

TÍNH TOÁN DÒNG CHẢY TRIỀU TẠI KHU VỰC ĐÀM BẦY (VỊNH NHA TRANG) BẰNG PHƯƠNG PHÁP PHẦN TỬ HỮU HẠN

Bùi Hồng Long^{*}, Trần Văn Chung

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

^{*}E-mail: buihonglongion@gmail.com

Ngày nhận bài: 24-6-2014

TÓM TẮT: Hiện nay các hoạt động kinh tế xã hội đang phát triển mạnh ở khu vực đầm Bầy và các khu vực đảo, vùng nước lân cận trong vịnh Nha Trang. 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. Chúng ta biết rằng việc mô phỏng, tính toán trường dòng chảy trong khu vực là không hề đơn giản do sự có mặt của các đảo, địa hình đáy và đường bờ ở đây khá phức tạp. Để khắc phục các khó khăn trên trong quá trình mô phỏng trường dòng chảy chúng tôi đã tập trung vào việc xử lý và chi tiết hóa các điều kiện biên và các tư liệu đầu vào cho bài toán thủy động lực. Việc sử dụng phương pháp phần tử hữu hạn (FEM) để tính toán dòng triều đã góp phần giải quyết các khó khăn (hạn chế của phương pháp) mà các phương pháp sai phân hữu hạn (FDM) đang dùng phổ biến hiện nay trong việc tính toán dòng chảy. Các kết quả nghiên cứu cho thấy có sự phù hợp tương đối tốt giữa các kết quả tính toán dòng triều bằng phương pháp FEM và các kết quả khảo sát. Từ việc so sánh các kết quả tính toán và số liệu khảo sát rút ra một số nhận định sau:

Dòng triều đóng vai trò chủ đạo trong hệ thống dòng chảy của khu vực nghiên cứu.

Trong pha triều xuống dòng triều có thể đạt 22,9 cm/s hướng Đông Nam trên tầng sâu 19,2 m.

Trong pha triều lên dòng triều có thể đạt 19,4 cm/s hướng Tây Bắc trên tầng mặt.

So sánh các kết quả tính toán mực nước triều dự báo và đo đạc thực địa cho thấy sai số lớn nhất là 19,1 cm, trung bình là 10 cm và nhỏ nhất là bằng 0.

Từ khóa: Dòng triều, phần tử hữu hạn (FEM), đầm Bầy, vịnh Nha Trang.

MỞ ĐẦU

Phương pháp phần tử hữu hạn được phát triển từ những năm 1950 - 1960 để giải quyết các vấn đề về cơ học đàn hồi, kết cấu và sức bền vật liệu. Sau này phương pháp được phát triển cho các ứng dụng khác, đặc biệt là các quá trình vật lý được thể hiện bằng hệ các phương trình vi phân đạo hàm riêng. Về mặt lý thuyết phương pháp phần tử hữu hạn được mô tả khá chi tiết bởi Zienkiewicz (1977) và Johnson (1990) [1, 2]. Các ứng dụng thành công phương

pháp phần tử hữu hạn trong nghiên cứu hải dương học bắt đầu từ những năm 1970 để tính toán dòng triều bởi các tác giả như Connor and Wang (1973), Walters and Werner (1989), Le Provost and Vincent (1986) [3-5] ... Phương pháp phần tử hữu hạn dùng để tính toán và mô phỏng các mô hình hoàn lưu đã được phát triển bởi các tác giả Fix (1975), Haidvogel et al (1980), Myers and Weaver (1995), Iskandarani et al (1995), Haidvogel et al (1997), Wunsch et al (1997), Taylor et al (1997), Levin et al (1997,2006), Curchitser, E.N et al (1996) [6-

12]. Sử dụng phương pháp phần tử hữu hạn để giải quyết các bài toán thủy động lực cho vùng nước nông được phát triển bởi Behrens (1996, 1998), Le Roux et al. (1998), Giraldo F. X. (2000), Giraldo, F. X. et al (2008) [13-16].

Ban đầu phương pháp sai phân hữu hạn (FDM) được sử dụng rộng rãi cho việc tính toán trường dòng chảy đại dương và biển bởi vì tính đơn giản và không cần sử dụng các công cụ tính toán có cấu trúc hình học. Với sự phát triển nhanh của khoa học, công nghệ các mô hình sai phân cần sử dụng một số lượng rất lớn ô lưới (đặc biệt với các biên di động, biên có độ sâu thay đổi, dịch chuyển theo thời gian). Trong thực tế sự thay đổi các ô lưới này rất hạn chế do đặc điểm về mặt hình học (hình chữ nhật hoặc vuông không đều). Do tính chất không mềm dẻo của các ô lưới tính cho nên các kết quả tính cho các vùng có địa hình phức tạp (mặc dù đã được cải tiến như hệ thống lưới lồng, biên di động) vẫn cho các kết quả không thực sự mỹ mãn. Phương pháp phần tử hữu hạn (FEM) ra đời có thể khắc phục được các hạn chế của phương pháp sai phân hữu hạn (FDM). Nó có thể giải quyết tốt các bài toán thủy động lực cho vùng nước nông với hệ thống ô lưới biến đổi linh động về mặt hình học và đặc biệt là có thể tính toán với hệ thống ô lưới phi cấu trúc đáp ứng cho các khu vực địa hình đáy phức tạp.

