

# Sử dụng mô hình toán kiểm tra hiệu quả gây bồi, nâng bãi tại Sóc Trăng và Cà Mau

Mai Trọng Luân<sup>1\*</sup>, Mai Cao Trí<sup>2</sup>, Hoàng Thị Linh Giang<sup>1</sup>, Nguyễn Thị Thanh Loan<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Viện Sinh thái và Bảo vệ công trình, Viện Khoa học Thủy lợi Việt Nam

<sup>2</sup>Khoa Xây dựng công trình biển và dầu khí, Trường Đại học Xây dựng

Ngày nhận bài 26/9/2018; ngày chuyển phân biện 1/10/2018; ngày nhận phân biện 5/11/2018; ngày chấp nhận đăng 13/11/2018

## Tóm tắt:

Việc áp dụng các mô hình toán để mô phỏng quá trình truyền sóng ven bờ, tương tác sóng, dòng chảy và vận chuyển bùn cát rất phổ biến hiện nay. Bài báo đề xuất kết hợp hai mô hình toán Swash và XBeach để tính toán hiệu quả gây bồi cho 2 tiểu khu vực tại Sóc Trăng và Cà Mau. Quy trình tính toán được bắt đầu với Swash để tính ra chiều cao sóng sau khi giảm và sau đó dùng XBeach để tính vận chuyển bùn cát và bồi lắng. Kết quả tính toán cho thấy, tốc độ gây bồi trung bình đạt 30-35 cm/năm, và kết quả này tương đối chính xác trong phạm vi dải 30 m phía sau tường mềm.

**Từ khóa:** hiệu quả gây bồi, hiệu quả giảm sóng, mô hình toán.

**Chỉ số phân loại:** 2.1

## Using numerical models to test the effectiveness of accretion in Soc Trang and Ca Mau provinces

Trong Luan Mai<sup>1\*</sup>, Cao Tri Mai<sup>2</sup>,  
Thi Linh Giang Hoang<sup>1</sup>, Thi Thanh Loan Nguyen<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Institute of Ecology and Works Protection, VAWR

<sup>2</sup>Faculty of Coastal and Offshore Engineering, National University of Civil Engineering

Received 26 September 2018; accepted 13 November 2018

## Abstract:

The application of numerical models to simulate nearshore wave propagation process, wave interaction, flow and sediment transport is very popular nowadays. This paper proposed combining the two numerical models Swash and XBeach to calculate the efficiency of accretion for two sub-regions belonging to Soc Trang and Ca Mau. The calculation procedure began with the Swash model to calculate the wave transmission, and then the XBeach model was used to calculate sediment transport and sedimentation. The results showed that the average accretion rate was 30-35 cm/year, which is relatively accurate in the range of 30 m behind the bamboo fences.

**Keywords:** efficiency of accretion, numerical models, wave reduction effect.

**Classification number:** 2.1

## Mở đầu

Mô hình toán đã và đang là công cụ hữu hiệu giúp ích cho việc tính toán trường sóng, dòng chảy, khả năng vận chuyển bùn cát nhằm đưa ra các giải pháp kỹ thuật chống xói lở và thiết kế các công trình bảo vệ bờ biển. Mô hình XBeach là một mô hình toán mô phỏng khá đầy đủ tác động của các yếu tố động lực. XBeach có ưu điểm cho phép tính toán tác động của nhóm sóng, mô hình này chú trọng vào chế độ sóng không tĩnh tại, trong đó cho phép xét đến động thái của nhóm sóng, cần thiết cho việc mô phỏng chế độ thủy động lực vùng nước nông từ đường sóng đổ trở về bờ. XBeach tính toán vận chuyển bùn cát rất tốt, đặc biệt đối với trầm tích hạt rời, ngoài ra mô hình này còn tính được hiệu ứng cấp phối hạt đáy. Tuy nhiên, trong tính toán của XBeach không kể đến sự có mặt của công trình có tính năng giảm sóng. Swash có tính năng ban đầu là mô phỏng các dòng chảy truyền sóng và dòng chảy nước nông, biến đổi mạnh ở vùng ven bờ. Qua các phiên bản chương trình phần mềm, một số tính năng mới được bổ sung bao gồm truyền sóng qua công trình xấp xỉ, thực vật và vận chuyển bùn cát đáy, tuy nhiên Swash không cho phép tính biến đổi hình thái đáy biển, điều này rất quan trọng để đánh giá bồi lắng. Do đó, cần kết hợp ưu điểm của hai mô hình này để giải quyết bài toán đánh giá hiệu quả gây bồi của tường mềm.

