

MỞ ĐẦU

1. Tính cấp thiết của luận án

Bánh lái là đối tượng điều khiển, nhằm thay đổi hướng chuyển động của tàu thủy. Bánh lái được đặt ngay sau chân vịt tàu thủy, để chuyển đổi năng lượng của dòng chảy thành lực bẻ lái. Vì vậy có thể nói các hiện tượng vật lý xung quanh vấn đề trao đổi năng lượng giữa dòng chảy và bánh lái ảnh hưởng rất lớn đến lực bẻ lái tàu thủy.

Một trong những hiện tượng phổ biến và quan trọng đó là xâm thực bánh lái, có diễn biến khá phức tạp và ảnh hưởng rõ nét đến lực bẻ lái, đặc biệt khi tàu thủy liên tục thay đổi chế độ làm việc, khi điều động tàu, hoặc tàu chạy với tốc độ cao,... Vậy cơ sở khoa học nào làm rõ vấn đề xâm thực trên bánh lái, cũng như phân tích ảnh hưởng của chúng đến lực bẻ lái của tàu thủy; từ đó đưa ra được giải pháp nhằm giảm thiểu tác hại mà xâm thực bánh lái gây ra. Hơn nữa, khi giải quyết được vấn đề này sẽ giúp cho các chuyên gia về lĩnh vực hàng hải có được thuật giải về điều khiển tàu thủy đủ thông minh để hạn chế ảnh hưởng của xâm thực bánh lái, góp phần nâng cao an toàn hàng hải. Xuất phát từ cơ sở lý luận trên, nghiên cứu sinh (NCS) đã lựa chọn và nghiên cứu đề tài luận án tiến sĩ: *“Nghiên cứu ảnh hưởng xâm thực bánh lái đến lực bẻ lái tàu thủy”*.

Việc tính toán mô phỏng và nghiên cứu thực nghiệm được triển khai tại Trường Đại học Hàng hải Việt Nam, riêng nghiên cứu thực địa thực hiện trên tuyến luồng hàng hải Hải Phòng và khi tàu lên đà sửa chữa định kỳ tại nhà máy Ship Marine Sài Gòn. Hơn nữa, nghiên cứu sinh đã kết hợp chặt chẽ vấn đề nghiên cứu trong đề tài luận án tiến sĩ với vấn đề nghiên cứu thực hiện trong hai đề tài khoa học công nghệ cấp Bộ Giao thông vận tải, mà nghiên cứu sinh là chủ nhiệm đề tài và thành viên tham gia. Cụ thể, nghiên cứu sinh

đã nghiên cứu và sử dụng một phần kết quả nghiên cứu của hai đề tài Khoa học Công nghệ cấp Bộ Giao thông vận tải năm 2017 là [23, 30]:

- “*Xây dựng chương trình tính toán mô phỏng và thử nghiệm một số nguyên nhân cơ bản dẫn đến tai nạn hàng hải trên tuyến luồng Sài Gòn phục vụ công tác đào tạo và huấn luyện thuyền viên*”, mã số: DT 174030 do nghiên cứu sinh làm chủ nhiệm đề tài, PGS. TS. Phạm Kỳ Quang, TS. Vũ Văn Duy là các thành viên tham gia chính cùng một số thành viên khác;

- “*Nghiên cứu thiết kế và chế tạo thử nghiệm hệ thống đánh giá tác động của tổ hợp chân vịt - bánh lái đến đặc tính điều khiển hướng chuyển động tàu thủy*”, mã số: DT 174003 do PGS. TS. Phạm Kỳ Quang làm chủ nhiệm đề tài, nghiên cứu sinh là thành viên tham gia chính, cùng một số thành viên khác.

2. Mục đích nghiên cứu của luận án

Nghiên cứu ảnh hưởng của xâm thực bánh lái đến lực bẻ lái tàu thủy.

3. Đối tượng và phạm vi nghiên cứu của luận án

Đối tượng nghiên cứu:

Hiện tượng xâm thực bánh lái tàu thủy và tác động của xâm thực bánh lái đến lực bẻ lái tàu thủy.

