

Đánh giá ảnh hưởng của giao thông thủy đến sạt lở bờ sông Cần Thơ

Giang Trọng Toàn¹, Đinh Văn Duy², Trần Văn Tý², Phạm Hữu Hà Giang², Cù Ngọc Thắng², Đoàn Khánh Hiền³

¹ Sở Nông nghiệp và Môi trường An Giang

² Trường Bách Khoa, Trường Đại học Cần Thơ

³ Quỹ đầu tư phát triển thành phố Cần Thơ

TỪ KHOÁ

Sóng tàu
Cần Thơ
ADCP Sentinel-V20
RMSE
NSE

TÓM TẮT

Nghiên cứu này nhằm phát triển mô hình số mô phỏng sóng tàu do sà lan tạo ra trên sông Cần Thơ. Dữ liệu địa hình đáy sông được thu thập từ hồ sơ khảo sát địa hình thuộc dự án xây dựng kè Cần Thơ. Số liệu về mực nước, sóng tàu và dòng chảy trong sông được đo đạc bằng thiết bị ADCP Sentinel-V20. Mô hình được kiểm định và hiệu chỉnh bằng số liệu sóng thực đo nhằm đảm bảo độ chính xác. Kết quả hiệu chỉnh và kiểm định cho thấy mô hình có độ tin cậy cao trong việc mô phỏng sóng tàu trên sông Cần Thơ, khẳng định tính ứng dụng của mô hình trong các nghiên cứu thủy động lực học và đánh giá tác động của sóng tàu đến sạt lở bờ sông.

KEYWORDS

Ship waves
Can Tho
ADCP Sentinel-V20
RMSE
NSE

ABSTRACT

This study aims to develop a numerical model for simulating ship waves generated by barges navigating the Can Tho River. Secondary bathymetric data were collected from the hydrographic survey records of the Can Tho embankment construction project. Water levels, ship-induced waves, and river flow conditions were recorded using the ADCP Sentinel-V20 device. The model was calibrated and validated against in-situ wave measurements to ensure accuracy. The calibration and validation results indicate that the model reliably simulates ship waves in the Can Tho River, demonstrating its applicability for further hydrodynamic studies and impact assessments of ship waves to the river bank erosion.

1. Mở đầu

Trong mạng lưới sông ngòi rộng lớn của ĐBSCL, sông Cần Thơ (Hình 1) là một trong những tuyến giao thông thủy quan trọng nhất, kết nối TP. Cần Thơ với sông Hậu và các khu vực lân cận. Đây là tuyến đường thủy huyết mạch, nơi diễn ra hoạt động giao thông vận tải, du lịch và thương mại sôi động.



Hình 1. Khu vực nghiên cứu (vẽ lại từ bản đồ trong nghiên cứu của [1]).

Sông Cần Thơ có chiều dài khoảng 30 km, rộng 300-600 m, chảy qua trung tâm TP. Cần Thơ, nơi có mật độ tàu thuyền lưu thông lớn, đặc biệt là sà lan tải trọng lớn và tàu khách du lịch. Các tuyến đường ven sông tại đây đang đối mặt với nguy cơ hư hỏng do nhiều tác động khác nhau trong đó có tác động thủy động lực của sóng tàu, đặc biệt tại các khu vực chưa có kè bảo vệ hoặc chỉ sử dụng gia cố mềm.

Tình trạng sóng tàu gây xói lở bờ [2-4] và có khả năng làm suy giảm chất lượng kết cấu đường ven sông đang trở thành một vấn đề đáng lo ngại. Một số đoạn sông đã được kè bảo vệ, nhưng nhiều khu vực vẫn chưa có giải pháp phù hợp để giảm thiểu tác động của sóng tàu. Do đó, việc đánh giá tác động của sóng tàu đối với đường giao thông ven sông Cần Thơ là rất quan trọng nhằm tìm ra các biện pháp quản lý bền vững.

2. Phương pháp nghiên cứu

Nghiên cứu được thực hiện tương tự theo trình tự như Hình 2. Quá trình nghiên cứu bắt đầu bằng việc thu thập các số liệu thực địa (số liệu sơ cấp) liên quan đến sóng tàu, vận tốc dòng chảy, và vận tốc tàu. Các số liệu này được đo đạc trực tiếp tại khu vực nghiên cứu nhằm phản ánh chính xác điều kiện thực tế. Việc thu thập số liệu có thể được thực hiện thông qua các thiết bị chuyên dụng như máy đo sóng, máy đo vận tốc dòng chảy (ADCP Sentinel-V20).