## Đối tượng và phương pháp nghiên cứu

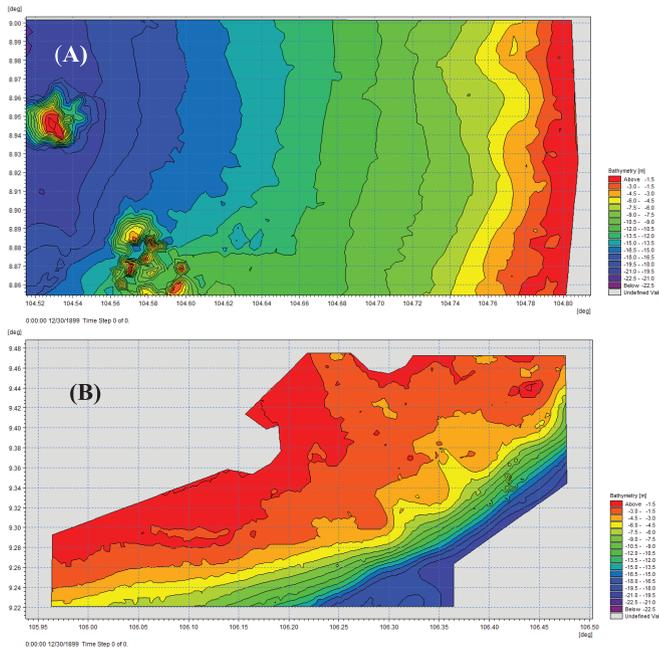
### *Đối tượng nghiên cứu*

Hai tiểu vùng nghiên cứu thuộc Đồng bằng sông Cửu Long: vị trí thứ nhất thuộc xã Tân Hải, huyện Phú Tân, tỉnh Cà Mau (8°55'17.9"N, 104°48'05.2"E); vị trí thứ hai thuộc xã Vĩnh Hải, thị xã Vĩnh Châu, tỉnh Sóc Trăng (9°23'30.7"N,

\*Tác giả liên hệ: Email: luanmt73@wru.vn

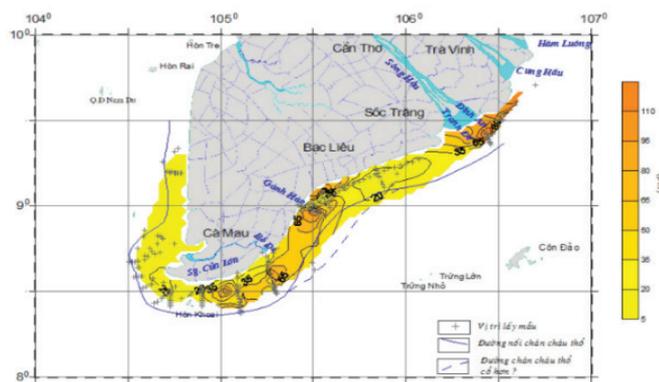
106°11'15.2"E). Kết quả đo đạc cho thấy, tỷ lệ trầm tích hạt mịn rất lớn [1, 2], kích thước flocc biến đổi như sau: vào mùa lũ, cỡ flocc 50-200  $\mu\text{m}$  chiếm 20-30%, hàm lượng thể tích là sét; vào mùa cạn, cỡ flocc 30-40  $\mu\text{m}$  chiếm 20-40%, hàm lượng thể tích là sét.

Xét trong thành phần cát không dính, các mẫu ở vùng ven bờ Đồng bằng sông Cửu Long cho thấy, đường kính hạt có sự phân hóa giữa mùa lũ và mùa cạn [3]. Cụ thể, vào mùa lũ (9/2013),  $D_{50}=113 \mu\text{m}$  (khoảng biến đổi 29-252), vào mùa cạn (4/2014),  $D_{50}=103 \mu\text{m}$  (khoảng biến đổi 15-262) (hình 1).



Hình 1. Các điểm số liệu địa hình trích từ hải đồ cho từng tiểu vùng Cà Mau (A), Sóc Trăng (B).

Kết quả đo đạc mẫu cát thực địa trong một nghiên cứu thuộc Chương trình hợp tác Việt - Đức [4] cho thấy, mẫu cát thực địa vùng biển Tây ven bờ ở Cà Mau có bùn cát rất mịn ( $D_{50} \sim 20 \mu\text{m}$ ), còn tại Sóc Trăng, gần cửa sông bùn cát tương đối thô hơn ( $D_{50} \sim 50 \mu\text{m}$ ), hàm lượng bùn sét tương ứng là  $\sim 90$  và  $60\%$  (hình 2).

