

Tạp chí Khoa học và Công nghệ Biển; Tập 17, Số 2; 2017: 121-131  
DOI: 10.15625/1859-3097/17/2/9249  
<http://www.vjs.ac.vn/index.php/jmst>

## TÍNH TOÁN DÒNG CHẢY TẠI VỊNH VŨNG RÔ THEO PHƯƠNG PHÁP PHẦN TỬ HỮU HẠN

Trần Văn Chung, Nguyễn Hữu Huân\*

Viện Hải dương học, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam

\*E-mail: nghhuan@gmail.com

Ngày nhận bài: 23-2-2017

**TÓM TẮT:** Các phân tích trường gió trung bình từ năm 1979 - 8/2015 đã cho thấy rằng trong vịnh Vũng Rô, quá trình thủy động lực chịu ảnh hưởng chính bởi dòng triều khi mà tần suất gió yếu chiếm tỷ lệ khá cao và chế độ gió chịu ảnh hưởng hoàn toàn bởi tính địa phương khu vực và ít có khả năng thay đổi đáng kể tốc độ dòng triều. Từ phân tích tác động của dòng triều, cơ chế dòng vào - ra trong vịnh khá đặc trưng. Sự tương đồng về độ lớn và ngược hướng giữa hai pha triều đã thể hiện rõ ràng trong mô phỏng. Ảnh hưởng của trường gió Đông Bắc thể hiện khá rõ ở pha triều xuống, đã có sự xuất hiện vài xoáy cục bộ nhỏ, đáng chú ý là một xoáy thuận cục bộ về phía đông bắc của vịnh. Có sự thay đổi vị trí để tốc độ dòng đạt giá trị lớn nhất và tốc độ dòng lớn nhất cũng được gia tăng thêm khoảng 0,5 cm/s với hướng lệch  $5,3^\circ$  theo chiều kim đồng hồ. Tác động của gió mùa Tây Nam đã ảnh hưởng đến phân bố dòng chảy đối với pha triều lên, phía trong vịnh đã hình thành các xoáy nghịch cục bộ. Các xoáy hình thành này có tác dụng làm suy giảm tốc độ dòng đạt cực trị, sự suy giảm này khoảng 1,7 cm/s nhưng hầu như không làm lệch hướng dòng chảy đạt giá trị lớn nhất (chỉ lệch  $0,3^\circ$  theo chiều kim đồng hồ) và vị trí dòng đạt giá trị lớn nhất.

**Từ khóa:** Thủy triều, dòng chảy, mô hình hai chiều phi tuyến, phương pháp phần tử hữu hạn, vịnh Vũng Rô.

### MỞ ĐẦU

Vũng Rô là một vịnh nhỏ thuộc xã Hòa Xuân Nam, huyện Đông Hòa, tỉnh Phú Yên, nằm ngay sát rìa dãy núi Đèo Cả. Vịnh là ranh giới tự nhiên trên biển giữa Phú Yên với Khánh Hòa. Vũng Rô nằm tiếp giáp với biển Đại Lãnh thuộc vịnh Vân Phong, tỉnh Khánh Hòa. Vịnh Vũng Rô có diện tích 16,4 km<sup>2</sup> mặt nước, được 3 dãy núi cao che chắn là Đèo Cả, Đá Bia và Hòn Bà từ 3 phía bắc, đông và tây. Phía nam vịnh là đảo Hòn Nưa cao 105 m. Vũng Rô là một trong ba địa điểm có điều kiện tự nhiên tốt nhất tại Việt Nam để xây dựng cảng biển lớn (hai địa điểm còn lại là Cam Ranh và Vân Phong). Hơn nữa việc nằm cạnh cảng trung chuyển container quốc tế Vân Phong tạo cho Vũng Rô lợi thế rất lớn cho các hoạt động xuất

nhập khẩu hàng hóa, giao lưu với thế giới. Nhằm khai thác lợi thế cảng Vũng Rô, khu kinh tế Nam Phú Yên đã được thành lập. Các hoạt động điều tra khảo sát, nghiên cứu, tính toán các yếu tố môi trường, sinh thái, thủy văn, động lực học cho khu vực này trở nên hết sức cấp bách và cần thiết phục vụ cho công tác bảo vệ môi trường và phát triển bền vững.

Các nghiên cứu quá trình động lực nói chung và chế độ dòng chảy nói riêng cho Vũng Rô - Phú Yên bằng phương pháp phần tử hữu hạn còn khá mới mẻ ở Việt Nam. Việc sử dụng phương pháp phần tử hữu hạn đã khắc phục được khó khăn trước kia mà phương pháp sai phân hữu hạn gặp phải khi ứng dụng nghiên cứu cho vùng có địa hình đáy phức tạp, đó là vấn đề lưới tính, biên, dòng dọc bờ,... Phương

pháp phần tử hữu hạn đã giải quyết bài toán nước nông dựa trên tính linh hoạt lưới hình học cao, đặc biệt khi nghiên cứu trên mạng lưới thích ứng không cấu trúc tại các vùng có địa hình đáy biến đổi phức tạp. Các mô hình phần tử hữu hạn đã trở nên khá phổ biến và đã ứng dụng nhiều nơi trên thế giới, có thể kể tên các mô hình điển hình trên thế giới thuộc loại này gồm ADCIRC, QUODDY, BELLAMY, UTBEST, SHYFEM,...

### MÔ HÌNH HÓA CÁC PHƯƠNG TRÌNH THỦY ĐỘNG LỰC BẰNG PHƯƠNG PHÁP PHẦN TỬ HỮU HẠN

Phương pháp phần tử hữu hạn trong việc tính toán và mô phỏng các quá trình Hải dương học vẫn đang là hướng nghiên cứu còn khá mới mẻ trên thế giới, nó vẫn đang được tiếp tục nghiên cứu và hoàn thiện. Cụ thể, công trình của Comblen và nnk., (2009) [1] đã mô phỏng mô hình hoàn lưu chung đại dương theo cách hiệu quả tới rồi rạc hóa các phương trình vi phân từng phần trên bề mặt cong bằng phương tiện của phương pháp phần tử hữu hạn trên mạng lưới tam giác. Jones và Davies (2010) [2], đã ứng dụng mô hình theo phương pháp phần tử hữu hạn vào nghiên cứu dòng triều trong Mersey Estuary và Eastern Irish Sea,... Bajo và nnk., (2015) [3] đã áp dụng mô hình số trị dựa trên kỹ thuật rời rạc hóa phần tử hữu hạn (SHYFEM (Shallow Water Hydrodynamic Finite Element Model)) sử dụng trong nghiên cứu hoàn lưu nước trong thềm phía tây bắc Biển Đen, đặc biệt gần Danube Delta và ven bờ Rumani.