Phạm vi nghiên cứu của đề tài:

- Làm rõ cơ sở khoa học về hiện tượng vật lý xâm thực bánh lái, nghiên cứu tính toán và mô phỏng số hiện tượng này, cũng như kiểm chứng một số kết quả nghiên cứu bằng thực nghiệm. Từ đó phân tích những ảnh hưởng mà hiện tượng xâm thực bánh lái đến lực bẻ lái.

- Lựa chọn và sử dụng tàu container M/V TAN CANG FOUNDATION, trọng tải 7040 MT, có chân vịt chiều phải để tiến hành nghiên cứu thực nghiệm.

4. Phương pháp nghiên cứu của luận án

Phương pháp nghiên cứu lý thuyết kết hợp nghiên cứu thực nghiệm, để làm nổi bật tính khoa học và tính thực tiễn của vấn đề cần giải quyết, cụ thể:

Nghiên cứu lý thuyết:

- Nghiên cứu cơ sở lý luận về xâm thực nói chung và xâm thực bánh lái tàu thủy nói riêng;

- Nghiên cứu cơ sở toán học trên nền tảng tính toán động lực học dòng chảy CFD (*Computational Fluid Dynamics*) để tính toán mô phỏng vùng xâm thực. Từ đó áp dụng tính toán mô phỏng chi tiết cho bánh lái của tàu M/V TAN CANG FOUNDATION khi bị xâm thực;

- Nghiên cứu xây dựng mô hình nghiên cứu bằng phương pháp số và quy trình tính toán mô phỏng ảnh hưởng xâm thực cục bộ tại mép vào bánh lái và xâm thực mép thoát tới lực bẻ lái tàu thủy, tương ứng với mỗi tổ hợp đầu vào (n_i, α_i) khi xuất hiện xâm thực cục bộ. Từ đó áp dụng tính toán mô phỏng chi tiết cho đối tượng cụ thể là bánh lái của tàu M/V TAN CANG FOUNDATION khi bị xâm thực.

Trên cơ sở các kết quả đạt được thực hiện đánh giá ảnh hưởng xâm thực bánh lái đến lực bẻ lái tàu thủy.

Nghiên cứu thực nghiệm:

Nghiên cứu thực nghiệm trên hệ thống thí nghiệm (áp dụng bánh lái theo tiêu chuẩn đồng dạng Froude với bánh lái của tàu M/V TAN CANG FOUNDATION) và khảo sát thực địa đối với tàu M/V TAN CANG FOUNDATION, nhằm minh chứng cho một số kết quả tính toán mô phỏng về xâm thực trên bánh lái cũng như ảnh hưởng xâm thực tới lực bẻ lái tàu thủy.

5. Ý nghĩa khoa học và thực tiễn của luận án

Ý nghĩa khoa học của luận án:

- Hệ thống hóa cơ sở lý luận về hiện tượng xâm thực bánh lái tàu thủy nhằm đưa ra mô hình nghiên cứu. Với kết quả nghiên cứu đạt được đã góp phần hoàn thiện một phần cơ sở lý luận liên quan đến vấn đề nghiên cứu và có những đóng góp nhất định cho khoa học chuyên ngành hàng hải;

- Đưa ra phương pháp luận về xây dựng quy trình tính toán mô phỏng ảnh hưởng xâm thực bánh lái đến lực bẻ lái tàu thủy nói chung. Trên cơ sở đó áp dụng cho đối tượng và phạm vi nghiên cứu cụ thể của luận án. Từ đó đánh giá sự tác động của xâm thực tới lực bẻ lái tàu thủy cũng như những giải pháp giảm thiểu tác hại tương ứng cũng như đưa ra trạng thái xâm thực bánh lái tàu thủy theo tham số vận hành.

Ý nghĩa thực tiễn của luận án:

- Kết hợp chặt chẽ cơ sở khoa học lý thuyết đặc thù liên quan đến khoa học chuyên ngành hàng hải với thực tiễn hàng hải. Hơn nữa, xây dựng cơ sở khoa học cho các chuyên gia trong lĩnh vực hàng hải khi triển khai các thuật toán điều khiển tàu thủy có tính đến ảnh hưởng xâm thực bánh lái.

