

Morphodynamic modelling of Thuan An channel

Nguyen Thi Viet Lien¹, Nguyen Manh Hung¹, Duong Cong Dien¹

Abstract: This paper presents a morphodynamic modeling practice using a hydrodynamic model M2D and a wave model STWAVE for the Thuan An Inlet under the tide and wave actions. Analysis shows that the morphological change at the inlet is due to the variation of the longshore currents which are depending on the monsoon regime. Based on the analysis, stabilization measures are proposed for the access channel and the Thuan An beach.

Mô hình hóa hình thái động lực luồng ra - vào cửa Thuận An

Nguyễn Thị Việt Liên¹, Nguyễn Mạnh Hùng¹, Dương Công Điền¹

Tóm tắt: Cửa Thuận An đóng vai trò quan trọng trong việc trao đổi nước của phá Tam Giang với nước biển mặn có nồng độ ôxy cao, tạo ra các hoạt động đưa vào và đẩy ra các quần thể sinh vật, tải ra biển nước ngọt và các chất dinh dưỡng dư thừa. Mặt khác, cửa Thuận An cũng phục vụ cho việc đi lại, buôn bán và đánh bắt cá. Cửa này cũng đóng vai trò tiêu nước trong các đợt lũ lụt do bão và do gió mùa tại tỉnh Thừa Thiên - Huế. Hạn chế cơ bản của cửa này là sự biến động mạnh của luồng ra vào cửa. Sự biến động này không chỉ gây ra do tác động của sóng và thủy triều mà còn do dòng chảy từ phía thượng nguồn đổ ra và hướng thịnh hành của dòng chảy ven bờ. Cũng thấy rằng, hướng của tuyến luồng ra - vào sẽ tác động đến bãi bồi phía nam cửa và dẫn đến hiện tượng xói lở bờ biển phía nam. Trong báo cáo này, bộ chương trình tính sóng và dòng chảy (STWAVE và M2D) đã được sử dụng để tính toán biến động luồng ra vào cửa và các đặc trưng hình thái khác của cửa Thuận An dưới tác động của chế độ sóng và thủy triều. Kết quả cho thấy, biến động cửa xảy ra là do sự biến động của chế độ dòng chảy dọc bờ. Dòng chảy này phụ thuộc vào chế độ gió mùa vùng ven bờ của khu vực nghiên cứu. Trên cơ sở các kết quả tính toán động lực, đã đưa ra các phương án công trình nhằm bảo vệ luồng tàu và khu vực bãi biển Thuận An.

1. Giới thiệu

Cửa Thuận An là tuyến thông ra biển ở phía bắc phá Tam Giang, tỉnh Thừa Thiên - Huế. Hệ đầm phá này là hệ đầm phá lớn nhất và đặc trưng nhất trong các vùng nước lợ nhiệt đới chạy dài dọc theo đường bờ biển miền Trung Việt Nam. Nó tạo ra môi trường thích hợp cho tôm, cua và cá - được coi là các sản phẩm có giá trị kinh tế cao của tỉnh Thừa Thiên - Huế. Ngoài ra, đầm phá còn là khu vực có tiềm năng rất lớn về du lịch, nghỉ dưỡng, bao gồm cả du lịch sinh thái. Trong một loạt các khó khăn trở ngại trong việc khai thác và quản lý bền vững khu vực đầm phá này, vấn đề cấp thiết nhất là các thiên tai như lũ, ngập lụt, xói lở bờ biển và sự bất ổn định của luồng ra - vào cửa Thuận An. Từ những năm 1980, tình hình xói lở ở ven bờ biển tỉnh Thừa Thiên - Huế, dọc theo đoạn bờ biển từ Hải Dương đến Hòa Duân trở thành một vấn đề nguy kịch. Xói lở chủ yếu tác động đến bờ biển tại hai vị trí: xã Hải Dương (phía bắc cửa Thuận An) với cường độ xói lở tới 10m/năm và xã Thuận An - Phú Thuận (phía nam cửa Thuận An) với cường độ xói lở 5-6m/năm. Xói lở gây tác hại trầm trọng đến bãi biển du lịch Thuận An, đe dọa sự phát triển du lịch khu vực. Đã có một số các công trình nghiên cứu về nguyên nhân xói lở tại khu vực này. Theo chúng tôi, quá trình xói lở có liên quan trực tiếp đến sự biến động luồng ra - vào cửa Thuận An. Sự biến động luồng ra - vào cửa gây khó khăn đối với giao thông ra - vào cửa, đồng

¹ Center for Marine Environment Survey, Research and consultation (CMESRC), Institute of Mechanics;
264 Doi Can Str., Hanoi

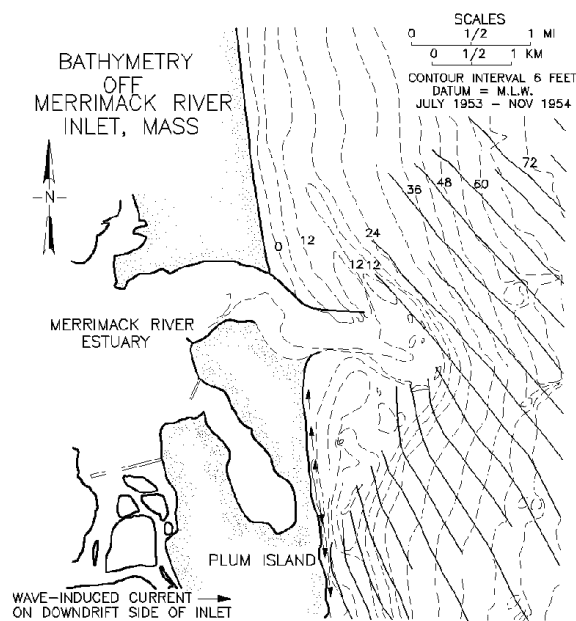
thời ảnh hưởng đến các quá trình thoát lũ, trao đổi nước của đầm phá với khu vực biển ven bờ, làm ảnh hưởng đến hiệu quả giảm ô nhiễm nước trong khu vực đầm phá. Trong nội dung nghiên cứu này, các tác giả sử dụng mô hình tính các yếu tố thủy thạch động lực biển (sóng, thủy triều, vận chuyển bùn cát) để mô phỏng biến động luồng ra - vào và đáy biển khu vực cửa trong các điều kiện tự nhiên và trong điều kiện có công trình bảo vệ cửa. Từ đó đánh giá khả năng của công trình bảo vệ nhằm tìm các giải pháp tối ưu đảm bảo tuyến luồng ổn định, đồng thời ngăn chặn ảnh hưởng của biến động luồng ra - vào đến xói lở khu vực ven bờ phía nam và lân cận.