Các công trình nghiên cứu số trị cho mô hình thủy động lực học theo phương pháp phần tử hữu hạn, chỉ tập trung trong các công trình nghiên cứu của Bùi Hồng Long và Trần Văn Chung (2007, 2008, 2009, 2010, 2012, 2013, 2014) [4-10], nhóm tác giả Trần Văn Chung và Tống Phước Hoàng Sơn (2014) [11] áp dụng nghiên cứu chế độ động lực - sinh địa hóa tại vùng ven biển Việt Nam và đã bước đầu thực hiện so sánh kết quả nghiên cứu của mô hình FEM với mô hình Ecosmo và với thực tế đo đạc tại vùng nghiên cứu Bình Cang - Nha Trang [12] và so sánh với số liệu thực tế tại các trạm mực nước trong nghiên cứu chế độ dòng chảy cho vịnh Bắc Bộ [13].

Các phương trình nước nông được sử dụng để mô phỏng các quá trình thủy động lực học của cửa sông và ven biển. Các phương trình chủ đạo cho động lực của hệ thống bao gồm cả hai phương trình liên tục và phương trình động lượng. Để đơn giản hai phương trình trên, sử dụng các giả thiết như sau: (i) mật độ là không đổi; (ii) áp suất thẳng đứng chỉ là thủy tĩnh; (iii) hoàn lưu bình lưu lớn hơn nhiều so với hoàn lưu đối lưu.

Hai phương trình có thể được viết dưới dạng như sau:

Phương trình liên tục:

$$\frac{\partial H}{\partial t} + \nabla \cdot H\vec{v} = 0 \quad (1)$$

Phương trình động lượng nằm ngang:

$$\frac{\partial \vec{v}}{\partial t} + \vec{f} \times \vec{v} + \vec{v} \cdot \nabla \vec{v} + g \nabla \zeta + \frac{c_d}{H} |\vec{v}| \vec{v} = \frac{\vec{W}}{H} \quad (2)$$

Trong đó:  $\vec{v}$  là vận tốc lấy trung bình theo độ sâu (m/s);  $t$  là thời gian (s);  $\nabla$  là toán tử vi phân gradient nằm ngang;  $\zeta$  là độ nâng bề mặt so với mực nước tĩnh (m);  $g$  là gia tốc của trọng trường ( $m/s^2$ );  $\vec{f}$  là sự quay do Coriolis ( $s^{-1}$ );  $c_d$  là hệ số cản đáy;  $H$  là tổng độ sâu của cột nước (với sự dâng mực nước:

$$H = \int_{-h}^0 dz + \int_0^{\zeta} dz = (h + \zeta)$$

và với sự rút mực nước:

$$H = \int_{-h}^{-\zeta} dz = (h - \zeta)$$

và  $h$  là độ sâu so với mực nước tĩnh (m)).

**Trong trường hợp xét đến dòng chảy do gió:** Đưa vào giá trị vận tốc gió trên toàn bộ mạng lưới tính. Giá trị này được dùng để giải phương trình động lượng thông qua  $\vec{W}$  - ứng suất gió động học (ứng suất chia với mật độ,  $\vec{W} = \frac{\vec{\tau}}{\rho}$ ,  $\vec{\tau}$  là ứng suất gió,  $\rho$  là mật độ nước biển) (Pascal).

$$\vec{\tau} = K\rho_a \vec{V}_{10} |\vec{V}_{10}| \quad (3)$$

Trong đó:  $\vec{V}_{10}$  là vận tốc gió tại 10 m so với bề mặt biển,  $K$  hệ số cản bề mặt biển,  $\rho_a$  là mật độ không khí ( $\rho_a = 1,25 \text{ kg.m}^{-3}$ ).

Có rất nhiều công trình nghiên cứu về hệ số  $K$ , trong mô hình tính chúng tôi sử dụng theo tính toán của WAMDI Group (1988) dưới dạng:

$$\zeta(t) = Z_0 + \sum_k f_k(t) \cdot A_k \cdot \cos\left(\omega_k [t - t_0] + (V(t_0) + U(t))_k - \frac{\pi}{180} g_k\right) \quad (5)$$

Trong đó:  $\zeta(t)$  là độ cao thủy triều tổng hợp tại vị trí đã biết theo thời gian (m);  $Z_0$  là giá trị mực nước biển trung bình tại điểm đã cho trên mực nước “không độ sâu” (m); chỉ số  $k$  biểu thị các sóng triều riêng biệt,  $f_k$  và  $(V(t_0) + U(t))_k$  là các tham số thiên văn phụ thuộc vào thời gian quan trắc, trong đó  $f_k$  được gọi là nhân tử biên độ,  $(V(t_0) + U(t))_k$  gọi là pha thiên văn, với  $V(t_0)$  là điều chỉnh đối với thời gian vận hành và  $U(t)$  là thừa số thay đổi pha;  $A_k, g_k$  là các hằng số điều hòa biên độ (m) và pha trễ Greenwich (độ) thành phần, chúng phụ thuộc vào điều kiện địa phương tại vị trí quan trắc;  $\omega_k$  là tần số thủy triều thành phần (rad/s).

#### Sử dụng hệ số ma sát đáy $c_d$ :

Để đưa vào hệ số này, thông thường có ba kiểu được lựa chọn: đưa vào hệ số cản không đổi ( $CD$ ), xấp xỉ Manning ( $n$ ) và xấp xỉ Chezy. Các hệ số này sẽ được dùng cho tính toán ứng suất đáy trong phương trình động lượng.

Ma sát đáy  $CD$ :  $CD$  hoặc hệ số cản không đổi được sử dụng theo một cách đơn giản để xác định ứng suất lực cản ma sát mà được tạo bởi địa hình đáy. Lực cản ma sát này là một giá trị không đổi và không phải dựa trên độ cao nước. Chỉ giá trị mà xác định độ cản không đổi tại một điểm là liên quan độ ghồ ghề của địa hình kết hợp với điểm đó. Lựa chọn  $CD$  đưa vào trực tiếp hệ số ứng suất đáy  $c_d$ . Vì vậy:

$$c_d = CD \quad (6)$$

$$K = \begin{cases} 0,0012875 & |\vec{V}_{10}| < 7,5 \text{ m/s} \\ 0,0008 + 0,000065|\vec{V}_{10}| & |\vec{V}_{10}| \geq 7,5 \text{ m/s} \end{cases} \quad (4)$$

**Trong trường hợp có xét đến dòng triều:**  
Dao động thủy triều được đưa vào các nút tại giá trị biên mở.

Để mà tạo tổng hợp lực do triều thích hợp và áp đặt chính xác các điều kiện biên Dirichlet. Phương trình sau đây phải được lấy tổng trên tất cả các thành phần triều:

Theo Phạm Văn Ninh [14], trong mô hình chọn  $c_d = 0,0026$ .

