

# PHÂN TÍCH NGUYÊN NHÂN HÌNH THÀNH DÒNG CHẢY XOÁY TẠI CỬA BIỂN TAM QUAN, TỈNH BÌNH ĐỊNH

Vũ Văn Ngọc

Phòng Thí nghiệm trọng điểm Quốc gia về Động lực học Sóng Biển

Trương Văn Bốn

Hội Khoa học Kỹ thuật biển Việt Nam

Trần Thanh Tùng

Trường Đại học Thủy lợi

**Tóm tắt:** Bài báo trình bày một số kết quả nghiên cứu nguyên nhân hình thành dòng chảy xoáy tại khu vực cửa biển Tam Quan, tỉnh Bình Định bằng mô hình Mike 21/3 Couple. Mô hình thủy động lực khu vực cửa Tam Quan đã được hiệu chỉnh và kiểm định bằng bộ số liệu sóng và mực nước đo đạc năm 2017 và 2022. Nghiên cứu đã mô phỏng trường dòng chảy tại khu vực nghiên cứu với 10 kịch bản thủy triều, sóng, gió và dòng chảy sông khác nhau. Kết quả nghiên cứu cho thấy, trong mùa gió Tây Nam, xuất hiện dòng chảy tách bờ tại gốc đê ngăn cát giảm sóng (NCGS) ở bờ nam. Trong mùa gió Đông Bắc, dòng chảy dọc bờ luôn có hướng Nam trong cả pha triều lên và pha triều xuống. Dòng chảy xoáy tại khu vực cửa thường xuất hiện tại phía nam đê NCGS và khá tương đồng với kết quả nghiên cứu của L.P.Trình [2]. Cấu trúc dòng chảy xoáy thường xuất hiện đồng thời với dòng chảy tách bờ và tạo thành những vùng bồi tụ ở ngay sát cửa Tam Quan. Nghiên cứu đã bổ sung thêm những hiểu biết về sự hình thành và phát triển các cấu trúc dòng chảy xoáy ở vùng cửa sông có đê cát bất đối xứng đã xây dựng đê NCGS ở khu vực Nam Trung Bộ nói chung và tại cửa Tam Quan, tỉnh Bình Định nói riêng.

**Từ khóa:** Cửa Tam Quan, cấu trúc dòng chảy xoáy, bồi lấp cửa, mô hình thủy động lực.

**Summary:** The paper presents some research results on the formation of the vortex flow in the Tam Quan estuary area, Binh Dinh province using the Mike 21/3 Couple model. The hydraulic model of the Tam Quan estuary area has been calibrated and validated using the wave and water level data measured in 2017 and 2022. The study simulated the flow field in the study area with 10 different scenarios of tides, waves, winds and river flow. The research results show that, in the Southwest monsoon season, a shore-detached flow occurs at the root of the jetty on the south bank. In the Northeast monsoon season, the alongshore flow always has a southerly direction in both the ebb and flood phases. The vortex flow in the estuary area often occurs at the south of the jetty and is quite similar to the research results of L.P.Trình [2]. The vortex flow structure often appears simultaneously with the shore-detached flow and creates sediment accumulation areas immediately adjacent to the Tam Quan estuary. The study has added to the understanding of the formation and development of vortex flow structures in a estuary with asymmetric sandbars that have built jetty in the South Central region in general and at the Tam Quan estuary, Binh Dinh province in particular.

**Keywords:** Tam Quan estuary, flow structures, estuarine sedimentation, hydraulic modeling.

## 1. GIỚI THIỆU CHUNG

Cửa biển Tam Quan, tỉnh Bình Định là nơi ra vào và tránh trú bão của hàng ngàn tàu thuyền

trong khu vực. Đây là khu vực có đóng góp lớn cho sự phát triển kinh tế biển của tỉnh nói chung và của huyện Hoài Nhơn nói riêng (Hình 2). Tình trạng bồi lấp cửa Tam Quan diễn ra lâu dài, các biện pháp chỉnh trị chống bồi lấp đã từng được thực hiện. Công trình đê ngăn cát được xây dựng năm 2001 với chiều

Ngày nhận bài: 08/01/2024

Ngày thông qua phản biện: 12/02/2024

Ngày duyệt đăng: 15/3/2024

dài 450, tiếp tục được kéo dài 400m vào năm 2008. Các biện pháp nạo vét được thực hiện cấp bách, tuy nhiên chỉ một thời gian ngắn hiện tượng bồi lấp xuất hiện trở lại. Dòng bùn cát có xu thế lắng đọng thành cồn ngầm chắn ngang cửa kể từ năm 2014, đến năm 2015 địa phương đã thực hiện dự án nạo vét thông luồng kết hợp tận thu cát nhiễm mặn, tuy nhiên sau đó luồng lạch tiếp tục bị bồi sau một thời gian ngắn, từ đó cho đến nay nhiều đợt nạo vét khơi thông luồng lạch đã triển khai, tuy nhiên tình trạng bồi lấp không có sự cải thiện đáng kể.

Trong thời gian qua, các nghiên cứu đã xem xét, tính toán, đánh giá và lý giải về nguyên nhân gây bồi lấp cửa biển Tam Quan như các công trình [1], [2], [4].

Qua số liệu quan sát thực địa về mức độ bồi lấp các cửa biển Sa Huỳnh (Quảng Ngãi); Tam Quan (Bình Định), Phạm Bá Trung và nnk, 2010 ([1]) đã nhận định rằng nguyên nhân bồi lấp các cửa biển trên là do nguồn bùn cát từ phía Nam mang đến. Nguồn bùn cát này từ phía Nam lên, gặp kè và chuyển động theo kè, đưa bùn cát tới đầu kè sau đó lan sang luồng tàu vào cửa. Do việc đánh giá chỉ thông qua quan sát thực tế và dựa trên nguyên lý chung về vận chuyển bùn cát, nên cần xem xét và minh chứng cụ thể qua tính toán chế độ thủy thạch động lực.