Hiện nay các hoạt động kinh tế xã hội đang phát triển mạnh ở khu vực đầm Bảy và các khu vực đảo, vùng nước lân cận trong vịnh Nha Trang. 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. Chúng ta biết rằng việc mô phỏng, tính toán trường dòng chảy trong khu vực đầm Bảy (vịnh Nha Trang) là không hề đơn giản do sự có mặt của các đảo, địa hình đáy, đường bờ khá phức tạp.

Chính vì các nguyên nhân trên chúng tôi đã sử dụng phương pháp phần tử hữu hạn (FEM) để tính toán hệ thống dòng triều cho khu vực nghiên cứu.

Trên cơ sở các kết quả nghiên cứu của Bùi Hồng Long và Trần Văn Chung (2004, 2005, 2006) [17-20] chúng tôi đã bổ sung và hoàn

chỉnh thêm các phương pháp xử lý biên, các tài liệu đầu vào cho nghiên cứu này.

TÀI LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP

Phương pháp FEM giải hệ phương trình thủy động lực.

Các phương trình nước nông

Các phương trình nước nông được dùng để mô tả các quá trình thủy động lực ở vùng cửa sông, các thủy vực ven bờ ... Hệ các phương trình chủ đạo bao gồm các phương trình liên tục và động lượng. Để đơn giản hóa các phương trình này. Chúng ta chấp nhận các giả định sau:

Mật độ nước không đổi.

Áp suất thẳng đứng là thủy tĩnh.

Chuyển động ngang (bình lưu) lớn hơn nhiều so với chuyển động thẳng đứng (đối lưu).

Khi đó chúng ta có:

Phương trình liên tục :

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

Phương trình động lượng ngang :

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

Ở đây \vec{v} : vận tốc trung bình theo phương thẳng đứng (m/s), t: thời gian (s), ∇ : Toán tử Gradient ngang, ζ độ cao mực nước trên bề mặt biển so với mực nước tĩnh (m), g : gia tốc trọng trường (m/s²), \vec{f} : lực Coriolis (s⁻¹), c_d : hệ số ma sát đáy, H: độ sâu tổng cộng của cột nước (m) (Khi mực nước nâng lên:

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

Khi mực nước hạ xuống: $H = \int_{-H}^{-\zeta} dz = (H - \zeta)$);

và h độ sâu của điểm tính (m).

Tính toán dòng chảy triều

Dao động triều được mô tả bằng các chuyển động tại các nút trên các biên hở.

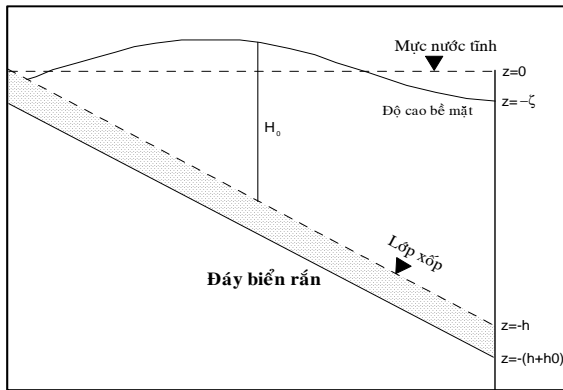
Chúng ta chọn hàm lực tạo triều tổng cộng và sử dụng các điều kiện biên Dirichlet, trong hệ phương trình sau các chuyển động triều

$$z(t) = Z_0 + \sum_k f_k(t) \cdot A_k \cdot \cos\left(\omega_k [t - t_0] + (V(t_0) + u(t))_k - \frac{\pi}{180} g_k\right) \quad (3)$$

Ở đây $z(t)$: Độ cao triều tức thời được tạo thành tại điểm tính (m), Z_0 : Giá trị của mực nước biển trung bình tại điểm tính so với mực không độ sâu (Hướng dương theo từ 0 xuống đáy); k : chỉ số của các thành phần thủy triều, f_k và $(V(t_0) + u(t))_k$: các thông số thiên văn phụ thuộc vào thời gian quan trắc, tính toán, trong đó f_k là giá trị biên độ điều hòa, $(V(t_0) + u(t))_k$: pha điều hòa, A_k , g_k : hằng số điều hòa biên độ (m) và độ trễ pha thành phần Greenwich (độ), tất cả các đại lượng trên phụ thuộc vào vị trí và thời điểm quan trắc, ω_k : tần số thủy triều thành phần (rad/s).