Hệ số này được đưa vào chương trình bằng cách tạo mảng  $CD$  cho tất cả các nút.

Ma sát đáy Manning: Kiểu thứ hai của ma sát đáy sử dụng công thức Manning đối với tính toán ứng suất đáy. Manning sử dụng thực nghiệm để xác định hệ số Chezy là tỉ lệ thuận với căn bậc sáu bán kính thủy lực và tỉ lệ nghịch với hệ số Manning,  $n$ . Hệ số Manning phụ thuộc trên các tham số thực nghiệm như độ sâu nước, số Reynold, mặt cắt hình học ngang, vật chất đáy và thảm thực vật đáy.

Để mà tính  $c_d$ , hệ số ứng suất đáy, công thức sau đây có thể được sử dụng theo hệ đơn vị mét:

$$c_d = \frac{gn^2}{R^{1/3}} \quad (7)$$

Trong đó:  $g$  là gia tốc trọng trường ( $\text{m/s}^2$ );  $n$  là hệ số ghồ ghề Manning;  $R$  là bán kính thủy lực theo mét.

Bán kính thủy lực của một eo biển với một mặt cắt ngang vuông góc có thể được xác định như sau:

$$R = \frac{bH}{(2H + b)} \quad (8)$$

Trong đó:  $b$  là độ rộng của eo biển với một mặt cắt ngang vuông góc;  $H$  là độ sâu của eo biển.

Trong phần lớn cửa sông và ven biển, độ rộng phải lớn hơn nhiều độ sâu, do đó bán kính thủy lực có thể được xác định như sau:

$$R = H \quad (9)$$

Phương trình (7) trở thành:

$$c_d = \frac{gn^2}{H^{1/3}} \quad (10)$$

Các hệ số sử dụng trong chương trình có thể được tùy chọn theo 3 kiểu đưa vào nói trên. Thứ tự trong mô hình tính nếu đưa vào hệ số Manning thì ứng suất đáy Manning được chuyển tới ứng suất đáy  $CD$  và sau đó chuyển tới ứng suất đáy Chezy.

Bảng 1. Các hệ số Manning cho các kiểu đáy xác định

Kiểu đáy	N
Sỏi (Gravel)	0,025
Sỏi và đá cuội (Gravel and boulders)	0,040
Đất (Earth)	0,030
Đất và cỏ biển (Earth and grass)	0,026
Đất, nhiều cỏ biển (Earth, very weedy)	0,080

Trong trường hợp nghiên cứu chế độ dòng chảy trong vịnh, có nền đáy không phức tạp, ta có thể chọn hệ số Manning như sau:  $n = 0,025$  (cho vịnh),  $0,075$  (vùng cửa sông).

Ma sát đáy Chezy: Cách tiếp cận thứ ba tới ma sát đáy là cách tiếp cận Chezy. Lực cản đáy Chezy phụ thuộc tỉ lệ thuận với chu vi eo biển ướt và bình phương vận tốc và tỉ lệ nghịch với độ dốc thủy lực và diện tích mặt cắt ngang qua eo biển.

$$\text{Lực cản (resistance)} \propto \frac{V^2 P}{AS} \quad (11)$$

Đây cũng có thể là biểu thức trong phương trình Chezy:

$$V = C\sqrt{RS} \quad (12)$$

Trong đó:  $C$  là hệ số Chezy;  $R$  là lực cản.

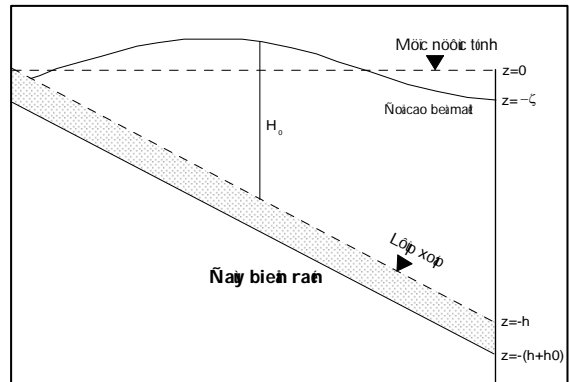
Như nhìn thấy ở trên, đây là kiểu ma sát đáy tương tự như công thức Manning và cũng phụ thuộc vào độ sâu. Vì vậy mỗi điểm ước lượng ma sát đáy dựa trên điểm hệ số Chezy xác định và độ cao nước.

Để mà chuyển  $CD$  hoặc xấp xỉ Manning vào trong định dạng Chezy, công thức sau đây được sử dụng:

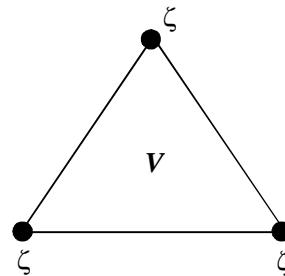
$$Chezy = \sqrt{\frac{g}{CD}} \quad (13)$$

$$Chezy = \sqrt{\frac{H^{1/3}}{n^2}} \quad (14)$$

Hệ thống phi tuyến phương trình chủ đạo của mô hình được giải theo phép lặp tại mỗi bước thời gian. Tại điểm bắt đầu của mỗi phép lặp, trạng thái của hệ thống được xem xét để xác định rõ cơ sở của dạng vật lý. Trong quá trình tính, phần tử bất kỳ mà thuộc trong nút với độ sâu 0,5 m hoặc nhỏ hơn được áp đặt cho sự chi phối bởi quá trình động học được trình bày bởi Ip và nnk., (1988) [15], trong khi đó toàn bộ các phần tử còn lại được áp đặt cho sự chi phối bởi quá trình động lực học. Công thức hóa đối với hai quá trình vật lý trên được trình bày chi tiết bên dưới.



