

## Tạp chí Khoa học Kỹ thuật Mỏ - Địa chất

Trang điện tử: <http://tapchi.humg.edu.vn>

# Mô phỏng dòng chảy trong môi trường rỗng bằng mô hình $K - \omega SST$

Nguyễn Thị Hải Yến\*, Nguyễn Văn Thịnh, Nguyễn Thanh Tuấn, Vũ Cúc Phương

Khoa Dầu khí, Trường Đại học Mỏ - Địa chất, Việt Nam

### THÔNG TIN BÀI BÁO

### TÓM TẮT

#### Quá trình:

Nhận bài 18/12/2018  
Chấp nhận 25/01/2019  
Đăng online 28/02/2019

#### Từ khóa:

Môi trường rỗng  
Mô hình hóa  
Computational  
Dynamics (CFD) Fluid

Nghiên cứu trường dòng chảy khi có mặt của vật cản trong môi trường biển có thể được thực hiện nhờ các phương pháp mô phỏng CFD (Computational fluid dynamics) hoặc các mô hình tính toán lý thuyết dựa trên phương trình dòng chảy Navier - Stokes. Có nhiều phương pháp và mô hình mô phỏng hiện đang được sử dụng để giải quyết bài toán này như mô hình Standard  $k - \epsilon$ , Wilcox  $k - \omega$ , SST  $k - \omega$ ... Trong đó, mô hình mô phỏng dòng chảy rối  $k - \omega SST$  được sử dụng để mô phỏng dòng chảy. Để mô phỏng vật thể rỗng trong môi trường biển, tác giả sử dụng lý thuyết môi trường rỗng (porous media). Độ rỗng của vật thể được thay đổi liên tục trong mỗi lần tính mô phỏng nhờ thay đổi hệ số kéo  $C_{net}$  nhằm tăng tính đa dạng đối tượng nghiên cứu. Kết quả tính toán mô phỏng cho phép khẳng định sự phân hóa của dòng chảy khi gặp vật thể rỗng, sự giảm vận tốc của chất lỏng khi đi qua vật cản này và sự xuất hiện của một trường dòng luân chuyển phía sau vật thể rỗng khi độ rỗng của vật thể nhỏ. Mô hình này cũng cho phép xác định được cường độ rối  $I$ , ứng suất cắt  $\tau_w$  trong miền tính toán. Các kết quả sau đó được so sánh với các nghiên cứu cùng chủ đề và một số kết quả tính toán lý thuyết để đánh giá tính khả thi và độ chính xác của mô hình mô phỏng.

© 2019 Trường Đại học Mỏ - Địa chất. Tất cả các quyền được bảo đảm.

## 1. Mở đầu

Phương pháp mô phỏng được xem là phương pháp nghiên cứu vô cùng hiệu quả nhờ khả năng xử lý được những bài toán khó mà phương pháp thí nghiệm hay thực nghiệm không giải quyết được. Phương pháp này giúp tiết kiệm thời gian tiến hành, giảm kinh phí cho nguyên vật liệu, tránh được những rủi ro, nguy hiểm có thể gặp phải khi

nghiên cứu trong điều kiện thực, giảm thiểu ảnh hưởng xấu tới môi trường v.v,... Đặc biệt nó còn cho phép giải quyết những vấn đề có đối tượng nghiên cứu rất khó hoặc không thể tiếp cận được trong điều kiện thực.

Hiện nay tại Việt Nam có rất ít công trình được ghi nhận sử dụng phương pháp mô phỏng để nghiên cứu chuyển động của dòng chảy chất lỏng qua các vật thể rỗng (hay vật thể có độ rỗng) - đối tượng nghiên cứu của bài báo. Hầu hết các phương pháp tiếp cận điển hình để giải bài toán mô phỏng dòng chảy biển đều dựa trên phương

\*Tác giả liên hệ

E - mail: [nguyenthihaiyen@humg.edu.vn](mailto:nguyenthihaiyen@humg.edu.vn)

trình Saint - Venant trong không gian 2 chiều viết cho mặt phẳng ngang (Candel, 1995). Phương trình này cho biết vận tốc của dòng chảy trung bình trên chiều sâu cột nước và dự đoán hiệu quả tương tác dòng/cấu trúc dòng trên diện rộng. Phương pháp mô phỏng dòng chảy dựa trên phương trình này có tính chính xác cao, giảm được thời gian tính toán mô phỏng cho máy tính. Tuy nhiên, nó không cho phép nghiên cứu chuyển động theo phương thẳng đứng của chất lỏng và những biến động của dòng chảy trong thời gian ngắn. Do đó, các phương trình phù hợp sẽ được xây dựng trong các phần tiếp theo của bài báo để giải quyết bài toán này.

Nghiên cứu trường dòng chảy khi có sự có mặt của vật cản có thể được thực hiện qua các mô phỏng CFD (Computational fluid dynamics) và các tính toán lý thuyết theo áp dụng cho dòng chảy theo phương thẳng đứng. Có nhiều phương pháp mô phỏng hiện đang được sử dụng để giải quyết bài toán này như phương pháp Lattice Boltzmann, DNS (Direct Numerical Simulation), LES (Large Eddy Simulation), RANS (Reynolds Averaged Navier - Stokes)... Trong đó, thuật toán sử dụng UDF (User - Defined Function) tích hợp cho phần

mềm Fluent là phương pháp tương đối đơn giản nhưng có tính chính xác cao, thời gian chạy mô phỏng không nhiều và cho phép quan sát trực tiếp quá trình máy tính toán; đồng thời cho phép trích xuất phong phú các kết quả sau mỗi lần chạy.