- Đóng góp nhất định vào khoa học chuyên ngành: Xây dựng một phần hệ thống thí nghiệm phục vụ nghiên cứu thực nghiệm về xâm thực bánh lái tàu thủy. Chủ động đánh giá và có giải pháp phù hợp về ảnh hưởng của xâm thực bánh lái đến lực bẻ lái tàu thủy đặc biệt trong chế độ điều động tàu.

6. Những điểm đóng góp mới của luận án

6.1. Xây dựng giải thuật mô phỏng số đối với bài toán 2D và bài toán 3D cho mô hình dòng chảy xâm thực bao quanh bánh lái tàu thủy. Từ đó tính toán mô phỏng chi tiết cho bánh lái của tàu M/V TAN CANG FOUNDATION bằng phương pháp BEM, xâu chuỗi 2D và ứng dụng CFD cùng phần mềm Fluent-Ansys;

6.2. Đưa ra đặc tính xâm thực bánh lái, ảnh hưởng tới lực bẻ lái ở các trạng thái vận hành với các tổ hợp đầu vào (n_i , α_i). Đồng thời xây dựng mô hình nghiên cứu bằng phương pháp số và quy trình tính toán mô phỏng ảnh hưởng xâm thực cục bộ tại mép vào bánh lái tới lực bẻ lái, tương ứng tổ hợp (n_i , α_i) khi xuất hiện xâm thực cục bộ, cụ thể như sau:

- Chu kỳ (T) và tần số dao động (f) của lực bẻ lái đối với tàu M/V TAN CANG FOUNDATION là: $T = 0,091s$ và $f = 11Hz$;

- Biên độ dao động (A) của lực bẻ lái trong giai đoạn bánh lái xuất hiện xâm thực cục bộ phụ thuộc vào tốc độ dòng chảy và góc bẻ lái. Đã xây dựng được công thức xác định biên độ dao động lực bẻ lái của tàu M/V TAN CANG FOUNDATION là: $A = 2 \frac{k}{L} R_{tb}$;

- Dự báo quy luật về lực tác động trên bánh lái tàu thủy và đề xuất khuyến cáo hạn chế ảnh hưởng của xâm thực. Đưa ra quy luật biến thiên lực bẻ lái theo thời gian $R(t)$ khi bị ảnh hưởng xâm thực cục bộ tại mép vào bánh lái. Kết quả tính toán mô phỏng áp dụng cụ thể cho bánh lái tàu M/V TAN CANG FOUNDATION, khi góc bẻ lái $\alpha = 35^0$ và vận tốc tàu $V = 7,5$ m/s.

6.3. Phân tích, đánh giá và so sánh kết quả nghiên cứu thực nghiệm với các phương án khác liên quan. Hơn nữa, nghiên cứu khảo sát thực địa đối với tàu M/V TAN CANG FOUNDATION, nhằm minh chứng cho một số kết quả tính toán mô phỏng về xâm thực trên bánh lái cũng như ảnh hưởng của xâm thực tới lực bẻ lái tàu thủy.

7. Kết cấu của luận án

Kết cấu của đề tài luận án gồm các phần thứ tự sau:

- Phần mở đầu;
- Phần nội dung (*được chia thành 4 chương*);
- Phần kết luận và kiến nghị;
- Danh mục các công trình khoa học đã công bố liên quan đến luận án;
- Tài liệu tham khảo;
- Phần phụ lục (*gồm 6 phụ lục*).

Trong phần nội dung của luận án được chia thành 4 chương như sau:

Chương 1. Tổng quan ảnh hưởng xâm thực bánh lái đến lực bẻ lái tàu thủy.

Chương 2. Tính toán mô phỏng xâm thực bánh lái tàu thủy.

Chương 3. Đánh giá ảnh hưởng của xâm thực bánh lái đến lực bẻ lái tàu thủy.

Chương 4. Nghiên cứu thực nghiệm: Phân tích, so sánh và đánh giá kết quả.