*Liên hệ tác giả: dvduy19@gmail.com

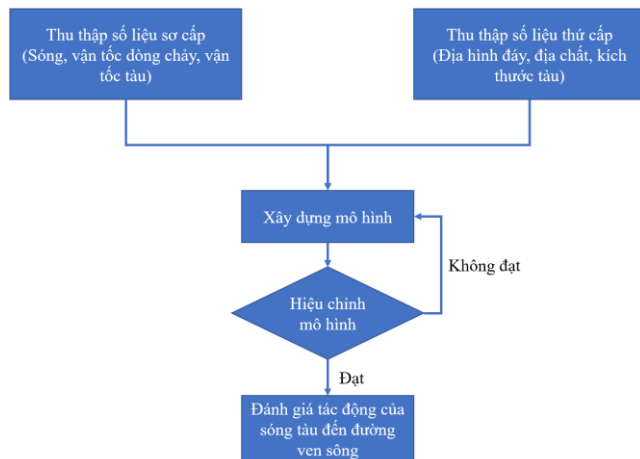
Nhận ngày 26/03/2025, sửa xong ngày 13/04/2025, chấp nhận đăng ngày 14/04/2025

Link DOI: <https://doi.org/10.54772/jomc.02.2025.885>

Song song với việc thu thập số liệu sơ cấp, các dữ liệu thứ cấp cũng được thu thập để bổ sung cho nghiên cứu. Các dữ liệu này bao gồm thông tin về địa hình đáy sông, địa chất khu vực nghiên cứu, và kích thước tàu thường xuyên hoạt động trong khu vực. Các số liệu này được thu thập từ các báo cáo khảo sát địa chất, địa hình, thủy văn trong các hồ sơ thiết kế xây dựng kè Cần Thơ và các cống ngăn triều trên các nhánh của sông Cần Thơ.

Sau khi có đầy đủ dữ liệu, quá trình xây dựng mô hình được thực hiện. Mô hình này có thể là mô hình số được xây dựng dựa trên phần mềm Flow-3D Hydro giúp mô phỏng tác động của sóng tàu lên khu vực ven sông. Các thông số đầu vào của mô hình được thiết lập dựa trên dữ liệu thực tế thu thập được. Sau khi chạy mô hình lần đầu, kết quả sẽ được so sánh với dữ liệu thực tế để kiểm tra độ chính xác. Nếu mô hình chưa đạt yêu cầu (tức là kết quả mô phỏng chưa phù hợp với thực tế), quá trình hiệu chỉnh mô hình sẽ được thực hiện. Việc hiệu chỉnh bao gồm điều chỉnh các tham số đầu vào, thay đổi điều kiện biên, hoặc cải thiện điều kiện mô phỏng để tăng độ chính xác của kết quả.

Khi mô hình đạt yêu cầu và có độ chính xác cao, kết quả mô phỏng sẽ được phân tích để đánh giá tác động của sóng tàu lên khu vực ven sông. Các yếu tố được xem xét bao gồm mức độ xói lở bờ sông và tác động của sóng tàu đến các công trình giao thông ven sông.



Hình 2. Sơ đồ các bước nghiên cứu.

2.1. Phương pháp thu thập, tổng hợp và phân tích số liệu

2.1.1. Số liệu sơ cấp

Số liệu sóng và vận tốc dòng chảy được đo bằng thiết bị ADCP-Sentinel-V20, ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler) Sentinel-V20 là thiết bị đo thủy động lực học sử dụng công nghệ Doppler để đo vận tốc dòng chảy theo các lớp (profiling) trong môi trường nước. Thiết bị này có khả năng đo vận tốc dòng chảy theo cột nước, theo dõi mặt sóng, và đo sóng tàu trong môi trường sông, biển, cửa sông hoặc hồ. Với dải tần số 2 MHz, Sentinel-V20 được tối ưu cho các vùng nước nông, đặc biệt phù hợp với nghiên cứu dòng chảy và tác động của giao thông thủy trong sông.



Hình 3. Chuẩn bị thiết bị ADCP Sentinel V-20.

2.1.2. Số liệu thứ cấp

Các số liệu thứ cấp về địa hình đáy và địa chất bờ sông Cần Thơ được thu thập từ báo cáo khảo sát địa hình và địa chất của “Dự án phát triển thành phố cần thơ và tăng cường khả năng thích ứng của đô thị”. Số liệu về kích thước các phương tiện đường thủy nội địa được thu thập từ Cảng vụ Hàng hải An Giang. Các số liệu sơ cấp được tổng hợp trong Bảng 1.

Bảng 1. Số liệu và nguồn số liệu sơ cấp.