2. Luồng ra - vào các cửa biển, lạch triều và cơ chế biến động

2.1 Cơ sở lý thuyết về luồng ra - vào các cửa biển, lạch triều

Luồng ra - vào là một trong những đặc trưng quan trọng nhất của các cửa biển, lạch triều. Cùng với các đặc trưng khác như bãi bồi triều lên, bãi bồi triều xuống, luồng ra - vào ảnh hưởng trực tiếp đến khả năng vận chuyển nước vào đất liền và ra biển trong các pha triều lên và xuống. Thông thường, luồng ra - vào không phải lúc nào cũng thẳng góc với đường bờ mà định hướng của nó thường là theo hướng vận chuyển bùn cát thịnh hành dọc bờ. Nếu lượng vận chuyển bùn cát trong khu vực tăng có thể gây ra hiện tượng là luồng ra - vào bị ép đi theo hướng dọc theo đường bờ [3]. Luồng ra - vào cũng luôn biến đổi sao cho tạo ra được sự cân bằng giữa lực ma sát đáy và tốc độ dòng chảy. Các kết quả nghiên cứu cho thấy, hướng của luồng ra - vào tự điều chỉnh sao cho trùng với hướng sóng thịnh hành để giảm tác động của sóng lên các thành luồng. Trên hình 1 đưa ra ví dụ cụ thể về định hướng của luồng ra - vào cửa sông Merrimack (Mỹ). Hướng của luồng ra - vào tại cửa Merrimack tự điều chỉnh, luôn theo hướng của trường sóng thịnh hành sao cho có thể làm giảm tác động của sóng và dòng vận chuyển bùn cát tới các thành luồng. Nếu hướng của sóng cắt ngang luồng ra - vào có thể phá hủy tuyến luồng chỉ trong một thời gian ngắn.

Các đặc trưng của tuyến luồng ra - vào cửa cũng phụ thuộc vào sự cân bằng giữa lượng vận chuyển bùn cát dọc bờ và lượng nước triều ra - vào cửa thông qua chỉ tiêu Bruun và Gerritsen [3]. Sự ổn định của cửa biển được tính thông qua tỷ số giữa lượng nước triều và tổng lượng vận chuyển bùn cát trung bình năm. Nếu tỷ số trên đạt từ 150 trở lên thì luồng ra - vào và cửa sẽ ổn định, lưu lượng nước triều qua cửa đủ lớn để tải bùn cát ngăn cản trên tuyến luồng do dòng vận chuyển dọc bờ gây ra. Nếu tỷ số nêu trên nhỏ hơn 50 thì do dòng vận chuyển bùn cát dọc bờ quá mạnh sẽ san bằng luồng ra - vào và khả năng sẽ xảy ra bồi lấp cửa.

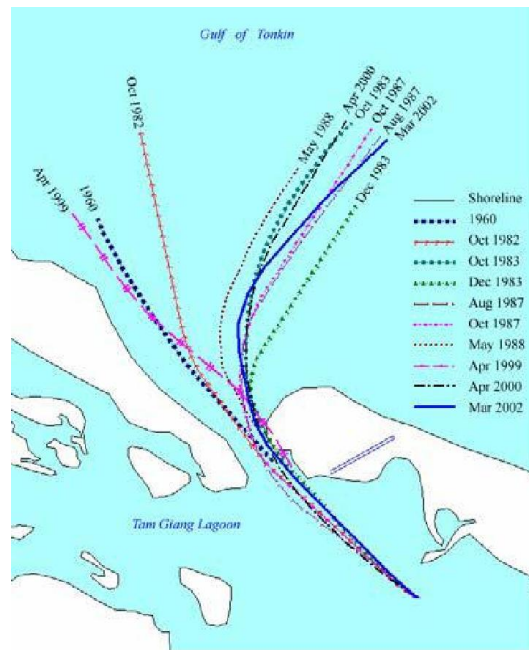


Hình 1. Tuyến luồng ra - vào cửa sông Merrimack [3]

2.2 Tuyến luồng ra - vào cửa Thuận An

Do khu vực cửa Thuận An thủy triều khá nhỏ (khoảng 0,25m) nên ảnh hưởng của thủy triều đến biến động luồng ra - vào cửa không lớn. Không tồn tại bãi bồi triều lên ở phía trong cửa - khu vực phá Tam Giang. Còn phía ngoài cửa, sự tồn tại của các bar triều rút chủ yếu do tác động của trường sóng thông qua dòng chảy biển và dòng chảy trong phá đổ ra. Có thể thấy rằng, do phá Tam Giang rất rộng, với nhiều sông lớn đổ vào, lượng nước chảy ra biển thông qua cửa Thuận An lớn hơn nhiều so với lượng nước từ biển đổ vào phá thông qua cửa trong pha triều lên. Do vậy, việc đánh giá sự biến động luồng ra - vào cửa Thuận An thông qua chỉ tiêu Bruun và Gerritsen không được chính xác. Cửa Thuận An thiên về một cửa sông thải nước ra biển hơn là một cửa biển lạch triều có lượng nước ra - vào tuần hoàn. Theo các đánh giá của Nghiêm Tiến Lam và nnk [4] chỉ tiêu Bruun và Gerritsen của cửa Thuận An trong khoảng từ 11 đến 56 (theo số liệu quan trắc năm 2000), được đánh giá là xấp xỉ không ổn định. Vào mùa mưa, do lượng nước khá lớn tại các sông đổ vào đầm phá nên dòng chảy ra biển khá lớn làm cho tuyến luồng ra - vào được khơi sâu và ổn định. Trên hình 2 đưa ra lịch sử biến động tuyến luồng ra - vào cửa. Có thể thấy rằng, tuyến luồng ra - vào cửa có hai hướng chính. Đó là hướng dọc theo bờ bắc của cửa theo xu thế bắc tây bắc và hướng gần như vuông góc với đường bờ khu vực phá Tam Giang - theo hướng đông đông nam. Lịch sử biến động tuyến luồng cũng cho thấy có sự tương quan rõ ràng giữa các mùa gió (mùa sóng) và biến động tuyến luồng.