CHƯƠNG 1. TỔNG QUAN ẢNH HƯỞNG XÂM THỰC BÁNH LÁI ĐẾN LỰC BỀ LÁI TÀU THỦY

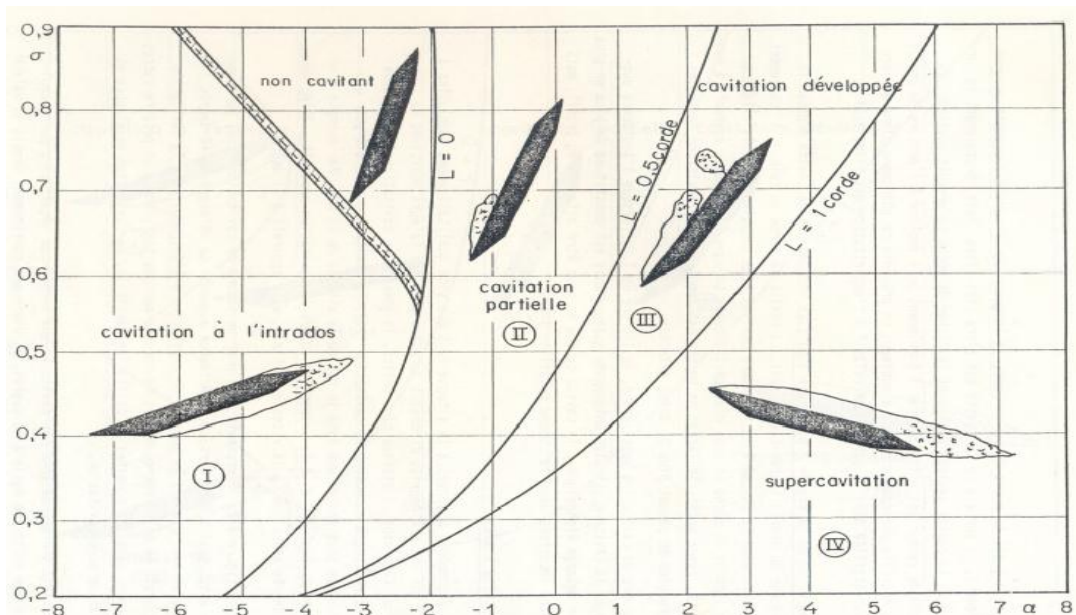
1.1. Tổng quan về vấn đề nghiên cứu của luận án

Nghiên cứu sinh đã nghiên cứu, tìm tòi tài liệu và phân tích cụ thể lĩnh vực nghiên cứu của luận án với các công trình đã công bố liên quan ở trong nước và nước ngoài, có thể kể đến một số công trình sau:

Tình hình nghiên cứu trên thế giới liên quan đến luận án:

Trên thế giới đã công bố về xâm thực từ những năm 1980 của thế kỷ 20, các nghiên cứu chủ yếu là đo đạc thực nghiệm, nhưng các kết quả đã minh chứng khá rõ nét lý thuyết về vấn đề xâm thực trên cánh dẫn nói chung và bánh lái tàu thủy nói riêng, có thể kể đến:

- Năm 1985, các tác giả J. Pierre Franc và J. Marie. Michel [67, 71, 74], đã công bố và phân biệt các loại xâm thực, điều kiện xuất hiện các loại xâm thực này theo số xâm thực và góc đặt cánh. Với một mẫu profil đặc thù khác, năm 1986 tại Pháp tác giả Nguyễn Thế Mịch [72] đã nghiên cứu thực nghiệm để đo đạc được kích thước túi hơi xâm thực cục bộ, tốc độ dòng chảy ngược và đặc biệt là chu kỳ hình thành, phát triển và mất đi của chúng theo hình 1.1.