Hình 1. Thể hiện dạng hình học của mô hình tính



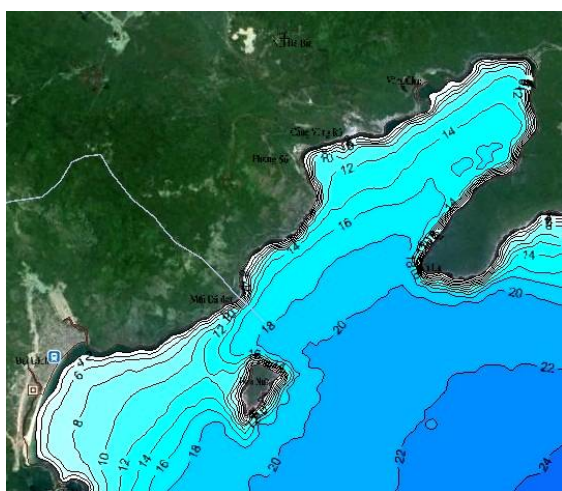
Hình 2. Cách bố trí mạng lưới tam giác cho các phần tử

Mô hình này đã được nhóm tác giả Bùi Hồng Long và Trần Văn Chung ứng dụng thành công vào tính dòng triều và đã xác định được các hằng số điều hòa của các sóng triều trong cụm đảo Song Tử [4], vịnh Cam Ranh [5], Vân Phong [6], Đầm Bầy (vịnh Nha Trang) [10], Bình Cang - Nha Trang [12] và dòng chảy tổng hợp tại vịnh Bắc Bộ [13].

## KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU CHẾ ĐỘ DÒNG CHẢY TẠI VỊNH RÔ

### Các thông tin dữ liệu đầu vào

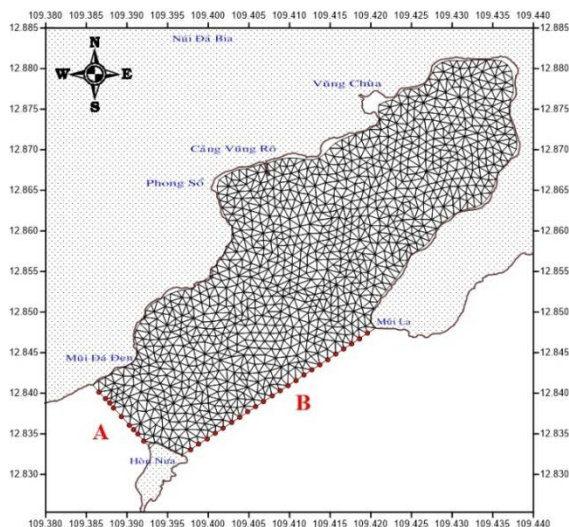
#### Thông tin chung



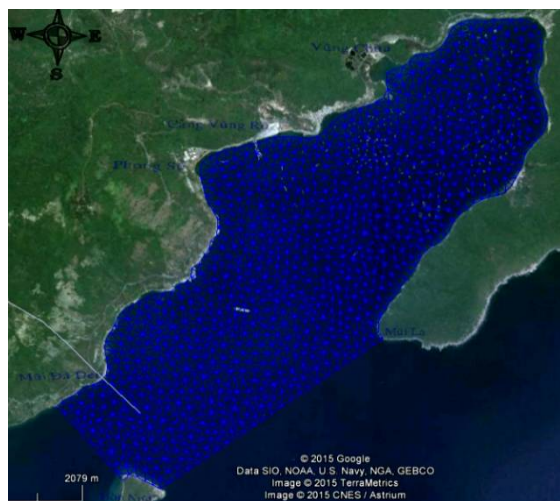
Hình 3. Trường độ sâu (m) làm khốp trên bản đồ Google Earth

Để tính dòng chảy cho Vũng Rô, chúng tôi đã thiết lập mạng lưới tính với kinh độ từ  $109,38629^{\circ}\text{E}$  đến  $109,43760^{\circ}\text{E}$ , vĩ độ từ  $12,83287^{\circ}\text{N}$  đến  $12,88080^{\circ}\text{N}$  (hiệu chỉnh lại trên bản đồ Google Earth được thể hiện trên hình 3). Mạng lưới tam giác được thiết lập với góc cực tiểu là  $30^{\circ}$ , diện tích cực đại  $10.000\text{ m}^2$ , trung bình  $6.248\text{ m}^2$ , cực tiểu  $2.807\text{ m}^2$  (trên hình 4 và hiệu chỉnh lại trên Google Earth trên hình 5). Trong đó, diện tích mặt thoáng cho tính toán là  $12,75\text{ km}^2$ , tương ứng với 1.106 điểm nút nằm ngang và 2.041 lưới tam giác. Các nút được gán để đưa vào điều kiện biên mở cho dao động thủy triều là 32 nút, trong đó biên mở ở tại mặt cắt **A** (gọi là **Biên A**) là 9 nút và tại mặt cắt **B** (gọi là **Biên B**) là 23 nút, có thể xem chi tiết trên hình 5. Độ sâu cực tiểu được

tính toán 0,1 m, bước thời gian 100 s, số vòng lặp mỗi bước thời gian 100, hàm trọng số  $\theta = 1$  (sai phân theo bước thời gian hoàn toàn ẩn vì vậy bài toán ổn định không điều kiện).



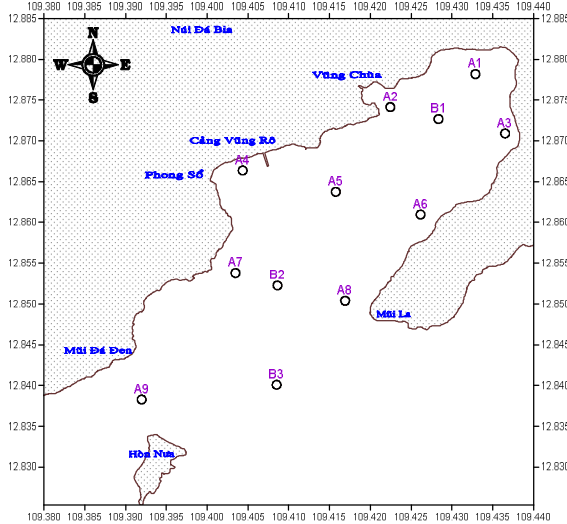
Hình 4. Mạng lưới tam giác cho nghiên cứu chế độ dòng chảy



Hình 5. Mạng lưới tam giác được làm khốp trên Google Earth

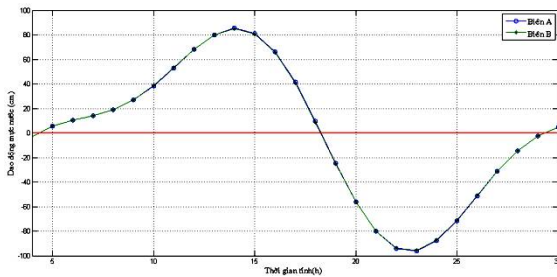
Để cập nhật số liệu dòng chảy và các yếu tố khí tượng. Trong khuôn khổ đề tài mã số VAST 06.04/14-15 đã thực hiện 2 chuyến khảo sát bổ sung vào tháng 5-6/2014 và 11/2014. Trên hình 6 là các trạm vị khảo sát vật lý - môi trường, trong đó các trạm được thực hiện đo

mặt rộng, riêng các trạm ký hiệu “B” còn đo thêm liên tục 1 ngày đêm, đối với dòng chảy 2 phút/số liệu.