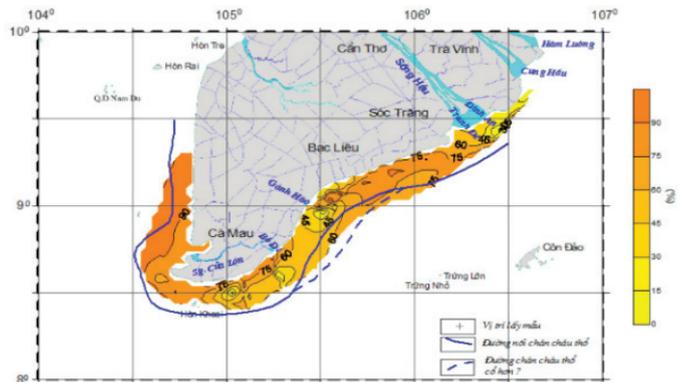


**Phương pháp nghiên cứu**

Quy trình bắt đầu bằng tính toán với Swash để ra chiều cao sóng sau khi truyền qua công trình và sau đó dùng XBeach để tính toán vận chuyển bùn cát và bồi lắng. Để khắc phục những nhược điểm của hai mô hình này, tiến hành cải tiến khả năng giảm sóng và khả năng bồi lắng trầm tích. Về khả năng giảm sóng phần mềm mô hình Swash [5] phiên bản 4.01 áp dụng phương trình VARANS, trong đó các lực trong môi trường rỗng được mô hình hóa theo công thức thực nghiệm của Van Gent (1995) [6]. Với trường hợp sóng truyền qua công trình, tổn thất do rối động sẽ lớn hơn trường hợp chỉ có dòng chảy, độ lớn tổn thất phụ thuộc vào số Keulegan Carpenter. Về bồi lắng trầm tích, ngoài tính toán truyền sóng cần bổ sung mã lệnh mô tả quá trình bồi lắng, đặc biệt đối với thành phần trầm tích mịn. Các lượng trầm tích xói lở hoặc bồi lắng được xác định bằng công thức Partheniades (1965) và Krone (1962).

Để kiểm tra khả năng của mô hình Swash trước khi áp dụng cho khu vực tính toán, tiến hành kiểm tra hiệu năng của mô hình Swash bằng cách chạy mô hình mặt cắt cho kịch bản điển hình tại các điểm cách bờ 200 và 100 m với các thông số đầu vào gồm: phạm vi bãi có bề rộng ngang 500 m, độ dốc đáy  $\tan\beta=0,5\%$ , chiều cao sóng tới  $H_s=0,3 \text{ m}$ , hệ số ma sát đáy  $C_f=0,02$ , chu kỳ sóng đỉnh phổ  $T_p=4 \text{ s}$ , hệ số hình dạng sóng ngẫu nhiên  $\gamma=3,3$ , hàm tần hướng có dạng  $\cos^3 \cdot 5\theta$  tại vị trí cách bờ 150 m, độ sâu nước trung bình 0,7 m, miền tính toán được chia thành các ô lưới bề rộng đều,  $\Delta x=0,5 \text{ m}$ . Kết quả chạy mô hình cho thấy, khi chưa có công trình, chiều cao sóng tiến vào bãi ít bị suy giảm. Tiếp đó, đặt công trình tại vị trí cách bờ 150 m chọn các thông số sau: độ rỗng  $n=0,5$ , đường kính kết cấu xốp rỗng  $d=1,8 \text{ m}$ , chiều cao công trình  $h_{ct}=1,2 \text{ m}$ , hệ số hiệu chỉnh tổn thất chảy tầng  $\alpha_0=200$ , hệ số hiệu chỉnh tổn thất chảy rối  $\beta_0=1,1$ .