Hệ số ma sát đáy c_d

Thông thường có 3 cách để xác định các hệ số này: Hệ số trở không đổi (CD), gần đúng Manning (n), và gần đúng Chezy (a). Các hệ số này được sử dụng để tính ứng suất đáy trong hệ phương trình động lượng.



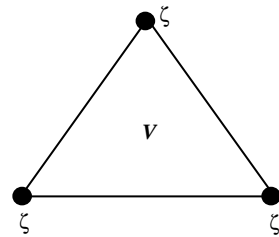
Hình 1. Sơ đồ biểu diễn các đặc điểm hình học sử dụng trong mô hình tính

Ma sát đáy CD hoặc hệ số trở không đổi thường được sử dụng đơn giản như là ứng suất ma sát đáy do ảnh hưởng của địa hình đáy. Lực ma sát đáy có giá trị không đổi không phụ thuộc vào độ sâu nước. Chỉ có hằng số trở tại

được thể hiện qua tập hợp các dao động thành phần [20]:

một điểm phụ thuộc vào độ gồ gề của đáy. Ở đây chúng tôi chọn CD như là hệ số ứng suất đáy. Chính vì vậy: $c_d = CD$ (4)

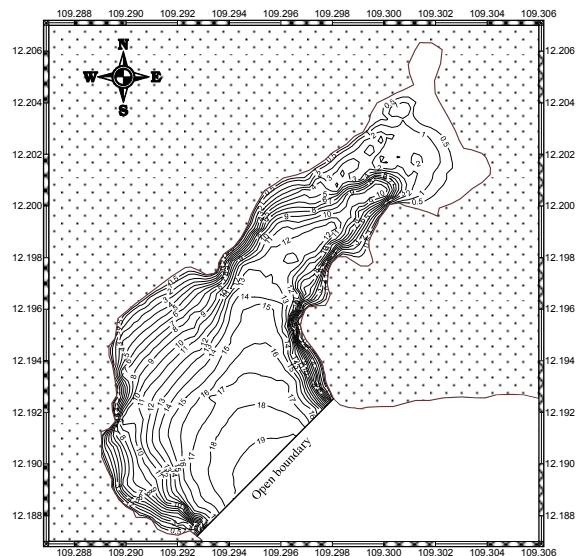
Theo các kết quả nghiên cứu của đề tài cấp nhà nước KT.03.03, chúng tôi chọn $c_d = 0.0026$ [21]. Hệ số này chúng tôi sẽ sử dụng thay cho CD cho toàn bộ các nút tính.



Hình 2. Cách bố trí các tham số theo lưới tam giác phân tử trong mô hình

KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU

Tài liệu đầu vào



Hình 3. Trường độ sâu (m) ứng với mức thủy triều thấp nhất tại đầm Báy

Tính toán dòng chảy triều tại khu vực ...

Các điều kiện biên: Tại biên mở (hình 4) các dao động mực nước triều được thể hiện tại hình 5 và công thức (3).

Các kết quả tính toán

Dòng triều được tính cho các thành phần $M_2, S_2, N_2, K_2, M_4, K_1, O_1, Q_1$ và P_1 .

Chúng tôi xác định các chỉ tiêu sau để phân vùng dòng triều theo cường độ dòng.

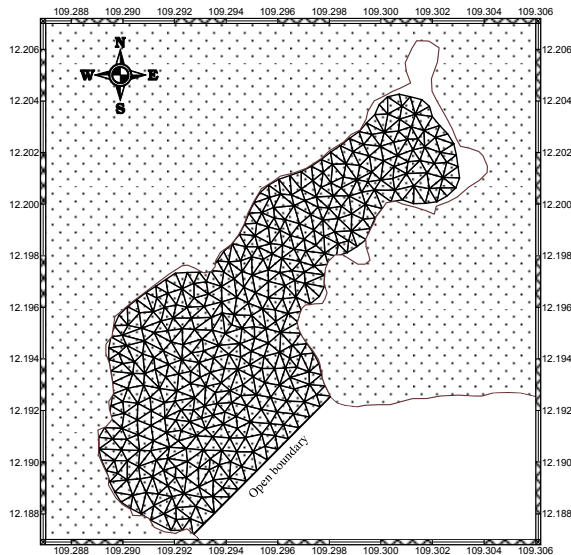
Tốc độ dòng $|\vec{v}| < 10 (cm/s)$: Dòng triều yếu.