Hình 6. Các trạm đo cho hiệu chỉnh mô hình

Điều kiện biên thủy triều: Biên mở tại (A) và (B) (hình 2) thể hiện theo dao động mực nước triều trên hình 7.



Hình 7. Giá trị dao động mực nước điển hình cho tính dòng triều cho Vũng Rô

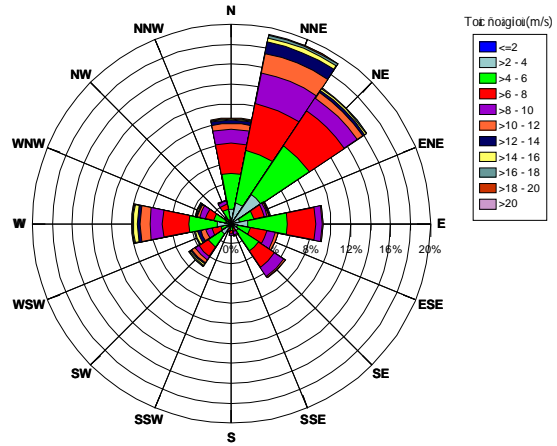
Để có thông tin chế độ gió tại Vũng Rô, chúng tôi đã sử dụng thông tin gió được cung cấp từ NCEP CFSR từ năm 1979 đến 8/2015 theo 1 giờ/số liệu. Để đối chứng và hiệu chỉnh thực tế mang tính địa phương của gió tại Vũng Rô, chúng tôi đã sử dụng số liệu gió gần khu vực Vũng Rô nhất, đó là trạm Tuy Hòa (6) và các thông tin từ đợt khảo sát khí tượng vào tháng 5-6/2014 và 11/2014. Với chế độ gió tại trạm Tuy Hòa, chúng tôi đã sử dụng nguồn số liệu gió từ năm 1987 đến 2007, tần suất đo số

liệu là theo ôp 6 giờ/số liệu theo các giờ trong ngày 1, 7, 13, 19 giờ.

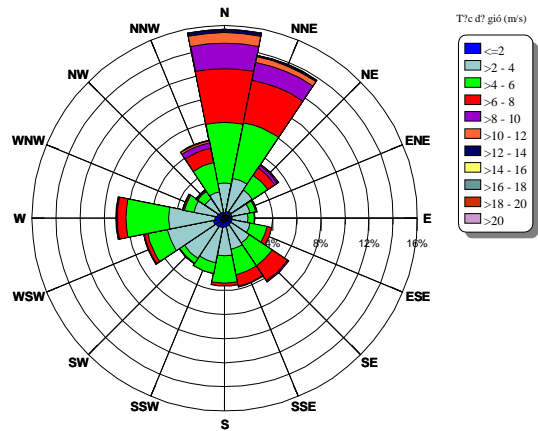
**Khu vực Tuy Hòa - Phú Yên (109°17'E; 13°05'N)**

Từ hình 8, thấy rằng ba hướng gió chiếm ưu thế là bắc đông bắc (NNE) với tần suất xuất hiện 19,31%, thời gian duy trì liên tục theo gió trung bình ngày có thể đạt 36 ngày; đông bắc (NE) chiếm 16,35%; hướng bắc (N) chiếm 10,57%. Các số liệu này thể hiện đặc trưng của trường gió mùa Đông Bắc tại địa phương. Các hướng còn lại đều tần suất xuất hiện dưới 10%. Trong đó gió mùa Tây Nam được đặc trưng bởi hướng gió chính là tây (W) chiếm 10,01%.

**Phân tích gió tại Vũng Rô (109,423041°E; 12,867792°N)**



Hình 8. Hoa gió tại khu vực Tuy Hòa, Phú Yên



Hình 9. Hoa gió tại Vũng Rô theo số liệu NCEP CFSR (1979 - 8/2015)

Sử dụng dữ liệu gió được cung cấp từ NCEP, CFSR từ năm 1979 đến 8/2015 theo 1 giờ/số liệu, khi phân tích chúng tôi thấy rằng về cơ bản tương đồng với số liệu gió của Tuy Hòa, nhưng về chi tiết có một khác biệt đáng chú ý khi nghiên cứu đặc trưng vùng Vũng Rô.

Hướng gió có tần suất xuất hiện nhiều nhất là hướng bắc (chiếm 15,7%) sau đó tới hướng NNE (chiếm 13,8%), đây chính là hai hướng khi chịu ảnh hưởng của trường gió Đông Bắc tác động đến khu vực. Tần suất xuất hiện đứng thứ ba là gió theo hướng W (9,0%) khi chịu ảnh hưởng của trường gió Tây Nam.

Theo kết quả phân tích thì tốc độ gió tại Vũng Rô tương đối yếu, tần suất gió chiếm 36,8% tập trung tại tốc độ gió  $2 \leq w_s < 4$ . Từ thông tin về gió thể hiện trên bảng 2 trên phương diện tính trung bình trong nhiều năm, thì tốc độ gió cao nhất vào tháng 12 và thấp nhất vào tháng 9. Tuy nhiên, theo kết quả phân tích thì tốc độ gió cao nhất trong vùng đã từng đạt 22,7 m/s, hướng tây tây bắc vào tháng 11 (20 h ngày 11/11/2011) và vào tháng 7 không thấy xuất hiện vận tốc cao quá 10 cm/s (bảng 2).

Bảng 2. Tốc độ gió lớn nhất có thể đã xảy ra trong Vũng Rô

Tháng	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Vmax (m/s)	13,7	13,6	14,3	10,3	11,0	11,5	9,6	13,6	15,7	17,1	22,7	17,7
Hướng (°)	0,0	45,0	0,0	157,5	337,5	270,0	270,0	270,0	247,5	0,0	292,5	22,5
Thời gian	13 h 26/1/ 2006	22 h 23/2/ 2013	4 h 5/3/ 2005	15 h 9/4/ 1983	20 h 14/5/ 2006	0 h 6/6/ 1999	13 h 29/7/ 2009	7 h 16/8/ 2002	0 h 29/9/ 2009	5 h 30/10/ 2010	20 h 11/11/ 2011	11 h 4/12/ 2006
Vtb (m/s)	5,8	4,6	4,0	3,7	3,6	3,9	3,8	3,9	3,4	4,2	5,8	6,8

### Dòng chảy do ảnh hưởng của chế độ gió mùa

Đối với dòng chảy do ảnh hưởng của gió và triều, trung bình trong vùng tính, chế độ gió cụ thể như sau:

Do ảnh hưởng của trường gió Đông Bắc: Tốc độ gió 5,8 m/s, hướng N.