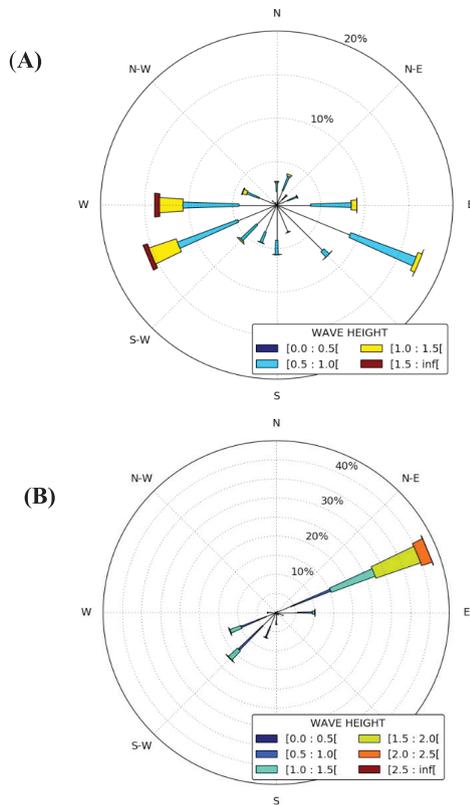
Kết quả tính toán cho thấy,  $H_{\text{trước rào}}=0,217 \text{ m}$ ,  $H_{\text{sau rào}}=0,122 \text{ m}$  tương ứng với hệ số năng lượng sóng truyền qua hàng rào  $K_T=0,56$ . Như vậy khá phù hợp với kết quả của Mai và cs (1999) [7] khi thực nghiệm cho thấy  $K_T=0,5-0,7$  và trị số trung bình theo hồi quy đạt 0,58.



Hình 2. Phân bố của đường kính hạt trung vị  $D_{50}$  ( $\mu\text{m}$ ) và tỷ lệ bùn sét (%) trong mẫu trầm tích đáy.

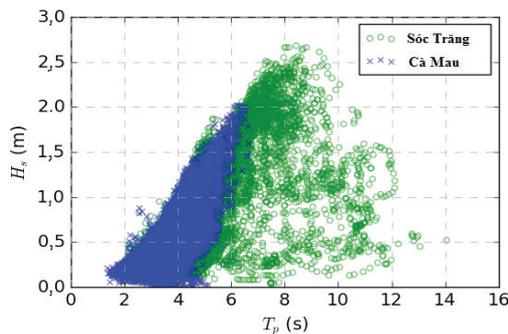
Trong mô phỏng XBeach cho bồi lấp bãi biển thời kỳ dài, cần chọn các nhóm thông số hải văn ứng với điều kiện trung bình nhiều năm, thông số địa hình và bùn cát cũng như phải tham số hóa công trình tường mềm giảm sóng.

**Thông số sóng:** số liệu sóng thu được bằng mô hình WaveWatch cho thời đoạn 11 năm (2006-2016) ngoài khơi tại Sóc Trăng (tọa độ 106.5°E, 9°N, ở vùng nước sâu ~24 m) và Cà Mau (tọa độ 104.5°E, 9°N, vùng nước sâu ~16 m) được thể hiện ở hình 3.



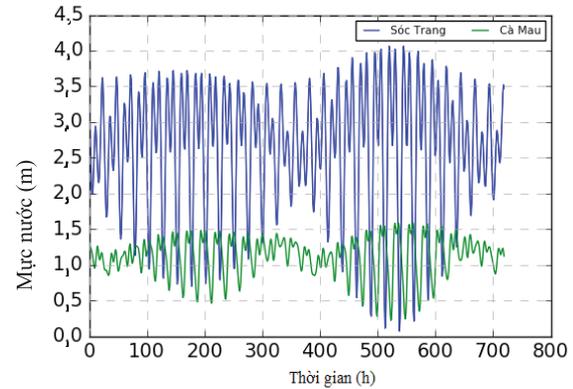
Hình 3. Hoa sóng vùng ngoài khơi Cà Mau (A) và Sóc Trăng (B).

Chu kỳ sóng tại hai khu vực tương đối ngắn, theo biểu đồ tương quan  $H_s \sim T_p$ , có thể thấy rõ hơn ngoài khơi Sóc Trăng lớn hơn và chu kỳ có thể lên đến 12s, trong khi vùng biển Tây Cà Mau < 2 m và chu kỳ ngắn < 6s (hình 4).