Để đặc tả một vật thể rỗng trong bài toán này, phương pháp phương tiện rỗng (porous media) được kiến nghị sử dụng bởi khả năng đơn giản hóa cấu trúc rỗng rỗng của vật thể (Bi et al., 2015). Tuy nhiên, việc tìm ra các hệ số đặc trưng cho môi trường rỗng này là rất khó và mang tính tương đối. Trong bài báo, chúng tôi sử dụng hệ số  $C_{net}$  để biểu diễn cho khả năng cản dòng chảy của vật thể rỗng. Dựa trên so sánh về các mô hình mô phỏng dòng chảy rối hiện nay, chúng tôi chọn ra một mô hình phù hợp nhất để tiến hành mô phỏng.

## 2. Các phương pháp CFD (computational fluid dynamics)

### 2.1. Ưu, nhược điểm của các mô hình mô phỏng dòng chảy rối

Dòng chảy rối được đặc trưng bởi các trường biến thiên vận tốc (Bảng 1).

Bảng 1. Các mô hình mô phỏng dòng chảy rối.

| Mô hình  | Ưu điểm   | Nhược điểm   |
|--|---|--|
| Mô hình dòng hỗn hợp (mixing - length model)                       | Dễ thực hiện, không yêu cầu quá nhiều tài nguyên sử dụng trong quá trình tính toán, cho phép mô phỏng ổn định trong thời gian dài. Thích hợp cho mô phỏng các lớp tầng trượt/lớp cắt mỏng (shear - layer).  | Không sử dụng được với các dòng chảy có sự phân ly dòng hoặc có sự xuất hiện dòng luân chuyển (separation/recirculation).      |
| Spalart - Allmaras.  | Phương pháp này cho kết quả tốt đối với dòng chảy có adverse pressure gradient (gradient áp suất bất lợi - dòng chảy có áp suất tĩnh tăng theo hướng dòng chảy $dP/dx > 0$ ). Thích hợp cho tính toán khí động học ngoại biên (external aerodynamics).  | Định nghĩa chiều dài scale phức tạp sẽ dẫn đến dạng hình học mô phỏng phức tạp, gây khó khăn cho quá trình tính toán mô phỏng. |
| Standard $k - \varepsilon$ (mô hình $k - \varepsilon$ tiêu chuẩn). | Đơn giản, khi mô phỏng chỉ cần cung cấp các thông tin đầu vào và/hoặc các điều kiện biên cần thiết. Có thể dùng cho rất nhiều loại dòng chảy tương đương. Một trong những mô hình được công nhận có hiệu quả nhất.  | Đối với các dòng chảy có gradient áp suất bất lợi, có sự phân tách dòng và dòng luân chuyển, mô hình này cho kết quả kém.      |
| Wilcox $k - \omega$ (standard $k - \omega$ ).                      | Không cần sử dụng các hàm damping function cho chế độ chảy có hệ số Reynolds nhỏ khi giải tích phân dòng chảy. Điều kiện biên rối đã được định nghĩa trước tại biên đối với mô hình này ( $k = 0, \omega \rightarrow \infty$ ).   | Mô hình này dự đoán quá sớm và cường đại sự phân tách dòng.  |
| SST $k - \omega$   | Việc kết hợp nhiều phương trình mô phỏng cho phép mô hình này kết hợp sử dụng phương trình $k - \omega$ gần biên và phương trình $k - \varepsilon$ tại các vùng chảy rối xa biên miền tính toán. Phương trình này thích với tuyệt vời với cả dòng chảy có hoặc không có gradient áp suất bất lợi. | Do sử dụng kết hợp nhiều phương trình nên mô hình này phức tạp hơn và yêu cầu nhiều tài nguyên tính toán hơn.                  |

Khi các biến thiên vận tốc ở mức độ nhỏ với tần số biến thiên lớn thì việc tính toán chúng tương đối phức tạp. Trong tính toán mô phỏng dòng chảy rối, một trong những mục tiêu chính là xây dựng được mô hình mô phỏng để dự đoán các đại lượng cần tính (các thành phần ứng suất rối). Cùng với độ phức tạp của của các mô hình dòng chảy (như mô hình đại số, mô hình một phương trình, mô hình hai phương trình và mô hình bậc 2), ta có các mô hình tương ứng với các ưu nhược điểm và khả năng ứng dụng nhất định tùy thuộc vào quy mô nghiên cứu (Versteeg and Malalasekera, 2007).

**2.2. Mô hình mô phỏng dòng chảy rối K - omega SST (k - ω shear stress transport)**

Được phát triển bởi Menter, giống như các mô hình k - ε và k - ω, mô hình SST k - ω là mô hình giải 2 phương trình dựa trên khái niệm độ nhớt rối (turbulence viscosity). Trong đó, một phương trình mô tả động năng rối (turbulence kinetic energy), k, và phương trình còn lại thể hiện tốc độ tiêu tán rối ω (turbulence specific dissipation). Mô hình này được cho là có khả năng khắc phục được nhược điểm của mô hình k - ω bởi một số đặc tính: Mô hình này thực chất là sự kết hợp của mô hình dòng chảy rối k - ω tiêu chuẩn và mô hình k - ε nhờ việc trộn lẫn các hàm tính với nhau. Hàm này được thiết kế nhận giá trị 1 tại các vùng biên, khi đó, mô hình k - ω sẽ được kích hoạt, và nhận giá trị 0 ở khoảng không gian miền tính toán cách xa bề mặt, khi đó, mô hình k - ε được sử dụng. Do đó, mô hình này có thể được áp dụng cho nhiều đối tượng khác nhau mà vẫn cho kết quả đáng tin cậy. Mô hình này giải các phương trình sau (1), (2).