TT	Số liệu	Thời gian	Nguồn tài liệu
1	Địa hình	2020	Ban quản lý dự án đầu tư xây dựng sử dụng nguồn vốn hỗ trợ phát triển chính thức, Thành phố Cần Thơ
2	Địa chất	2020	Ban quản lý dự án đầu tư xây dựng sử dụng nguồn vốn hỗ trợ phát triển chính thức, Thành phố Cần Thơ
3	Kích thước các phương tiện đường thủy nội địa	2025	Cảng vụ Hàng hải Cần Thơ

Bảng 2. Thông số vật lý của các phần tử.

Đối tượng	Loại phần tử	Độ nhám (Manning's n)	Tính chất chuyển động
Lòng sông	Vật thể cố định (Fixed)	0,025 - 0,035 (phù sa)	Không chuyển động
Sà lan	Vật thể chuyển động (GMO)	0,001 - 0,003 (thép)	Di chuyển theo vận tốc thiết lập, $v_i = 5,92$ m/s

2.2. Xây dựng mô hình

Mô hình mô phỏng sóng tàu trong sông bằng phần mềm Flow-3D Hydro được thực hiện thông qua sáu bước gồm (1) Thiết lập các thông số cơ bản của mô hình; (2) Khai báo các thông số vật lý cho mô hình; (3) Nhập dữ liệu hình học 3D vào Flow-3D Hydro; (4) Chia lưới; (5) Thiết lập điều kiện biên và điều kiện ban đầu và (6) Thiết lập thông số ghi kết quả đầu ra. Thông số của các phần tử trong mô hình được khai báo như trong Bảng 2.

2.3. Hiệu chỉnh và kiểm định mô hình

Hai chỉ số thống kê được sử dụng để đánh giá độ chính xác của mô hình gồm Sai số trung phương (RMSE - Root Mean Square Error), Hệ số Nash-Sutcliffe (NSE - Nash-Sutcliffe Efficiency).

2.3.1. Sai số trung phương (RMSE)

RMSE là một trong những chỉ số phổ biến để đánh giá độ sai lệch trung bình giữa giá trị mô phỏng và thực tế. Giá trị RMSE nhỏ cho thấy sai số giữa hai bộ dữ liệu thấp, nghĩa là mô hình có độ chính xác cao. Công thức tính RMSE như sau [5]:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (H_{sim,i} - H_{obs,i})^2} \quad (1)$$

Trong đó:

$H_{sim,i}$ là giá trị chiều cao sóng từ mô phỏng tại thời điểm i .

$H_{obs,i}$ là giá trị chiều cao sóng đo đạc thực tế tại thời điểm i .

N là tổng số điểm dữ liệu.

2.3.2. Hệ số Nash-Sutcliffe (NSE)

Hệ số NSE (Nash-Sutcliffe Efficiency) được sử dụng để đánh giá mức độ dự đoán của mô hình so với trung bình của dữ liệu quan trắc. NSE có giá trị từ $-\infty$ đến 1, trong đó:

NSE = 1: Mô hình hoàn hảo.

NSE > 0,5: Mô hình có độ tin cậy tốt.

NSE < 0: Mô hình kém hơn trung bình quan trắc.

Công thức tính RMSE như sau [6]:

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^N (H_{sim,i} - H_{obs,i})^2}{\sum_{i=1}^N (H_{obs,i} - \bar{H}_{obs})^2} \quad (2)$$

Trong đó:

$\bar{H}_{obs}$ là giá trị trung bình của chiều cao sóng quan trắc.

2.4. Đánh giá xói lở bờ sông dưới tác động của sóng tàu

Sunamura (1992) đề xuất một mối quan hệ thực nghiệm giữa tốc độ xói lở bờ và năng lượng sóng, được biểu diễn như sau [7]:

$$R = k \left(C + \ln \frac{\rho g H_s}{S_c} \right) \quad (3)$$

Trong đó:

R là tốc độ xói lở bờ (m/năm),

H_s là chiều cao sóng có ý nghĩa (m),

k, C là các hệ số, lấy $k = 1,2$ và $C = 4,5$ cho đất bùn cát.

r là khối lượng riêng của nước (kg/m^3),

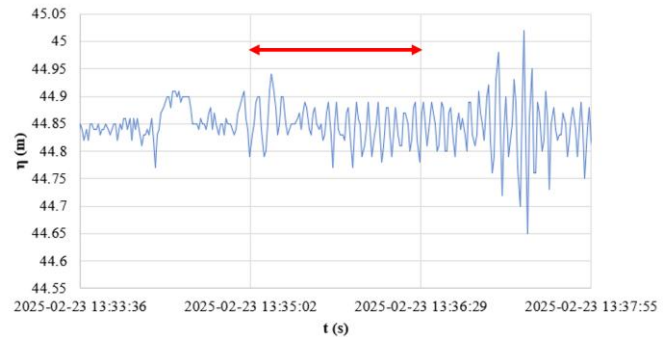
g là gia tốc trọng trường (m/s^2).