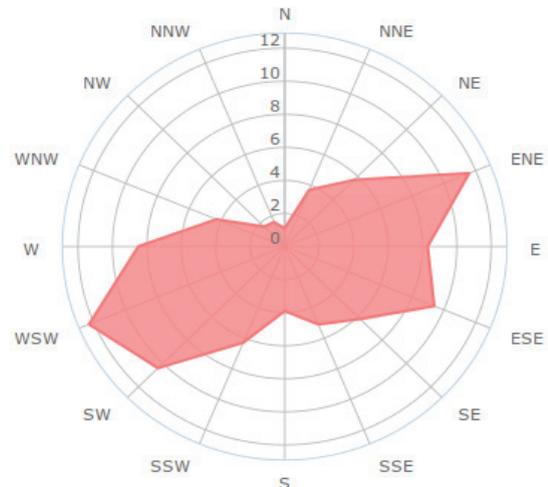
Hình 4. Tương quan giữa chiều cao sóng và chu kỳ sóng ngoài khơi 2 vùng nghiên cứu.

**Thông số mực nước:** vị trí Sóc Trăng có chế độ bán nhật triều không đều, độ lớn triều biến động mạnh, khoảng từ 1,5 (kỳ triều kém) có thể đến 4,0 m (kỳ triều cường). Vị trí Cà Mau phía biển Tây có chế độ nhật triều không đều, độ lớn triều cường 1,3 m, triều kém không đáng kể (hình 5).



Hình 5. Mực nước triều tại hai khu vực nghiên cứu.

**Điều kiện gió:** khu vực chịu ảnh hưởng chung của gió mùa, có hai hướng gió chính đông bắc, tây nam với tần suất xảy ra lần lượt 11,6 và 12,3%, tốc độ gió trung bình là 4 knot hay 2 m/s. Tốc độ gió lớn nhất tại độ cao 10 m đối với Cà Mau là 24,3 m/s và đối với Sóc Trăng là 20 m/s (lấy theo sách Biển Đông, tập 2) (hình 6).



Hình 6. Hoa gió theo trạm đo Cà Mau.

**Dòng chảy sông, dòng triều:** tiểu vùng Sóc Trăng chịu ảnh hưởng trực tiếp của dòng chảy từ mặt sông cũng như dòng triều đổi hướng hai lần trong ngày, tuy nhiên để cho đơn giản ta không xét đến ảnh hưởng của những yếu tố này.

**Trầm tích:** trong tính toán với Swash sử dụng kết quả đo đạc của Wolanski và cs (1998) [2], nồng độ trung bình độ sâu ~0,4 kg/m<sup>3</sup>, hệ số Von Karman  $a_k=5,5$ , số Schmidt bùn cát  $\sigma_c=0,7$ , độ nhớt rối  $\nu_t=0,5 \text{ m}^2/\text{s}$ .

Trong mô hình XBeach nhập các tham số: độ rỗng bùn cát ( $\text{por}=0,4$ ), độ khối bùn cát ( $\rho_s=2650 \text{ kg/m}^3$ ), kích thước và vận tốc lắng chìm lần lượt như sau: i) Với vùng Cà Mau,  $D_{50}=30 \mu\text{m}$ ,  $w_s \sim 0,9 \text{ mm/s}$ ; ii) Với vùng Sóc Trăng,  $D_{50}=50 \mu\text{m}$ ,  $w_s=2-3 \text{ mm/s}$ .

**Tường mềm:** trong Swash các giá trị mặc định là  $\alpha_0=200$  và  $\beta_0=1,1$ . Với đường kính cầu kiện  $d \sim 1 \text{ cm}$ , độ rỗng  $n \sim 0,5$ , độ nhớt động học của nước  $\nu \sim 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ , ta xác định được hệ số tổn thất dòng chảy tầng  $\alpha$  và dòng rối  $\beta$  theo Engelund (1953). Cụ thể:

$$\alpha = \alpha_0(1-n)^2\nu/n^3gd^2 = 0,408$$

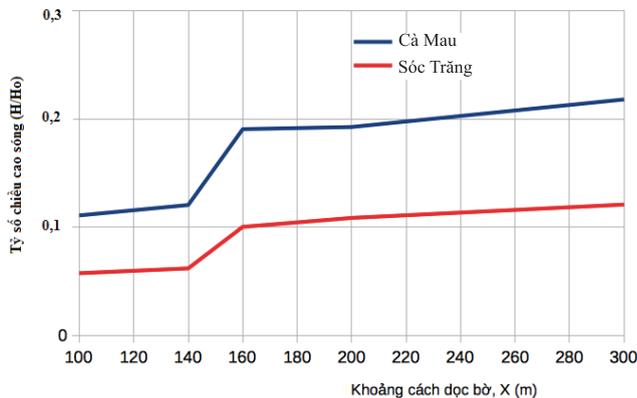
$$\beta = \beta_0(1-n)/n^3gd = 44,9$$

Căn cứ vào thiết kế tường mềm của 2 tiểu khu ta có độ rỗng tường mềm đạt được bằng 0,8.

