được thể hiện ở hình 7. Hướng truyền sóng từ phải qua trái. Vector biểu thị hướng và độ lớn của dòng chảy theo các tầng độ sâu khác nhau. Kết quả cho thấy sự khác biệt rõ nét giữa 3 dạng công trình, kết cấu đê thân rỗng đục lỗ hai bên (TC1, DTR/VTC) cho phân bố dòng chảy mặt khá lớn, vị trí ngay sau công trình cấu kiện TC1 xuất hiện dòng chảy trung bình theo hướng ngược lại so với phương truyền sóng. Cọc ly tâm Cà Mau không có sự khác biệt về dòng chảy theo độ sâu lớn như của hai dạng đê thân rỗng. CWB là một loại cấu kiện khác biệt hoàn toàn khi phần chân đê để hở, dòng chảy đáy mạnh nhất trong toàn bộ cột nước.

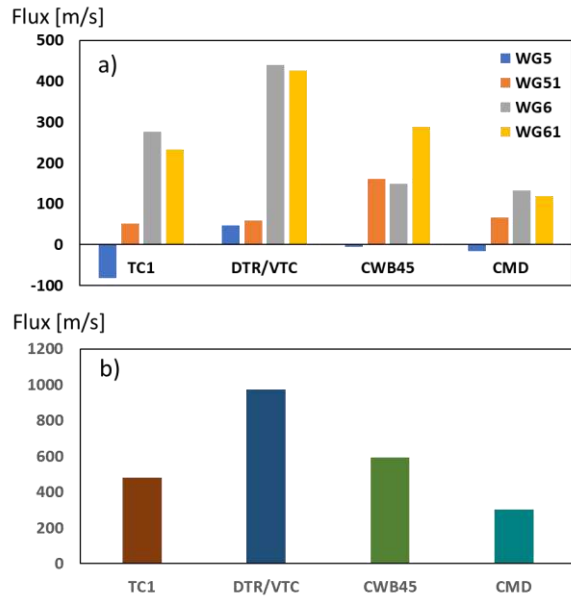


Hình 7: Vector biểu diễn độ lớn và hướng dòng chảy trung bình tại từng lớp độ sâu theo phương ngang (x, y) tại vị trí trước và sau công trình cho các trường hợp công trình khác nhau

Ngoài tự nhiên sóng có vai trò rất lớn trong phân bố vận chuyển trầm tích trong khu vực nước nông ven bờ. Sóng làm tái lơ lửng trầm tích (resuspension) và dòng chảy tiếp tục vận chuyển trầm tích (dòng chảy tổng hợp của sóng, thủy triều, dòng hoàn lưu ...). Trong điều kiện

thí nghiệm sóng tới trước công trình có bước sóng $\sim 6\text{m}$ có đặc điểm của sóng nước nông (shallow water wave), độ sâu nước ở đây là 25cm (nhỏ hơn $1/20$ của 1 chiều dài bước sóng), dòng sinh ra là dòng do sóng, sóng biến đổi do tương tác với đáy nước nông và tương tác với

cấu kiện thí nghiệm. Tùy theo các cấu kiện khác nhau mà dòng chảy sinh ra phía sau công trình biến đổi theo. Để xem xét vai trò vận chuyển trầm tích lơ lửng của dòng chảy sinh ra do tương tác sóng và công trình chúng tôi tính thông lượng dòng chảy tổng cộng trên cả cột nước tại 2 cặp vị trí trước và sau công trình 1.5m (WG5, WG6), trước và sau công trình 0.15m (WG51, WG61) cho 30 con sóng (Hình 8). Quy ước dòng chảy hướng về phía mái hấp thụ sóng mang dấu dương và dòng chảy đi ra hướng về phía máy tạo sóng mang dấu âm. Kết quả cho thấy mặc dù sóng phía sau cấu kiện DTR/VTC khá nhỏ (đây là cấu kiện có hệ số truyền sóng nhỏ nhất) nhưng thông lượng tổng cộng là lớn nhất và có hướng vào bờ (mái hấp thụ) do từ trên mặt xuống dưới đáy dòng đi vào đều chiếm ưu thế. Cọc ly tâm Cà Mau có hệ số truyền sóng tốt hơn của TC1 nhưng cũng không làm cho nó có ưu thế vượt trội trong vận chuyển trầm tích lơ lửng. TC1 hoạt động khá tốt trong việc tạo điều kiện cho kaolin giữ lại phía sau công trình cả phía sát bờ. Cọc ly tâm có phân bố khá lệch giữa 2 vị trí TSS2 và TSS3 có thể do dòng khá yếu để có thể đẩy tiếp trầm tích vào sát bờ. CWB tuy chỉ giảm sóng được 20% và với thiết kế hờ chân, dòng chảy đáy hướng vào bờ chiếm ưu thế và khá mạnh, tuy nhiên với điều kiện sóng như vậy không hỗ trợ cho CWB giữ lại được nhiều kaolin phía sau nó, giá trị ghi nhận tại vị trí TSS2&3 của CWB tương tự như trường hợp không có công trình (Hình 4).