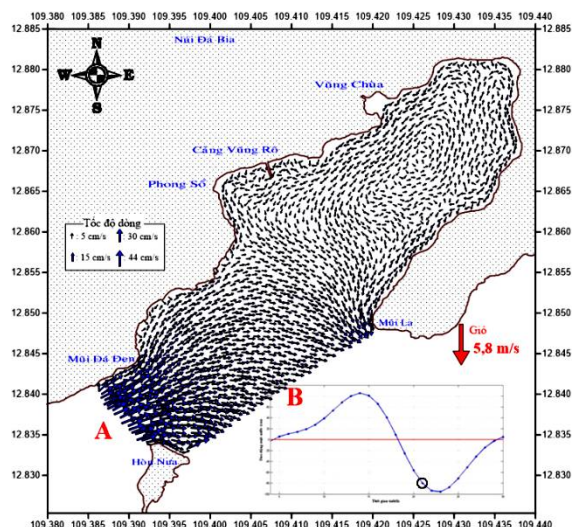
Do ảnh hưởng của trường gió Tây Nam: Tốc độ gió 3,8 m/s, hướng W.

### Gió mùa Đông Bắc

#### Pha triều xuống

Dưới ảnh hưởng của trường gió Đông Bắc, xuất hiện vài xoáy cục bộ nhỏ, đáng chú ý là một xoáy thuận cục bộ về phía đông bắc của vịnh, có tâm nằm tại vị trí (109,42696°E, 12,87108°N), còn các vị trí khác không có thay đổi đáng kể khi chỉ chịu tác động triều. Có sự thay đổi vị trí để tốc độ dòng đạt giá trị lớn nhất và tốc độ dòng cũng được gia tăng khoảng 0,5 cm/s với hướng lệch 5,3° theo chiều kim đồng hồ. Cụ thể, tốc độ dòng có thể đạt 44,5 cm/s, hướng 67,1° tại vị trí (109,38912°E; 12,83792°N), độ sâu 14,8 m. Từ kết quả này

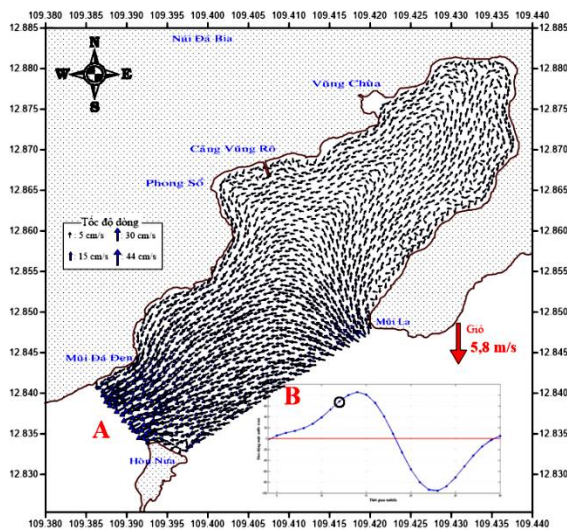
cho thấy, trường gió mùa Đông Bắc đã tác động đến vịnh bằng cách tạo vài xoáy cục bộ trong vịnh, nhìn chung ít có tác động thay đổi tốc độ dòng (hình 10).



Hình 10. Phân bố dòng chảy trung bình theo độ sâu cho pha triều xuống do ảnh hưởng trường gió Đông Bắc

**Pha triều lên**

Trong khi đối với pha triều xuống thì ta thấy khá rõ sự thay đổi dòng bên trong vịnh nhưng đối với pha triều lên thì sự thay đổi này không rõ ràng. Cơ chế tạo xoáy cục bộ cho pha triều lên gần như triệt tiêu. Trong pha triều lên, ảnh hưởng của trường gió làm suy giảm tốc độ dòng, cụ thể cho tốc độ 31,4 cm/s (giảm 0,7 cm/s) và hướng 239,4° (lệch 2,3° theo chiều ngược kim đồng hồ). Tuy vậy, tốc độ dòng đạt giá trị lớn nhất trùng với vị trí dòng triều đạt lớn nhất, xung quanh vị trí (109,38982°E, 12,83756°N), độ sâu 2,1 m (hình 11).



Hình 11. Phân bố dòng chảy trung bình theo độ sâu cho pha triều lên do ảnh hưởng trường gió Đông Bắc

**Gió mùa Tây Nam**

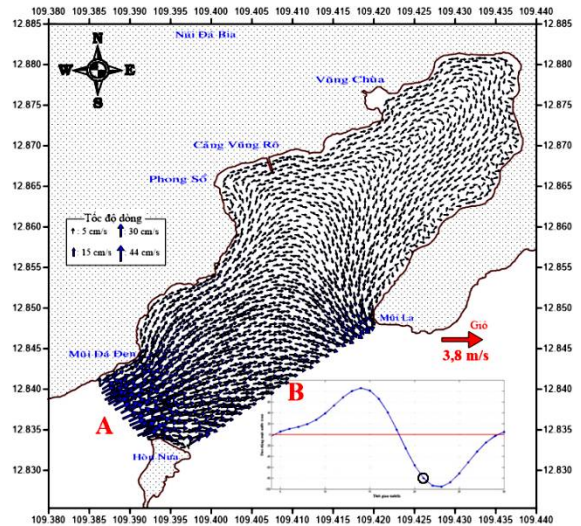
**Pha triều xuống**

Tác động gió mùa Tây Nam đến vịnh cho pha triều xuống không đáng kể. Ảnh hưởng chỉ thấy được tại các vị trí dòng có tốc độ yếu, tuy nhiên tác động gió mùa Tây Nam cũng làm tăng tốc độ dòng cực trị khoảng 1,2 cm/s, hướng lệch 0,2° theo hướng ngược kim đồng hồ nhưng không làm thay đổi vị trí dòng đạt cực trị (hình 12).