S_c là sức chịu tải của đất nền tại bờ sông (Pa).

3. Kết quả

3.1. Số liệu đo đạc sóng tàu

Hình 4 biểu diễn sự biến đổi của mực nước (η) theo thời gian (t) tại vị trí quan trắc trong khoảng thời gian từ 13:33 đến 13:37 ngày 23/02/2025. Từ biểu đồ trên hình có thể thấy dao động mực nước có tính không liên tục với các khoảng thời gian biến động mạnh hơn so với các giai đoạn ổn định. Mũi tên hai đầu màu đỏ thể hiện thời điểm ghi nhận sà lan chạy ngang điểm khảo sát (khoảng 13:55). Do đó, số liệu sóng tàu trong khoảng thời gian này sẽ được sử dụng để hiệu chỉnh mô hình sóng tàu trong mô hình Flow-3D Hydro.



Hình 4. Diễn biến hình thái Cửa Cạn trong năm 2021.



Hình 5. Sà lan chạy qua điểm khảo sát vào lúc 13:35 ngày 23/03/2025.

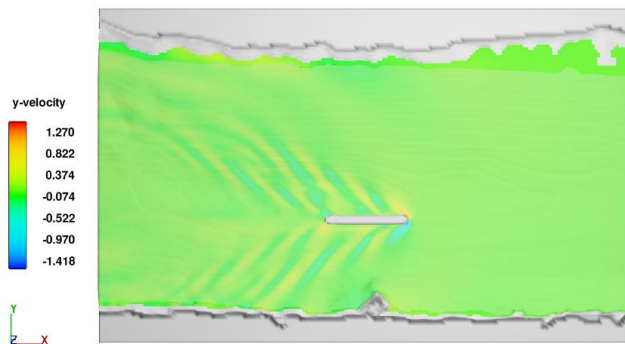
3.2. Kết quả mô phỏng và hiệu chỉnh mô hình

3.2.1. Kết quả mô phỏng

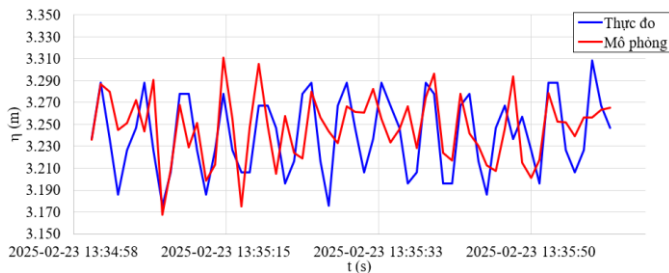
Biểu đồ trên Hình 6 mô tả phân bố các đường đồng mức vận tốc theo phương ngang (ký hiệu v) của dòng chảy khi tàu di chuyển trong

sông. Các đường đồng mức này thể hiện rõ hình thái đặc trưng của sóng tàu với các vùng vận tốc thay đổi liên tục từ âm (màu xanh lam) đến dương (màu đỏ cam). Vận tốc đạt giá trị cực đại lên đến khoảng 0,193 m/s tại các khu vực gần thân tàu, giảm dần khi di chuyển ra xa, phù hợp với đặc tính suy giảm năng lượng sóng theo khoảng cách.

Các đường đồng mức thể hiện dạng sóng rõ nét, cho thấy sự lan truyền năng lượng từ vị trí tàu di chuyển về hai phía bên bờ và phía sau tàu, tạo ra các vùng vận tốc âm và dương xen kẽ đặc trưng của quá trình tương tác giữa tàu và dòng chảy trong sông. Kết quả này bước đầu khẳng định rằng mô hình Flow-3D Hydro phù hợp và có khả năng mô phỏng tốt hiện tượng sóng tàu.



Hình 6. Vận tốc dòng chảy theo phương ngang sông (y) khi tàu di chuyển theo phương dọc sông (x).



Hình 7. So sánh mực nước thực đo và mực nước mô phỏng lần đầu.