Tốc độ dòng $10 (cm/s) \leq |\vec{v}| < 20 (cm/s)$:
Dòng triều trung bình

Tốc độ dòng $20 (cm/s) \leq |\vec{v}| < 30 (cm/s)$:
Dòng triều mạnh

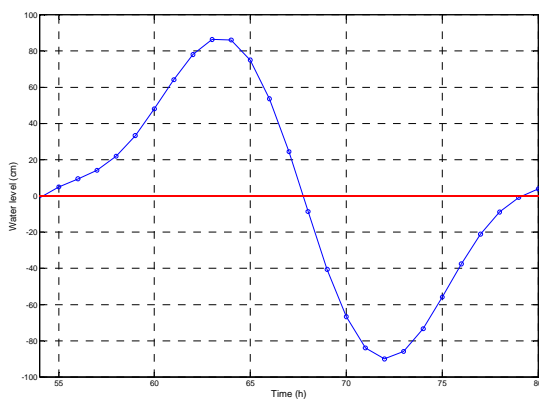
Các kết quả tính toán dòng triều

Dòng triều trong pha triều xuống

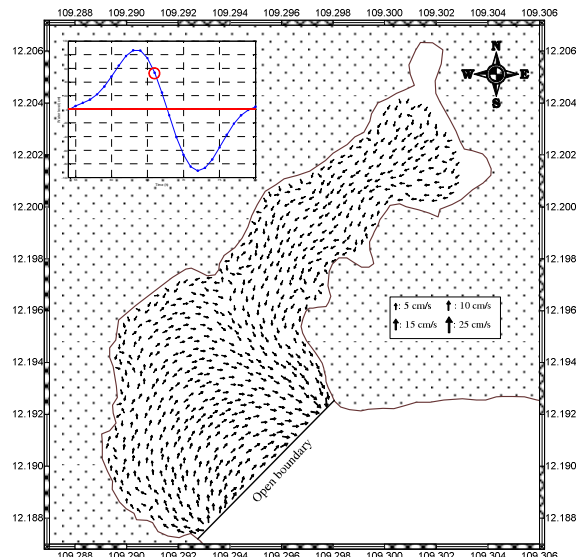


Hình 4. Mạng lưới tam giác dùng để tính chế độ dòng triều tại đầm Bậy

Để tính toán dòng triều tại đầm Bậy, chúng tôi đã số hóa khu vực trong phạm vi tọa độ từ $109,28906^{\circ}E$ đến $109,30305^{\circ}E$ (longitude) và từ $12,187194^{\circ}N$ đến $12,204265^{\circ}N$ (latitude) (hình 3). Mạng lưới tam giác được xây dựng với góc cực tiểu 30° , diện tích tam giác cực tiểu xấp xỉ $947,96 m^2$; cực đại $2.495,58 m^2$ trung bình $1.584,14 m^2$ (hình 4). Số điểm tính 428 với tổng số 747 tam giác với 13 điểm nút dao động triều tại biên hở (hình 4). Độ sâu cực tiểu tính toán là 0,2 m, bước thời gian tính 100 s, vòng lặp cho mỗi bước thời gian là 100, hàm trọng lượng $\theta = 1$ (sai phân âm, đảm bảo sự ổn định vô điều kiện). Hệ số ma sát đáy $c_d = 0,0026$. Địa hình đáy được thể hiện ở hình 3.



Hình 5. Dao động mực nước triều tại biên mở

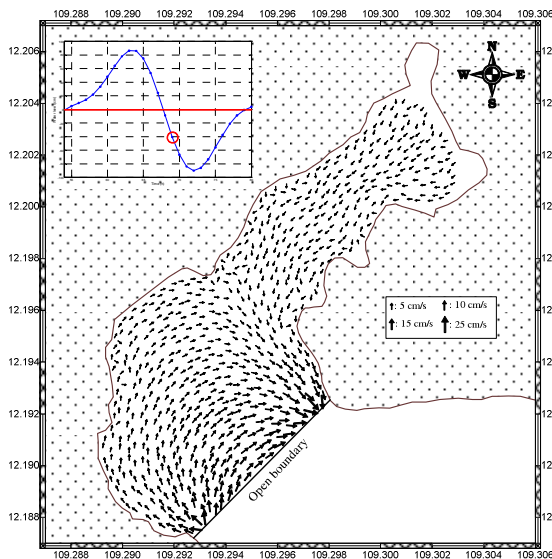


Hình 6. Phân bố dòng triều tại đầm Bậy khi triều xuống (pha I)

Trong pha triều bắt đầu xuống (ký hiệu I) (hình 6), tại thời điểm 66 giờ tính toán, dòng triều cực đại trên toàn vùng tính có tốc độ $9,938 cm/s$, hướng chính nam ($176,1^{\circ}$ - góc phương vị) tại độ sâu 1,0 m. Trên cơ sở các kết quả tính toán còn cho thấy rằng dòng triều mạnh nhất theo hướng Tây - Đông cực đại là

7,231 cm/s tại độ sâu 1,2 m; Căn cứ vào phân loại dòng đã trình bày ở phần trên thì toàn bộ 100% khu vực nghiên cứu thuộc loại dòng triều yếu (tại 747 điểm tính). Nhìn chung giai đoạn triều bắt đầu xuống có dòng yếu và hướng dòng khá phân tán. Luồng dòng chảy chính hướng ra ngoài vịnh tập trung ở phần luồng phía Đông của cửa đầm.