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho k) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho k u_i) \tag{1}$$

$$= \frac{\partial}{\partial x_j} \left( \Gamma_k \frac{\partial k}{\partial x_j} \right) + G_k - Y_k + S_k$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \omega) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho \omega u_i) \tag{2}$$

$$= \frac{\partial}{\partial x_j} \left( \Gamma_\omega \frac{\partial \omega}{\partial x_j} \right) + G_\omega - Y_\omega + S_\omega$$

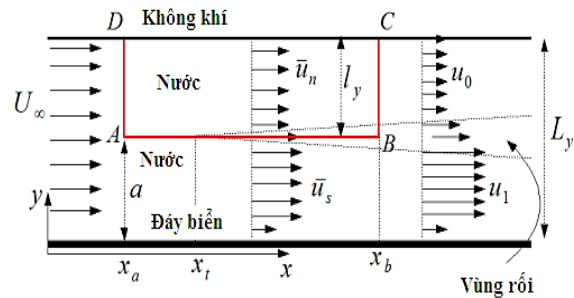
Trong đó:  $G_k$  thể hiện sự phát sinh động năng rối do gradient vận tốc trung bình gây ra;  $G_\omega$  thể hiện sự hình thành của  $\omega$ ;  $\Gamma_k, \Gamma_\omega$  là độ khuếch tán hiệu dụng của  $k$  và  $\omega$ .  $Y_k$  và  $Y_\omega$  là sự giảm dần của  $k$  và  $\omega$  do tác dụng của dòng chảy rối;  $D_\omega$  là đại lượng

khuếch tán chéo;  $S_k$  và  $S_\omega$  phụ thuộc vào định nghĩa của người dùng (ANSYS, 2012).

**3. Tính toán dòng chảy chuyển động qua môi trường rỗng**

**3.1. Mô hình lý thuyết dòng chảy chuyển động qua môi trường rỗng**

Như đã trình bày ở trên, bài báo tập trung vào tìm hiểu và tính toán vận tốc và phân bố dòng theo phương thẳng đứng trong không gian 2D. Miền nghiên cứu gồm một dòng chảy trong mặt phẳng đứng chảy qua đối tượng rỗng ABCD được tối giản về hình dạng có dạng hình chữ nhật (Hình 1). Miền nghiên cứu có đáy dạng phẳng. Chiều dài AB của đối tượng rỗng được tính bằng  $l_x = x_b - x_a$ , độ sâu ngập nước được ký hiệu là  $l_y, L_y$  là độ sâu cột nước của miền nghiên cứu.



Hình 1. Miền nghiên cứu dòng chảy qua vật thể rỗng ABCD trong mặt phẳng đứng. Trong đó,  $u_n$  là vận tốc dòng chảy bên trong vật thể rỗng,  $u_s$  là vận tốc dòng chảy bên dưới vật thể,  $u_0$  là vận tốc dòng chảy sát bề mặt ở phía sau vật thể,  $u_1$  là vận tốc dòng chảy phía sau vật thể.

Dòng chảy chất lỏng trong trường hợp này được giả thiết là dòng chảy đồng nhất, không nén được và được đặc trưng bởi vận tốc trung bình  $\vec{V} = (\bar{u}(x, y), \bar{v}(x, y))$  và áp suất  $\bar{P}(x, y)$ . Để loại bỏ thành phần trọng lực trong các tính toán, đại lượng áp suất thủy tĩnh được sử dụng trong nghiên cứu, với áp suất thủy tĩnh  $\hat{P} = \bar{P} + \rho g y$ . Dựa trên phương trình Navier - Stokes viết cho dòng chảy không nén được, dòng chảy qua miền tính toán được đặc trưng bởi:

- Định luật bảo toàn khối lượng:

$$\nabla \cdot \vec{V} = 0 \tag{3}$$

- Định luật bảo toàn động lượng :

$$\rho(\nabla \vec{V}) \cdot \vec{V} = -\nabla \hat{P} + \mu \Delta \vec{V} + \nabla \cdot \tau^t + n \vec{F} \tag{4}$$

Với  $\mu$  là độ nhớt động lực của chất lỏng,  $\rho$  là mật độ của chất lỏng và  $\tau^t$  là tensor ứng suất của dòng chảy rối,  $g$  là gia tốc trọng trường,  $y$  là độ sâu. Đại lượng  $n\vec{F}$  trong phương trình (4) là đại lượng thể hiện ảnh hưởng của vật thể rỗng (porous medium) đối với dòng chảy, được đặc trưng bởi tổ hợp các vi vật thể chứa trong không gian ABCD. Trong đó  $n$  là tổng số vật thể trên một đơn vị thể tích, lực kéo tác dụng lên mỗi vi vật thể là:

$$-\vec{F} = \frac{1}{2} C_D s \rho |\vec{V}| \vec{V} \quad (5)$$

Trong đó,  $C_D$  là hệ số kéo tác dụng lên mỗi vật thể. Để thể hiện tác dụng của tổng hợp của các vật thể chứa trong không gian ABCD, hệ số kéo hiệu dụng  $C_{net}$  được định nghĩa (Patursson et al., 2010). Đây là hệ số quy ước quy định riêng cho nghiên cứu này.