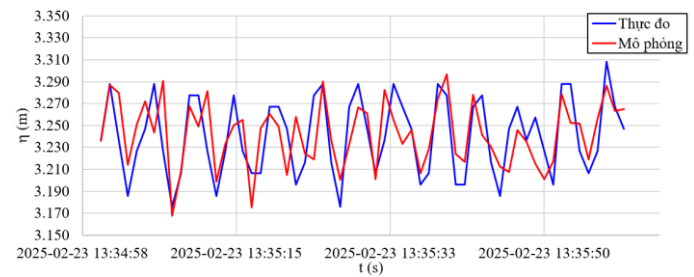
Hình 7 thể hiện kết quả so sánh dao động mực nước (η) giữa dữ liệu thực đo (đường màu xanh) và kết quả mô phỏng từ mô hình Flow-3D Hydro (đường màu đỏ) tại một vị trí quan trắc cụ thể trên sông. Quan sát ban đầu cho thấy hai đường biểu diễn có xu hướng dao động tương tự nhau, tuy nhiên vẫn xuất hiện sự sai lệch đáng kể về biên độ và pha dao động.

Cụ thể, biên độ dao động mực nước từ mô hình có xu hướng cao hơn kết quả thực đo, đồng thời xuất hiện độ lệch pha rõ rệt giữa hai bộ dữ liệu trong một số thời điểm. Kết quả trên cho thấy, mặc dù mô hình Flow-3D Hydro bước đầu thể hiện khả năng mô phỏng tốt xu hướng tổng quát của dao động mực nước do sóng tàu gây ra, tuy nhiên để nâng cao độ chính xác, cần thực hiện hiệu chỉnh các thông số đầu vào, cải thiện chất lượng dữ liệu địa hình, hoặc tăng độ phân giải của lưới tính toán trong khu vực nghiên cứu. Điều này sẽ giúp giảm thiểu các

sai lệch và nâng cao độ tin cậy của kết quả mô phỏng trong các lần thực hiện tiếp theo.

3.2.2. Hiệu chỉnh mô hình

Biểu đồ trên Hình 8 thể hiện sự so sánh giữa mực nước thực đo (đường màu xanh) và mực nước mô phỏng (đường màu đỏ) theo thời gian, sau khi đã thực hiện hiệu chỉnh các thông số đầu vào của mô hình.



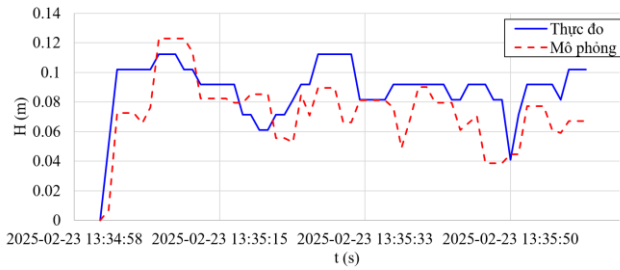
Hình 8. So sánh số liệu mực nước thực đo và kết quả mô phỏng sau khi hiệu chỉnh.

Sau khi hiệu chỉnh các thông số đầu vào (độ nhám lòng sông, độ nhám sà lan, vận tốc sà lan), mô hình đã tái hiện khá sát với xu hướng dao động của mực nước thực đo. Các đỉnh và đáy của mực nước mô phỏng có sự tương đồng với dữ liệu thực tế, cho thấy mô hình đã phản ánh tốt hơn quá trình lan truyền sóng do sà lan gây ra. Tuy nhiên mô hình vẫn còn một số điểm khác biệt so với thực tế như chênh lệch biên độ dao động và trễ pha của mực nước. Ở một số thời điểm, các điểm cao nhất và thấp nhất của mực nước mô phỏng xuất hiện hơi lệch pha so với thực tế.

Nhìn chung, hiệu suất mô hình sau khi hiệu chỉnh đã được cải thiện đáng kể ứng với trị RMSE đạt 0,0242 m, cho thấy sai số trung bình giữa mô phỏng và thực tế đã giảm đáng kể.

Biểu đồ trên Hình 9 thể hiện sự so sánh giữa chiều cao sóng thực đo và chiều cao sóng mô phỏng theo thời gian sau khi hiệu chỉnh mô hình. Có thể thấy mô hình sau khi hiệu chỉnh đã cải thiện đáng kể khả năng mô phỏng sóng phát sinh do sà lan di chuyển khi so sánh với số liệu thực đo. Cụ thể, so với kết quả trước khi hiệu chỉnh, mô hình đã tái hiện tốt hơn xu hướng biến đổi của chiều cao sóng theo thời gian. Các đỉnh và đáy của sóng mô phỏng có xu hướng tiệm cận hơn với thực tế, đặc biệt ở các giai đoạn có dao động mạnh.