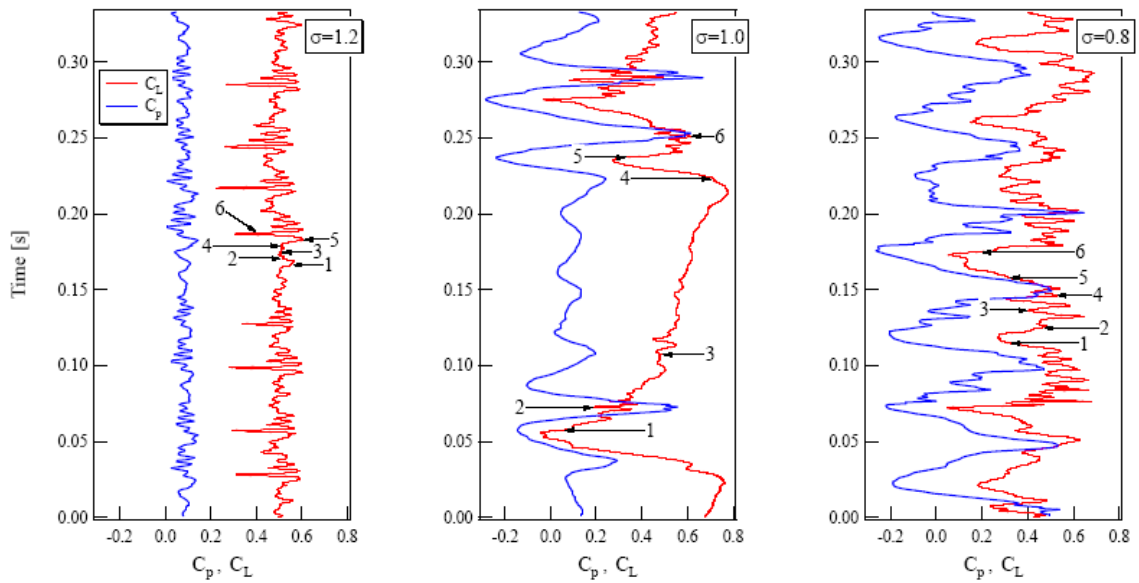
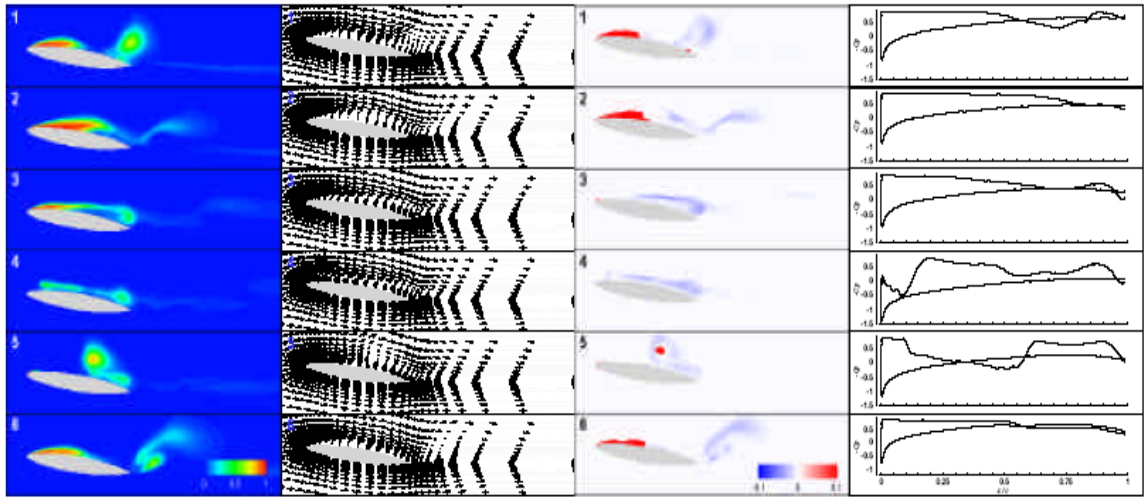
Hình 1.1. Bảng định dạng chiều dài vùng xâm thực với $V = 10 \text{ m/s}$

Những năm gần đây, với sự phát triển của khoa học công nghệ, đặc biệt là công nghệ thông tin với cấu hình máy tính tăng cao, đáp ứng tốt công việc tính toán bài toán khối lượng lớn, thì mô phỏng dòng chảy (hải lưu) là lựa chọn tối ưu khi nghiên cứu về xâm thực. Nhiều tác giả đã khai thác khá sâu các thuật toán khác nhau và đưa ra các kết quả cụ thể hơn.

- Năm 2001, công trình khoa học của nhóm nghiên cứu A. V. Pustoshny, S. V. Kaprantsev [43], thuộc Viện nghiên cứu tàu thủy Krylov tại St. Petersburg, Liên bang Nga, đã nghiên cứu về động lực học chân vịt, các yếu tố ảnh hưởng tới động lực học chân vịt tàu thủy. Công trình đã thiết lập các mô hình toán, tính toán và phân tích tác động của động lực học chân vịt, cũng như các yếu tố cơ bản ảnh hưởng đến động lực học chân vịt, có xét đến hiện tượng xâm thực trong một số chế độ điều động tàu thủy.