Lê Phước Trình và nnk ([2]) đã tổng hợp các đặc điểm về cơ chế bồi lấp cửa Đại (Hội An), cửa Sa Huỳnh, Tam Quan và Đê. Dựa trên lý thuyết ma sát lớp biên và quy luật lan truyền sóng ven, tác giả đã nhận định về sự hình thành và tồn tại của cấu trúc dòng xoáy tại các cung lõm địa hình, khi sóng khi lan truyền vào bờ trong thời kỳ mùa gió NE. Tác giả nêu giả thuyết về sự tồn tại của các xoáy thuận tại cửa Sa Huỳnh, cửa Tam Quan và cửa Đê, và coi chúng chính là nguyên nhân cơ bản gây ra hiện tượng bồi lấp các cửa biển này. Nhận định của nhóm tác giả phù hợp với quy luật chung của

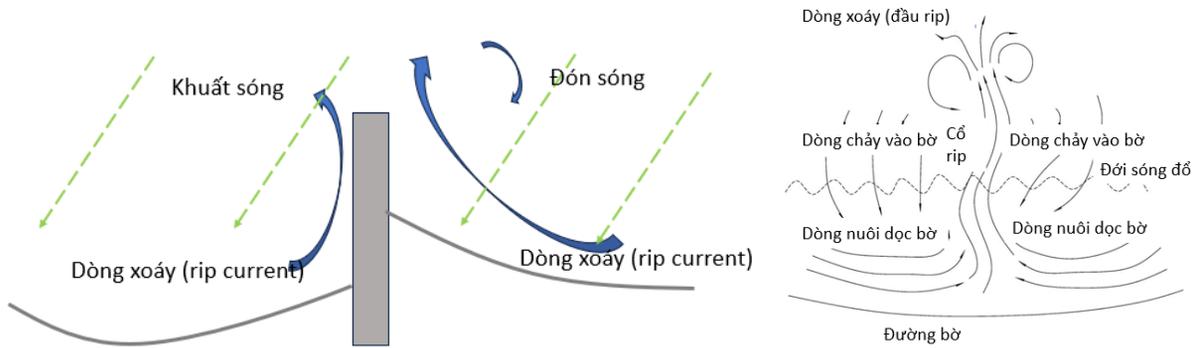
lớp biên gây nên các xoáy thuận và đã phân nào lý giải nguyên nhân bồi lấp cửa Tam Quan. Tuy nhiên việc mô tả chi tiết các cấu trúc dòng chảy xoáy cũng như phân tích các điều kiện hình thành các cấu trúc này chưa được làm sáng tỏ.

Nguyễn Thọ Sáo và nnk, 2014 ([4]) đã sử dụng các phương pháp khảo sát đo đạc, phương pháp phân tích ảnh chụp vệ tinh năm (2010, 2014), phương pháp mô hình toán để đưa ra bức tranh về hướng vận chuyển trầm tích đáy khu vực cửa Tam Quan và từ đó nhận định về nguyên nhân gây bồi lấp cửa Tam Quan, Bình Định. Theo Nguyễn Thọ Sáo và nnk ([4]) nguyên nhân gây bồi lấp cửa biển Tam Quan là do sự bất đối xứng của cửa biển Tam Quan, nguồn bùn cát phía Bắc, cùng với sóng và kè ngăn cát phía Nam là nguyên nhân chính gây lên sự bồi lấp cửa Tam Quan. Những nhận định này giúp giải thích một phần hiện tượng bồi lấp cửa Tam Quan trong những năm gần đây. Tuy nhiên các cấu trúc dòng chảy xoáy còn chưa được xem xét tới trong nghiên cứu này.

Các hoàn lưu dòng chảy (gọi tắt là dòng chảy xoáy) có thể hình thành tại các bãi biển có địa hình đáy không đồng nhất, nơi có hệ thống cồn ngầm gián đoạn chạy dọc bờ hoặc tại các bãi biển lân cận các đê ngăn cát giảm sóng, đập mở hàn. Trên thế giới, các nghiên cứu về dòng ven bờ đã chỉ ra rằng dòng chảy có cấu trúc xoáy thường hình thành khi có xuất hiện dòng tách bờ (dòng rip). Dòng rip chịu sự chi phối mạnh mẽ bởi đặc điểm địa hình đáy biển ven bờ và chế độ sóng và thường khó quan sát thấy bằng mắt thường. Tùy thuộc vào chế độ sóng và đặc điểm địa hình đáy biển vùng ven bờ mà vận tốc của dòng rip có thể lên tới 2,0 m/s như ở một số bãi biển tại Úc [9]. Do tính không ổn định nội tại của nó [13], mà việc dự đoán chính xác về sự xuất hiện dòng rip là rất khó thực hiện. Một số nghiên cứu khác về dòng rip đã tiếp cận theo hướng đánh giá rủi ro và dự đoán xác suất xuất hiện dòng rip dựa trên phân

tích hồi quy các dữ liệu thống kê dài hạn [14][12][11][15]. Tại Việt Nam đã có một số nghiên cứu về dòng rip cho các khu vực Đà Nẵng, Nha Trang, Quảng Bình [5][6][7]... Mặc dù số lượng nghiên cứu còn ít nhưng nói chung đã thể hiện được những đặc điểm cơ bản của dòng rip và có sự tương đồng về kết

quả nghiên cứu về điều kiện hình thành dòng rip là do chế độ sóng và đặc điểm địa hình đáy biển ven bờ không đồng nhất. Hình 1 sơ họa cơ chế hình thành dòng xoáy và dòng rip đối với các bãi biển có địa hình đáy không đồng nhất, và do ảnh hưởng của công trình xây dựng ven bờ.



Hình 1: Dòng chảy xoáy tại các cấu trúc không đồng nhất (a, Đê ngăn cát. b, Bãi biển có địa hình đáy không đồng nhất)

Trong bài báo này, nhóm tác giả trình bày những kết quả nghiên cứu tính toán về cấu trúc thủy động lực của Tam Quan theo các kịch bản về thủy triều, sóng, gió, trong đó chú trọng

tìm hiểu điều kiện hình thành các cấu trúc xoáy, góp phần lý giải nguyên nhân gây bồi lấp cửa Tam Quan.