**Tham biến số trị:** chương trình Swash chạy trên lưới tính toán có bước ô lưới rộng  $\Delta x=0,5 \text{ m}$ . Xét trong điều kiện sóng trung bình có bước sóng 20 m thì mỗi bước sóng được biểu diễn trên độ dài 40 ô lưới, bước thời gian trong kịch bản mô phỏng này  $\Delta t=0,05\text{s}$ .

**Kết quả mô phỏng**

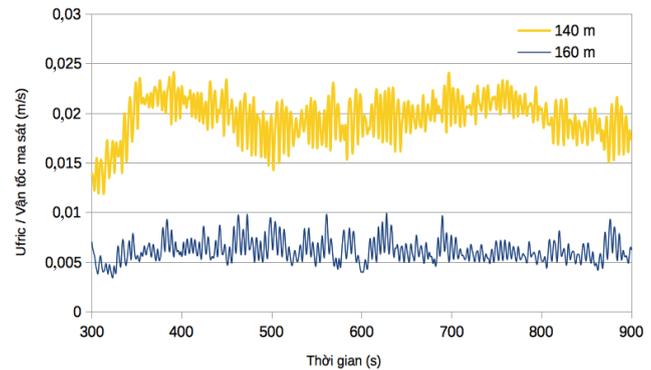
Tính toán truyền sóng theo 1 chiều dọc trên mặt cắt ngang giúp ta nhận biết rõ những quá trình vật lý. Kết quả phân bố chiều cao sóng tính toán (hình 7) cho thấy, hệ số truyền sóng ở Cà Mau  $K_r=0,63$  và Sóc Trăng  $K_r=0,62$ .



Hình 7. Biểu đồ giảm sóng trên mặt cắt ngang.

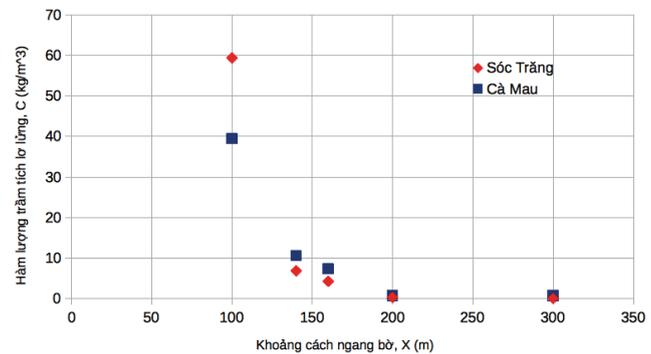
Đề đặc trưng cho khả năng làm di động bùn cát của vận tốc quỹ đạo sóng ta xét đại lượng vận tốc ma sát  $u_{*}$ . Trích xuất giá trị này tại 2 điểm cách bờ Sóc Trăng 140 và 160 m (hình 8) cho thấy, với các thông số: độ rỗng  $n=0,5$ , đường kính kết cấu xấp xỉ  $d=1,8 \text{ m}$ , chiều cao công trình  $h_{ct}=1,2 \text{ m}$ , độ sâu nước trung bình 0,7 m, vận tốc tức thời biến động theo chu kỳ sóng và có giá trị dương cho thấy xu hướng đưa bùn cát về phía bờ, xu hướng này càng về phía bờ càng rõ nét. Xét giá trị trung bình và độ lệch chuẩn thì tại vị trí 160 m,  $u_{*}=0,006 \pm 0,002 \text{ m/s}$ , còn tại vị trí 140 m,

$u_{*}=0,011 \pm 0,003 \text{ m/s}$ . Mặc dù vận tốc này tương đối nhỏ nhưng có thể gây biến đổi đáy biển.



Hình 8. Vận tốc ma sát tại hai vị trí cách bờ Sóc Trăng.

Kết quả tính toán phân bố nồng độ bùn cát lơ lửng được thể hiện ở hình 9 cho thấy, nồng độ bùn cát lớn nhất xảy ra ở vùng gần bờ, phía sau rào chắn, nơi có chiều cao sóng nhỏ. Tại vị trí gần sát rào, hàm lượng trầm tích lơ lửng  $\sim 10 \text{ kg/m}^3$ , nghĩa là có thể gây ra một lớp bồi lắng dày  $\sim 1 \text{ cm}$  nếu trầm tích chìm lắng hoàn toàn. Đây là bề dày phù hợp so với độ sâu nước tại chỗ  $< 1 \text{ m}$ .



