

# VỀ MỘT MÔ HÌNH HAI CHIỀU KHÔNG DỪNG TÍNH TOÁN DÒNG CHẢY VỊNH GÀNH RÁI

Võ Thanh Tân, Lê Quang Toại

Trường Đại học Khoa học tự nhiên, Đại học quốc gia TP.HCM

**Tóm tắt:** Mô hình hai chiều không dừng có tính đến các thành phần phi tuyến và ma sát rối ngang được áp dụng để nghiên cứu dòng chảy vịnh Gành Rái. Với phương pháp phần tử hữu hạn tuyến tính và sử dụng phương pháp lặp để đánh giá các số hạng phi tuyến và tính phi tuyến của ma sát tại đáy biển. Mô hình được xây dựng với trường ứng suất gió trên bề mặt biển có thể thay đổi theo thời gian và không gian trong cả mạng lưới tính toán. Sự ảnh hưởng của độ sâu đáy biển lên dòng chảy được đánh giá bằng cách so sánh dòng chảy tính toán với dòng chảy có độ sâu đáy biển không đổi. Hai phương án thực nghiệm số trị khác nhau được áp dụng vào mô hình là tính toán dòng chảy vịnh Gành Rái với dao động mực nước biển tuần hoàn trên biên lỏng và dòng chảy gió ứng với các trường gió mùa đặc trưng trong năm.

## 1. Mở đầu

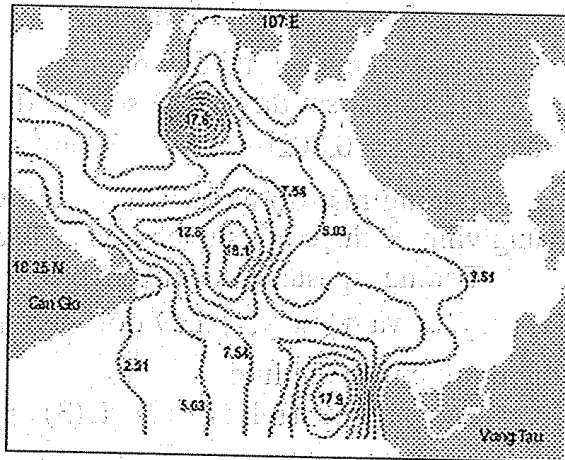
Vịnh Gành Rái nằm về phía tây bắc thành phố Vũng Tàu với chiều dài khoảng 25km và rộng khoảng 12km, tương ứng với vĩ độ từ  $10^{\circ}20'N$  đến  $10^{\circ}30'N$  và kinh độ từ  $106^{\circ}50'E$  đến  $107^{\circ}08'E$ . Nhiều nhánh sông của hệ thống sông Đồng Nai đổ vào vịnh từ phía bắc. Vịnh Gành Rái thông với biển Đông qua cửa vịnh rộng khoảng 10km về phía nam từ Vũng Tàu đến Cạn Giò. Độ sâu vịnh Gành Rái biến đổi rất phức tạp, trung bình khoảng chừng 7m - 8m, độ sâu lớn nhất khoảng chừng 26m ở gần cửa vịnh về phía Vũng Tàu, sau đó giảm dần về phía trung tâm vịnh. Khu vực giữa vịnh có độ sâu khoảng 12m và giảm về phía các bờ.

Thủy triều trên vịnh Gành Rái thuộc loại bán nhật triều không đều, dao động mực nước biển đổi trong khoảng  $\pm 1,5m$ . Hệ thống dòng chảy phụ thuộc đồng thời vào thủy triều cũng như chế độ gió. Ngoài ra, tính phức tạp của độ sâu đáy biển cũng là một nhân tố đáng kể làm ảnh hưởng dòng chảy trên toàn vùng vịnh.

Một số công trình nghiên cứu trước đây đã từng bước nghiên cứu các đặc trưng thủy động học vịnh Gành Rái với phương pháp sai phân hữu hạn. Ngày nay, với sự phát triển nhanh chóng của máy tính điện tử, phương pháp phần tử hữu hạn dần dần được áp dụng cho các bài toán thủy văn và thu được các kết quả khả quan.