Hệ số này biểu diễn ảnh hưởng của các vật thể rỗng dạng cầu trong không gian ABCD với giả thiết chúng phân bố đều và vật thể đứng sau không bị che lấp bởi vật thể đứng trước,  $C_{net} = n(\vec{x}) l_x s C_D$ ,  $C_{net} \in [0, \infty]$ . Thay  $C_{net}$  vào phương trình (4) ta có các phương trình chiếu theo phương  $x, y$  lần lượt là:

- Theo phương  $x$ :

$$\bar{u} \frac{\partial \bar{u}}{\partial x} + \bar{v} \frac{\partial \bar{u}}{\partial y} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial \bar{P}}{\partial x} - \frac{\partial}{\partial x} \overline{u'^2} - \frac{\partial}{\partial y} \overline{u'v'} + \nu \left( \frac{\partial^2 \bar{u}}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \bar{u}}{\partial y^2} \right) - \frac{1}{2} \frac{C_{net}}{l_x} \sqrt{\bar{u}^2 + \bar{v}^2} \bar{u} \quad (6)$$

- Theo phương  $y$ :

$$\bar{u} \frac{\partial \bar{v}}{\partial x} + \bar{v} \frac{\partial \bar{v}}{\partial y} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial \bar{P}}{\partial y} - \frac{\partial}{\partial x} \overline{u'v'} - \frac{\partial}{\partial y} \overline{v'^2} + \nu \left( \frac{\partial^2 \bar{v}}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \bar{v}}{\partial y^2} \right) - \frac{1}{2} \frac{C_{net}}{l_x} \sqrt{\bar{u}^2 + \bar{v}^2} \bar{v} \quad (7)$$

Phương trình liên tục (continuity equation) được viết dưới dạng:

$$\frac{\partial \bar{u}}{\partial x} + \frac{\partial \bar{v}}{\partial y} = 0 \quad (8)$$

Trong đó,  $u', v'$  là biến thiên vận tốc (Fluctuating velocity). Theo nghiên cứu của Poizot và các đồng sự (Poizot et al., 2016) trường hợp vật thể không có tính thấm, không có dòng chảy bên trong vật thể, trường dòng chảy qua được phân bố thành 3 vùng chính: Dòng chảy gần như đồng nhất phía trước vật thể, dòng chảy mạnh bên dưới và một vùng xoáy phía sau vật thể. Bài báo nghiên cứu dòng chảy chảy qua vật thể rỗng với hệ số  $C_{net}$  thay đổi từ vô cùng nhỏ đến vô cùng lớn. Khi

hệ số kéo  $C_{net}$  từ nhỏ đến trung bình, chúng tôi dự đoán miền  $x_a < x < x_b$  phân bố thành bốn phần chính như sau:

- Dòng chảy vận tốc nhỏ bên trong vật thể ABCD,  $\bar{u}_n$ ;
- Dòng chảy có vận tốc lớn bên dưới vật thể ABCD,  $\bar{u}_s$ ;
- Dòng chảy hỗn hợp (mixing - layer) nằm giữa 2 vùng dòng chảy trên;
- Phần biên sát đáy.

Trong nghiên cứu này, phần dòng chảy tại lớp biên (boundary layer) chưa được xét đến và sẽ đề cập đến ở những nghiên cứu sau. Các phương trình lý thuyết cho phép tính định lượng được một số thông số như áp suất trong miền nghiên cứu,  $\bar{P}$ , cường độ rối  $I$  hay vận tốc trung bình tại một vị trí bất kỳ trong cột chất lỏng thuộc miền nghiên cứu. Tại thời điểm hiện tại, mô hình lý thuyết chưa đề cập đến trường hợp  $C_{net}$  lớn. Tuy nhiên, mô hình mô phỏng cho kết quả với  $C_{net}$  bất kỳ.

### 3.2. Mô phỏng dòng sử dụng mô hình mô phỏng dòng chảy rối $k - \omega SST$

Để tính toán dòng chảy được mô tả bởi các phương trình (6, 7, 8) được đề cập bên trên, chúng tôi sử dụng mô hình rối  $k - \omega SST$ . Miền tính toán được lấy có kích thước phù hợp với các mô hình mô phỏng trong phòng thí nghiệm:  $L_x = 40m$ ,  $L_y = 1.2m$ ,  $l_y = 0.8m$ ,  $a = 0.4m$ ,  $x_a = 10m$ ,  $x_b = 20m$ . Hệ số Reynolds  $\sim 10^5$  nên miền mô phỏng được chia lưới mịn. Để kết quả tính toán có độ chính xác cao. Dòng chảy vào được chọn có dạng hàm mũ (empirical power - law):

$$u_{in}(y) \equiv u(0, y) = \frac{9}{8} U_\infty \left( \frac{y}{L_y} \right)^{1/8} \quad (9)$$

Vận tốc trung bình được chọn tính  $U_\infty = 0.5m/s^2$ . Khoảng cách vô hướng tới biên miền tính toán,  $y^+ = 30 \div 60$ . Hệ số nén  $C_{net}$  được lấy trong khoảng  $[0, 500]$ . Cường độ rối (turbulence intensity)  $I$  tại đầu vào của miền tính toán được lấy trong khoảng giá trị tương đương với trường hợp dòng có cường độ rối trung bình,  $1\% < I < 5\%$ . Các điều kiện biên được lựa chọn với các đặc điểm gần nhất với điều kiện thực.