Hình 8: a) Tổng thông lượng dòng chảy trên toàn bộ cột nước tại 2 vị trí trước và sau công trình 0.15m (WG51, WG61, WG5, WG6), b) Tổng thông lượng dòng chảy trên toàn bộ cột nước tổng hợp tại cả 4 vị trí WG51, WG61, WG5, WG6

Bảng 1: Hệ số truyền sóng và hệ số phản xạ của các loại công trình ở điều kiện thí nghiệm

Công trình	Hệ số truyền sóng K_t	Hệ số phản xạ K_r
Cọc ly tâm CMD	0.273	0.319
DTR/VTC	0.182	0.223
TC1	0.455	0.206
CWB45.1	0.818	0.188

6. KẾT LUẬN

Thí nghiệm trao đổi kaolin giữa các dạng công trình khác nhau đã làm sáng tỏ thêm một số đặc trưng của các dạng công trình nhờ đó giúp cho các nhà thiết kế cân nhắc để có thể đưa ra các giải pháp phù hợp với từng khu vực cụ thể. Công trình bảo vệ bờ biển bên cạnh khả năng giữ ổn định để đảm bảo thực hiện được đúng chức năng của nó đó là giảm sóng bảo vệ khu vực phía bờ, thì cần hướng tới mục tiêu trao đổi môi trường và tạo điều kiện để trầm tích lơ lửng tích tụ. Thí nghiệm không xem xét được vai trò của dòng chảy dọc bờ, khoảng hở giữa các đoạn đê, phân bố của nguồn trầm tích, ... nhưng đã làm rõ được một số điểm như sau: Các công trình có dạng xếp rồng, đê thân rồng đục lỗ hai mặt hay hở chân đều đảm bảo khả năng trao đổi môi trường (nước, bùn cát,

