

ỨNG DỤNG CFD XÂY DỰNG BẢN ĐỒ DÒNG CHẢY TRÊN TUYẾN LUỒNG HÀNG HẢI - THÍ ĐIỂM THỬ NGHIỆM TRÊN TUYẾN LUỒNG HẢI PHÒNG, VIỆT NAM

APPLYING OF CFD TO DEVELOP THE TIDAL STREAM CHART ON
NAVIGATION FAIRWAY - PILOT TRIAL ON HAI PHONG FAIRWAY,
VIET NAM

Pham Ky Quang¹, Vu Van Duy¹, Nguyen Xuan Phuong², Nguyễn Văn Cang²

1. Vietnam Maritime University, Haiphong, Vietnam

2. Ho Chi Minh City University of Transport, Vietnam

Abstract: This article is about applying of CFD for calculation and simulation the tidal stream on the navigable fairway in general. Its feasibility study result will be used for the pilot implementation on the Hai Phong fairway in Vietnam. By using the input from the geometry data of the fairway and the data from the annual tide table of Vietnam, therefore, the calculation is taking place to show the velocity field of tidal stream (including direction and speed) according to the time on fairway. In order to answer the research question, the authors combine field study, survey data and measurement data to assess factors that influence the input. The objective is to ensure the appropriateness of the simulation within the Haiphong fairway. For instance, taking into account the weather conditions, excluding the abnormal factors that might affect the characteristics of the current (floods, storms,...). This study will lay a foundation for deploying the mapping service of the tidal stream for safe navigation on the navigation fairway.

Keywords: CFD, chart, Haiphong fairway, navigation fairway, pilotage, tidal stream.

Classification: 2.5

1. Giới thiệu

Hiện nay, để dẫn tàu an toàn vào các cảng biển của Việt Nam thì Thuyền trưởng và hoa tiêu phải tính toán thời gian dẫn tàu trên các tuyến luồng hàng hải để các tàu tránh gặp nhau tại các khúc cua nguy hiểm, thời gian tàu đến cập cầu hoặc khi rời cầu cảng, là phải dự đoán được thủy triều, bởi vì thủy triều lên hay rút sẽ tạo ra dòng chảy (dòng chảy do thủy triều gây ra) ảnh hưởng trực tiếp đến công tác dẫn tàu trên tuyến luồng hàng hải, đặc biệt thời điểm tàu đến khu vực điều động cập cầu.

Tuy nhiên, việc dự đoán thủy triều hiện nay cho tất cả các tuyến luồng hàng hải của Việt Nam đều dùng Bảng thủy triều (gồm 3 tập) do Trung tâm Hải văn thuộc Tổng cục Biển và Hải đảo (Bộ Tài nguyên và Môi trường) ấn hành, hoặc sử dụng các Bảng thủy triều do Anh xuất bản mỗi năm một bộ và hàng năm đều thay đổi. Việc dùng bảng thủy triều xuất hiện những nhược điểm là: Bảng thủy triều chỉ cho biết thời gian và độ cao nước lớn và nước ròng trong một ngày tại một khu vực địa lý, mang tính tức thời. Vì vậy việc dự đoán thủy triều tại các thời điểm

khác (không ghi trong bảng thủy triều) cần phải tính toán nội suy. Việc này độ chính xác không cao, không có tính liên tục và không trực quan, gây khó khăn cho hoa tiêu và thuyền trưởng khi dẫn tàu, đây chính là điểm hạn chế rất lớn.

Để khắc phục nhược điểm này, nhóm tác giả một mặt kế thừa số liệu của bảng thủy triều, mặt khác sẽ khảo sát số liệu thực địa tại khu vực nghiên cứu, kết hợp với ứng dụng chương trình CFD (*Computational Fluid Dynamics*) để xây dựng bản đồ khu vực, nhằm đưa ra bản đồ dòng chảy (dòng triều). Trên đó hiển thị cụ thể và tường minh hướng dòng chảy, tốc độ dòng chảy tại từng thời điểm của mỗi ngày và các ngày trong năm tại khu vực khảo sát nghiên cứu, cụ thể là khu vực tuyến luồng hàng hải Hải Phòng.