Trong giai đoạn II của pha triều xuống mạnh (hình 7), tại thời điểm 69 giờ tính, dòng triều cực đại trên toàn vùng tính là 22,923 cm/s, hướng Đông - Nam tại vị trí có độ sâu 19,18 m. Tốc độ dòng triều theo hướng Tây - Đông đạt cực đại 17,633 cm/s tại vị trí có độ sâu 1,2 m. Vận tốc dòng cực đại theo hướng Bắc - Nam là 18,726 cm/s, tại vị trí có độ sâu 4,89 m. Tại thời điểm tính toán dòng triều yếu phân bố trên khu vực xấp xỉ 94,4 % (tại 705 điểm tính) dòng triều trung bình phân bố trên khoảng 4,3 % diện tích (tại 32 điểm tính) dòng triều mạnh chỉ chiếm 1,3% diện tích (tại 10 điểm tính).

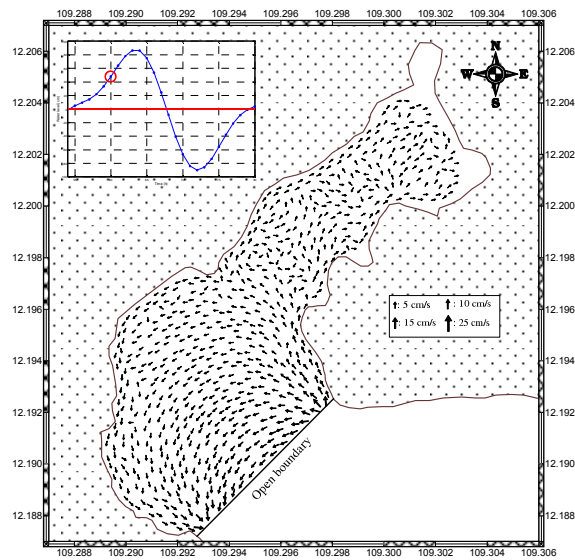


Hình 7. Phân bố dòng triều tại đầm Báy khi triều xuống (pha II)

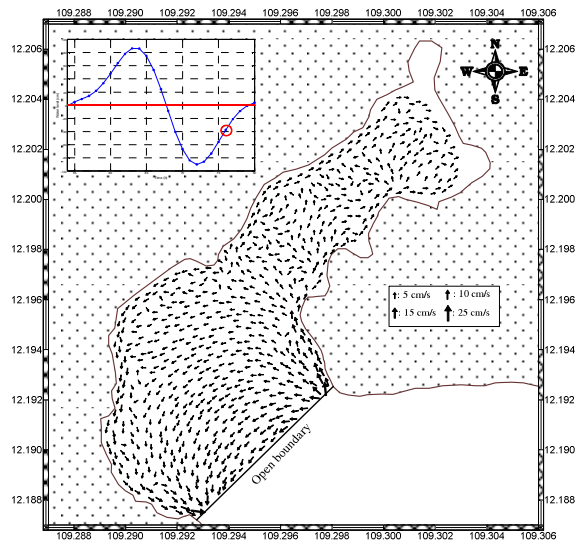
Dòng triều trong pha triều lên

Pha triều bắt đầu lên (pha I, hình 8), tại thời điểm 60 giờ trên mực nước, dòng triều cực đại trên toàn vùng là 11,954 cm/s hướng Tây Bắc tại vị trí có độ sâu tương ứng 19,18 m. Tốc độ

dòng cực đại theo hướng Đông Tây là 10,082 cm/s tại vị trí có độ sâu là 1,2 m; tốc độ dòng cực đại theo hướng Nam Bắc là 9,231 cm/s tại vị trí có độ sâu 4,89 m. Trong giai đoạn này dòng triều yếu chiếm 99,5% diện tích khu vực (tại 743 điểm tính) dòng triều trung bình chỉ chiếm 0,5% (tại 4 điểm tính) và hoàn toàn không có khu vực nào tồn tại dòng triều mạnh.