### 4. Kết quả

Các mô phỏng chạy ổn định với thời gian trung bình không quá lớn. Dưới đây là một số

kết quả thu được sau khi chạy mô phỏng với vật thể có độ rỗng thay đổi trong biên độ rộng, hay  $C_{net}$  thay đổi lần lượt từ nhỏ đến rất lớn.

### 4.1. Vận tốc dòng chảy đi ra khỏi vật thể rỗng

Khi so sánh tỷ số dòng chảy phía sau vật thể rỗng với vận tốc trung bình của dòng chảy vào  $u_0/U_\infty$  trong tính toán lý thuyết và tính toán mô phỏng, ta thấy có sai lệch không quá lớn < 6% (Hình 2) (điều này có thể giải thích do cả tính toán lý thuyết và mô phỏng đều bỏ qua một số các yếu tố ảnh hưởng tại biên). Kết quả này cũng được so sánh với kết quả mô phỏng sử dụng OpenFoam với cùng miền tính toán và vật thể rỗng (Verjus and Angilella, 2016). Điều này chứng tỏ tính khả thi của cả mô hình lý thuyết và mô hình mô phỏng trong trường hợp  $C_{net}$  nhỏ. Thêm vào đó, mô hình mô phỏng còn cho ta nhiều kết quả trường hợp  $C_{net}$  lớn, ứng với vật thể có độ nhỏ đến gần đặc, sự phân bố dòng trong trường hợp này không khác nhiều so với các nghiên cứu trước đó của

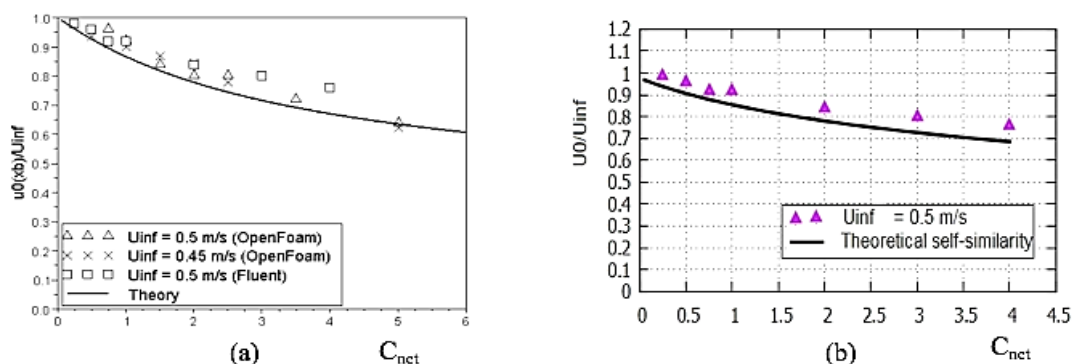
Escauriaza và Poizot (Escauriaza and Sotiropoulos, 2011; Poizot et al., 2016).

### 4.2. Ứng suất cắt

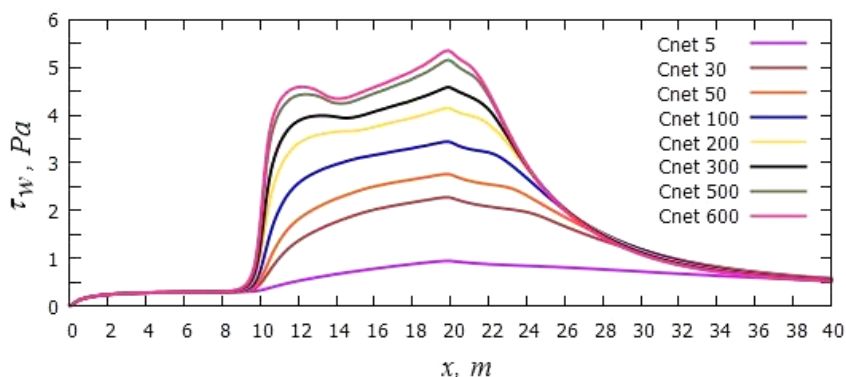
Ứng suất cắt tại đáy của miền tính toán được tính theo công thức  $\tau_w = \mu \frac{\partial u}{\partial y}$ , với  $\mu$  là độ nhớt động lượng của chất lỏng. Đại lượng này có ý nghĩa rất lớn trong nghiên cứu bởi nó có khả năng cho phép dự đoán hiện tượng xói mòn. Nhìn vào biểu đồ có thể thấy sự xuất hiện của vật thể rỗng có ảnh hưởng lớn đến ứng suất cắt tại bề mặt đáy bên dưới vật thể. Thêm vào đó, khi độ rỗng của vật thể giảm,  $C_{net}$  giảm, thì ứng suất cắt càng tăng (Hình 3).

### 4.3. Cấu trúc dòng

Trong trường hợp  $C_{net}$  nhỏ (ở đây  $C_{net} = 5$ ), đường dòng có dạng gần như song song, điều này cho thấy dòng chảy không có biến động nhiều tại mọi vị trí trên miền mô phỏng khi độ rỗng của vật thể lớn (Hình 4). Khi tăng dần độ rỗng của vật thể



Hình 2. Biểu đồ so sánh tỷ số vận tốc  $u_0/U_\infty$  với đường nét đứt là được lý thuyết (b), và với kết quả mô phỏng sử dụng OpenFoam (a). Trong đó, đường nét liền là đường tính toán mô phỏng. Trường hợp  $C_{net}$  nhỏ,  $C_{net} = 0 \div 6$ .