2. Xây dựng mô hình bài toán

Tuyến luồng hàng hải Hải Phòng khá hẹp, nhiều khu vực nông cạn cục bộ, giới hạn tốc độ tàu (không vượt quá 8 knots) và có ga tránh. Đây là tuyến luồng có nhiều khu vực gặp nhau của các nhánh sông khá phức tạp, với đặc điểm thủy triều và dòng chảy siết tại

các khu vực đó, nhiều vụ tai nạn hàng hải chủ yếu do mắc cạn và đâm va thường xuyên xảy ra. Dưới đây là một số phương trình mô tả chuyển động và năng lượng của dòng chảy trong tuyến luồng hàng hải như sau:

- Phương trình liên tục

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial \rho u}{\partial x} + \frac{\partial \rho v}{\partial y} + \frac{\partial \rho w}{\partial z} = 0 \quad (1)$$

$$\text{Hay:} \quad \frac{\partial \rho}{\partial t} + \text{div}(\rho \vec{v}) = 0$$

Ở đây, chất lỏng là không nén được cho nên khối lượng riêng $\rho = \text{const}$, vì vậy: $\frac{\partial \rho}{\partial t} = 0$ và lúc này phương trình liên tục có dạng:

$$\text{div}(\rho \vec{v}) = 0 \quad (2)$$

Phương trình Navier-Stokes

$$\frac{d\vec{V}}{dt} = \vec{F} - \frac{1}{\rho} \text{grad} p + \nu \Delta \vec{V} \quad (3)$$

Phương trình Bernoulli đối với chất lỏng thực

$$\frac{V_1^2}{2g} + \frac{p_1}{\gamma} + z_1 = \frac{V_2^2}{2g} + \frac{p_2}{\gamma} + z_2 + h_{12} \quad (4)$$

Trong đó: $\vec{V} (u, v, w)$ - véc tơ vận tốc của phần tử lỏng khảo sát, với u, v, w là ba thành phần hình chiếu tương ứng lên ox, oy, oz ;

V_1 - vận tốc trung bình tại mặt cắt 1-1;

V_2 - vận tốc trung bình tại mặt cắt 2-2;

g - gia tốc trọng trường;

γ - trọng lượng riêng của chất lỏng;

$\vec{F}(X, Y, Z)$ - lực khối đơn vị và ba thành phần hình chiếu tương ứng lên hệ tọa độ $oxyz$;

h_{12} - tổn thất năng lượng của dòng chảy từ mặt cắt 1-1 đến 2-2;

p - áp suất của chất lỏng;

div - toán tử

$$(\text{div}(\vec{V})) = \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z};$$

Δ - toán tử Laplace

$$\left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} = \Delta u \right) \quad (5)$$

Phương trình mô tả dòng xoáy (cường độ xoáy):

$$\text{rot}(\vec{V}) \neq 0 \quad (6)$$

$$\text{rot}(\vec{V}) = \begin{vmatrix} \vec{i} & \vec{j} & \vec{k} \\ u & v & w \\ \frac{\partial}{\partial x} & \frac{\partial}{\partial y} & \frac{\partial}{\partial z} \end{vmatrix}$$