## 2. Thiết lập mô hình

Để tính toán dòng chảy vịnh Gành Rái, chúng tôi áp dụng mô hình hai chiều không dừng có tính đến các yếu tố phi tuyến, ma sát rối ngang, sự thay đổi của độ



Hình 1. Bản đồ độ sâu vịnh Gành Rái được nội suy từ thuật toán của chương trình Matlab

sâu đáy biển và mật độ nước biển theo không gian và trường ứng suất tiếp tuyến gió trên mặt biển thay đổi theo thời gian và biến đổi trên toàn bộ mạng lưới tính toán. Phương pháp số trị được áp dụng để giải bài toán là phương pháp phần tử hữu hạn.

Các phương trình xuất phát có dạng như sau:

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} - f v = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p_a}{\partial x} - \frac{\partial \zeta}{\partial x} + \frac{\tau_x^s}{\rho(H+\zeta)} - \frac{r u \sqrt{u^2 + v^2}}{(H+\zeta)} + A_t \Delta u \quad (1)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + f u = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p_a}{\partial y} - \frac{\partial \zeta}{\partial y} + \frac{\tau_y^s}{\rho(H+\zeta)} - \frac{r v \sqrt{u^2 + v^2}}{(H+\zeta)} + A_t \Delta v \quad (2)$$

$$\frac{\partial u(H+\zeta)}{\partial x} + \frac{\partial v(H+\zeta)}{\partial y} + \frac{\partial \zeta}{\partial t} = 0 \quad (3)$$

trong đó

$u, v$  : các thành phần vận tốc nằm ngang được lấy trung bình theo độ sâu,

$\zeta$  : độ dâng mực nước tính từ mặt biển không nhiễu động,

$f = 2\omega \sin \varphi$  : tham số Coriolis, và

$\omega = 7,2921 \cdot 10^{-5} \text{ s}^{-1}$  : vận tốc góc của trái đất,

$\varphi$  - vĩ độ địa lý, được lấy trung bình cho toàn vùng vịnh là  $\varphi = 10^\circ 25' \text{ N}$ ,

$\rho$  : mật độ nước biển,

$H$  : độ sâu biển, được tính từ đáy biển đến mặt biển không nhiễu động,

$p_a$  : áp suất khí quyển tại bề mặt biển,

$\tau_x^s$  và  $\tau_y^s$  : các thành phần ứng suất tiếp tuyến gió trên bề mặt biển,

$A_t$  : hệ số trao đổi rối ngang,

$r$  : hệ số ma sát tại đáy biển.

Hệ số ma sát đáy và hệ số trao đổi rối ngang được xem là không đổi trên toàn vùng vịnh,  $r = 0,0026$  và  $A_t = 800 \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$ .

Trường mật độ nước biển  $\rho(x,y)$  và độ sâu đáy biển  $H(x,y)$  biến đổi trên toàn vùng vịnh và được nội suy cho tất cả các điểm nút trên toàn bộ mạng lưới tính toán.

Trường áp suất khí quyển  $p_a(x,y,t)$  và ứng suất tiếp tuyến gió trên mặt biển  $\tau_x^s(x,y,t)$  và  $\tau_y^s(x,y,t)$  thay đổi theo thời gian và cũng được nội suy cho tất cả các điểm nút của mạng lưới.

Các phương trình (1), (2) và (3) được khép kín bởi điều kiện biên

$$\text{Trên biên rắn: } \vec{V} \cdot \vec{n} \Big|_{G_1} = 0 \quad (\text{điều kiện trượt}) \quad (4)$$

$$\text{Trên biên lỏng: } \zeta \Big|_{G_2} = \zeta_0 \quad (\text{dao động mực nước tuần hoàn trên biên lỏng}) \quad (5)$$

### 3. Phương pháp giải bài toán

Bài toán được giải bằng phương pháp phần tử hữu hạn. Toàn bộ mạng lưới được chia thành 200 điểm nút và 337 phần tử là các tam giác cân có cạnh đáy 1050m theo phương đông - tây và đường cao 1050m theo phương bắc - nam.