Tuy nhiên vẫn còn tồn tại các sai số như biên độ sóng mô phỏng vẫn thấp hơn thực tế: Điều này thể hiện qua giá trị BIAS = -0,0153 m, cho thấy mô hình vẫn có xu hướng dự báo chiều cao sóng thấp hơn thực đo. Điều này có thể liên quan đến hệ số suy giảm năng lượng sóng chưa được tối ưu và quá trình truyền sóng trong mô hình chưa phản ánh đúng sự phản xạ và suy giảm thực tế. Sự chênh lệch nhỏ về pha (phase lag): Một số đỉnh và đáy của sóng mô phỏng xuất hiện lệch nhẹ so với thực đo, cho thấy mô hình cần cải thiện về vận tốc lan truyền sóng hoặc điều kiện biên.



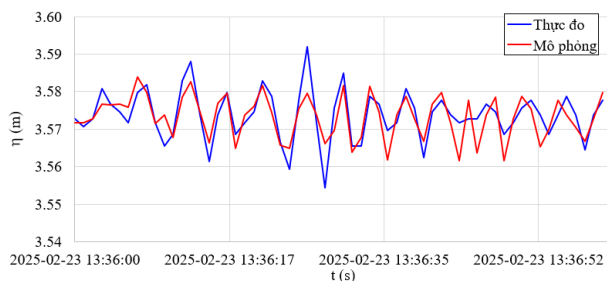
Hình 9. So sánh số liệu sóng tàu thực đo và kết quả mô phỏng sau khi hiệu chỉnh.

3.2.3. Kiểm định mô hình

Biểu đồ so sánh mực nước giữa số liệu thực đo và mô phỏng (Hình 10) cho thấy mô hình có khả năng tái hiện tương đối tốt diễn biến dao động mực nước theo thời gian. Đường cong mô phỏng (màu đỏ) bám sát theo xu hướng của đường cong thực đo (màu xanh), thể hiện sự tương đồng về cả biên độ lẫn chu kỳ dao động. Tuy nhiên, vẫn tồn tại một số sai lệch nhỏ tại các đỉnh và đáy sóng, cho thấy mô hình có thể chưa phản ánh đầy đủ một số đặc trưng phi tuyến hoặc nhiễu động cục bộ trong điều kiện thực tế.

Về mặt định lượng, chỉ số RMSE = 0,00446 m cho thấy sai số tuyệt đối trung bình giữa mực nước mô phỏng và thực đo là rất nhỏ, ở mức chấp nhận được đối với các bài toán mô phỏng sóng ngắn trong môi trường ven bờ hoặc sông. Chỉ số NSE = 0,545 phản ánh mô hình có độ phù hợp trung bình với dữ liệu thực tế. NSE > 0 cho thấy mô hình tốt hơn việc chỉ dùng trung bình thực đo để dự đoán, tuy nhiên vẫn còn tiềm năng cải thiện. Giá trị BIAS = -0,00052 m cho thấy mô hình có xu hướng đánh giá thấp mực nước một cách nhẹ, nhưng sai số này gần như không đáng kể.

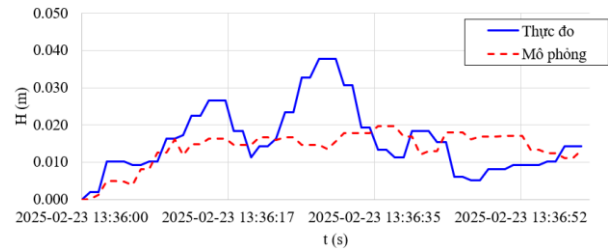
Tổng thể, mô hình mô phỏng mực nước đã thể hiện hiệu quả hợp lý với sai số nhỏ và mức độ tương quan tương đối tốt với số liệu thực đo. Các chỉ số thống kê hỗ trợ khẳng định tính tin cậy của mô hình trong phạm vi ứng dụng hiện tại.



Hình 10. So sánh số liệu mực nước thực đo và mô phỏng khi kiểm định mô hình.

Biểu đồ thể hiện sự biến đổi của chiều cao sóng theo thời gian từ dữ liệu thực đo và mô phỏng cho thấy sự khác biệt rõ rệt về biên độ dao động. Trong khi chiều cao sóng thực đo (đường màu xanh) có xu hướng dao động mạnh, với các giá trị đỉnh đạt gần 0,045 m, thì chiều

cao sóng mô phỏng (đường màu đỏ, đứt nét) lại có xu hướng ổn định và thấp hơn, dao động chủ yếu quanh mức 0,015–0,02 m. Điều này cho thấy mô hình mô phỏng đã tái hiện được xu hướng tổng thể nhưng chưa phản ánh đầy đủ các đỉnh sóng cao thực tế.



Hình 11. So sánh số liệu chiều cao sóng thực đo và mô phỏng khi kiểm định mô hình.