Theo các kết quả nghiên cứu về chế độ sóng và vận chuyển bùn cát dọc theo khu vực ven bờ Việt Nam [1], khu vực ven bờ biển tỉnh Thừa Thiên - Huế có định hướng đường bờ theo hướng tây bắc - đông nam, là hướng vuông góc với hướng năng lượng chính của trường sóng trên toàn dải ven biển Việt Nam. Độ cao sóng cực đại năm trung bình khoảng 5,0 - 5,5m trong gió mùa đông bắc và 3,5 - 4,0m trong gió mùa tây nam. Các hướng sóng chính là N, NE trong mùa đông và E, SE trong mùa hè. Tần suất các hướng sóng nêu trên là 47% trong gió mùa đông bắc và 20% trong gió mùa tây nam, tần suất lặng sóng là 33%. Phân bố hai chiều giữa độ cao và chu kỳ sóng trong các hình thể gió mùa nằm trong khoảng 1,5 đến 2,0m, ứng với chu kỳ sóng 5 - 7 giây. Vùng này cũng là vùng chịu ảnh hưởng mạnh nhất của sóng bão với tần suất trung bình khoảng 1 cơn bão/năm, thời gian có bão thường xảy ra vào tháng 9 tháng 10. Sóng cực đại trong bão với chu kỳ lặp 20 năm một lần là 6,5 - 7,5m với chu kỳ là 11 - 13 giây. Khu vực nghiên cứu có dòng vận chuyển bùn cát tịnh từ bắc xuống nam với tổng lượng khoảng gần 600.000m³/năm.



Hình 2. Lịch sử biến động tuyến luồng ra - vào cửa Thuận An [4]

3. Tính toán biến động luồng ra - vào và địa hình đáy biển cửa Thuận An

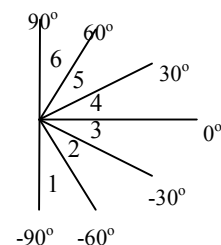
Để tiến hành tính toán biến động luồng ra - vào cửa Thuận An, trên quan điểm cho rằng các yếu tố động lực biển (quan trọng nhất là trường sóng) đóng vai trò chủ yếu, đã tiến

hành tính toán trường sóng vùng nước sâu theo các số liệu trường gió 10 năm (một ngày 4 obs, độ phân giải 0,5 độ kinh vĩ) của Sở Khí tượng Nhật Bản (JMA), sử dụng mô hình tính sóng thể hệ III - SWAN, từ đó thống kê ra chế độ các hướng sóng thịnh hành từ vùng nước sâu truyền vào vùng ven bờ. Trên bảng 1 đưa ra các kết quả thống kê chế độ trường sóng vùng nước sâu truyền vào khu vực cửa Thuận An.

Bảng 1. Thống kê chế độ trường sóng vùng nước sâu khu vực cửa Thuận An

Khoảng hướng sóng so với đường thẳng góc với đường bờ (*)	từ -90° đến -60° (vùng 1)	từ -60° đến -30° (vùng 2)	từ -30° đến 0° (vùng 3)	từ 0° đến 30° (vùng 4)	từ 30° đến 60° (vùng 5)	từ 60° đến 90° (vùng 6)
Trường hợp tính	1			2		
Tần suất	3817	8880	7122	1515	394	282
Độ cao sóng, Hsig [m]	0,85	1,32	2,42	2,33	1,757	1,06
Chu kỳ sóng, Tp [s]	5,58	6,92	8,89	7,51	6,993	5,80
Hướng sóng, Dir [độ]	-68	-42	-19	12	43	72
Hướng sóng tuyệt đối theo khí tượng, D[độ]	328	353	16	47	78	108

(*) Hướng sóng quy ước được lấy theo hướng tính toán vận chuyển bùn cát: hướng theo người quan trắc viên đứng trên bờ nhìn ra ngoài biển, phía tay trái là hướng dương, phía phải là hướng âm. Không độ ứng với hướng vuông góc với đường bờ.