Giá trị các thành phần vận tốc dòng chảy theo phương ngang  $u$  và  $v$  bên trong mỗi phần tử được xấp xỉ một cách tuyến tính quanh các điểm nút của nó như sau:

$$\tilde{u}(x, y, t) = u_i(t) \Phi_i(x, y) + u_j(t) \Phi_j(x, y) + u_m(t) \Phi_m(x, y)$$

$$\tilde{v}(x, y, t) = v_i(t) \Phi_i(x, y) + v_j(t) \Phi_j(x, y) + v_m(t) \Phi_m(x, y)$$

$$\tilde{\zeta}(x, y, t) = \zeta_i(t) \Phi_i(x, y) + \zeta_j(t) \Phi_j(x, y) + \zeta_m(t) \Phi_m(x, y) \quad (6)$$

trong đó  $\Phi_k(x, y)$  là các hàm dạng tuyến tính sao cho

$$\Phi_k(x_i, y_i) = \delta_{ki} = \begin{cases} 0 & k \neq i \\ 1 & k = i \end{cases} \quad (k = i, j, m)$$

Ngoài ra, trường khí áp và ứng suất tiếp tuyến gió trên mặt biển đã biết tại các nút cũng được xấp xỉ trong mỗi phần tử với cùng một hàm dạng như các thành phần  $u$ ,  $v$  và  $\zeta$  tương tự các phương trình (6).

Áp dụng phương pháp thặng dư Galerkin và sau đó liên kết các ma trận cục bộ của mỗi phần tử để được các ma trận toàn cục cho toàn bộ mạng lưới tính toán, bài toán được giải bằng phương pháp lặp theo thời gian. Nói cách khác, cuối cùng ta thu được các ma trận có dạng:

$$[A] \left\{ \dot{X} \right\} = \{C\} \quad (7)$$

trong đó  $[A]$  là ma trận  $n \times n$  và  $\{C\}$  là ma trận cột  $n$  phần tử, với  $n$  là số điểm nút của mạng lưới.  $\{X\}$  là ma trận các đạo hàm của các thành phần vận tốc theo phương ngang  $u, v$  và độ dâng mực nước  $\zeta$ .

Phương trình (7) được giải bằng phương pháp sai phân hữu hạn theo thời gian

$$[A] \{X\}_n = \{C\}_{n-1} \Delta t + [A] \{X\}_{n-1} \quad (8)$$

Ứng với mỗi bước lặp thời gian từ  $t$  đến  $t + \Delta t$  được chia làm ba bước tính nhỏ:

- Tính các thành phần vận tốc dòng chảy  $u$  và  $v$  ứng với thời điểm  $t + \frac{1}{2} \Delta t$ .
- Tính độ dâng mực nước biển  $\zeta$  ứng với thời điểm  $t + \Delta t$ .
- Tính các thành phần vận tốc dòng chảy  $u$  và  $v$  ứng với thời điểm  $t + \Delta t$ .

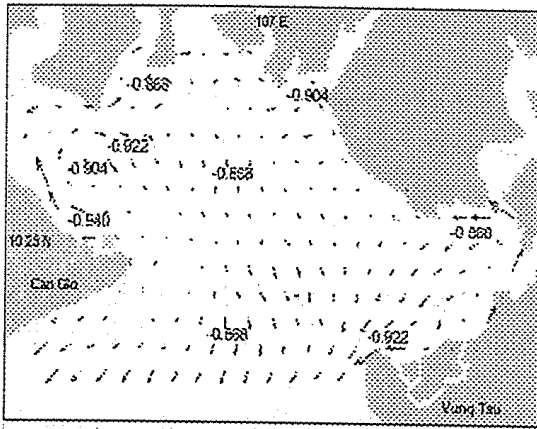
Với phương pháp lặp, ngoài việc tính toán được các bài toán không dừng, nó còn được áp dụng để đánh giá các số hạng phi tuyến. Các thành phần phi tuyến và ứng suất ma sát đáy được tính toán ở bước thời gian trước được áp dụng để tính cho các thành phần vận tốc  $u$ ,  $v$  và mực nước  $\zeta$  ở bước thời gian sau. Phương pháp này đã được một số tác giả áp dụng để tính các bài toán phi tuyến (Naimie, 1994) hay các bài toán truyền nhiệt và vận chuyển hợp chất (Lynch, 1996).