chất hòa tan, sinh vật phù du, ...) trước và sau công trình, không biến vùng đất mà nó bảo vệ bị cô lập, có khả năng giúp cho trầm tích lơ lửng tích tụ lại phía sau nó. Khả năng tiếp nhận, giữ lại trầm tích lơ lửng của công trình phụ thuộc không chỉ vào hiệu quả giảm sóng mà còn phụ thuộc vào cả đặc trưng về hình thái cấu trúc của công trình. CWB là kết cấu hở chân nên cách thức công trình giữ bùn cát tương đối giống trường hợp không có công trình. Nghiên cứu cũng chỉ ra tác động của việc bố trí các lỗ rồng phía sau công trình có vai trò trong việc giữ trầm tích lơ lửng như trường hợp của DTR/VTC. Tuy nhiên, một số khía cạnh cần được nghiên cứu thêm để cải thiện thiết kế xây dựng công trình bảo vệ chẳng hạn như dòng chảy dọc bờ, khoảng hở giữa các đoạn đê, sự phân bố của các nguồn cung cấp trầm tích.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Ahmad Shakeel, Alex Kirichek, Claire Chassagne (2020). Rheological analysis of natural and diluted mud suspensions. *Journal of Non-Newtonian Fluid Mechanics*. Volume 286, 104434
- [2] Alishahi M. R. and R. B. Krone (1964) Suspension of cohesive sediment by wind-generated waves. Technical Report HEL-2-9, Hydraulic Engineering Laboratory, University of California, Berkeley, California, August, 24 pp.
- [3] Dean R, G., Dalrymple R, A. (2001) Coastal Processes with engineering Applications. Publisher: Cambridge University Press, ISBN 0-521-49535-0, 475 pp.
- [4] Đỗ Văn Dương, Nguyễn Nguyệt Minh, Lê Duy Tú, Lê Xuân Tú, Đinh Công Sản, Trần Thủy Linh (2021). Xác định ảnh hưởng của chiều rộng đỉnh đến hiệu quả giảm sóng của đê giảm sóng cọc ly tâm – đá đổ trong máng sóng. *Tạp chí Khoa học và công nghệ Thủy lợi*. Số 66, trang 63-72. ISSN: 1859-4255
- [5] Farzin Samsami, Mohsen Soltanpour (2011). Irregular wave-flume experiments of dissipating waves on muddy bed. *Proceedings of the Coastal Sediments*.
- [6] Hee Min Teh, V Venugopal, T Bruce, 2012. Performance analysis of composite semi-circular breakwaters of different configurations and porosities. *Coastal Engineering Proceedings*, 38-38
- [7] Hordoir, R., Polcher, J., Brun-Cottan, J.-C., Madec, G., 2006. Towards a parametrization of river discharges into ocean general circulation models: a closure through energy conservation. *Climate Dynamics* 31 (7–8), 891–908.
- [8] Jackson J. R. (1973) A model study of the effects of small amplitude waves on the resuspension of fine-grain cohesive sediments. M. S. Thesis, University of New Hampshire, Durham, New Hampshire, 53 pp.
- [9] Kriebel, D. L.; Dean, R. G. Convolution method for time-dependent beach-profile response (1993). *Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering*, 119: 205-226

- [10] Lê Xuân Tú, Đỗ Văn Dương, 2019. Nghiên cứu ảnh hưởng các yếu tố đến quá trình truyền sóng của đê giảm sóng kết cấu rồng trên mô hình máng sóng. Tạp chí khoa học công nghệ thủy lợi Số 57 (12/2019).
- [11] Maa P. Y. & Mehta A. J. (1987) Mud erosion by waves: a laboratory study. *Continental Shelf Research*. Vol. 7. Nos 11/12. Pp. 1289-1284.
- [12] Nguyen, N.M., P. Marchesiello, F. Lyard, S. Ouillon, G. Cambon, D. Allain, U.V. Dinh, 2014: Tidal characteristics of the Gulf of Tonkin. *Continental Shelf Research*, 91, 37-56.
- [13] Thanh, N. T., Stattegger, K., Unverricht, D., Nittrouer, C., Phach, P. V., Liu, P., DeMaster, D., Dung, B. V., Anh, L. D., & Dong, M. D. (2017). Surface sediment grain-size distribution and sediment transport in the subaqueous Mekong Delta, Vietnam. *Vietnam Journal of Earth Sciences*, 39(3), 193–209.
- [14] Thimakorn P. (1980) An experiment on clay suspension underwater waves. In: *Proceeding of the 17th Coastal Engineering Conference*, Vol. 3, Sydney, Australia, March, pp. 2894-2906.
- [15] Sihang Nie, Qin Jiang, Lizhu Wang, Jun Zhang, and Peng Liu (2018). A laboratory study of rheological properties of soft mud using a dynamic shear-controlled oscillatory viscometer. *Journal of Coastal Research*, 85, pp. 1226-1230.
- [16] Soltanpour, M., Samsami, F., & Sorourian, S. (2011). WAVE-FLUME EXPERIMENTS OF DISSIPATING WAVES ON SOFT MUD. *Coastal Engineering Proceedings*, 1(32), waves.4. <https://doi.org/10.9753/icce.v32.waves.4>
- [17] Winterwerp J. C., Kranenburg C. (1997). Erosion of fluid mud layers. II: Experiments and Model Validation. *Journal of Hydraulic Engineering*. Volume 123, Issue 9 (June 1997).
- [18] Wright L.D., Short A. D. (1984). *Marine Geology. Morphodynamic variability of surf zones and beaches: A synthesis*, 56, 93-118.