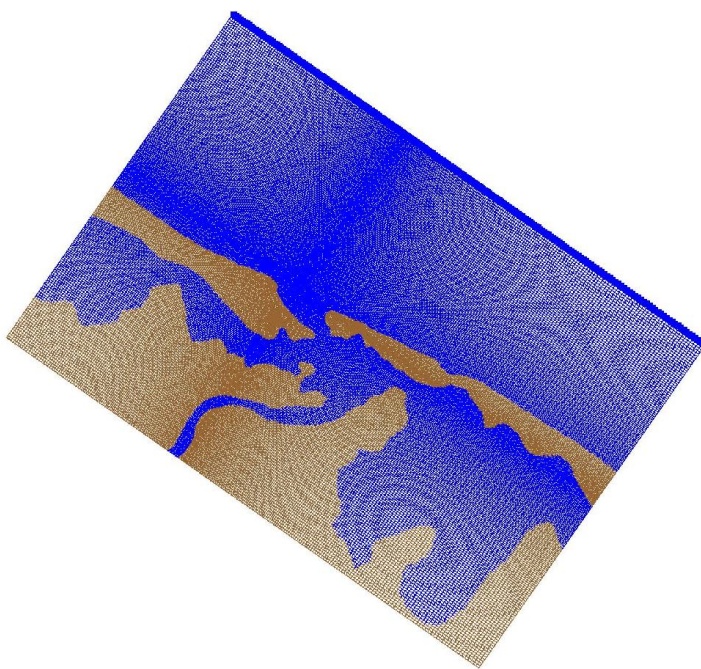


Hai khoảng hướng ngoài cùng (vùng 1 và 6) do gần như song song với đường bờ nên dưới tác dụng của hiệu ứng khúc xạ độ cao sóng sẽ giảm đáng kể, hầu như tác dụng rất ít đến biến động đáy biển, do vậy đã không đưa vào tính toán. Hai khoảng hướng phía trong (vùng 3 và 4) gần như vuông góc với đường bờ nên dòng chảy sóng không lớn, cũng có thể không cần tính tới. Hai khoảng hướng quan trọng nhất, gây dòng chảy sóng và vận chuyển trầm tích đáy mạnh nhất là khoảng hướng số 1 và 2 được đưa vào tính toán trong trường hợp tự nhiên và có công trình bảo vệ. Công trình bảo vệ cửa Thuận An bao gồm hai mỏ hàn vuông góc với bờ biển tại phía nam và phía bắc cửa với độ dài của mỏ hàn là 500m (các công trình này hiện đang được thi công xây dựng). Để tính sóng đã sử dụng mô hình tính sóng STWAVE và để tính dòng chảy, mực nước và biến đổi đáy đã sử dụng mô hình M2D. Cơ sở lý thuyết của các mô hình nêu trên và phương pháp tính toán trao đổi số liệu giữa hai mô hình được nêu trong tài liệu [2]. Lưới tính cho mô hình tính sóng được lấy trong miền dọc theo chiều dài bờ là 16km và vuông góc với bờ là 6km, góc quay của trục dọc bờ là 235° sao cho trục này song song với đường bờ. Bước lưới tính theo hai trục là 25m. Mô hình M2D được lấy với cùng một vùng tính như mô hình tính sóng. Tuy nhiên, để tính được dòng chảy và mực nước cho khu vực phá Tam Giang đã mở rộng trục vuông góc với đường bờ về phía đất liền thêm 5km. Bước lưới tính của mô hình M2D là 100m. Một trong các điểm mạnh của mô hình M2D là cho phép làm mịn lưới tính dòng chảy và vận chuyển bùn cát biến động bờ biển tại các điểm quan tâm [5]. Đối với khu vực cửa Thuận An, đã lấy điểm làm mịn là trung tâm cửa, bước lưới được làm mịn tới 25m với hệ số biến đổi là 1.01 cho tới bước lưới 100m theo hai chiều thẳng góc với bờ và song song với bờ sao cho có thể mô phỏng được chi tiết tuyến luồng ra - vào cửa.

Kết quả tính toán biến đổi đáy biển được đưa ra sau mỗi ngày trong toàn bộ 7 ngày tính.

Trên hình 4a,b đưa ra kết quả tính dòng chảy tại pha triều rút khu vực cửa Thuận An cho trường hợp 1 nêu trên bảng 1 khi không có công trình và có công trình. Hình 5a,b đưa ra kết quả tính dòng chảy tại pha triều rút khu vực cửa Thuận An cho trường hợp 2 nêu trên bảng 1 khi không có công trình và có công trình.

Trên hình 6a,b đưa ra kết quả tính biến động đáy khu vực cửa Thuận An sau 7 ngày tính toán cho trường hợp 1 khi không có công trình và có công trình. Hình 7a,b đưa ra kết quả tính biến động đáy khu vực cửa Thuận An sau 7 ngày tính toán cho trường hợp 2 khi không có công trình và có công trình.



Hình 3. Lưới tính dòng chảy, mực nước và biến động đáy biển khu vực cửa Thuận An

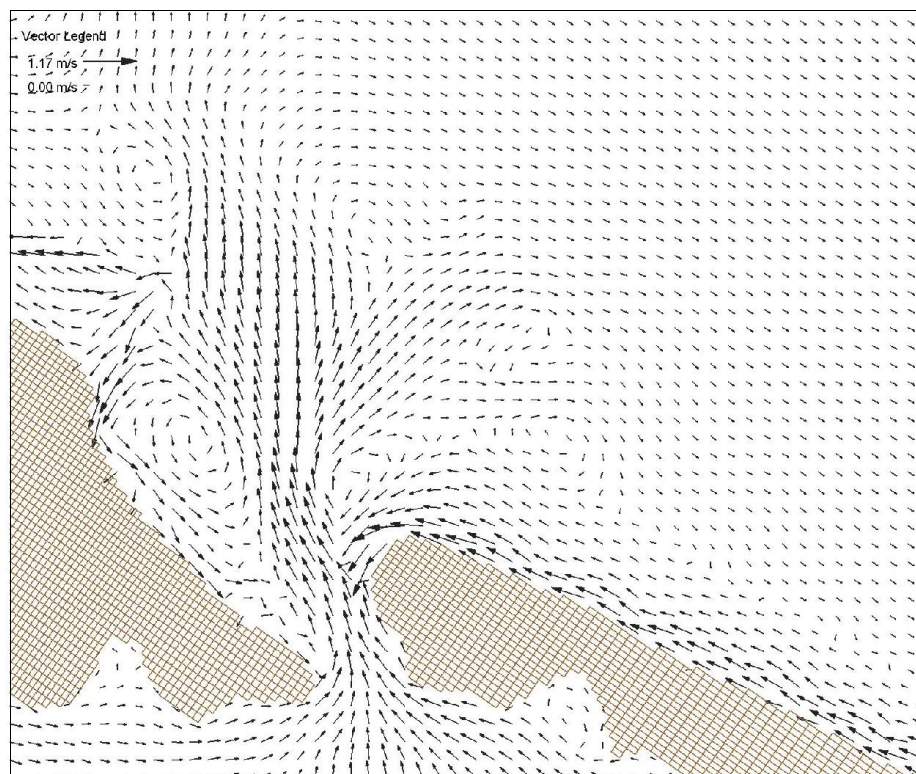
4. Phân tích kết quả tính toán và kết luận

Trên cơ sở các kết quả tính toán trường sóng, trường dòng chảy (dòng chảy sóng và dòng triều) trong các hình thể trường gió mùa đông bắc và tây nam tại khu vực cửa Thuận An đã cho phép giải thích một số các đặc điểm chế độ động lực và biến động luồng lạch cũng như biến động đáy của toàn bộ vùng cửa tại khu vực nghiên cứu.