#### 4. Thực nghiệm số trị

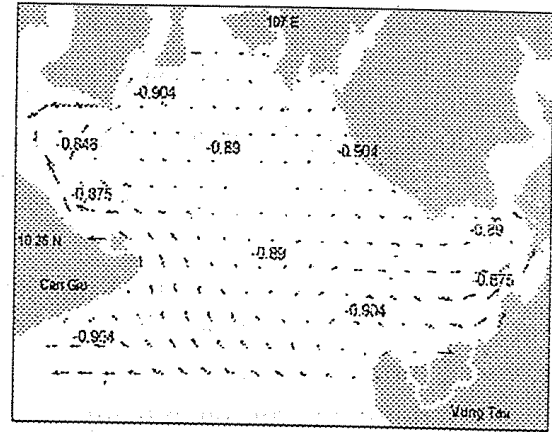
Sự chênh lệch dao động mực nước từ Vũng Tàu đến Cần Giờ rất ít nên tại tất cả các điểm nút từ Vũng Tàu đến Cần Giờ giá trị dao động mực nước có thể được nội suy tuyến tính theo hai giá trị ở hai trạm đo đó và chúng được lấy làm điều kiện trên biên lỏng (5).

Do chưa có điều kiện thu thập số liệu về thông lượng từ các nhánh sông đổ vào vịnh nên chúng tôi xem toàn bộ các biên còn lại đều là biên rắn và áp dụng điều kiện trượt (4).

Vận tốc gió tại các trạm đo được nội suy tuyến tính theo thời gian và trên toàn bộ mạng lưới tính toán cho tất cả các nút. Giá trị thực nghiệm của trường ứng suất tiếp tuyến gió được tính theo mật độ không khí  $\rho_a$ , vận tốc gió  $W$  ở độ cao 10m trên mặt biển và hệ số  $C_{10}$  bằng công thức thực nghiệm Garratt.



Hình 2a



Hình 2b

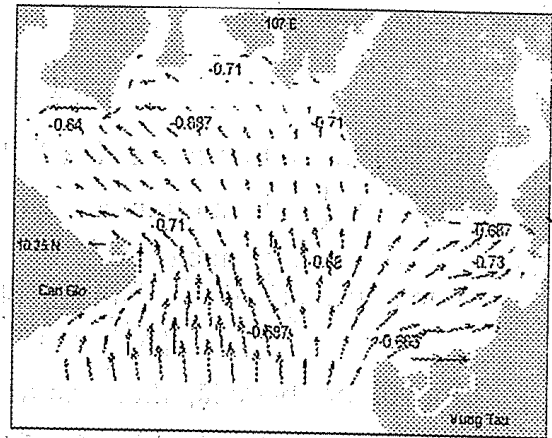
Hình 2abc thể hiện dòng chảy đang chuyển hướng lúc mực nước thấp nhất và độ nâng cao mực nước so với mặt biển không nhiều đồng cách nhau từng giờ một.

→ : 0,3m/s

Khoảng thời gian giữa các lần lặp được chọn là  $\Delta t = 36s$  và kết quả được ghi nhận sau hai chu kỳ dao động mực nước. Nhìn chung, dòng chảy vào vịnh nhỏ hơn một ít so với dòng chảy thoát ra khỏi vịnh. Giá trị cực đại của dòng thoát ra khỏi vịnh khoảng 0,55m/s nằm ngay tại giữa cửa vịnh, trong khi đó giá trị cực đại của dòng vào là 0,5m/s cũng ngay tại nơi ấy. Giá trị trung bình của dòng chảy trên toàn vịnh khoảng chừng 0,15m/s. Khu vực phía bắc của vịnh, dòng chảy có giá trị nhỏ. Phía cửa vịnh dòng chảy tương đối lớn, giá trị cực đại của dòng chảy ngay giữa cửa vịnh. Tại các biên rạn, nơi điều kiện biên trượt được áp dụng, dòng chảy có giá trị nhỏ.

Trong khoảng thời gian dòng chảy đối chiều, tức là lúc mực nước cao nhất hay là thấp nhất, sự phân bố dòng chảy trên toàn vịnh hết sức phức tạp, một số nơi hình thành nên các xoáy. Tại phía đông và phía tây bắc của vịnh hình thành các vực nước nhỏ có độ dâng mực nước cao hơn chung quanh khi nước rút và thấp hơn chung quanh khi nước dâng, tức là có hiện tượng trễ pha dao động của các vực nước này so với chung quanh chúng. Tuy nhiên, điều này cần phải được khảo sát thêm vì những nơi này chịu ảnh hưởng trực tiếp của lưu lượng nước từ các nhánh sông đổ vào vịnh mà trong phân tích toán chúng tôi đã bỏ qua vì chưa có đủ điều kiện thu thập tài liệu về lưu lượng nước từ các nhánh sông con của hệ thống sông Đồng Nai tiếp giáp với vịnh Gành Rái.