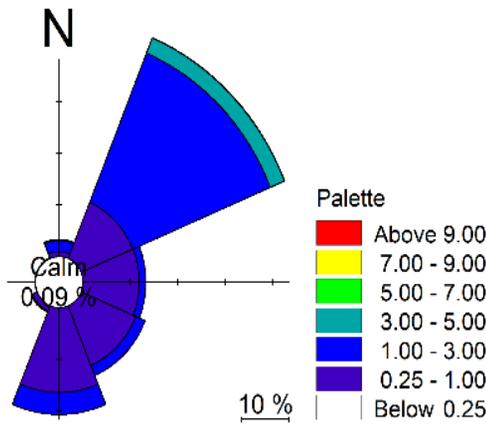
Hình 2: Khu vực cửa Tam Quan, huyện Hoài Nhơn, tỉnh Bình Định

## 2. SỐ LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

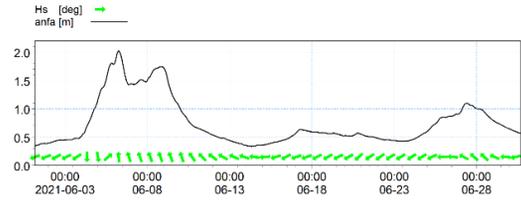
### 2.1. Số liệu sử dụng

Số liệu sử dụng trong nghiên cứu gồm các số liệu đo đạc như mực nước, sóng, dòng chảy trong các khoảng thời gian tháng 5/2022 và tháng 1/2017. Số liệu địa hình sử dụng là số liệu đo đạc vào tháng 5/2022. Toàn bộ số liệu thực

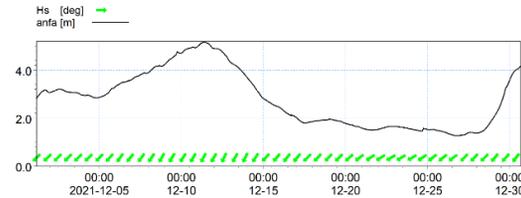
đo được thu thập kế thừa từ đề tài KHCN cấp Bộ NN&PTNT “Nghiên cứu ứng dụng giải pháp chuyên cát, chống bồi lấp cho các cửa sông miền Trung” (ĐHTL, 2022). Các số liệu biên gồm gió và sóng ngoài khơi được thu thập và phân tích từ nguồn số liệu tái phân tích ERA5 có thời gian từ 1940-2023 (như Hình 3, Hình 4, Hình 5).



Hình 3: Hoa sóng ngoài khơi khu vực cửa Tam Quan (Bình Định)



Hình 4: Sóng tháng 6 năm 2021 tại biên nước sâu phía biển



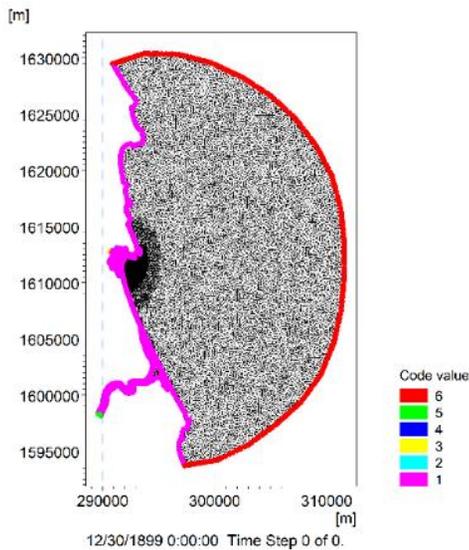
Hình 5: Sóng tháng 12 năm 2021 tại biên nước sâu phía biển

## 2.2. Phương pháp nghiên cứu

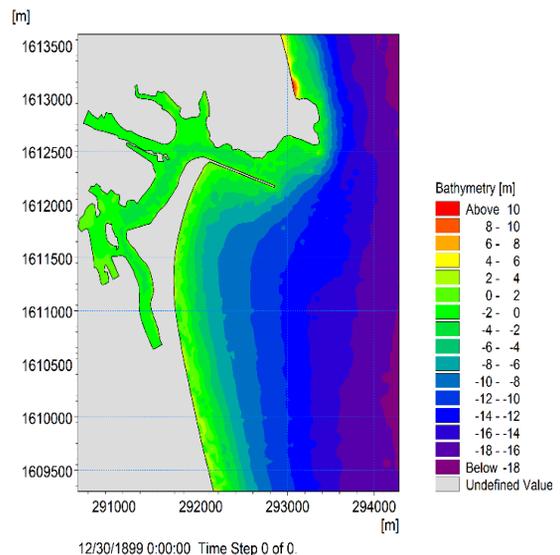
Trong nghiên cứu này, phương pháp mô hình hóa được sử dụng để mô phỏng trường sóng và dòng chảy tại cửa sông và ven biển tại khu vực biển Tam Quan. Công cụ sử dụng trong mô phỏng là Mike21/3 Couple, tích hợp mô phỏng đồng thời các yếu tố sóng, gió, dòng chảy.

Hình 6 thể hiện phạm vi mô hình, lưới tính và các biên giới hạn. Mô hình được thành lập

với phạm vi phía biển gồm giới hạn phía Đông cách cửa Tam Quan khoảng 20km, giới hạn dọc bờ phía Bắc và phía Nam cách cửa Tam Quan khoảng 20-22km, phía trong sông giới hạn cách cửa biển khoảng 1-2km. Hình 7 thể hiện địa hình miền tính toán được xây dựng với lưới tam giác, số lượng khoảng 33000 phần tử, kích thước lưới khu vực ngoài khơi khoảng 300m, kích thước lưới khu vực ven bờ khoảng 10-30m.



Hình 6: Phạm vi thành lập mô hình, lưới tính toán và vị trí các biên giới hạn mô hình



Hình 7: Địa hình khu vực biển Tam Quan

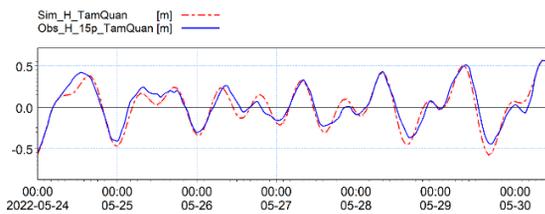
### 3. KẾT QUẢ TÍNH TOÁN VÀ PHÂN TÍCH

#### 3.1. Hiệu chỉnh và kiểm định mô hình

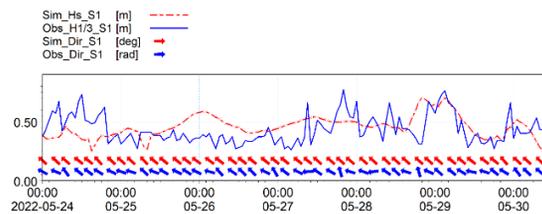
Để đảm bảo độ chính xác của mô hình khi mô phỏng các kịch bản đề ra, mô hình được hiệu chỉnh và kiểm định theo các số liệu thực đo bằng máy móc hiện đại tại hiện trường. Quá trình hiệu chỉnh mô hình được thực hiện với số liệu đo mực nước và dòng chảy trong tháng 1/2017, sau đó mô hình được kiểm định với số liệu cập nhật mới về mực nước và sóng được đo đạc vào tháng 5/2022. Hình 8 đến Hình 12 thể hiện sự so sánh các đường biến trình kết quả mô phỏng và kết quả khảo sát. Bảng 1 trình bày kết quả đánh giá sai số giữa kết quả mô phỏng và kết quả khảo sát về mực nước và độ cao sóng. Tỷ số quân phương trung bình về mực nước  $S/\sigma = 0,33; 0,12$  và hệ số Nash  $=0,89; 0,99$ . Các chỉ số tương ứng về độ cao