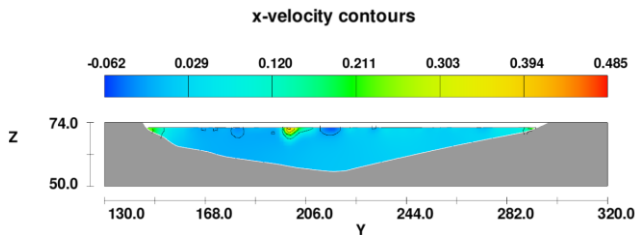
3.3. Đánh giá ảnh hưởng của sóng tàu đến xói lở bờ sông

Dựa trên công thức của Sunamura (1992) [7] và các giá trị đầu vào ta tính được tốc độ xói lở bờ do tác động của sóng như sau:

Bảng 3. Vận tốc xói lở bờ sông dựa vào số liệu sóng mô phỏng.

Thông số	Giá trị	Đơn vị
H_s	0,1	m
r	1.000	kg/m ³
g	9,81	m/s ²
k	1,20	
C	4,50	
S_c	53,240	Pa
R	0,61	m/năm

Với chiều cao sóng $H_s = 0,1$ m, kết quả tính toán cho thấy tốc độ xói lở bờ sông tại KVNC đạt khoảng 0.6 m/năm. Đây là một giá trị tương đối lớn so với mức sóng chỉ 0.1 m, cho thấy sóng tàu đóng vai trò quan trọng trong quá trình xói lở. Cần lưu ý rằng tốc độ xói lở này chỉ phản ánh tác động của sóng tàu, trong khi quá trình xói và sạt lở bờ sông thực tế là kết quả của nhiều yếu tố tác động đồng thời. Trong môi trường sông ngòi ĐBSCL, sóng tàu và dòng chảy có vai trò chính trong việc vận chuyển lớp vật liệu tại chân bờ sông, đặc biệt là dưới các công trình ven sông như hạ tầng giao thông và đô thị. Theo cơ chế xói ngầm, sóng và dòng chảy liên tục làm xói mòn phần bờ phía dưới, tạo ra hàm ếch (dạng xói ngầm bên dưới bờ). Khi hàm ếch mở rộng đến một mức độ nhất định, phần bờ phía trên trở nên mất ổn định. Dưới tác động của tải trọng từ công trình trên bờ, bờ sông có thể sụp xuống theo kiểu đứt gãy công-xôn (cantilever failure) [8]. Đây là cơ chế sạt lở phổ biến ở ĐBSCL, đã phá hủy nhiều tuyến đường giao thông ven sông, gây ảnh hưởng nghiêm trọng đến an toàn hạ tầng và đời sống người dân.



Hình 12. Phân bố vận tốc dòng chảy theo mặt cắt sông Cần Thơ tại KVNC.

Hình 12 thể hiện mặt cắt phân bố vận tốc theo phương dòng chảy (phương x). Từ kết quả mô phỏng cho thấy có ba vùng vận tốc lớn rõ rệt nhất: một vùng nằm tại vị trí sà lan đang di chuyển và hai vùng khác nằm ở hai bên bờ sông.

Cụ thể, giá trị vận tốc dòng chảy ghi nhận được tại hai bên bờ sông vào khoảng 0,2 m/s, lớn hơn vận tốc không xói cho phép của vật liệu cấu tạo bờ sông Cần Thơ (chủ yếu là bùn), theo tiêu chuẩn TCVN 4118:2021 [9] với vận tốc không xói (v_{kx}) = 0,19 m/s.

Điều này cho thấy dưới tác động của sóng tàu, dòng chảy có đủ năng lượng để làm tách rời các hạt bùn cát ra khỏi cấu trúc bờ sông. Các hạt bùn cát này sẽ được dòng chảy vận chuyển theo hướng dòng nước, dẫn đến quá trình xói lở diễn ra liên tục. Theo thời gian, hiện tượng này tạo thành các hàm ếch dưới chân bờ sông, làm mất ổn định công trình ven sông, đặc biệt là các tuyến đường bộ sát bờ sông Cần Thơ.

Như vậy, kết quả mô phỏng trên không những khẳng định nguy cơ xói lở thực tế mà còn góp phần giải thích cơ chế xói lở hàm ếch đang diễn ra phổ biến ở các khu vực ven sông có mật độ tàu bè qua lại cao như Cần Thơ.