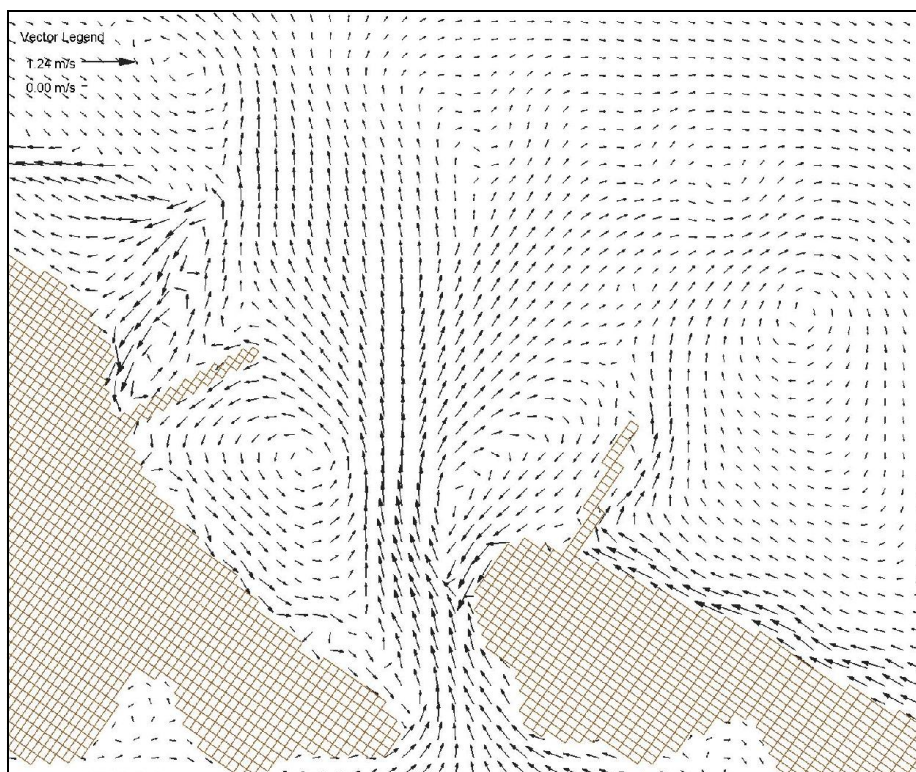
4.1 Trong điều kiện tự nhiên, không có công trình

a) Trong tất cả các trường hợp hình thể trường sóng ở phía bắc và phía nam cửa, hầu như luôn tồn tại dòng chảy ven chảy từ ngoài biển vào khu vực đầm phá ngay cả tại pha triều rút. Điều này hợp với quy luật phân bố dòng chảy tại các cửa biển, lạch triều [3].

b) Dòng chảy ngược về phía cửa tạo thành các xoáy thể hiện rất rõ ràng tại bờ nam của cửa Thuận An và đặc biệt rõ ràng trong các hình thể trường sóng trong mùa đông - mùa gió mùa đông bắc là nguyên nhân tạo ra các bar phía nam cửa, ảnh hưởng đến tuyến luồng ra - vào cửa. Hình thể này khá phù hợp với hình thể của cửa Merrimack nêu trên hình 1, tạo ra hiện tượng bồi phía cuối dòng (downdrift offset).