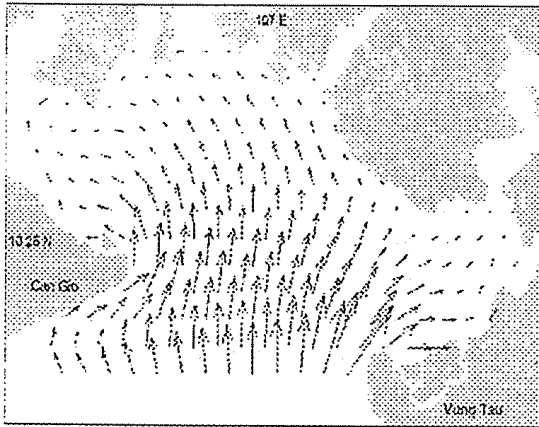
Tính phức tạp của đáy biển ảnh hưởng rất mạnh lên dòng chảy. Nhìn chung, với hiệu ứng của phương trình liên tục (3), dòng chảy trung bình phát triển mạnh hơn ở vùng đáy biển nông. Tuy nhiên, vùng gần bờ, mặc dù đáy biển nông, dòng chảy vẫn tương đối nhỏ vì lưu lượng nước tới nơi đó không nhiều. Từ các hình 4ab, chúng ta có thể nhận xét về ảnh hưởng của độ sâu đáy biển lên dòng chảy. Trong trường hợp đáy biển phẳng, dòng chảy phát triển tương đối đều đặn khắp vịnh, mạnh ở phía cửa vịnh và yếu đi ở vùng phía bắc, nơi mà điều kiện biên rạn được áp dụng.



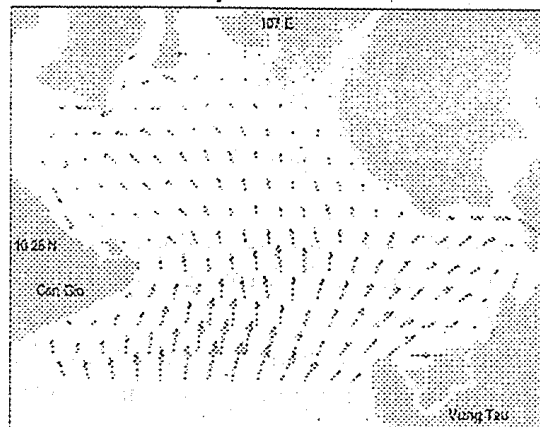
Hình 2c

Để tính ảnh hưởng của độ sâu đáy biển lên dòng chảy, chúng tôi tính toán trong ba trường hợp với cùng một điều kiện như nhau là giá trị dao động mực nước ngang với mực biển không nhiều động và dòng chảy đang hướng vào trong vịnh. Ba trường hợp đó như sau:

- Đáy biển phẳng có độ sâu nhỏ 4m,
- Đáy biển phẳng có độ sâu trung bình 8m,
- Đáy biển thực.



Hình 3a



Hình 3b

Hình 3a mô tả dòng chảy trong trường hợp đáy biển phẳng có độ sâu nhỏ và bằng 4m trên toàn vịnh và hình 3b với đáy biển thực - trong điều kiện dao động mực nước ngang với mức không nhiều động.

Với đáy biển có độ sâu nhỏ (4m) dòng chảy phát triển rất mạnh ở cửa vịnh, giá trị cực đại là 1m/s ở gần Vũng Tàu (hình 3a), tuy nhiên với độ sâu đồng nhất và lớn hơn (8m - giá trị trung bình của độ sâu trên toàn vịnh), dòng chảy có giá trị cực đại là 0,27m/s ở ngay giữa cửa vịnh (không trình bày bằng hình vẽ) và với đáy biển thực giá trị cực đại của dòng chảy là 0,37m/s cũng ở ngay giữa cửa vịnh (hình 3b). Với sự khác biệt như trên, chúng ta có thể nhận thấy độ sâu đáy biển có một ảnh hưởng nhất định lên hệ thống dòng chảy vịnh Gành Rái mà rõ rệt nhất là phía cửa vịnh.

## 5. Dòng chảy gió

Dòng chảy gió có một vai trò quan trọng trong sự hình thành hệ thống hoàn lưu nói chung và đặc biệt trong thời kỳ gió mùa nói riêng. Khu vực phía nam Việt Nam, mỗi năm chịu ảnh hưởng bởi hai hệ thống gió mùa có đặc trưng là các tháng IV và tháng XII.