Hình 8. Phân bố dòng triều tại đầm Báy khi triều lên (pha I)



Hình 9. Phân bố dòng triều tại đầm Báy khi triều lên (76 h, pha II)

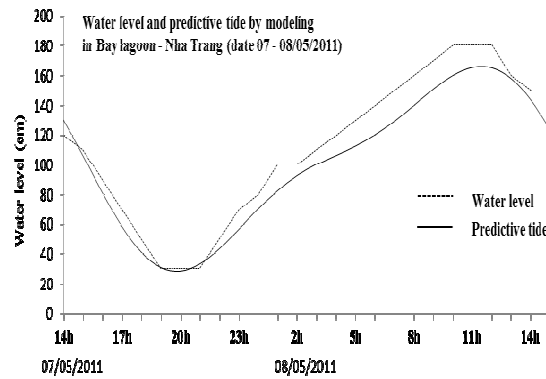
Pha triều lên mạnh (Pha II, hình 9), tại thời điểm 76 giờ tính toán, dòng triều cực đại trên toàn vùng là 19,413 cm/s hướng Bắc ($353,8^{\circ}$, tại vị trí có độ sâu 1,0 m. Tốc độ dòng cực đại theo hướng Đông Tây là 19,213 cm/s tại vị trí có độ sâu 1,2 m; Tốc độ dòng cực đại theo hướng Nam là 10,229 cm/s tại vị trí có độ sâu 4,89 m. Trong giai đoạn này dòng triều yếu chiếm 98,7% diện tích khu vực (tại 737 điểm tính), dòng triều trung bình chỉ chiếm 1,1% diện tích khu vực (tại 8 điểm tính), dòng triều mạnh chỉ chiếm 0,3% diện tích khu vực (tại 2 điểm tính).

So sánh các kết quả tính toán bằng phương pháp FEM với mực nước đo đạc tại thực địa

Các kết quả khảo sát dòng chảy tại khu vực nghiên cứu cho thấy dòng triều chiếm 90% dòng chảy tổng cộng.

So sánh, đánh giá các kết quả tính toán mực nước với số liệu đo đạc mực nước tại khu vực nghiên cứu (hình 10, đường nét gián đoạn) và đường dự báo (đường liền nét) chúng ta thấy hai đường này hoàn toàn trùng pha và có sự

trùng quan cao đến 98,9%. Mực nước thực tế đo được có thể có khá nhiều yếu tố tác động vì vậy chúng tôi đã phân tích một cách thận trọng để lọc các dao động phi triều (không tuần hoàn) để có thể so sánh với các kết quả tính toán. Thủy triều trong khu vực đầm Bảy là nhật triều (hình 10): chân triều vào lúc 20 g ngày 7 tháng 05 còn đỉnh triều lúc 11 h, ngày 08 tháng 05 năm 2011.



Hình 10. So sánh mực nước tính toán (dự báo) và mực nước đo đạc

Bảng 1. So sánh mực nước tính toán (dự báo) bằng phương pháp phân tử hữu hạn FEM và mực nước đo đạc thực địa tại vị trí ($109,2916^{\circ}E$; $12,1950^{\circ}N$) (Trên trạm thực nghiệm: ACIAR LOBSTER PROJECT (hình 11))

Ngày, tháng, năm	Thời gian đo (h)	Số liệu đo đạc (cm)	Kết quả tính toán (cm)	Sai số tuyệt đối (cm)
5/7/2011	14:30	120,0	131,7	11,7
5/7/2011	15:00	110,0	107,9	2,1
5/7/2011	16:00	90,0	82,9	7,1
5/7/2011	17:00	70,0	60,2	9,8
5/7/2011	18:00	50,0	42,7	7,3
5/7/2011	19:00	30,0	32,4	2,4
5/7/2011	20:00	30,0	30	0,0
5/7/2011	21:00	30,0	34,8	4,8
5/7/2011	22:00	50,0	45,0	5,0
5/7/2011	23:00	70,0	58,2	11,8
5/8/2011	0:00	80,0	72,0	8,0
5/8/2011	1:00	100,0	84,3	15,7
5/8/2011	2:00	100,0	94,3	5,7
5/8/2011	3:00	110,0	101,9	8,1
5/8/2011	4:00	120,0	108,0	12,0
5/8/2011	5:00	130,0	114,2	15,8
5/8/2011	6:00	140,0	121,7	18,3
5/8/2011	7:00	150,0	130,9	19,1
5/8/2011	8:00	160,0	141,6	18,4
5/8/2011	9:00	170,0	152,5	17,5
5/8/2011	10:00	180,0	161,8	18,2
5/8/2011	11:00	180,0	167,2	12,8
5/8/2011	12:00	180,0	166,9	13,1
5/8/2011	13:00	160,0	159,5	0,5
5/8/2011	14:00	150,0	145,1	4,9



Hình 11. Trạm đo mực nước biển

NHẬN XÉT VÀ THẢO LUẬN

Việc tính toán dòng triều bằng phương pháp FEM thông thường có kết quả cao hơn phương pháp FDM, nguyên nhân là do phương pháp FEM có thể chi tiết hóa hệ thống dòng tại các khu vực sát bờ (biên cứng lục địa - biển), tại các vị trí có sự thay đổi mạnh của địa hình đáy hoặc tại các vị trí có độ sâu phức tạp gây ra các hiệu ứng cục bộ (địa phương) của hệ thống dòng chảy...