sóng tại trạm S1 và S2 lần lượt là  $S/\sigma = 1,18; 1,95$  và hệ số Nash  $=-0,39; -2,79$  thể hiện trường độ cao sóng thực đo và tính toán khác nhau, đây cũng là đặc điểm của chuỗi số liệu độ cao sóng, rất ít khi thỏa mãn điều kiện so sánh theo tiêu chuẩn tỷ số quân phương trung bình và hệ số Nash, nhưng nếu đánh giá theo tiêu chuẩn PBIAS thì các giá trị lần lượt là  $-4,9$  và  $-24,8$  vẫn nằm trong phạm vi đánh giá là tốt (đối với trạm S1) và chấp nhận được (đối với trạm S2), qua Hình 9 và Hình 10 có thể thấy sự phù hợp giữa độ cao sóng và hướng sóng tại trạm S1 và S2 là khá tốt về hướng và xu thế về độ cao.

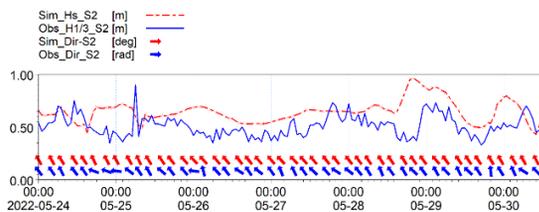
Như vậy bộ thông số mô hình, địa hình, lưới tính toán đảm bảo phù hợp với khu vực nghiên cứu, mô hình đảm bảo độ tin cậy để tính toán các kịch bản đặt ra.



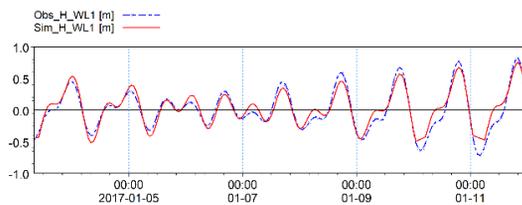
Hình 8: Biến trình mực nước từng giờ tại Tam Quan giữa đo đạc và tính toán từ 24/05/2022 đến 30/05/2022



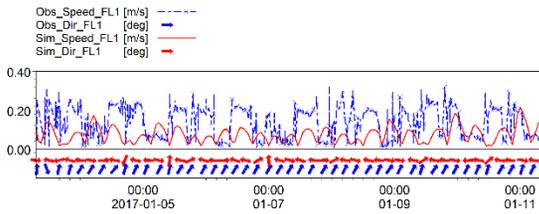
Hình 9: Biến trình chiều cao sóng  $H_s$  và hướng sóng tại trạm S1 24/05/2022 đến 30/05/2022



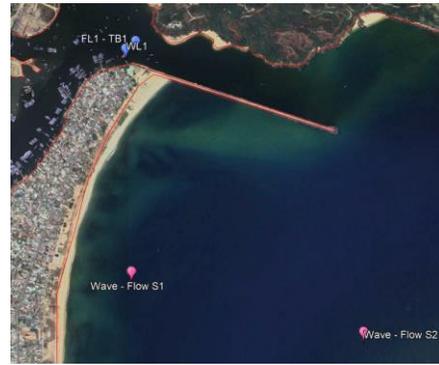
Hình 10: Biến trình chiều cao sóng  $H_s$  và hướng sóng tại trạm S2, từ 24/05/2022 đến 30/05/2022



Hình 11: Biến trình mực nước tại Tam Quan giữa đo đạc và tính toán từ ngày 3-11/1/2017



Hình 12: Biến trình dòng chảy tại Tam Quan giữa đo đạc và tính toán từ ngày 3-11/1/2017



Hình 13: Vị trí các trạm đo đạc

**Bảng 1: Kết quả đánh giá sai số giữa đo đạc và tính toán qua hệ số Nash**

Trạm đo	Yếu tố	$\sigma$	S	S/ $\sigma$	Nash	PBIAS
WL1 -2022	Mức nước	0.25	0.08	0.33	0.89	
WL1 2017	Mức nước	0.29	0.03	0.12	0.99	
Wave S1	Hs	0.11	0.13	1.18	-0.39	-4.9
Wave S2	Hs	0.10	0.19	1.95	-2.79	-24.8

### 3.2. Phân tích cấu trúc dòng chảy xoáy tại khu vực cửa Tam Quan

Để xác định được cơ chế hình thành các hoàn lưu dòng chảy, quá trình mô phỏng đã thực hiện với các kịch bản như Bảng 2. Việc đặt ra các kịch bản trên cơ sở luận điểm xem xét dòng chảy theo đặc trưng mùa gồm mùa gió

Đông Bắc và mùa gió Tây Nam (ứng với KB1, KB2); dòng chảy triều thuận túy (ứng với KB3); dòng chảy triều kết hợp với các hướng sóng chính N, NE, E, SE, S (ứng với kịch bản từ KB4 đến KB8), kết hợp dòng chảy sông (ứng với KB9).