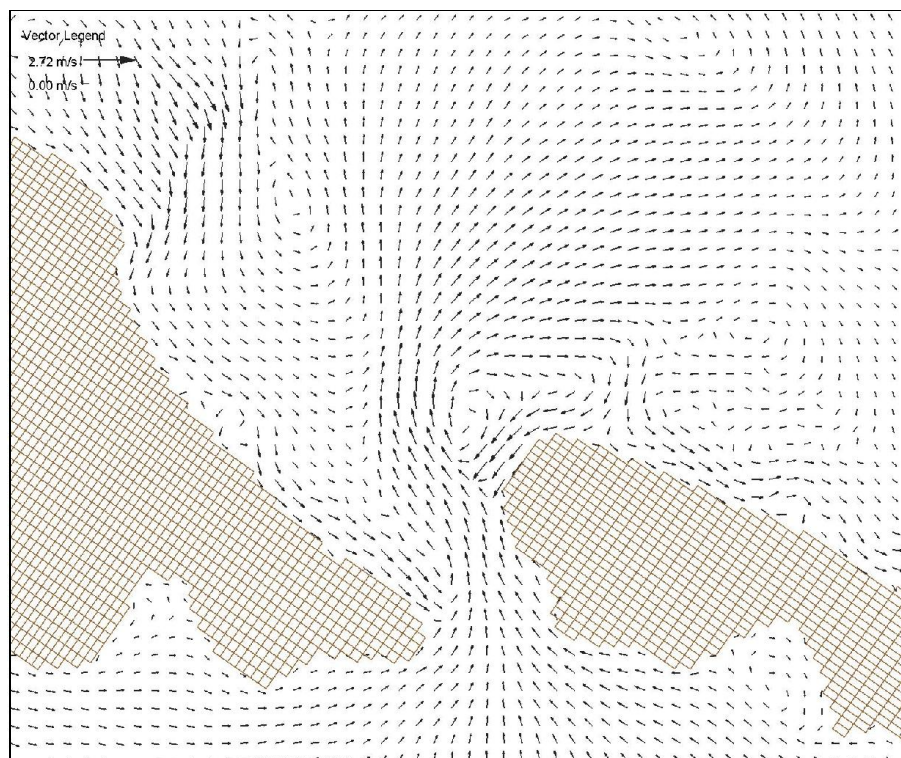


a. Không có công trình

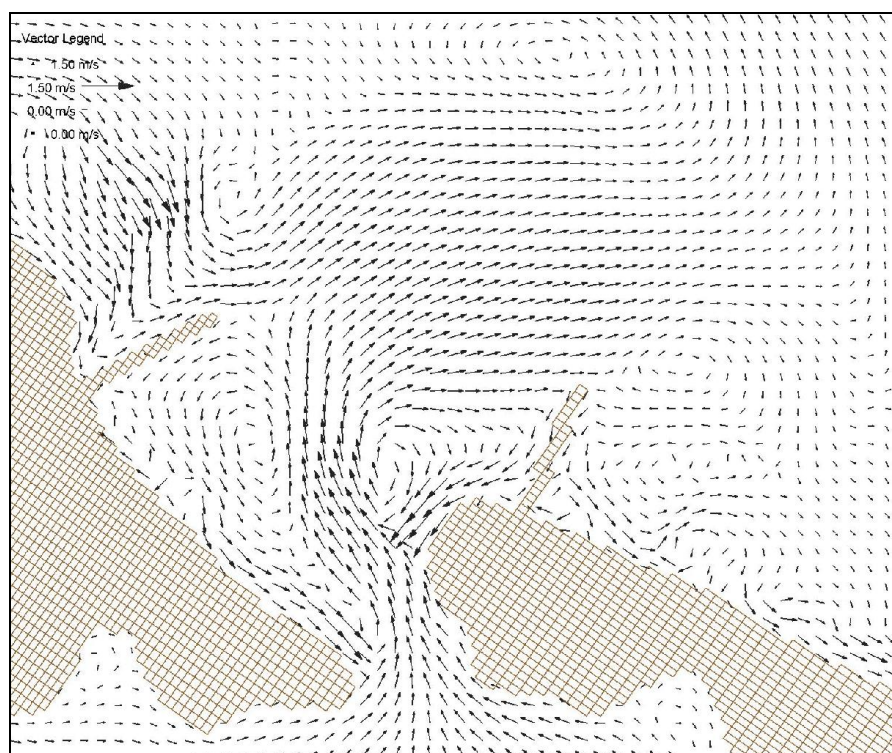


b. Có công trình

Hình 4. Kết quả tính dòng chảy khu vực cửa Thuận An pha triều rút cho trường hợp 1 - gió mùa đông bắc, mùa đông