Với tài liệu thu thập được về trường gió vào tháng XII-1987 và IV-1988 trong khu vực vịnh Gành Rái tại Trung tâm Khí tượng Thủy văn, chúng ta có thể phân tích một cách sơ lược như sau:

Trong tháng IV-1988, hướng gió chủ yếu là hướng đông (E) và đôi khi là hướng đông-nam (SE) với giá trị trung bình vào khoảng 4,4m/s - 4,8m/s. Trong đợt đo vào tháng XII-1987, hướng và độ lớn của gió thay đổi một cách phức tạp, tuy nhiên tần suất xuất hiện gió bắc (N) là nhiều nhất vì ảnh hưởng của khối không khí lạnh từ Sibêri đổ về với giá trị trung bình của vận tốc gió là 4,1m/s.

Để tính toán dòng chảy gió ứng với thời kỳ gió mùa, chúng tôi sử dụng trường gió trung bình tháng IV-1988 có hướng đông và đông - nam và trường gió trung bình tháng XII-1987 có hướng bắc.

Các phương trình xuất phát để tính toán dòng chảy gió như sau:

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} - f v = -\frac{\partial \zeta}{\partial x} + \frac{\tau_x^s}{\rho(H+\zeta)} - \frac{r u \sqrt{u^2 + v^2}}{(H+\zeta)} + A_r \Delta u \quad (9)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + f u = -\frac{\partial \zeta}{\partial y} + \frac{\tau_y^s}{\rho(H+\zeta)} - \frac{r v \sqrt{u^2 + v^2}}{(H+\zeta)} + A_r \Delta v \quad (10)$$

$$\frac{\partial u(H+\zeta)}{\partial x} + \frac{\partial v(H+\zeta)}{\partial y} + \frac{\partial \zeta}{\partial t} = 0 \quad (11)$$

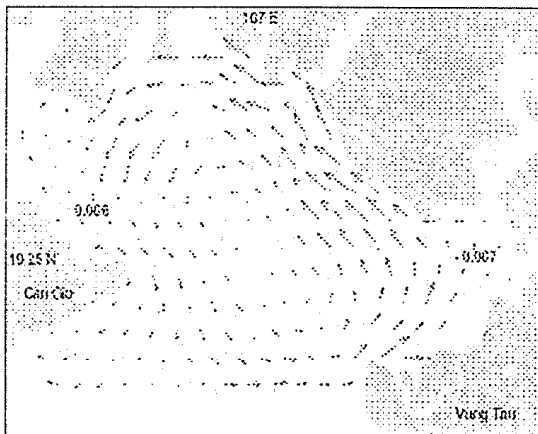
với các điều kiện biên

$$\text{Tại biên rắn: } \bar{V} \cdot \bar{n} \Big|_{G1} = 0 \quad (12)$$

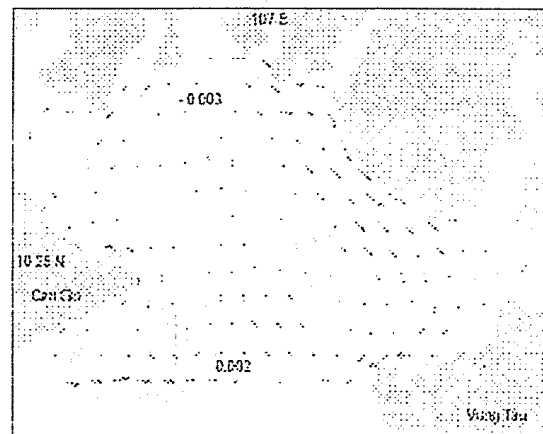
$$\text{Tại biên lỏng: } \bar{V} \cdot \bar{n} \Big|_{G2} = \zeta \sqrt{\frac{g}{(H+\zeta)}} \Big|_{G2} \quad (13)$$

Giá trị ứng suất tiếp tuyến gió vẫn được tính như trước với trường vận tốc gió trung bình tháng IV và tháng XII. Thuật toán được áp dụng tương tự như các phương trình (7) và (8).

Kết quả tính toán dòng chảy gió thể hiện trên các hình 4a (dòng chảy gió tháng IV) và hình 4b (dòng chảy gió tháng XII).