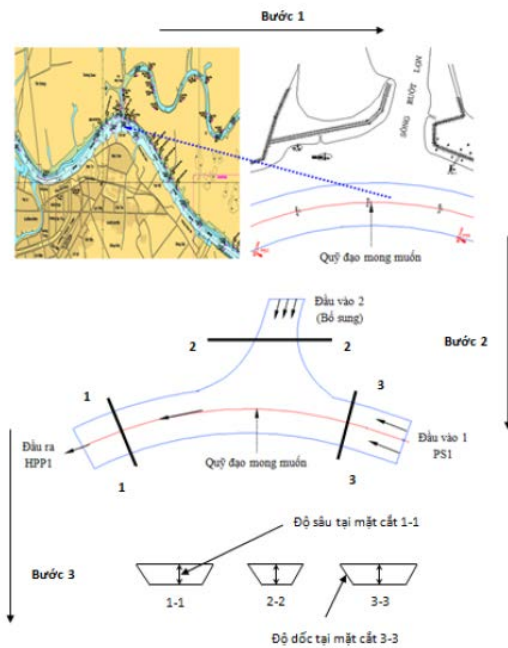
Trong đó: $\vec{i}, \vec{j}, \vec{k}$ - thứ tự là véc tơ đơn vị trên hệ tọa độ $oxyz$.

Xét tại một vị trí trên tuyến luồng Hải Phòng, để thiết lập mô hình bài toán, thực hiện triển khai qua các bước như hình 1, cụ thể như sau:

Bước 1: Xuất phát từ thực tiễn tuyến luồng hàng hải Hải Phòng, nhóm tác giả chọn vị trí khảo sát (điểm bắt đầu, điểm kết thúc), sau đó lược bớt những khu vực có độ sâu nhỏ để vẽ lại đường biên của miền khảo sát.

Bước 2: Đặt điều kiện biên cho mô hình bài toán (đầu vào, đầu ra, tường, mặt thoáng), trên hình 1 được thể hiện qua hình ảnh mặt thoáng.

Bước 3: Vẽ các mặt cắt ước khác nhau dọc theo đoạn tuyến luồng khảo sát để hình thành bài toán 3D gần với thực tế, trên hình 1 giả định có mặt cắt ước 1-1, 2-2, 3-3. Kết nối các mặt cắt ước này lại và kết hợp với hình ảnh mặt thoáng sẽ cho ta mô hình bài toán 3D cần thiết lập trên một đoạn tuyến luồng.

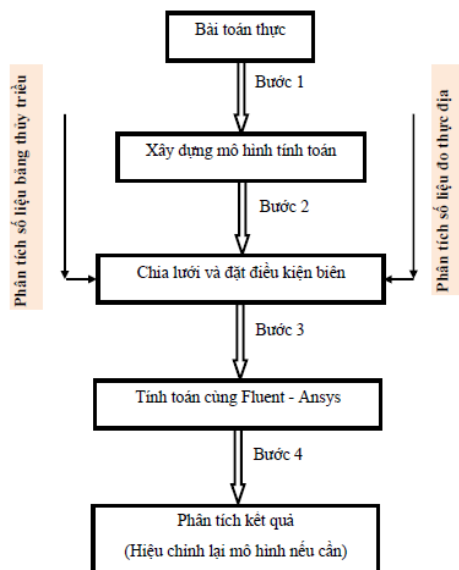


Hình 1. Quy trình xây dựng mô hình bài toán cho một vị trí khảo sát

Như vậy, sau ba bước triển khai ta có được mô hình bài toán 3D cho một đoạn tuyến luồng, bài toán đã xây dựng sẽ có kích thước hình học cố định, còn đầu vào, đầu ra hay tốc độ dòng chảy tương ứng sẽ được đặt theo thời gian và mực thủy triều tương ứng.

3. Quy trình ứng dụng CFD xây dựng bản đồ dòng chảy

Quy trình ứng dụng CFD xây dựng bản đồ dòng chảy được thể hiện qua hình 2:



Hình 2. Quy trình chung ứng dụng CFD để tính toán mô phỏng

Trong các bước tính toán trên hình 2 ta thấy bước số 2, đòi hỏi phải xử lý số liệu rất công phu trước khi nạp vào mô hình bài toán để triển khai tính toán mô phỏng. Đặc biệt số liệu Bảng thủy triều hiện nay chưa thể hiện được lượng nước bổ sung trên thực địa theo tháng, theo mùa tại khu vực Hải Phòng trong năm, do đó cần phải đo đạc thực tế trong thời gian dài nhằm đưa ra được quy luật hiệu chỉnh số liệu mực thủy triều cũng như độ trễ về thời gian để có thể áp dụng tính toán mô phỏng cho năm tiếp theo có độ chính xác cao. Ví dụ trong bảng 1 trích dẫn một phần số liệu đo thực tế theo thời gian thực tại trạm đèn Arroyo trên đoạn Bạch Đằng tuyến luồng hàng hải Hải Phòng, do Tổng công ty Bảo đảm an toàn hàng hải Miền Bắc quan trắc, đo đạc và công bố 14/01/2017, hiện nay cứ 10 phút số liệu về mực thủy triều được cập nhật và lưu lại, đây là nguồn dữ liệu quan trọng để xử lý các bước tiếp theo.

Bảng 1. Trích số liệu đo tại trạm Arroyo trên đoạn Bạch Đằng của tuyến luồng Hải Phòng ngày 14/01/2017, từ 0h đến 1h20

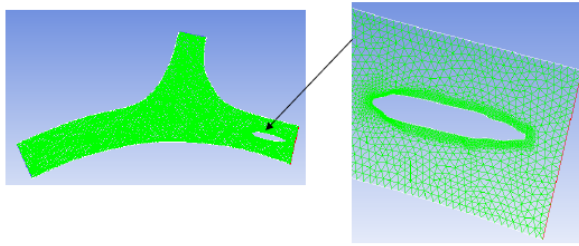
Ngày/tháng/năm	Thời gian thực	Số liệu đo thực địa	Số liệu trong Bảng thủy triều
14/01/2017	0:00	2.55	2.2
14/01/2017	0:10	2.6	2.27
14/01/2017	0:20	2.67	2.33
14/01/2017	0:30	2.73	2.4
14/01/2017	0:40	2.78	2.47
14/01/2017	0:50	2.86	2.53
14/01/2017	1:00	2.91	2.6
14/01/2017	1:10	2.99	2.67
14/01/2017	1:20	3.05	2.73
...			

Trong bảng 1 cho giá trị sai lệch trung bình trong ngày 14/01/2017 là + 0,3 m. Ngoài ra dựa vào thời gian trong Bảng thủy triều cũng có thể hiệu chỉnh được độ trễ về thời gian so với thực tế đo đạc,... Tất cả những phân tích này sẽ hạn chế được sai số giá trị vận tốc đầu vào, đầu ra để khai báo trong quá trình tính toán mô phỏng.

4. Phân tích kết quả

Kết quả thể hiện trên mặt thoáng cho đoạn tuyến luồng ngã ba sông Ruột lợn theo mô hình lựa chọn hình 1.

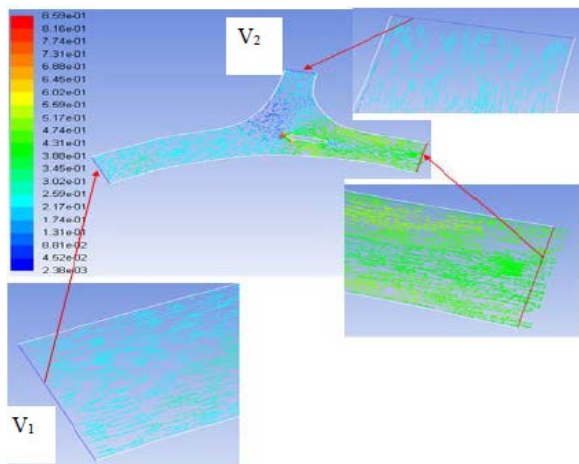
- Hình ảnh lưới chia cho mô hình tính toán được mô tả theo hình 3:



Hình 3. Hình ảnh lưới chia cho mô hình tính toán

Phân tích kết quả theo hình 3 nhận thấy rằng: Lưới chia dạng tam giác, có độ mau, thưa khác nhau và được chia bằng cách ứng dụng phần mềm Meshing trong gói phần mềm Fluent - Ansys.