Từ các kết quả tính toán dòng triều tại đầm Bấy cho thấy các đặc điểm sau:

Dòng triều chiếm ưu thế trong khu vực nghiên cứu (70 - 80% dòng chảy tổng cộng).

Tại thời điểm triều xuống dòng chảy có thể đạt cực đại 22,9 cm/s tại độ sâu 19,2 m.

Tại thời điểm triều lên dòng chảy có thể đạt cực đại 19,4 cm/s tại độ sâu 1,0 m.

Luồng chính của dòng triều lên, xuống nằm dọc theo khu vực gần bờ phía Đông của đầm. Sai lệch giữa các kết quả tính toán dự báo và kết quả đo đạc thực địa là có thể chấp nhận được (do điều kiện thiết bị, trạm đo ...). Kết quả tính toán mực nước triều dự báo và đo đạc thực địa có sai số lớn nhất là 19,1 cm, trung bình là 10 cm và nhỏ nhất là bằng 0 (thể hiện trên bảng 1).

Dòng triều trên toàn vùng nghiên cứu tương đối yếu các khu vực dòng triều trung bình và mạnh chỉ chiếm tối đa 5% diện tích khu vực nghiên cứu.

Với các định hướng quy hoạch, khai thác hợp lý và phát triển bền vững thì việc xác định

khả năng trao đổi nước, tính toán sức tải, xem xét các tác động của tai biến thiên nhiên, các rủi ro về môi trường sinh thái khi khai thác sử dụng thủy vực này là rất cần thiết.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Zienkiewicz, O. C., 1977. The finite element method. Rayleigh Damping, Field And Dynamic Problems.
2. Johnson, C., 1990. Adaptive finite element methods for diffusion and convection problems. Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering, **82**(1): 301-322.
3. Connor, J. J., and Wang, J. D., 1973. Finite element modeling of two-dimensional hydrodynamic circulation. Massachusetts Institute of Technology, School of Engineering.
4. Walters, R. A., and Werner, F. E., 1989. A comparison of two finite element models of tidal hydrodynamics using a North Sea data set. Advances in water resources, **12**(4): 184-193.
5. Le Provost, C., and Vincent, P., 1986. Some tests of precision for a finite element model of ocean tides. Journal of computational physics, **65**(2): 273-291.
6. Haidvogel, D. B., Robinson, A. R., and Schulman, E. E., 1980. The accuracy, efficiency, and stability of three numerical models with application to open ocean problems. Journal of computational Physics, **34**(1): 1-53.
7. Myers, P. G., and Weaver, A. J., 1995. A diagnostic barotropic finite-element ocean circulation model. Journal of Atmospheric and Oceanic Technology, **12**(3): 511-526.
8. Iskandarani, M., Haidvogel, D. B., and Boyd, J. P., 1995. A staggered spectral element model with application to the oceanic shallow water equations. International Journal for Numerical Methods in Fluids, **20**(5): 393-414.
9. Wunsch, C., and Stammer, D., 1997. Atmospheric loading and the oceanic "inverted barometer" effect. Reviews of Geophysics, **35**(1): 79-107.
10. Levin, J. G., Iskandarani, M., and Haidvogel, D. B., 1997. A spectral filtering