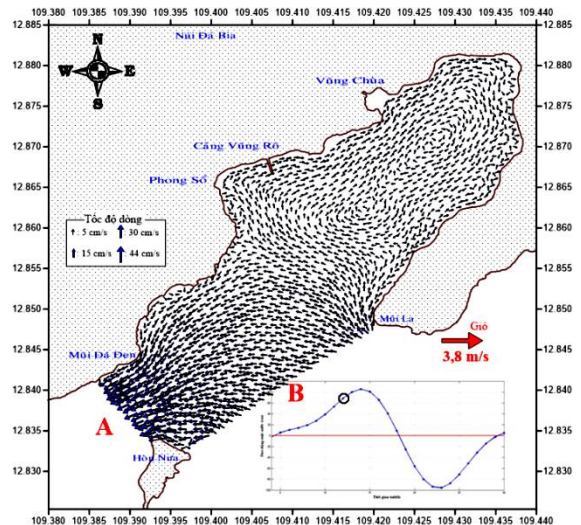
**Pha triều lên**

Đối với pha triều lên, tác động của trường gió mùa Tây Nam là khá rõ ràng, phía trong

vịnh hình thành các xoáy nghịch cục bộ, mà rõ nét là hai xoáy nghịch có tâm (109,42820°E, 12,87141°N) và (109,41952°E, 12,86288°N). Các xoáy hình thành này có tác dụng làm suy giảm tốc độ dòng đạt cực trị, sự suy giảm này khoảng 1,7 cm/s nhưng hầu như không làm lệch hướng dòng chảy đạt giá trị lớn nhất (chỉ lệch 0,3° theo chiều kim đồng hồ) và vị trí dòng đạt giá trị lớn nhất (hình 13).



Hình 12. Phân bố dòng chảy trung bình theo độ sâu cho pha triều xuống do ảnh hưởng trường gió Tây Nam



Hình 13. Phân bố dòng chảy trung bình theo độ sâu cho pha triều lên do ảnh hưởng trường gió Tây Nam



**So sánh kết quả tính với thực tế khảo sát**

Để hiệu chỉnh các kết quả tính toán với số liệu thực đo dòng chảy, chúng tôi đã sử dụng số liệu của 2 chuyên khảo sát bổ sung vào

tháng 5-6/2014 và 11/2014. Vị trí cụ thể của các trạm so sánh được thể hiện trên hình 6 và các sai số của mô hình được thể hiện trên bảng 3 bên dưới.

Bảng 3. So sánh kết quả tính và số liệu khảo sát

Trạm	Tính toán		Đo đạc (*)		Sai số tương đối (%)		Thời điểm	
	V (cm/s)	Hg (°)	V (cm/s)	Hg (°)	Tốc độ	Hướng		
B1	Dòng nhỏ nhất	5,030	129,709	5,0	128,8	0,6	0,7	7 h 2/6/2014
	Dòng lớn nhất	11,720	66,198	11,7	65,9	0,2	0,5	22 h 1/6/2014
	Dòng trung bình	8,120		8,5		4,5		
B2	Dòng nhỏ nhất	1,425	242,163	1,2	240,1	19,2	0,9	13 h 2/6/2014
	Dòng lớn nhất	37,925	89,895	37,0	85,4	2,5	5,3	22h 2/6/2014
	Dòng trung bình	17,553		17,5		0,3		
B1	Dòng nhỏ nhất	13,283	338,627	13,1	337,5	1,4	0,3	18 h 26/11/2014
	Dòng lớn nhất	25,192	10,960	24,2	9,4	4,1	16,6	2 h 27/11/2014
	Dòng trung bình	20,117		19,8		1,6		
B2	Dòng nhỏ nhất	4,703	270,598	4,1	295,0	14,7	8,3	9 h 28/11/2014
	Dòng lớn nhất	38,836	263,231	38,0	269,9	2,2	2,5	2 h 28/11/2014
	Dòng trung bình	26,651		25,9		2,9		

Ghi chú: V: tốc độ dòng chảy; Hg: Hướng dòng chảy; (\*): Dòng chảy được đo bằng máy đo dòng COMPACT EM, Alec Electronics Co., LTD (Nhật Bản), trung bình 2 phút/số liệu.

Theo các kết quả phân tích ở trên, có thể thấy rằng các tính toán thực hiện chịu ảnh của mùa gió Tây Nam có sự sai số tính toán khá thấp so với thời điểm chịu ảnh hưởng của mùa gió Đông Bắc. Số liệu tính toán cho thấy tại vị trí trạm liên tục B2 cho kết sai số cao hơn so với trạm B1.

**KẾT LUẬN**

Các phân tích trường gió trung bình từ năm 1979 - 8/2015 đã cho thấy rằng trong vịnh Vũng Rô, quá trình thủy động lực chịu ảnh hưởng chính bởi dòng triều khi mà tần suất gió yếu chiếm tỷ lệ khá cao và chế độ gió chịu ảnh hưởng hoàn toàn bởi tính địa phương khu vực và ít có khả năng thay đổi đáng kể tốc độ dòng triều. Từ phân tích tác động của dòng triều, cơ chế dòng vào - ra trong vịnh khá đặc trưng. Sự tương đồng về độ lớn và ngược hướng giữa hai pha triều đã thể hiện rõ ràng trong mô phỏng.

Ảnh hưởng của trường gió Đông Bắc thể hiện khá rõ ở pha triều xuống, đã có sự xuất hiện vài xoáy cục bộ nhỏ, đáng chú ý là một

xoáy thuận cục bộ về phía đông bắc của vịnh, có tâm nằm tại vị trí (109,42696°E, 12,87108°N). Có sự thay đổi vị trí để tốc độ dòng đạt giá trị lớn nhất và tốc độ dòng lớn nhất cũng được gia tăng thêm khoảng 0,5 cm/s với hướng lệch 5,3° theo chiều kim đồng hồ.

Tác động của gió mùa Tây Nam đã ảnh hưởng đến phân bố dòng chảy đối với pha triều lên, phía trong vịnh đã hình thành các xoáy nghịch cục bộ, mà rõ nét là hai xoáy nghịch có tâm (109,42820°E, 12,87141°N) và (109,41952°E, 12,86288°N). Các xoáy hình thành này có tác dụng làm suy giảm tốc độ dòng đạt cực trị, sự suy giảm này khoảng 1,7 cm/s nhưng hầu như không làm lệch hướng dòng chảy đạt giá trị lớn nhất (chỉ lệch 0,3° theo chiều kim đồng hồ) và vị trí dòng đạt giá trị lớn nhất.

Từ những phân tích ở trên, khi sử dụng mô hình theo phương pháp phần tử hữu hạn với lưới phi cấu trúc (mạng lưới tam giác), có thể tìm ra các vị trí có thể có phân bố dòng chảy tương đối đặc biệt (các xoáy cục bộ). Việc

kiểm nghiệm tính đúng đắn của phương pháp phân tử với thực tế đo đạc sẽ giúp hiệu chỉnh lại các thông số tính toán cần thiết, phục vụ tốt hơn cho mô phỏng các bài toán dòng chảy trong biển. Nếu việc chỉnh lý số liệu và đo đạc được thực hiện đồng bộ, chi tiết, đáng tin cậy cung cấp tốt cho các dữ liệu đầu vào cho mô hình thì có thể thu được kết quả tính mang tính định lượng cao tại các vị trí cần quan tâm. Kết quả mô hình có thể giúp đưa ra các giải pháp, các thông số kỹ thuật tương đối chính xác để các nhà quản lý có chính sách hoạch định, quy hoạch các công trình - dịch vụ biển một cách hợp lý, tiết kiệm tránh lãng phí không cần thiết, góp phần hạn chế tai biến thiên nhiên,...