Hình 3. Ứng suất cắt tại đáy  $\tau_w$  theo phương  $x$ , ứng với nhiều giá trị độ rỗng khác nhau của vật thể mô phỏng. Vật thể có chiều dài 10m,  $x \in [10, 20]$ .



ta có thể dễ dàng quan sát thấy có sự xuất hiện của một dòng luân chuyển (recirculation cell - dòng luân chuyển được xem là tác nhân gây nhiễm bẩn vùng mặt bên của vật thể rỗng nằm gần nó). Đồng thời, cũng có thể quan sát được sự xáo trộn mạnh của dòng chảy tại các vị trí bên dưới vật thể rỗng (Spalart and Watmus, 1993; Verjus et al., 2016).

#### 4.4. Sự giảm vận tốc của dòng chảy bên trong vật thể rỗng

Kết quả tính toán mô phỏng cho thấy có sự giảm vận tốc của dòng chảy chất lỏng khi đi qua vật thể rỗng (Hình 5). Nếu so sánh lưu lượng của chất lỏng đi qua vật thể rỗng  $Q_{net}$  với tổng lưu lượng của dòng chảy tại cùng một mặt cắt thẳng đứng qua vật thể ta có thể xác định được sự giảm vận tốc của dòng chảy cụ thể có thể từ 10% đến 80% tùy theo độ lớn của  $C_{net}$ . Nói cách khác, khi độ rỗng của vật thể giảm thì dòng chảy đi qua vật thể rỗng ít. Kết quả này tương đồng với một số nghiên cứu trước đây với các phương pháp tiếp cận khác (Swift et al., 2006 và Enayagamoorthy and Hyeyun, 2011). Điều này cho thấy hướng tiếp cận là đúng đắn và hoàn toàn có thể sử dụng được cho các nghiên cứu tiếp theo.

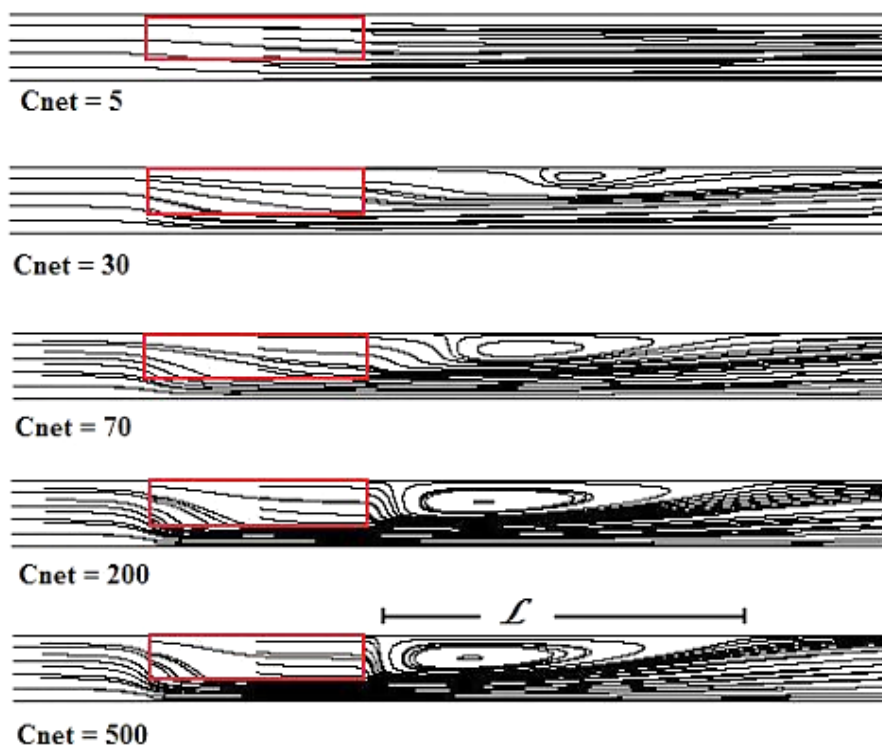
#### 4.5. Cường độ rối (turbulence intensity)

Hình 6 thể hiện dòng chảy rối có xu hướng tăng bên dưới đáy của vật cản (đối tượng rỗng). Với  $C_{net}$  nhỏ, bề dày của lớp dòng chảy hỗn hợp tăng tuyến tính theo phương  $x$ . Trong trường hợp  $C_{net}$  lớn, kết quả mô phỏng cho biết quy luật tăng tuyến tính về kích thước của vùng chảy hỗn hợp bị phá vỡ và cấu trúc của vùng này ngày càng phức tạp. Nguyên nhân là do ảnh hưởng của vật thể rỗng và sự xuất hiện của dòng lưu chuyển.