- procedure for eddy-resolving simulations with a spectral element ocean model. *Journal of Computational Physics*, **137**(1): 130-154.
11. *Levin, J. C., Iskandarani, M., & Haidvogel, D. B., 2006.* To continue or discontinue: Comparisons of continuous and discontinuous Galerkin formulations in a spectral element ocean model. *Ocean Modelling*, **15**(1): 56-70.
 12. *Curchitser, E. N., Iskandarani, M., and Haidvogel, D. B., 1998.* A spectral element solution of the shallow-water equations on multiprocessor computers. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, **15**(2): 510-521.
 13. *Behrens, J., 1996.* An adaptive semi-Lagrangian advection scheme and its parallelization. *Monthly weather review*, **124**(10): 2386-2395.
 14. *Le Roux, D. Y., Staniforth, A., and Lin, C. A., 1998.* Finite elements for shallow-water equation ocean models. *Monthly Weather Review*, **126**(7): 1931-1951.
 15. *Giraldo, F. X., 2006.* High-order triangle-based discontinuous Galerkin methods for hyperbolic equations on a rotating sphere. *Journal of Computational Physics*, **214**(2): 447-465.
 16. *Giraldo, F. X., and Warburton, T., 2008.* A high-order triangular discontinuous Galerkin oceanic shallow water model. *International journal for numerical methods in fluids*, **56**(7): 899-925.
 17. *Bùi Hồng Long, Trần Văn Chung, 2004.* Tính toán dòng chảy 3 chiều cho vùng cửa sông. *Tạp chí Khoa học và Công nghệ biển*, **4**(3): 43-53.
 18. *Bùi Hồng Long, Trần Văn Chung, 2005.* Tính toán các hằng số điều hòa thủy triều và ảnh hưởng của nước dâng do bão bằng phương pháp phân tích điều hòa thủy triều tại vịnh Nha Trang. *Tạp chí Khoa học và Công nghệ biển*, **5**(1): 14-24.
 19. *Bùi Hồng Long, Trần Văn Chung, 2005.* Một vài kết quả tính toán dòng triều theo mô hình ba chiều tại đầm Thị Nại. *Tạp chí Khoa học và Công nghệ biển*, **5**(Phụ trương 4): 10-22.
 20. *Bùi Hồng Long, Trần Văn Chung, 2006.* Tính toán thử nghiệm dòng chảy ba chiều (3D) cho vùng vịnh Vân Phong. *Tạp chí Khoa học và Công nghệ biển*, **6**(1): 12-27.
 21. *Bùi Hồng Long, Trần Văn Chung, 2006.* Tính toán dòng chảy cho vịnh Nha Trang. *Tạp chí Khoa học và Công nghệ biển*, **6**(4): 1-18.
 22. *Cushman-Roisin, B., and Naimie, C. E., 2002.* A 3D finite-element model of the Adriatic tides. *Journal of Marine Systems*, **37**(4): 279-297.
 23. *Greenberg, D. A., Shore, J. A., Page, F. H., and Dowd, M., 2005.* A finite element circulation model for embayments with drying intertidal areas and its application to the Quoddy region of the Bay of Fundy. *Ocean Modelling*, **10**(1): 211-231.
 24. *Haidvogel, D. B., Curchitser, E., Iskandarani, M., Hughes, R., and Taylor, M., 1997.* Global modelling of the ocean and atmosphere using the spectral element method. *Atmosphere-Ocean*, **35**(sup1): 505-531.
 25. *Hanert, E., Legat, V., and Deleersnijder, É., 2003.* A comparison of three finite elements to solve the linear shallow water equations. *Ocean Modelling*, **5**(1): 17-35.
 26. *Kashiyama, K., Saitoh, K., Behr, M., and Tezduyar, T. E., 1997.* Parallel finite element methods for large-scale computation of storm surges and tidal flows. *International journal for numerical methods in fluids*, **24**(12): 1371-1389.
 27. *Kowalik, Z., and Murty, T. S., 1993.* Numerical modeling of ocean dynamics (Vol. 481). Singapore: World Scientific.
 28. *Legrand, S., Legat, V., & Deleersnijder, E., 2000.* Delaunay mesh generation for an unstructured-grid ocean general circulation model. *Ocean Modelling*, **2**(1): 17-28.
 29. Chương trình biển cấp Nhà nước KHCN - 06. Phạm Văn Ninh - Chủ biên (1996-2000), *Biển Đông - Khí tượng thủy văn và*

- động lực biển, Tập 2, Nxb. Đại Học Quốc Gia Hà Nội, 2003, 565 tr .
30. Nechaev, D., Schröter, J., and Yaremchuk, M., 2003. A diagnostic stabilized finite-element ocean circulation model. *Ocean Modelling*, **5**(1): 37-63.
31. Taylor, M., Tribbia, J., and Iskandarani, M., 1997. The spectral element method for the shallow water equations on the sphere. *Journal of Computational Physics*, **130**(1): 92-108.
32. Dobrindt, U., and Schröter, J., 2003). An adjoint ocean model using finite elements: An application to the South Atlantic. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, **20**(3): 392-407.

CALCULATIONS OF TIDAL CURRENTS IN BAY LAGOON (NHA TRANG BAY) USING FINITE ELEMENT METHOD

Bui Hong Long, Tran Van Chung

Institute of Oceanography -VAST

ABSTRACT: *At present, development activities are vigorously going on in Bay lagoon (Nha Trang bay). Therefore, investigation into the natural and environmental conditions in this area, including the study and calculations of current regime is very necessary and pressing. However, modeling the current regime in this lagoon is not simple task because of many islands located in the study area ... Their existence makes the long wave transmission into the bay more complex and local-specific. Therefore, as we study the current regime here, great attention is paid to the detailization of the coastal boundaries. Using the finite element method (FEM) for calculating the tidal currents has solved difficulties which have been faced by the finite difference method (FDM) used previously. Initial research results show that the outcomes by FEM agreed well with the field data measured at random times. From the results computed by FEM, we have following remarks on the tidal current regime in this bay:*

At ebb tide, tidal current velocity can reach 22.9 cm/s with direction of 137.3° , usually at 19.2 m in depth.

At flood tide, tidal current velocity can reach 19.4 cm/s with direction of 353.8° , at 1.0 m in depth.

The comparison between the modeling sea levels and field measurements at the same position shows the largest deviation being 19.1 cm, the average being 10 cm, and the smallest one being 0.

Keywords: *Tidal current, finite element method (FEM), Bay lagoon, Nha Trang bay.*