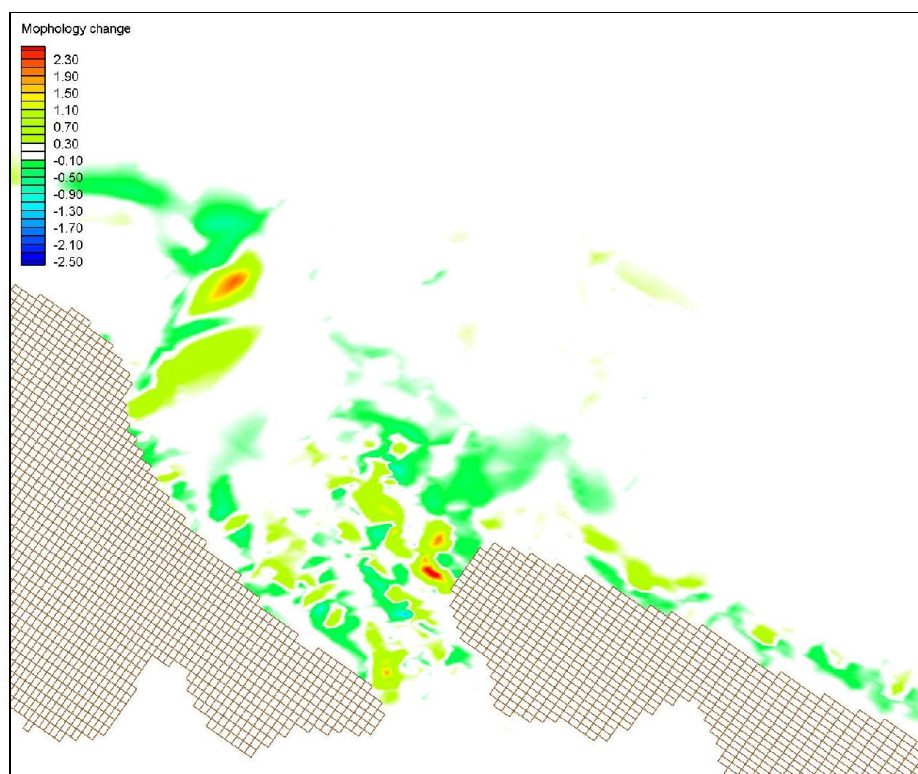


a. Không có công trình

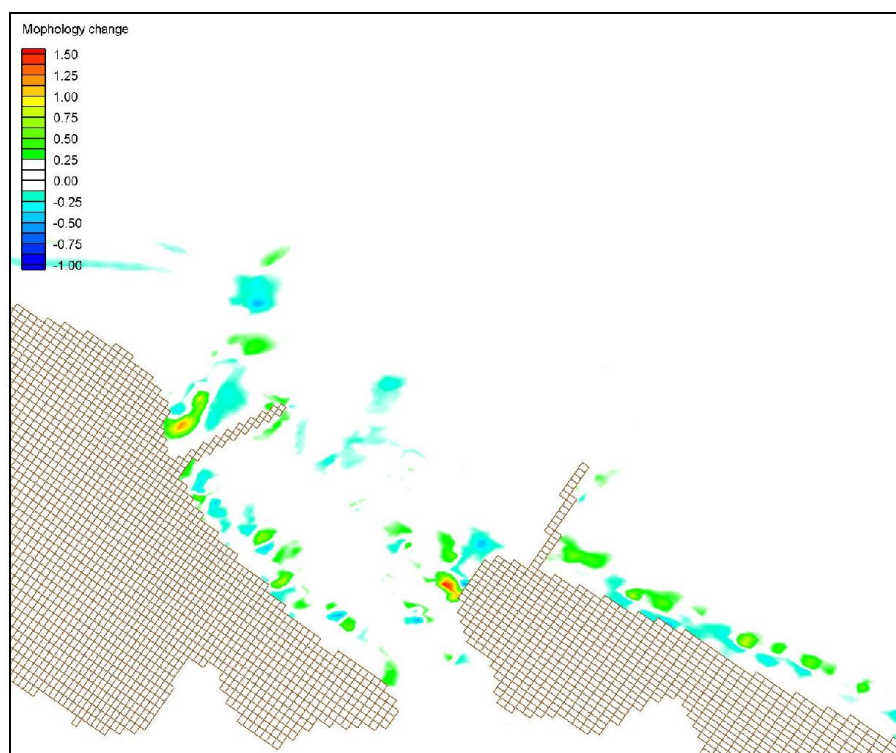


b. Có công trình

Hình 5. Kết quả tính dòng chảy khu vực cửa Thuận An pha triều rút cho trường hợp 2 - gió mùa tây nam, mùa hè

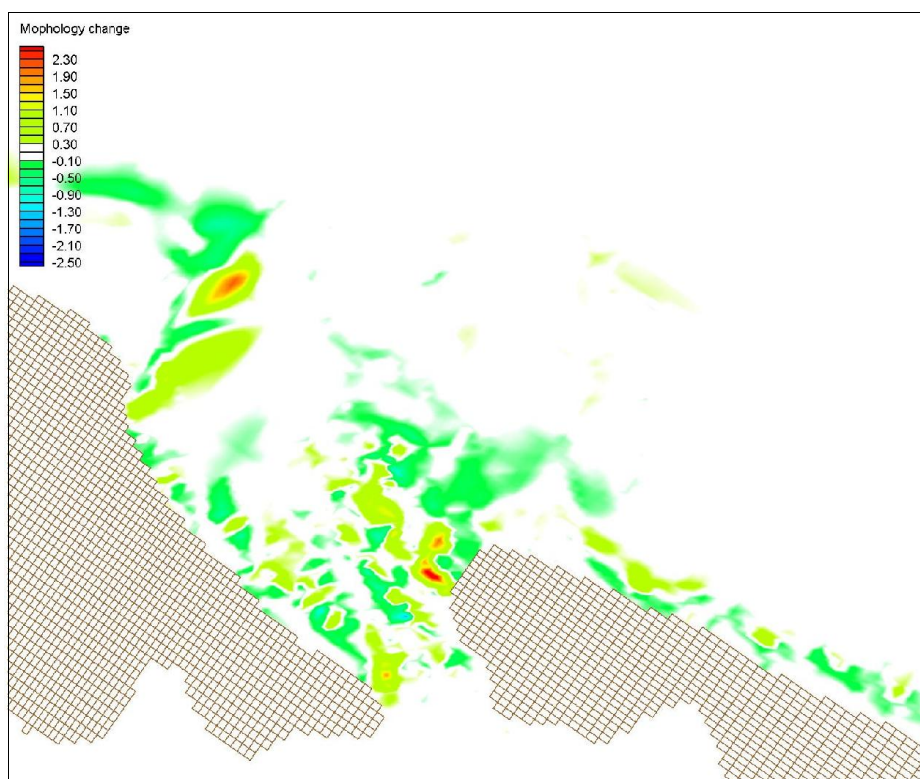


a. Không có công trình

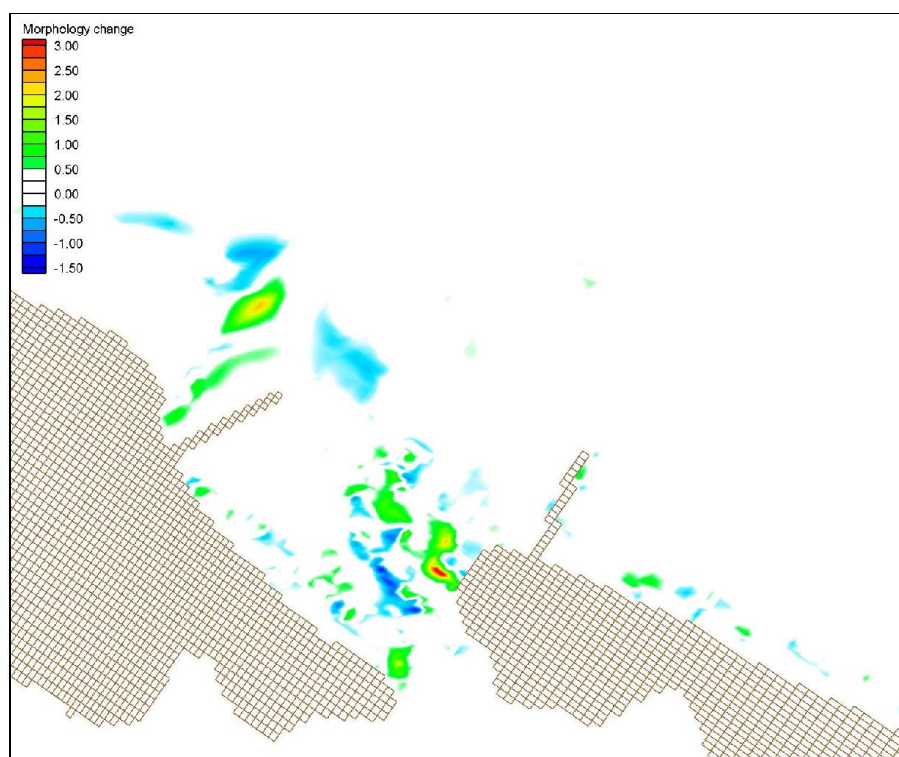


b. Có công trình

Hình 6. Kết quả tính biến động đáy khu vực cửa Thuận An sau 7 ngày tính toán cho trường hợp 1 - gió mùa đông bắc, mùa đông



a. Không có công trình



b. Có công trình

Hình 7. Kết quả tính biến động đáy khu vực cửa Thuận An sau 7 ngày tính toán cho trường hợp 2 - gió mùa tây nam, mùa hè

c) Các kết quả tính dòng chảy trên hình 4 và 5 tạo ra biến động đáy cửa và luồng ra - vào cửa thể hiện trên hình 6 và 7. Xu thế chung là tuyến luồng khá ổn định theo hướng của trục hình học của cửa Thuận An (340° - 350°). Vào các năm có gió mùa đông bắc mạnh và ổn định (trường hợp 1 bảng 1), tuyến luồng sẽ có xu thế dịch chuyển lên phía bắc. Ngược lại, những năm có gió mùa tây nam mạnh, tuyến luồng có xu thế dịch chuyển sang phía đông (trường hợp 2 bảng 1). Tuy nhiên, xu thế hướng lên phía bắc chiếm ưu thế vì tần suất của trường hợp 1 lớn hơn.