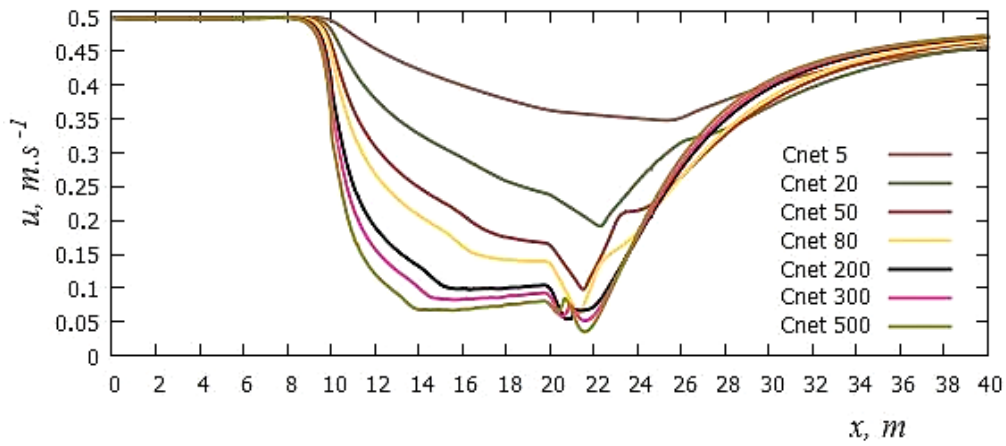
Do cường độ rối có ảnh hưởng lớn đến hệ số kéo của hạt (Particle drag coefficient,  $C_d$ ) (Geyer et al., 2004) nên thông tin có được về cường độ rối  $I$  trong các mô phỏng này rất có ý nghĩa cho các nghiên cứu về vận chuyển hạt trong môi trường tương tự.

#### 5. Kết luận

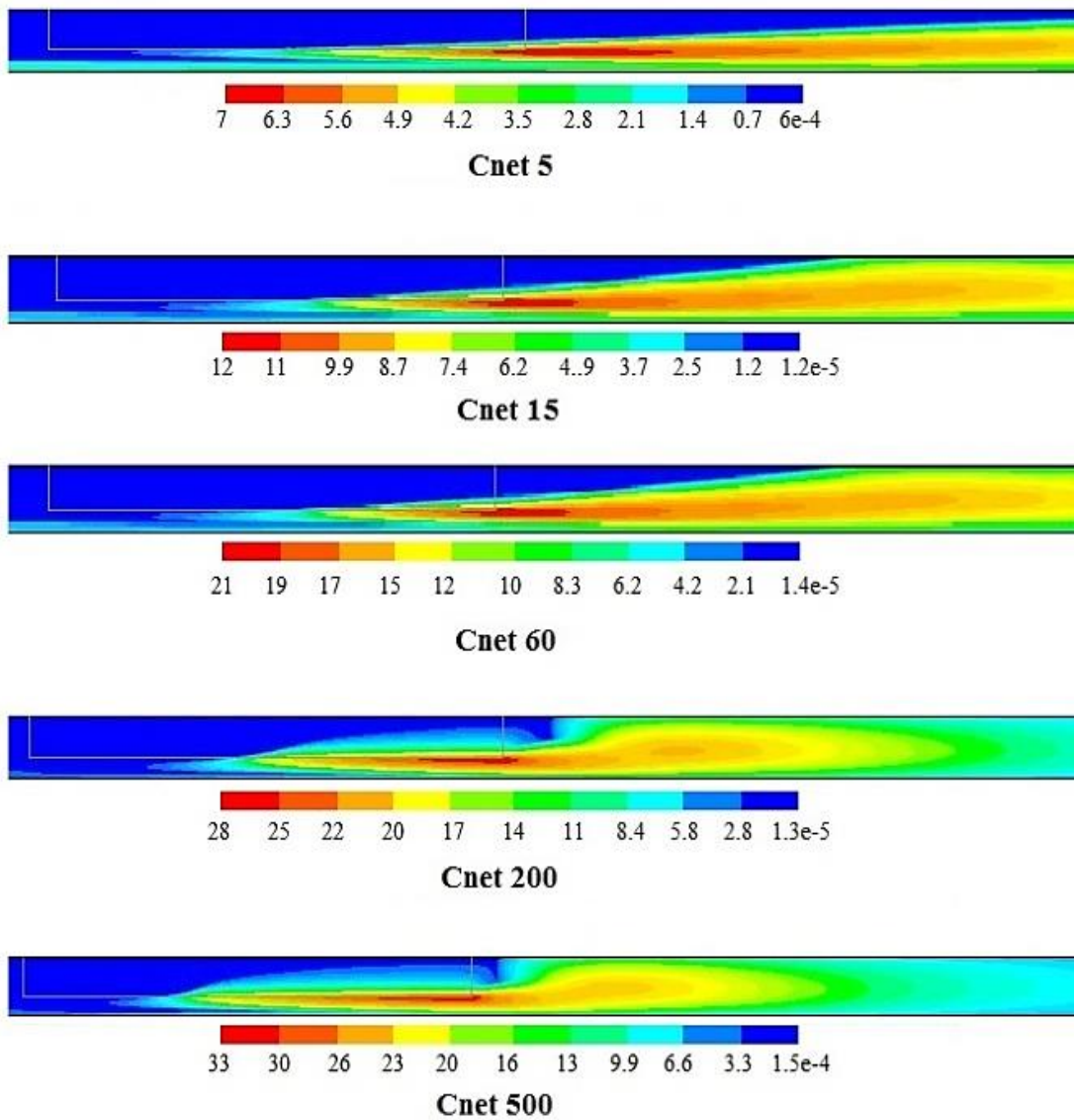
Do mục đích tìm hiểu về dòng chảy qua vật thể rỗng theo phương thẳng, nghiên cứu sử dụng kết hợp mô hình mô phỏng dòng chảy rối  $k - \omega$  SST và lý thuyết về phương tiện rỗng (porous media). Để đặc tả ảnh hưởng của môi trường rỗng đến dòng chảy, hệ số hiệu dụng  $C_{net}$  được định nghĩa.  $C_{net}$  càng cao thì độ rỗng của vật thể càng giảm,



Hình 4. Streamline của dòng chảy có  $C_{net}$  từ nhỏ đến rất lớn.