- Thể hiện trường phân bố vận tốc trên mặt thoáng



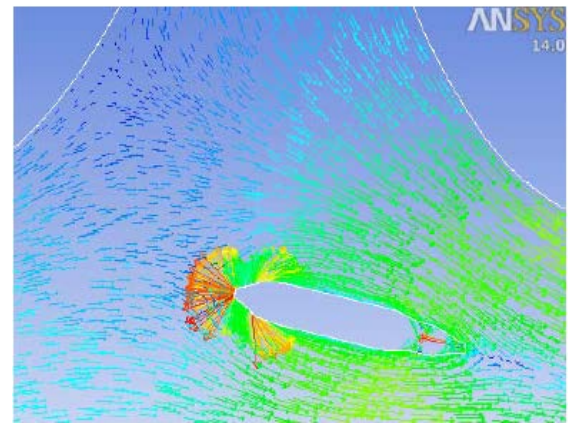
Hình 4. Trường vận tốc trên mặt thoáng, khi giả định $V_1 = 1,5$; $V_2 = 0,5$ knots

Trường phân bố vận tốc cho biết phương, chiều và độ lớn của vận tốc dòng chảy tại các điểm tính toán. Trên hình 4 thể hiện rõ phương và chiều của vận tốc qua hình ảnh véc tơ, còn độ lớn được thể hiện qua màu sắc và cột giá trị số tương ứng.

Như vậy, bằng cách tương tự cho các mốc thời gian khác nhau sẽ có bộ dữ liệu về trường vận tốc của dòng chảy. Nhưng thể hiện chúng như thế nào trên bản đồ để tường minh và thuận tiện cho người sử dụng, đây là vấn đề mà nhóm tác giả sẽ tiếp tục nghiên cứu và công bố trong các báo cáo sau.

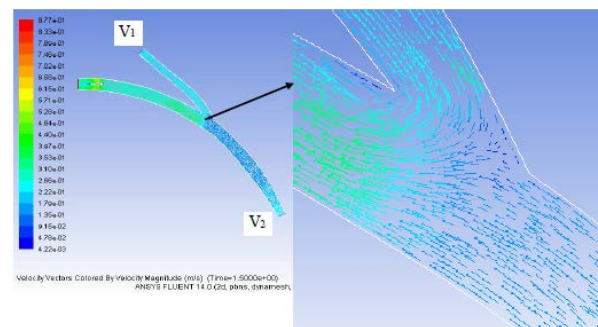
- Trường vận tốc tại một số vùng nguy hiểm

Bằng cách ứng dụng CFD để giải quyết bài toán này, cho phép ta phân tích, đánh giá những vùng nguy hiểm (vùng xoáy, vùng chảy siết,...) làm ảnh hưởng đến tính bám lái trong quá trình điều khiển tàu trong tuyến luồng hàng hải. Dưới đây là trường vận tốc của dòng chảy tại ngã ba sông Ruột Lợn, với giả định có tàu thủy kích thước như hình 5 đang chuyển động ngược dòng.



Hình 5. Trường vận tốc trên mặt thoáng, khi giả định $V_1 = 1,5$; $V_2 = 0,5$ knots

Tương tự ta thể hiện kết quả tính toán mô phỏng cho đoạn tuyến luồng kênh Hà Nam-Cái Tráp với vận tốc đầu vào $V_1 = 2,5$; $V_2 = 2,5$ knots như sau:



Hình 6. Trường phân bố vận tốc đoạn tuyến luồng kênh Hà Nam-Cái Tráp với vận tốc đầu vào $V_1 = 2,5$; $V_2 = 2,5$ knots