Hình 9. Phân bố hàm lượng bùn cát lơ lửng vị trí rào cây tại X=150 m.

Hiện nay tính năng của Swash không cho phép xác định lượng trầm tích bồi lắng “tĩnh” ( $S_d-S_c$ ) và thông tin hiện có không nhiều, không cho phép tính theo cách chính xác hơn nên ta phải nội suy theo cách sau:

Tại vị trí  $X=140 \text{ m}$  (vùng nước nông) từ kết quả vận tốc ma sát do dòng chảy  $u_{*}=0,011 \text{ m/s}$ , tính được ứng suất do dòng chảy  $\tau_b=0,124 \text{ N/m}^2$ . Thành phần ứng suất do sóng có giá trị trung bình:

$$\hat{\tau}_b = \frac{1}{2} \rho f_w (A\omega)^2$$

Trong đó, hệ số ma sát sóng được tính theo công thức Nielsen:

$$f_w = \exp \left[ 5,5 \left( \frac{k_s}{A} \right)^{0,2} - 6,3 \right]$$

Cũng tại vị trí này, chiều dài sóng  $L=(gh)^{0,5}T=11,15$  m. Biên độ dao động và vận tốc cực đại của phần tử nước tại đáy lần lượt là  $A=0,184$  m và  $u_m=0,29$  m/s. Với độ gồ ghề đáy Nikuradse  $k_s=0,4$  mm, tính được  $f_w=0,0092$  và  $\tau_b=0,394$  N/m<sup>2</sup>. Ứng suất tổng hợp do vậ bằng  $0,518$  N/m<sup>2</sup>.

Để tính  $S_d$  với giá trị điển hình  $D_{50}=30$   $\mu$ m, ta có tốc độ chìm lắng của flocc là  $0,9$  mm/s. Kết quả hàm lượng trầm tích lơ lửng của lớp dày  $\sim 27$  cm gần đáy là  $40$  kg/m<sup>3</sup>. Căn cứ vào kết quả tính hàm lượng của 2 lớp phía trên lần lượt là  $22,7$  và  $14,8$  kg/m<sup>3</sup>, có thể ước tính hàm lượng sát đáy  $c_b=50$  kg/m<sup>3</sup>. Với ứng suất tới hạn bồi lắng đã chọn sơ bộ  $\tau_{cr,d}=1$  N/m<sup>2</sup>, tính được  $S_d=2,169 \times 10^{-2}$  kg/m<sup>2</sup>/s. Mặt khác, với giá trị đã chọn  $\tau_{cr,e}=0,2$  N/m<sup>2</sup>, ta có  $S_e=3,18 \times 10^{-5}$  kg/m<sup>2</sup>/s.

Do kết quả tính toán  $S_d > S_e$  phản ánh được xu thế bồi lắng nhưng 2 đại lượng này chênh lệch quá lớn, lượng bồi lên tới  $2,166 \times 10^{-2}$  kg/m<sup>2</sup>/s. Vì vậy, cần chỉnh lại các tham số  $\tau_{cr,d}$ ,  $\tau_{cr,e}$  và  $E$ . Theo kết quả nghiên cứu tỉnh Kiên Giang [8], ở vùng bãi biển có độ sâu  $0,5-0,7$  m, nơi có điều kiện tương đồng, độ dày lớp trầm tích bồi đo được trong năm 2010 là  $\Delta z \sim 30$  cm. Sau khi hiệu chỉnh các giá trị tham số, lấy  $\tau_{cr,d}=1,0$  N/m<sup>2</sup>,  $\tau_{cr,e}=0,2$  N/m<sup>2</sup> và  $E=2 \times 10^{-5}$  kg/m<sup>2</sup>/s cho tiểu vùng Cà Mau. Thực hiện tương tự đối với tiểu vùng Sóc Trăng, kết quả tính toán được tổng hợp trong bảng 1. Có thể thấy rằng, lượng bồi lắng tính được khá hợp lý với tốc độ bồi lắng ban đầu khoảng  $30-35$  cm/năm, mức độ này tương đương với bồi lắng tại Kiên Giang đã được Cường và cs (2012) báo cáo [9].