Hình 5. Vận tốc dòng chảy trong vật thể rỗng.



Hình 6. Cường độ rối I của dòng chảy với  $C_{net} \in [5, 500]$ .

khả năng cản dòng càng lớn, lưu lượng dòng đi qua vật thể càng nhỏ. Kết quả mô phỏng cuối cùng khá tương thích với mô hình lý thuyết và mô hình mô phỏng cùng miền khi sử dụng một số phương pháp tiếp cận khác. Mô hình mô phỏng xây dựng mở ra nhiều hướng nghiên cứu mới có thể áp dụng cho nhiều lĩnh vực khác nhau và công tác giảng dạy. Mô hình này có thể được sử dụng để nghiên cứu sự chuyển động của các hạt rắn chuyển động trong miền tính toán, nghiên cứu sự nhiễm bẩn phía sau vật thể rỗng do sự xuất hiện của dòng lưu chuyển (Recirculation cell) phía sau đối tượng rỗng khi đối tượng này có độ rỗng đủ nhỏ. Ngoài ra, kết quả mô phỏng còn cung cấp thông tin cho phép xác định được các vị trí trong miền tính toán có ứng suất cắt  $\tau_w$  lớn có thể sử dụng được để nghiên cứu hiện tượng xói mòn trong các trường hợp dòng chảy chảy qua các vật thể rỗng trong môi trường biển. Bài báo mở ra nhiều ý tưởng và triển vọng nghiên cứu khác, các vấn đề này sẽ được giải quyết trong các nghiên cứu tiếp theo.

#### Tài liệu tham khảo

- ANSYS, Inc, 2012. ANSYS FLUENT tutorial guide. Published in the U.S.A.
- Candel, S., 1995. Paris Dunod cop. 86-Liguge. Aubin. Collection
- Chunwei, B., Yunpeng, Z. G. D., 2015. Development of a coupled with fluid structure model with application to a fishing net in current. *Hydrodynamics - Concepts and Experiments*. InTech.
- Cristian, E., Fotis, S., 2011. Lagrangian model of bed - load transport inturbulent junction flows. *Journal of Fluid Mechanics*.
- Geyer, W. R., Hill, P. S., and Kineke, G. C., 2004. The transport, transformation and dispersal of sediment by buoyant coastal flows. *Continental Shelf Research*.
- Henk, K. V., and Weeratunge, M., 2007. An introduction to computational fluid dynamics: the finite volume method. *Pearson Education*.
- Philippe, R. S., Jonathan H. W., 1993. Experimental and numerical study of a turbulent boundary layer with pressure gradients. *Journal of Fluid Mechanics*.
- Robinson, S., David, M., Fredriksson, W., 2006. Drag force acting on biofouled net panels. *Aquacultural engineering*.
- Romuald, V., and Angilella, J. R., 2016. Critical stokes number for the capture of inertial particles by recirculation cells in two - dimensional quasisteady flows. *Physical Review*.
- Subhas, K. V., Hyeyun, K., 2011. Numerical modeling of aquaculture dissolved waste transport in a coastal embayment. *Environmental Fluid Mechanics*.
- Yoder, D. A., DeBonis, J. R., 2013. Modeling of turbulent free shear flows. *NASA/TM*.
- Ystein, P., Robinson, S., Igor, T. M., 2010. Development of a porous media model with application to flow through and around a net panel. *Ocean Engineering*.
- Poizot, E., Verjus, R., Nguyen, H. Y., Angilella, J. R., 2016. Shelf-contamination of aquaculture cage in shallow water. *Springer 16(4)*. 793-805.



## ABSTRACT

### Modelisation of flows in the vicinity of a porous structure

Yen Hai Thi Nguyen, Thinh Van Nguyen, Tuan Thanh Nguyen, Phuong Cuc Vu

*Faculty of Oil and Gas, Hanoi University of Mining and Geology, Vietnam*

To investigate a coastal flow in the vicinity of a porous obstacle, several approaches are proposed such as CFD computational fluid dynamics and/or theoretical calculations based on Navier - Stokes equations. With the non - stop development of information technology, there are many turbulence models suggested to solve this current such as Standard  $k - \varepsilon$ , Wilcox  $k - \omega$ , SST  $k - \omega$ ...etc. In which, the SST  $k - \omega$  model has proved its efficiency in solving problems related to this type of flow. Besides, in order to characterize the emmerged structure in marine environment, the theory of porous media is utilised. In this study, the effective drag coefficient  $C_{net}$  of the porous obstacle varies from 0 to infinity to minic a vas range of porosity of this object. Results of numerical simulations enable us to confirm a separation of the flow and a declination of its velocity within the porous structure and allow us to witness the apperance of a recirculation cell at the rear of the structure when  $C_{net}$  reaches a critical value. Thus, velocities or flowrates inside and below the porous medium could be estimated. For the sake of accuracy and reliability of the numerical simulations, these results are then compared to relevant studies and to some theoretical calculations.