**Lời cảm ơn:** Chúng tôi xin gửi lời cảm ơn chân thành đến chủ nhiệm đề tài mã số VAST 06.04/14-15 “Đánh giá khả năng tự làm sạch vịnh Vũng Rô (Phủ Yên) phục vụ phát triển bền vững kinh tế biển” và các đồng nghiệp trong nhóm nghiên cứu đã góp ý và hỗ trợ giúp chúng tôi hoàn thành bài báo này.

#### TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Comblen, R., Legrand, S., Deleersnijder, E., and Legat, V., 2009. A finite element method for solving the shallow water equations on the sphere. *Ocean Modelling*, **28**(1), 12-23.
2. Jones, J. E., and Davies, A. M., 2010. Application of a finite element model to the computation of tides in the Mersey Estuary and Eastern Irish Sea. *Continental Shelf Research*, **30**(5), 491-514.
3. Bajo, M., Ferrarin, C., Dinu, I., Umgieser, G., and Stanica, A., 2014. The water circulation near the Danube Delta and the Romanian coast modelled with finite elements. *Continental Shelf Research*, **78**, 62-74.
4. Bùi Hồng Long, Trần Văn Chung, 2007. Tính toán dòng triều tại cụm Song Tử bằng phương pháp phân tử hữu hạn. *Tuyển tập Báo cáo Hội nghị Quốc gia “Biển Đông-2007”*, ISSN 1859-2430. Tr. 735-750.
5. Bùi Hồng Long, Trần Văn Chung, 2008. Kết quả mô phỏng chế độ dòng triều tại vịnh Cam Ranh bằng phương pháp phân tử

hữu hạn. *Tạp chí Khoa học và Công nghệ biển*, **8**(4), 19-35.

6. Long, B. H., and Chung, T. V., 2009. Calculations of tidal currents in Van Phong bay using the finite element method. *Advances in Natural Science*, **10**(4), 495-478.
7. Bui Hong Long, Tran Van Chung, 2010. Some experimental calculation for 3D currents in the strong upwelling region of southern central Vietnam using finite element method. *Proceedings of the International Conference marine biodiversity of east asian seas: status, challenges and sustainable development. Nha Trang, Vietnam*, 165-177.
8. Bùi Hồng Long, Trần Văn Chung, 2012. Nghiên cứu chế độ dòng chảy tại vịnh Phan Thiết bằng mô hình ba chiều phi tuyến với phương pháp phân tử hữu hạn. *Tạp chí Khoa học và Công nghệ biển*, **12**(4), 1-14.
9. Bùi Hồng Long, Trần Văn Chung, 2013. Thử nghiệm tính toán hệ thống dòng chảy khu vực biển Nam Trung Bộ bằng mô hình ba chiều (3D) phi tuyến. *Kỷ yếu Hội nghị Quốc tế “Biển Đông 2012”*, Nha Trang, 12-14/09/2012, 17-28.
10. Bùi Hồng Long, Trần Văn Chung, 2014. Tính toán dòng chảy triều tại khu vực Đầm Bậy (vịnh Nha Trang) bằng phương pháp phân tử hữu hạn. *Tạp chí Khoa học và Công nghệ biển*, **14**(4), 332-340.
11. Tran Van Chung, Tong Phuoc Hoang Son, 2014. The numerical simulations on hydrodynamic and bio-geochemistry processes in Vietnam sea waters. In *Proceedings of International Mini Workshop on the Western Pacific Marine Biogeochemical Environment Variability*. Jamstec, Tokyo, 3 - 4, February, 2014. 45-47.
12. Trần Văn Chung, Bùi Hồng Long, 2014. Đặc trưng thủy động lực vực nước Bình Cang - Nha Trang qua mô hình FEM và ECOSMO. *Tạp chí Khoa học và Công nghệ biển*, **14**(4), 320 - 331.
13. Trần Văn Chung, Bùi Hồng Long, 2015.

Một số kết quả tính toán dòng chảy trong vịnh Bắc Bộ bằng mô hình ba chiều phi tuyến. *Tạp chí Khoa học và Công nghệ biển*, **15**(4), ISSN 1859-3097, 320 - 333.

14. Chương trình điều tra nghiên cứu biển cấp nhà nước KHCN-06 (Phạm Văn Ninh (chủ biên) (1996-2000), 2003. Biển Đông (phần

khí tượng thủy văn động lực biển). Tập 2. *Nxb. Đại học quốc gia Hà Nội*, 565 tr.

15. Ip, J. T. C., Lynch, D. R., and Friedrichs, C. T., 1998. Simulation of estuarine flooding and dewatering with application to Great Bay, New Hampshire. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, **47**(2), 119-141.

## CALCULATIONS OF CURRENT IN THE VUNG RO BAY USING THE FINITE ELEMENT METHOD

**Tran Van Chung, Nguyen Huu Huan**

*Institute of Oceanography, VAST*

**ABSTRACT:** The analyses the average wind field in the period from 1979 to August 2015 have demonstrated that hydrodynamical processes are dominated by tidal currents in the Vung Ro bay. In this period, the frequency of weak wind accounts for a quite high percentage. Moreover, the wind field is totally influenced by local conditions, and it is less likely to change the speed of tidal currents. The results from a simulation have clearly illustrated that there are similarities between speed and direction in two tidal phases by analyzing the influence of tidal current and the regime of in/out flow in the bay. In addition, the influence of the northeast wind is most obvious at ebb-tide phase, a few small local vortices also appear, notably a local cyclone vortex is located at the north-east of the bay. There are location changes of currents to achieve the maximum value, those velocities increase by around 0.5 cm/s with the clockwise direction of 5.3 degree. The effect of southwest wind has impacted on distribution of currents in flood-tide phase, then the local anticyclonic eddies are formed inside the bay. These eddies have decreased flow rate at a peak point (about 1.7 cm/s) but not prevented the direction and location of currents from reaching the maximum value (the clockwise direction of less than 0.3 degree).

**Keywords:** Tide, current, two-dimensional (2D) nonlinear model, finite element method (FEM), Vung Ro.