**Bảng 2: Các kịch bản mô phỏng và điều kiện biên tương ứng**

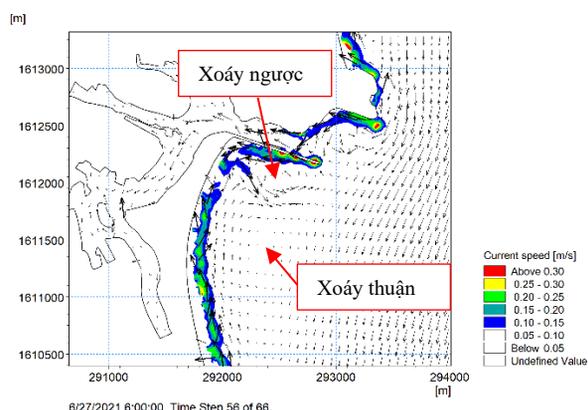
TT	Kịch bản	Mục tiêu mô phỏng	Điều kiện biên mô phỏng
1	KB1	Mô phỏng dòng chảy tổng hợp trong thời kỳ gió mùa Tây Nam	Sóng, gió, thủy triều từ 24-26/6/2021. Biên sóng và gió như Hình 4. + Sóng $H_s=0.74m$ , $T_m=5.70s$ , hướng SE. + Gió $V_{tb}=5.46m/s$ , hướng S
2	KB2	Mô phỏng dòng chảy tổng hợp trong thời kỳ gió mùa Đông Bắc	Sóng, gió, thủy triều từ 5-7/12/2021. Biên sóng và gió như Hình 5. + Sóng $H_s=2.85m$ , $T_m=7.69s$ , hướng NE + Gió $V_{tb}=9.2m/s$ , hướng NE
3	KB3	Mô phỏng dòng chảy do triều, không xét tới sóng và gió	Thủy triều theo thời gian từ 5-7/12/2021 + Sóng, Gió: Không xét tới
4	KB4	Mô phỏng dòng chảy do thủy triều, kết hợp sóng trung bình theo hướng N	Thủy triều theo thời gian từ 5-7/12/2021 + Sóng $H_s=1.62m$ , $T_m=6.41s$ , hướng N + Gió: Không xét tới

TT	Kịch bản	Mục tiêu mô phỏng	Điều kiện biên mô phỏng
5	KB5	Mô phỏng dòng chảy do thủy triều, kết hợp sóng trung bình theo hướng NE	Thủy triều theo thời gian từ 5-7/12/2021 + Sóng $H_s=1.35m$ , $T_m=6.04$ , hướng NE + Gió: Không xét tới
6	KB6	Mô phỏng dòng chảy do thủy triều, kết hợp sóng trung bình theo hướng E	Thủy triều theo thời gian từ 5-7/12/2021 + Sóng $H_s=1.09m$ , $T_m=5.69s$ , hướng E + Gió: Không xét tới
7	KB7	Mô phỏng dòng chảy do thủy triều, kết hợp sóng trung bình theo hướng SE	Thủy triều theo thời gian từ 5-7/12/2021 + Sóng $H_s=1.01m$ , $T_m=5.58s$ , hướng SE + Gió: Không xét tới
8	KB8	Mô phỏng dòng chảy do thủy triều, kết hợp sóng trung bình theo hướng S	Thủy triều theo thời gian từ 5-7/12/2021 + Sóng $H_s=1.01m$ , $T_m=5.59s$ , hướng S + Gió: Không xét tới
9	KB9	Mô phỏng dòng chảy do thủy triều, kết hợp sóng trung bình theo hướng N; Dòng chảy lũ	Thủy triều theo thời gian từ 5-7/12/2021 + Sóng $H_s=1.62m$ , $T_m=6.41s$ , hướng N + Gió: Không xét tới + Dòng chảy sông: $Q= 100m^3/s$
10	KB10	Kịch bản mô phỏng dòng chảy mạnh theo hướng Bắc - Nam	Thủy triều theo thời gian từ 5-7/12/2021 + Sóng $H_s=1.62m$ , $T_m=6.41s$ , hướng N + Gió $V_{tb}=9.2m/s$ , hướng NE

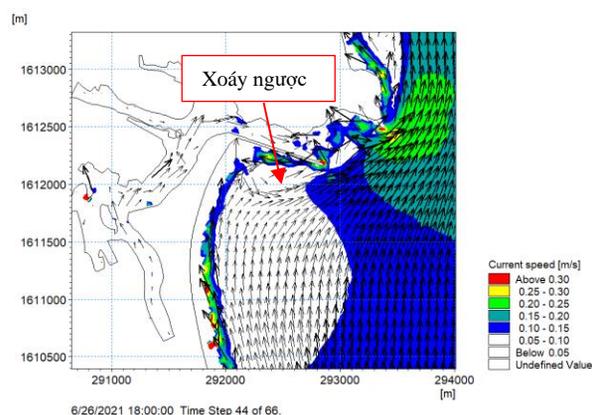
#### 4. PHÂN TÍCH KẾT QUẢ

Hình 14, Hình 15 thể hiện kết quả dòng chảy trong mùa gió Tây Nam. Vào thời kỳ mùa gió Tây Nam, tốc độ gió trung bình khoảng 5.5m/s chủ đạo theo hướng Nam, độ cao sóng ngoài khơi khoảng 0.75m chủ đạo theo hướng Đông Nam, dòng chảy tại cửa Tam Quan đạt

khoảng dưới 0.2 m/s (KB1). Khu vực mũi đá, dòng chảy lớn nhất đạt 0.3 m/s, cấu trúc dòng chảy xoáy xuất hiện tại khu vực bờ lõm dưới chân mũi đá; tạo điều kiện tích tụ bùn cát [4]. Khu vực phía Nam đê NCGS xuất hiện hai cấu trúc dòng chảy xoáy ngược chiều nhau, duy trì trong toàn bộ ngày triều. ([4])



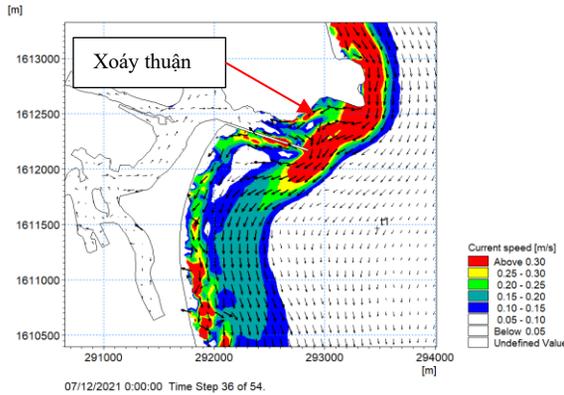
Hình 14: Dòng chảy ứng với kịch bản KB1 khi triều lên



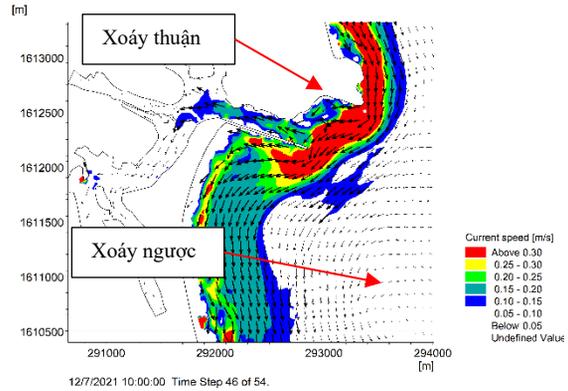
Hình 15: Dòng chảy ứng với kịch bản KB1 khi triều xuống