Hình 4a



Hình 4b

→ : 0,1m/s

Dòng chảy gió trong trường gió mùa tháng IV (hình 4a) và tháng XII (hình 4b)

Vào tháng IV, với trường gió đông, dòng chảy phát triển mạnh ở bờ đông của vịnh, giá trị cực đại của dòng chảy ở khu vực này là 6cm/s. Một điểm đặc biệt trong hệ thống dòng chảy gió tháng IV là một xoáy nước ngược chiều kim đồng hồ hình thành ngay trung tâm của vịnh. Giá trị trung bình của dòng chảy trên toàn vùng vịnh là 2cm/s. Với hiệu ứng gió đông, bờ tây của vịnh có sự dâng cao mực nước hơn so với bờ đông, tuy nhiên hiệu ứng này rất bé.

Vào tháng XII, với trường gió bắc, dòng chảy vẫn phát triển mạnh tại bờ đông, tuy nhiên không mạnh bằng vào thời kỳ gió mùa tháng IV, giá trị cực đại dòng chảy gió trong khu vực này chỉ là 2,4cm/s. Hai bên bờ đông và tây của vịnh, dòng chảy phát triển về hướng nam, trong khi đó ngay giữa vịnh, dòng chảy phát triển lên hướng bắc, kết quả là hai xoáy nước nhỏ được hình thành trong vịnh, xoáy nước thuận chiều kim đồng hồ hình thành rõ rệt hơn nằm về phía đông của vịnh so với

xoáy ngược chiều kim đồng hồ nằm về phía tây. Giá trị trung bình của dòng chảy gió tháng XII trên toàn vùng vịnh vào khoảng 0,7cm/s.

## 6. Nhận xét và kết luận

Hệ thống dòng chảy vịnh Gành Rái đã được tính toán với hai phương án khác nhau là dòng chảy dưới tác dụng của dao động nước tuần hoàn và dòng chảy gió trong các trường gió mùa đặc trưng trong năm. Bài toán được giải bằng phương pháp phần tử hữu hạn hai chiều không dừng. Với mô hình không dừng và áp dụng phương pháp phần tử hữu hạn, các yếu tố phi tuyến và ma sát đáy đã được tính toán và chúng có một ảnh hưởng nhất định lên hệ thống dòng chảy, mặc dù qua thực nghiệm số trị, sự ảnh hưởng này là không đáng kể, tuy nhiên thời gian thực hiện trên máy tính rất lâu. Do đó, nếu bỏ qua các số hạng phi tuyến và đồng thời chỉ quan tâm đến bài toán dừng tương ứng thì mô hình này trở nên hiệu quả. Tính khả thi trong việc áp dụng sự biến đổi theo không gian của độ sâu đáy biển và trường ứng suất tiếp tuyến gió trên bề mặt biển làm cho mô hình thích hợp với những nơi có đáy biển hay trường gió trên mặt biển biến đổi phức tạp.

Tuy nhiên, với mạng lưới các tam giác đồng nhất, các hạn chế của mô hình được bộc lộ rõ đối với các miền có đường bờ phức tạp hay các bài toán đa biên và chưa thể hiện được các ưu thế của phương pháp phần tử hữu hạn so với các phương pháp số trị khác. Nhược điểm của mô hình có thể được khắc phục với phép chia tam giác Delaunay sẽ được áp dụng trong các hướng nghiên cứu sau này.

## Tài liệu tham khảo

1. DAVID S. BURNETT, *Finite element analysis*, Addison-Wesley publishing company, 1987.
2. DAVID A. GREENBERG, *A Diagnostic finite element ocean circulation model in spherical-polar coordinates*, Journal of atmospheric and oceanic technology, volume 15, pp. 942 — 958, 1997.
3. Z. KOWALIK — T. S. MURTY, *Numerical modeling of ocean dynamics*, Advanced series on ocean engineering, vol. 5, World Scientific, 1993.
4. O. C. ZIENKIEWICZ — K. MORGAN, *Finite elements and approximation*, A Wiley-Interscience Publication, 1983.
5. LE QUANG TOAI - VO THANH TAN, *Dòng chảy gió trong biển*, Hội nghị khoa học trường Đại học Khoa học tự nhiên lần 1, 1998.
6. DINH VAN UU - DOAN BO - PHAM HUAN, *Mô hình tính toán và dự báo biến động trạng thái môi trường nước biển*, Hội nghị KHCN biển toàn quốc lần 4, 1998.