- Năm 2003 công trình nghiên cứu của nhóm tác giả O. Coutier Delgosha và J. F. Devillers [62] về thực nghiệm và mô phỏng số dòng xâm thực bao quanh hydrofoil. Các tác giả đã xây dựng bài toán trên mô hình 3D của máy thủy lực cánh dẫn như: chân vịt tàu thủy, bơm cánh dẫn,... để xác định vùng xâm thực trên cánh dẫn cũng như sự thay đổi của chúng ở các chế độ vận hành khác nhau.

- Năm 2003 các tác giả Yoshinori Saito, Ichiro Nakamori và Toshiaki Ikohagi (Nhật Bản) [63], đã tính toán mô phỏng dòng xâm thực cánh 2D, đưa ra chu kỳ của túi hơi cũng như hệ số áp suất, hệ số lực nâng. Kết quả tính toán mô tả cụ thể theo hình 1.2.

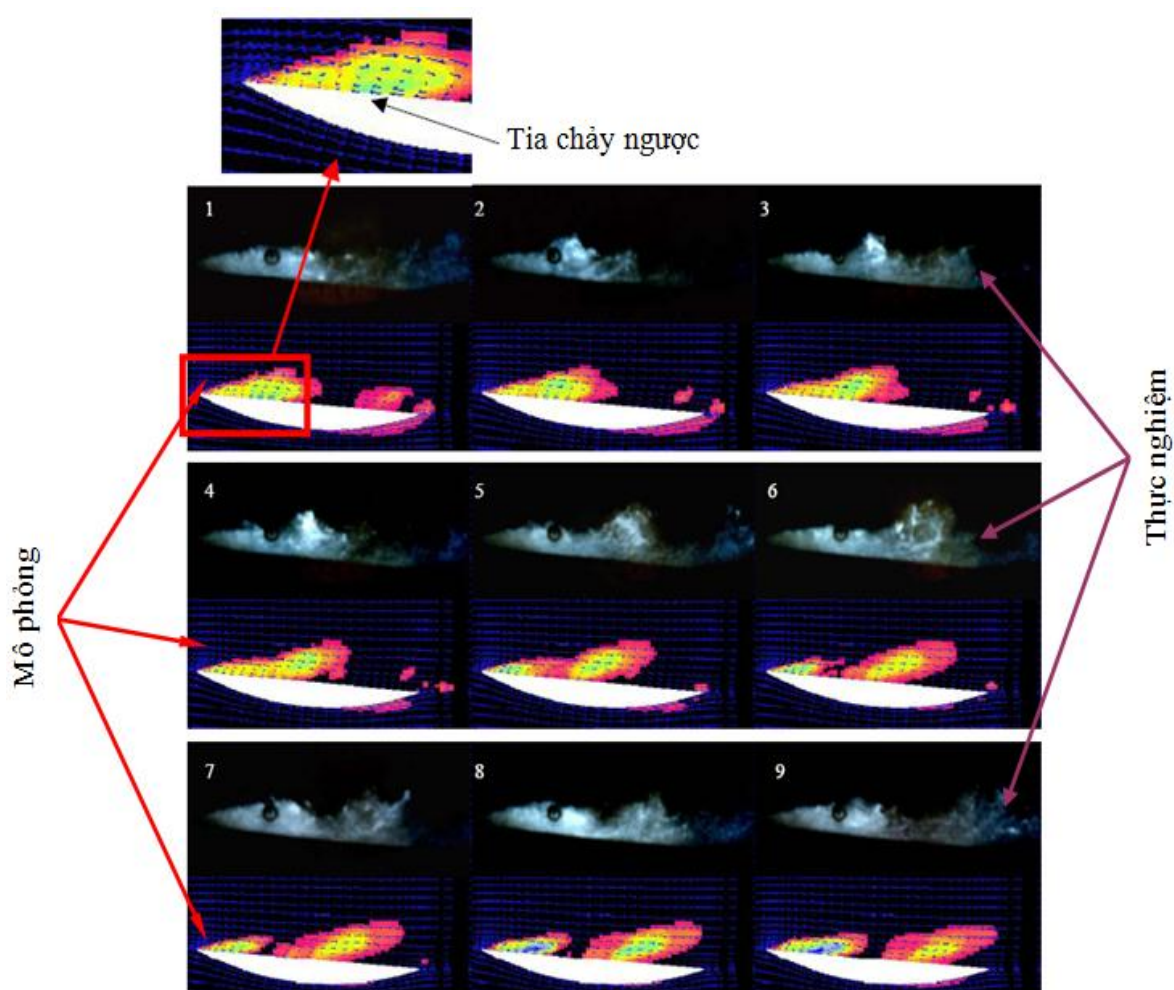


Hình 1.2. Chu kỳ của túi hơi xâm thực, hệ số lực nâng và hệ số áp suất tại các số xâm thực khác nhau