d) Các bar ngay tại phía nam cửa phát triển rất mạnh trong cả hai chế độ trường gió, làm cho tuyến luồng luôn luôn lệch lên phía bắc. Nguồn bùn cát để tạo ra các bar này được lấy từ dòng vận chuyển bùn cát dọc theo bờ phía nam cửa Thuận An. Gradient của dòng vận chuyển bùn cát này luôn dương theo hướng từ nam lên bắc, tạo ra hiện tượng xói lở khu vực bãi tắm du lịch phía nam cửa. Trong mùa gió mùa đông bắc, hiện tượng xói lở mạnh hơn so với mùa gió mùa tây nam.

4.2 Đánh giá vai trò của công trình trong việc ổn định luồng bãi biển phía nam cửa Thuận An

a) Có lẽ do kích thước của kè (độ dài 500m của kè xây tại phía bắc và phía nam cửa quá nhỏ so với kích thước của cửa) nên hầu như hai kè nêu trên không có ảnh hưởng gì lớn đến phân bố dòng chảy khu vực hai rìa phía bắc và phía nam cũng như khu vực giữa luồng ra - vào cửa. Hai hệ thống xoáy cục bộ phía bắc và phía nam cửa vẫn tồn tại khi có công trình và không có công trình. Tác động hạn chế dòng chảy ngược từ phía Hòa Duân lên cửa Thuận An - mà dòng chảy này được coi là nguyên nhân gây ra xói lở của bãi biển du lịch Thuận An - của kè phía nam hầu như không phát huy được.

b) Về biến đổi đáy, kết quả tính toán cho thấy vai trò của kè phía nam có hiệu quả hơn trong gió mùa tây nam. Tuy nhiên, như các kết luận nêu ra trong phần không có công trình, ảnh hưởng của gió mùa tây nam đối với biến động bờ biển khu vực ven bờ phía nam cửa Thuận An không lớn. Xói lở mạnh thường xảy ra trong mùa gió đông bắc.

5. Kết luận

Đã sử dụng bộ mô hình tính sóng và dòng chảy, mực nước, vận chuyển bùn cát và biến động đáy để tính toán chế độ động lực và biến động đáy khu vực cửa Thuận An nói chung và tuyến luồng ra - vào cửa nói riêng. Kết quả nhận được cho thấy định hướng của tuyến luồng trong tất cả các hình thế trường sóng và thủy triều đều bị lệch lên phía bờ bắc do ảnh hưởng của bar ngầm phía cuối dòng (phía nam cửa). Những năm có gió mùa đông bắc mạnh có thể làm cho tuyến luồng có xu thế chuyển hướng lên phía bắc, áp sát vào bờ biển phía bắc. Còn ngược lại, những năm có gió mùa tây nam mạnh, tuyến luồng dịch ra giữa cửa và chuyển hướng sang phía đông. Mùa gió đông bắc gây xói lở mạnh tại khu vực bờ phía nam cửa (khu vực bãi biển du lịch) chuyển tải bùn cát về phía cửa, làm phát triển bar ngầm phía nam cửa. Các tác giả cho rằng, sự biến động tuyến luồng phụ thuộc chủ yếu vào biến động chế độ gió và sóng tại khu vực cửa Thuận An. Chế độ dòng chảy trong mùa lũ cũng ảnh hưởng đến sự thay đổi của tuyến luồng nhưng không phải là nguyên nhân chính.

So sánh giữa các kết quả tính toán trong trường hợp đường bờ tự nhiên của cửa và trường hợp có hai kè vuông góc với đường bờ tại phía bắc và phía nam cửa với độ dài là 500m cho thấy tác động của các kè đối với sự ổn định của luồng và đường bờ phía nam của không lớn.

Bài này được thực hiện với sự tài trợ kinh phí từ đề tài “Biến động các cửa Thuận An, Tur Hiền (Phá Tam Giang - Cầu Hai) và các ảnh hưởng đến xói lở bờ biển”, mã số 41RF2 do Quỹ Nghiên cứu Việt Nam - Thụy Điển MoST-Sida tài trợ.

Tài liệu tham khảo:

1. Báo cáo tổng kết đề tài cấp nhà nước KHCN-06-10. “Cơ sở khoa học và các đặc trưng đới bờ phục vụ yêu cầu xây dựng công trình biển ven bờ”. Viện Cơ học, Hà Nội, 2000.
2. Nguyễn Mạnh Hùng, Phạm Văn Ninh, Dương Công Điền. “Mô hình tính cặp đồng thời các yếu tố sóng, dòng chảy và mực nước phục vụ nghiên cứu biến động bờ biển vùng châu thổ sông Hồng”. Tuyển tập công trình Hội nghị Khoa học Cơ học Thủy khí Toàn quốc năm 2005.
3. Coastal Engineering Manual. Chapter 6. “Hydrodynamics of tidal inlets”. U. S Army Corps. Of Engineers. Washington, DC. 2001.
4. Lam Tien Nghiem, Marcel J. F. Stive, Henk Jan Verhagen and Zheng Bing Wang, 2003. Morphodynamic Modelling for Thuan An inlet, Vietnam.
5. SMS Surface Water Modelling System – Tutorials Version 8.1. Brigham Young University - Environment Modeling Research Laboratory 12/2003.