Hình 16, Hình 17 thể hiện trường dòng chảy vào thời kỳ gió mùa Đông Bắc (ứng với KB2), tốc độ gió khoảng 9.2 m/s và độ cao sóng trung bình 2.85 m. Dòng chảy ven bờ theo hướng từ Bắc đến Nam, tốc độ dòng chảy lớn nhất khi triều lên đạt khoảng trên 0.5 m/s, tốc độ dòng chảy lớn nhất khi triều xuống đạt khoảng 0.3 m/s. Hướng dòng chảy khi triều

lên có xu thế ép sát mũi đá và vòng qua đầu đê NCGS, chạy dọc theo kè và xuôi về phía Nam. Trong kịch bản này, xuất hiện cấu trúc xoáy ngược nằm ở phía Nam kè và cách bờ khoảng 1500m, bán kính vùng xoáy khoảng 400 m. Khu vực bờ lõm dưới chân mũi đá xuất hiện xoáy có cấu trúc phù hợp với lý thuyết trình bày bởi L.P.Trình [2].



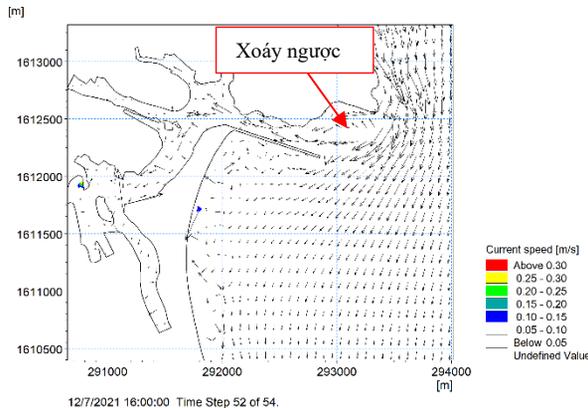
Hình 16: Dòng chảy ứng với kịch bản KB2 khi triều lên.



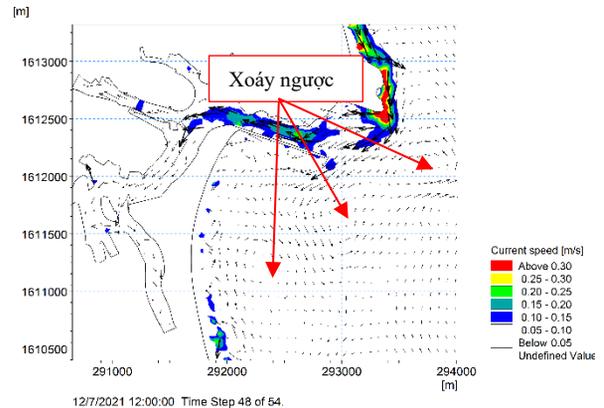
Hình 17: Dòng chảy ứng với kịch bản KB2 khi triều xuống

Hình 18 thể hiện dòng chảy ứng với kịch bản KB3, kết quả cho thấy vào lúc triều lên xuất hiện 1 xoáy thuận ở bờ lõm tại khu vực chân mũi đá, bán kính xoáy khoảng 100m. Thời gian duy trì xoáy liên tục kể từ khi triều lên đến khi triều rút.

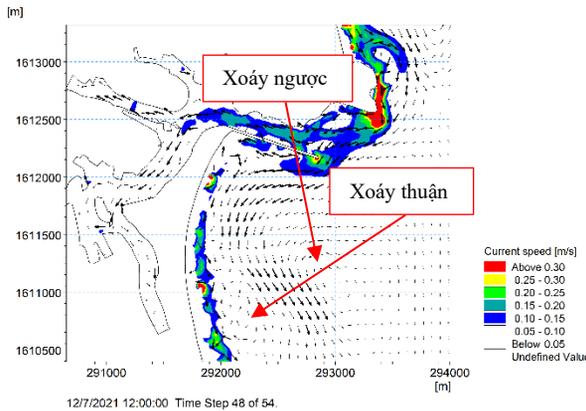
Hình 19 thể hiện dòng chảy ứng với kịch bản KB4,, tốc độ dòng chảy ven khu vực cửa Tam Quan đạt khoảng 0.1-0.15 m/s. Khi triều lên, nhiều xoáy xuất hiện phía trước cửa với kích thước tương đương nhau, có đường kính khoảng 500 m. Phía Nam mũi đê xuất hiện các xoáy ngược.