- Năm 2003 các tác giả Masashi Fukaya, Tomoyoshi Okamura, Yoshiaki Tamura và Yoichiro Matsumoto tại Nhật Bản [64], đã đưa ra một số kết quả quan trọng về xâm thực trên profil cánh, được mô tả theo hình 1.3 và hình 1.4.

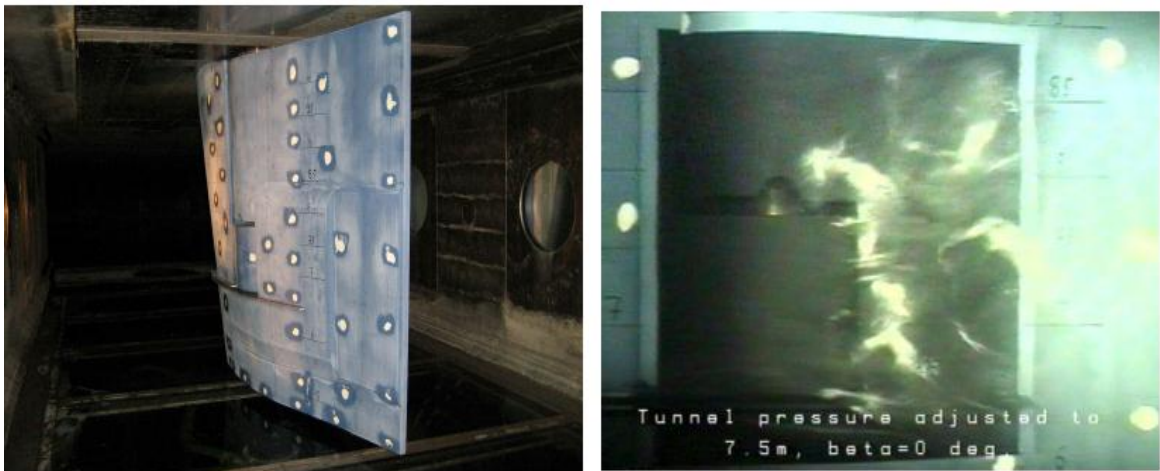


Hình 1.3. Hình ảnh xâm thực trên cánh



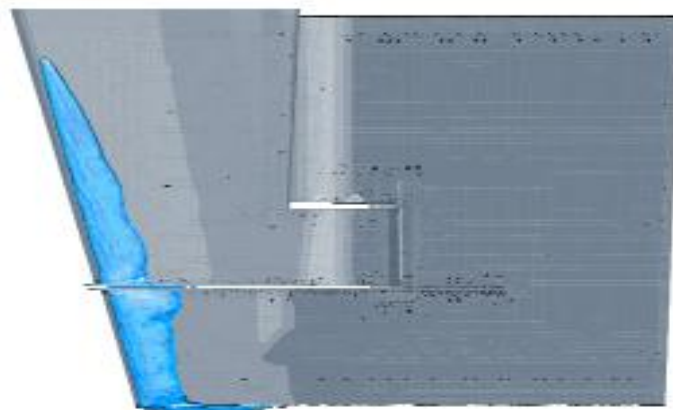
Hình 1.4. Chu kỳ của xâm thực cục bộ giữa thực nghiệm và mô phỏng

- Năm 2009 các tác giả Thomas Lücke, Heinrich Streckwall, thuộc Hamburgische Schiffbau-Versuchsanstalt GmbH (HSVA), Hamburg, Liên bang Đức [70, 74], đã công bố những nghiên cứu thực nghiệm và tính toán mô phỏng số về xâm thực trên bánh lái “semi spade”, với kết quả cụ thể được mô tả theo hình 1.5 và hình 1.6.