**Bảng 1.** Kết quả ước tính lượng bồi lắng và xói lở tại vị trí  $X=140$  m.

Vùng	Cà Mau	Sóc Trăng
$k_s$	0,0016	0,002
$\tau_{cr,d}$ (N/m <sup>2</sup> )	1	0,75
$\tau_{cr,e}$ (N/m <sup>2</sup> )	0,2	0,2
$E$ (kg/m <sup>2</sup> /s)	$2 \times 10^{-5}$	$2 \times 10^{-5}$
$u_{*c}$ (m/s)	0,015	0,020
$H$ (m)	0,17	0,087
$h$ (m)	0,74	0,76
$A$ (m)	0,186	0,122
$f_w$	0,015	0,021
$\tau_b$ (N/m <sup>2</sup> )	0,914	0,662
$S_d$ (kg/m <sup>2</sup> /s)	$2,14 \times 10^{-2}$	$1,9 \times 10^{-2}$
$S_e$ (kg/m <sup>2</sup> /s)	$7,14 \times 10^{-2}$	$4,62 \times 10^{-2}$
$\Delta z$ (cm)	33,9	30,6

Do mô hình toán rất nhạy với các tham số  $\tau_{cr,d}$  và  $\tau_{cr,e}$  nên để đảm bảo kết quả hợp lý, chúng tôi đã điều chỉnh 2 thông số này khác nhau cho từng tiểu vùng (nhưng không khác quá nhiều). Ngoài ra, do tốc độ bồi lắng khác nhau nhiều trên từng mặt cắt ngang, nên đề nghị cần tính toán với các thông số biến đổi trên mặt cắt ngang. Chẳng hạn, có thể chọn  $k_s$  biến đổi. Với Cà Mau, khi  $k_s=1,6$  mm thì tính ra bồi lắng hợp lý cho vị trí  $X=140$  m nhưng với  $k_s=1,0$  mm lại hợp lý cho vị trí  $X=120$  m.

### Kết luận

Kết quả mô phỏng giải pháp công trình mềm gây bồi kết hợp trồng cây ngập mặn (VST, GIZ) gồm 2 phần: giảm sóng và tạo bãi gây bồi. Mô hình Swash được sử dụng để tính toán theo 2 bước, áp dụng cho từng tiểu vùng. Kết quả tính toán giảm sóng khá tốt, phù hợp với số liệu đo đạc thí nghiệm của các chuyên gia Đức [7]. Về kết quả tính gây bồi, lượng bồi lắng tính được với tốc độ bồi lắng khoảng  $30-35$  cm/năm. Kết quả tính toán này tương đối chính xác trong phạm vi một dải bên trong gần rào (bề rộng dải khoảng  $30$  m).

### TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] E. Wolanski, et al. (1996), "Fine sediment dynamics in the Mekong River Estuary, Vietnam", *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, **43**, pp.565-582.

[2] E. Wolanski, et al. (1998), "Sediment dynamics during low flow conditions in the Mekong River Estuary, Vietnam", *J. Coast. Res.*, **14**, pp.472-482.

[3] V.D. Vinh, et al. (2016), "Numerical Simulations of Suspended Sediment Dynamics Due to Seasonal Forcing in the Mekong Coastal Area", *Water*, **8**(6), doi.org/10.3390/w8060255.

[4] Nguyễn Trung Thành và cs (2011), "Xu hướng vận chuyển tích tụ trầm tích trên phần châu thổ ngầm ven bờ biển Đồng bằng sông Mê Kông", *Tạp chí các Khoa học về Trái đất*, **33**(4), tr.607-615.

[5] M. Zijlema, et al. (2011), "SWASH: an operational public domain code for simulating wave fields and rapidly varied flows in coastal waters", *Coastal Engineering*, **58**, pp.992-1012.

[6] M.R.A. Van Gent (1995), *Wave interaction with permeable coastal structures*, PhD thesis, TU Delft.

[7] S. Mai, N. Von Lieberman, C. Zimmermann (1999), *Interaction of foreland structures with waves*, Proc. XXVIII IAHR Congress, Graz.

[8] C.V. Cuong, et al. (2015), "Using Melaleuca fences as soft coastal engineering for mangrove restoration in Kien Giang, Vietnam", *Ecological Engineering*, **81**, pp.256-265.

[9] C.V. Cuong, S. Brown (2012), *Coastal Rehabilitation and Mangrove Restoration Using Melaleuca Fences: Practical Experience form Kien Giang Province*, GIZ (Deutsche Gesellschaft für Intenationale Zusammenarbeit GmbH).