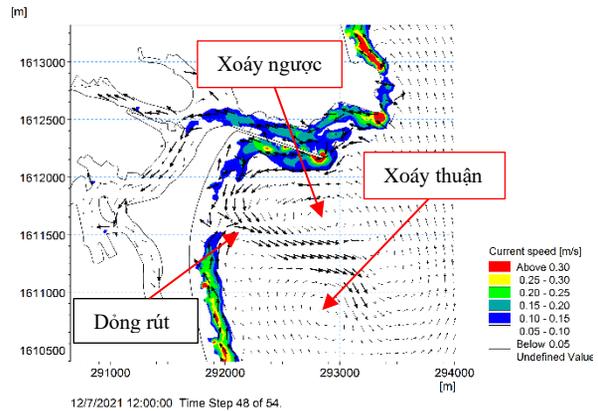
Hình 18: Dòng chảy ứng với kịch bản KB3



Hình 19: Dòng chảy ứng với kịch bản KB4



Hình 20: Dòng chảy ứng với kịch bản KB5



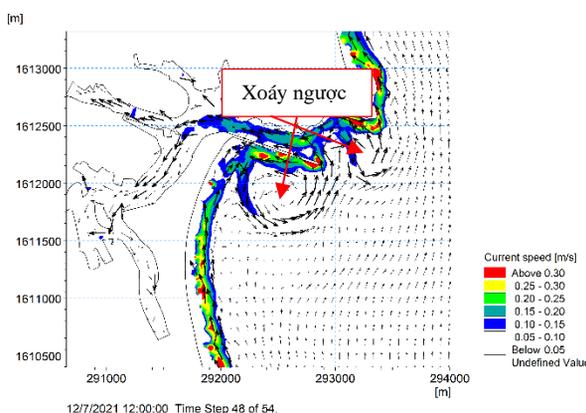
Hình 21: Dòng chảy ứng với kịch bản KB6

Hình 20, Hình 21 thể hiện kết quả ứng với kịch bản KB5 (sóng hướng NE) và kịch bản KB6 (sóng hướng E). Hai kịch bản đều cho kết quả tương đồng nhau, vận tốc dòng chảy đạt khoảng 0.2m/s. Ứng với kịch bản KB5, kết quả cho thấy hai xoáy thuận và ngược chiều có vị trí sát nhau, hai xoáy này được hình thành đồng thời khi triều lên, chúng xuất hiện bắt đầu tại phía Nam kè và chuyển động liên tục xuống phía Nam trong thời gian 6-7 giờ. Ứng với kịch bản KB6, kết quả cho thấy một xoáy ngược có vị trí ngay phía Nam kè và hai xoáy thuận nằm liền kề với kích thước nhỏ hơn. Hình 21 cũng cho thấy vai trò của sóng hướng E có tác động đến dòng ven bờ, gây ra hiện tượng dòng rút tách bờ tại vị trí bờ phía Nam cách cửa Tam Quan khoảng 700 m. Vị trí điểm bờ xuất hiện dòng rút là nơi giao thoa của hai dòng ven bờ của hướng ngược nhau, loại dòng

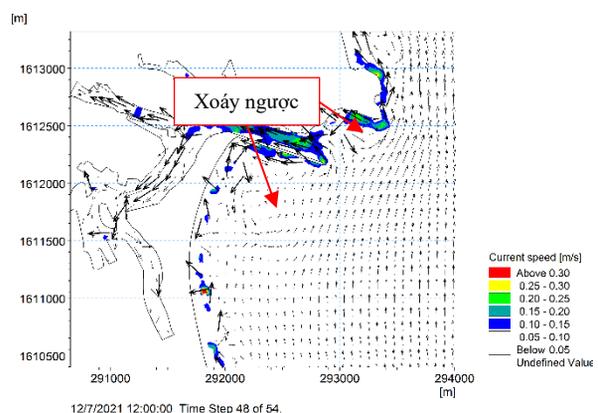
chảy này chủ yếu được gây ra do chi phối bởi ứng suất sóng ven bờ.

Hình 22 thể hiện kết quả ứng với kịch bản KB7 (hướng sóng SE), cho thấy sự xuất hiện của cấu trúc xoáy ngược nằm ở phía Nam đê NCGS, theo thời gian thì xoáy này chuyển động dần về phía Nam tách thành hai xoáy nhỏ hơn, hai xoáy có chiều ngược nhau. Dòng chảy ven bờ có hướng từ Nam đến Bắc. Tại khu vực góc đê, xuất hiện hiện tượng dòng rút tách bờ và tạo cấu trúc xoáy tại đây, rìa của cấu trúc xoáy nằm ngang mặt cửa biển, hướng dòng chảy đâm trực diện vào cửa.

Hình 23 thể hiện kết quả ứng với kịch bản KB8 (sóng hướng S). Cấu trúc xoáy xuất hiện phía Nam đê NCGS tồn tại với thời gian khoảng 5 giờ sau đó di chuyển dần về phía Nam.

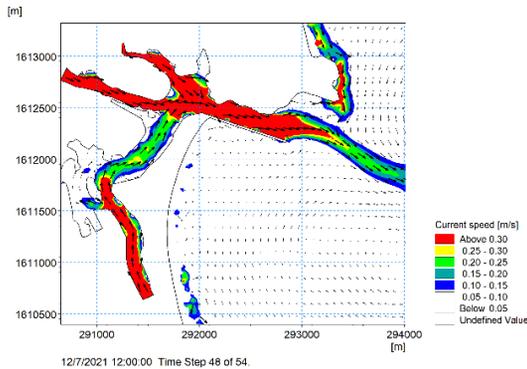


Hình 22: Dòng chảy ứng với kịch bản KB7



Hình 23: Dòng chảy ứng với kịch bản KB8

Hình 24 thể hiện kết quả ứng với kịch bản KB9 (sóng hướng N, dòng chảy sông được giả định  $Q=100\text{m}^3/\text{s}$ ). Đối với trường hợp này, màu sắc dòng chảy nổi trội là dòng chảy sông kết hợp triều rút từ cửa sông, hai cấu trúc xoáy thuận và xoáy ngược được hình thành hai bên phải, trái của luồng dòng chảy chính khi nó thoát mạnh ra biển. Giai đoạn này cũng hình



Hình 24: Dòng chảy ứng với kịch bản KB9

## 5. KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

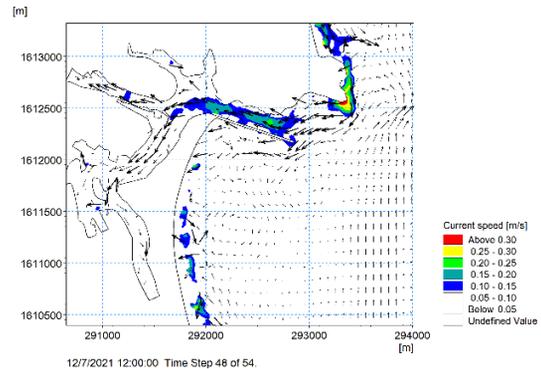
Sự hình thành cấu trúc dòng chảy xoáy tại cung lồi địa hình ở các cửa sông Nam Trung Bộ đã được Lê Phước Trình [2] nghiên cứu từ 2011 và coi đây là nguyên nhân cơ bản gây bồi lấp các cửa biển có cấu trúc bất đối xứng như cửa Sa Huỳnh, Tam Quan và Đề Gi. Tuy nhiên mô tả chi tiết về trường dòng chảy và điều kiện hình thành các cấu trúc dòng chảy xoáy này vẫn chưa được làm rõ.

Bài báo đã trình bày kết quả thiết lập, hiệu chỉnh, kiểm định mô hình thủy động lực cho khu vực cửa Tam Quan và xây dựng 10 kịch bản mô phỏng theo các điều kiện thủy động lực đại diện cho thời kỳ gió mùa Đông Bắc, thời kỳ gió mùa Tây Nam cũng như xem xét tới các tác động của thủy triều, sóng, gió và dòng chảy sông. Kết quả mô phỏng cho thấy, các xoáy thuận và xoáy nghịch xung quanh cửa Tam Quan xuất hiện trong hầu hết các kịch bản mô phỏng, nhưng quy mô, cấu trúc và hướng của các xoáy là rất khác nhau.