Qua đây ta thấy rằng, với quy trình ứng dụng CFD xây dựng bản đồ dòng chảy trên tuyến luồng là hoàn toàn khả thi. Các số liệu đầu vào ngoài kích thước hình học tuyến luồng, Bảng thủy triều và đặc biệt là số liệu đo thủy triều thực tế cho phép ta hiệu chỉnh được số liệu vận tốc dòng chảy cho gần nhất với thực tế theo tháng trong năm hoặc theo mùa. Kết quả đầu ra là trường phân bố vận tốc dòng chảy theo thời gian tại những vùng

khảo sát, bằng cách chia nhỏ tuyến luồng thành nhiều đoạn tuyến luồng cho phù hợp với khối lượng tính toán của máy tính, kết nối các đoạn lại với nhau sẽ cho ta thông tin về dòng chảy trên toàn tuyến luồng.

5. Kết luận

Bài báo đã đưa ra quy trình xây dựng mô hình tính toán cho mỗi đoạn tuyến luồng; đưa ra quy trình chung ứng dụng CFD xây dựng bản đồ dòng chảy trên tuyến luồng hàng hải; tính toán mô phỏng nhằm minh họa cho một đoạn trên tuyến luồng Hải Phòng. Từ đó, xây dựng mô hình nghiên cứu và cụ thể cho tuyến luồng hàng hải Hải Phòng với số liệu đầu vào là kích thước hình học thực tế của tuyến luồng, bảng thủy triều trong năm, số liệu đo thực nghiệm và đầu ra mong muốn là thông tin về dòng chảy (phương, chiều, độ lớn) theo giờ trong ngày của năm khảo sát □

Tài liệu tham khảo

- [1] PGS. TS. Phạm Kỳ Quang (Chủ biên), TS. Vũ Văn Duy và một số tác giả (2017), Ứng dụng CFD trong khoa học hàng hải, Nhà xuất bản Khoa học Kỹ thuật, Hà Nội.
- [2] Bộ Lịch thủy triều Việt Nam (2017) và Lịch thủy triều Anh (2017).
- [3] Bộ số liệu đo đạc liên quan đến thủy triều của Tổng công ty Bảo đảm An toàn hàng hải Miền Bắc, năm 2015, 2016 và 2017.
- [4] Số liệu báo cáo và tổng hợp Cảng vụ Hàng hải Hải Phòng, năm 2017.
- [5] Lương Công Nhó, Phạm Kỳ Quang, Vũ Văn Duy, Bùi Văn Cường, Nguyễn Văn Cang (2017), Tính toán mô phỏng tác động của hải lưu đến quỹ đạo chuyển động tàu thủy trên tuyến luồng Hải Phòng, Tạp chí “Khoa học-Công nghệ Hàng hải”, Số 49, 01/2017, tr. 14 - 17.
- [6] Prof. Dr. Luong Cong Nho, Prof. Dr. Pham Ky Quang, Dr. Vu Van Duy, PhD. Student Bui Van Cuong, PhD. Student Co Tan Anh Vu, PhD. Student Nguyen Thanh Nhat Lai (2016), Calculation and simulation of the current effects on maritime safety in Haiphong fairway, Vietnam. International Association of Maritime Universities (IAMU), 17th Annual General Assembly (AGA), ISBN: 978-604-937-120-2, 26 - 29 October, 2016, Vietnam, pp. 170 - 179.
- [7] PGS. TS. Phạm Kỳ Quang (Chủ nhiệm đề tài), TS. Vũ Văn Duy, NCS. Nguyễn Văn Cang và các thành viên khác (2018), Nghiên cứu xây dựng thử nghiệm bản đồ dòng chảy phục vụ công tác dẫn tàu an toàn trên tuyến luồng hàng hải - Thực hiện thí điểm trên tuyến luồng Hải Phòng. Đề tài Khoa học Công nghệ cấp Bộ Giao thông vận tải; mã số: DT183035, năm 2018.
- [8] www.ansys.com.

Ngày nhận bài: 8/3/2018

Ngày chuyển phản biện: 13/3/2018

Ngày hoàn thành sửa bài: 4/4/2018

Ngày chấp nhận đăng: 11/4/2018