4. Kết luận

Trong nghiên cứu này, dữ liệu thực đo kết hợp với dữ liệu thứ cấp đã được sử dụng để xây dựng mô hình mô phỏng sóng tàu bằng phần mềm Flow-3D Hydro cho khu vực sông Cần Thơ. Mục tiêu là đánh giá tác động của sóng tàu đến hiện tượng xói lở bờ sông và sự ổn định của các công trình giao thông ven sông. Kết quả cho thấy Flow-3D Hydro có thể mô phỏng tốt quá trình phát sinh và lan truyền sóng do tàu, cũng như phản ánh được sự tương tác giữa sóng tàu và địa hình bờ.

Tuy nhiên, phiên bản học thuật của phần mềm vẫn còn một số hạn chế, đặc biệt trong việc tái hiện chính xác biên độ sóng và hiện tượng sóng phản xạ ở khu vực nước nông gần bờ. Điều này có thể làm sai lệch phần nào kết quả đánh giá tác động thực tế của sóng tàu đến bờ sông. Bên cạnh đó, phạm vi mô phỏng trong nghiên cứu hiện chỉ giới hạn cho một sà lan đơn lẻ, chưa xét đến các tình huống giao thông thủy phức tạp với nhiều tàu thuyền hoạt động đồng thời – một yếu tố

có thể làm gia tăng đáng kể chiều cao sóng do hiện tượng chồng sóng.

Dù vậy, mô hình vẫn thể hiện độ chính xác tương đối tốt trong việc mô phỏng chiều cao sóng có nghĩa ($H_{1/3}$), với sai số so với dữ liệu thực đo nằm trong giới hạn chấp nhận được. Kết quả cho thấy sóng tàu, dù có chiều cao nhỏ khoảng 0,1 m, vẫn có thể gây ra tốc độ xói lở bờ lên tới 0,6 m/năm. Điều này khẳng định rằng sóng tàu là một trong những tác nhân quan trọng ảnh hưởng đến ổn định bờ sông và cần được quan tâm trong công tác quy hoạch, thiết kế và bảo vệ công trình ven sông.

Lời cảm ơn

Tập thể tác giả chân thành cảm ơn Công ty Flow Science, Inc. đã cung cấp bản quyền miễn phí phần mềm Flow-3D (Hydro) cho Khoa Công Nghệ, Trường Đại học Cần Thơ (hiện nay là Trường Bách Khoa, Trường Đại học Cần Thơ) nhằm phục vụ mục tiêu đào tạo và nghiên cứu.

Tài liệu tham khảo

- [1]. Q.-T. Thuong *et al.*, "Seasonal and Spatial Distribution of Microplastics in Surface Water of the Southern Branch of the Mekong River in Vietnam," in *EAI International Conference on Renewable Energy and Sustainable Manufacturing*, Cham, N. T. Hai, N. X. Huy, K. Amine, and T. D. Lam, Eds., 2024// 2024: Springer Nature Switzerland, pp. 103-120.
- [2]. V. H. Huệ, "Phân tích, xác định nguyên nhân và đề xuất giải pháp công trình chống sạt lở bờ sông Vàm Cỏ Tây," *Tạp chí Khí tượng Thủy văn*, vol. 754, pp. 79-100, 2023.
- [3]. C. Thang, T. Hino, C. N. Quang, and L. Lam, "Effects of ship waves on riverbank erosion in the Mekong delta: A case study in An Giang province," *Lowland Technology International*, vol. 22, no. 3, 2020.
- [4]. S. H. Nguyen, T. T. Huynh, V. T. Bui, and N. Van Dau, "The mechanism of riverbank erosion caused by ship-generated waves along Hau river's entrance navigation channel, Southern Vietnam," in *Advances in sustainable construction and resource management*, 2021: Springer, pp. 897-904.
- [5]. C. J. Willmott *et al.*, "Statistics for the evaluation and comparison of models," *Journal of Geophysical Research: Oceans*, vol. 90, no. C5, pp. 8995-9005, 1985.
- [6]. J. E. Nash and J. V. Sutcliffe, "River flow forecasting through conceptual models part I—A discussion of principles," *Journal of hydrology*, vol. 10, no. 3, pp. 282-290, 1970.
- [7]. T. Sunamura, *Geomorphology of Rocky Coasts*. New York: John Wiley and Sons, 1992, p. 302.
- [8]. K. Zhao *et al.*, "Laboratory Experiments of Bank Collapse: The Role of Bank Height and Near-Bank Water Depth," *Journal of Geophysical Research: Earth Surface*, vol. 125, no. 5, p. e2019JF005281, 2020, doi: <https://doi.org/10.1029/2019JF005281>.
- [9]. TCVN 4118:2021 - Công trình thủy lợi - Hệ thống dẫn, chuyển nước - Yêu cầu thiết kế, BKH&CN, Hà Nội, 2021.