Khi triều lên dòng chảy luôn có hướng tới khu

thành xoáy nhỏ ở khu lồi dưới chân mũi đá.

Hình 25 thể hiện kết quả ứng với kịch bản KB10. Kết quả cho thấy sự hình thành xoáy ngược nằm ngay sát mũi kè theo hướng đông nam và xoáy thuận kim đồng hồ sát bờ phía nam và cách kè khoảng 1 km. Dòng chảy lớn nhất khu vực cửa đạt  $0.15\text{ m/s}$ .



Hình 25: Dòng chảy ứng với kịch bản KB10

vực bờ lồi tại chân mũi đá. Cấu trúc xoáy nhỏ xoáy hình thành khi dòng triều xuống bắt đầu chảy ra cửa sông và duy trì liên tục trong khoảng 5-6 giờ; tạo điều kiện thuận lợi để bùn cát tích tụ lại ở vùng cửa. Trong kịch bản mô phỏng chỉ xét riêng thủy triều, không có ảnh hưởng của sóng và gió thì sẽ xuất hiện cấu trúc dòng chảy xoáy nhỏ tương tự như kết quả nghiên cứu của Lê Phước Trình [2]. Kết quả nghiên cứu cho thấy trong điều kiện ảnh hưởng của sóng hướng E, dòng chảy ven bờ theo hai hướng từ Nam lên Bắc và ngược lại tương tác với nhau tại vị trí cách cửa Tam Quan khoảng 700m và tạo thành dòng chảy tách bờ và hai xoáy thuận/ nghịch nằm ở bên rìa dòng tách bờ. Dòng tách bờ cũng xuất hiện tại khu vực góc đê NCGS khi triều. Dòng tách bờ này khi tương tác với dòng triều lên sẽ tạo thành dòng xoáy có hướng ngược chiều kim đồng hồ và rìa xoáy hướng trực diện vào cửa Tam Quan.

Nghiên cứu trong bài báo đã bổ sung thêm những hiểu biết về sự hình thành và phát triển các cấu trúc dòng chảy xoáy ở vùng cửa sông có doi cát bất đối xứng đã xây dựng đê NCGS

ở khu vực Nam Trung Bộ nói chung và tại cửa Tam Quan, tỉnh Bình Định nói riêng.

### LỜI CẢM ƠN:

Nghiên cứu này được thực hiện trong khuôn

khô Đề tài KHCN cấp Bộ Nông nghiệp và phát triển nông thôn “*Nghiên cứu ứng dụng giải pháp chuyển cát, chống bồi lấp cho các cửa sông miền Trung*” ([3]).

### TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Phạm Bá Trung & nnk, 2010. Vấn đề bồi lấp ở các cửa biển Sa Huỳnh (Quảng Ngãi) và Đề Gi (Bình Định) do tác động của các kiểu kè mỏ hàn. Tạp chí Khoa học và Công nghệ Biển tháng 10/2010.
- [2] Lê Phước Trình & nnk, 2011. Về những cấu trúc thủy động lực đặc thù gây xói lở- bồi tụ dải ven bờ Nam Trung Bộ. Tạp chí Khoa học và Công nghệ biển tháng 11/2011.
- [3] Trần Thanh Tùng và nnk. 2022. Báo cáo chuyên đề thu thập số liệu. Đề tài KHCN cấp Bộ NN&PTNT Nghiên cứu ứng dụng giải pháp chuyển cát, chống bồi lấp cho các cửa sông miền Trung. Trường Đại học Thủy lợi. Hà Nội.
- [4] Nguyễn Thọ Sáo và nnk, 2014. Phân tích nguyên nhân bồi lấp luồng tại cửa biển Tam Quan, Bình Định. Tạp chí Khoa học ĐHQGHN: Khoa học Tự nhiên và Công nghệ, Tập 30, Số 4 (2014) 65-70.
- [5] Lê Đình Mầu, 2012. Điều tra, đánh giá hiện tượng dòng RIP (RIP current) tại các bãi tắm Khánh Hòa, xác định nguyên nhân và đề xuất các giải pháp phòng tránh. Báo cáo tổng hợp dự án hợp đồng với tỉnh Khánh Hòa (2010-2012).
- [6] Nguyễn Bá Xuân, 2009. Nghiên cứu hiện tượng dòng rút (RIP Current) khu vực bãi biển Nha Trang và Cam Ranh, đề xuất giải pháp cảnh báo và phòng tránh phục vụ hoạt động du lịch biển. Báo cáo tổng kết dự án cấp Viện KH&CN VN (2008-2009).
- [7] Vũ Văn Ngọc, 2022. Điều tra, đánh giá và xây dựng bản đồ dòng chảy xoáy ven tại các khu bãi tắm ven biển tỉnh Quảng Bình. Báo cáo tổng kết dự án cấp Tỉnh.
- [8] Long, J. and Özkan-Haller, H. 2016. Forcing and variability of nonstationary rip currents. J. Geophys. Res. 121: 520–539
- [9] Brander R.W., Dominey-Howes D., Champion C., Del Vecchio O., Brighton B., 2013. A new perspective on the Australian RIP current hazard. Nat Hazards Earth Sci Syst Sci 13:1687-1690.
- [10] Yu, J., Chen, S., 2015. Hydrodynamic instability mechanism for rip currents. Stud. Appl. Math. 135 (2), 196–223.
- [11] Dusek G., Seim H., 2013. A probabilistic RIP current forecast model. Journal of Coastal Research. 29(4). 909-925.
- [12] Scott T., Russell P., Masselink G., Austin M.J., Wills S., Wooler A., 2011. RIP current hazards on large-tidal beaches in the United Kingdom. In: Leatherman S, Fletemeyer J (eds) RIP currents: beach safety, physical oceanography, and wave modelling, CRC Press, London, pp 225-242
- [13] Yu, J., Chen, S., 2015. Hydrodynamic instability mechanism for rip currents. Stud. Appl. Math. 135 (2), 196–223.
- [14] Short, A.D., Hogan, C.L., 1994. Rips and beach hazards, their impact on public safety and implications for coastal management. J. Coast. Res. Spec. Issue 12, 197–209.
- [15] Moulton, M., Dusek, G., Elgar, S., Raubenheimer, B., 2017. Comparison of rip current hazard likelihood forecasts with observed rip current speeds. Weather Forecast. 32 (4), 1659–1666.