Hình 1.5. Hình ảnh bánh lái trong hệ thống thí nghiệm HYKAT, LB. Đức

Các kết quả nghiên cứu về xâm thực đã chỉ rõ việc xuất hiện xâm thực cục bộ tại mép vào bánh lái cũng như vùng xâm thực tại mép thoát tại một số chế độ điều động tàu khác nhau.



Hình 1.6. Hình ảnh xâm thực cục bộ tại mép vào bánh lái

Tình hình nghiên cứu trong nước liên quan đến luận án:

Do vấn đề nghiên cứu về xâm thực đòi hỏi sự công phu và khá tốn kém, nên trong nước cũng chỉ bước đầu nghiên cứu tại một vài trường đại học, viện nghiên cứu trọng điểm.

- Các công trình khoa học, tài liệu về thủy lực của các tác giả như: GS. TS. Nguyễn Thế Mịch, GS. TS. Lê Danh Liên, PGS. TS. Võ Sỹ Huỳnh, PGS. TS. Nguyễn Thế Đức, PGS. TS. Nguyễn Thị Xuân Thu, PGS. TS. Nguyễn Văn Bày, PGS. TS. Trương Việt Anh, TS. Lê Xuân Hoà [18, 19, 20, 21, 22, 24, 25, 26, 27, 35, 75],... đã đưa ra được cơ chế hình thành xâm thực, tác hại, cũng như các biện pháp khắc phục thường dùng và diễn hình cho các loại máy thủy lực cánh dẫn như bơm ly tâm, bơm cánh dẫn hướng trục, tua bin nước,...

- Năm 2013 tác giả Lê Thị Thái tại Trường Đại học Bách khoa Hà Nội [38], trong công trình nghiên cứu hiện tượng xâm thực bao quanh chân vịt tàu thủy, sử dụng các phương pháp tính toán số ứng dụng cho bài toán dòng qua chân vịt tàu thủy khi có xâm thực và không xâm thực. Đồng thời sử dụng các phương pháp RANS, LES để giải quyết vấn đề nghiên cứu.

- Tại Trung tâm Bơm, Viện khoa học Thủy lợi, đã tiến hành khá nhiều thí nghiệm về bơm và xâm thực trong bơm, cũng được phát hiện và xử lý theo hướng tăng khả năng chống xâm thực của cánh bơm. Các kết quả này được thể hiện rõ trong các công trình của nhóm tác giả do GS. TS. Nguyễn Thế Mịch, TS. Phạm Văn Thu, TS. Vũ Văn Duy và các cộng tác thực hiện [28].

- TS. Vũ Văn Duy cùng nhóm nghiên cứu, thuộc Trường Đại học Hàng hải Việt Nam [36, 37, 39], đã công bố một số kết quả về động lực học dòng chảy bao, xâm thực cánh dẫn, tính toán mô phỏng dòng chảy bao quanh tàu thủy, ứng dụng chương trình CFD để tính toán mô phỏng,...

- Tại Viện Khoa học và Công nghệ tàu thủy, Trường Đại học Hàng hải Việt Nam, đã xây dựng bể thử mô hình và bước đầu tiếp cận tới các bài toán xâm thực.

Hơn nữa, còn một số các công trình của các tác giả [55, 56, 57, 66, 74], đã thực hiện các nghiên cứu về xâm thực trên cánh dẫn tại các trung tâm nghiên cứu, cơ sở đào tạo tại nước ngoài và các kết quả này đang dần triển khai ở điều kiện trong nước,...

Từ các kết quả công bố của các công trình, nhận xét rằng:

- Trong nước, các kết quả nghiên cứu về xâm thực trên cánh dẫn của máy thủy lực đã được nhiều tác giả công bố. Tuy nhiên, việc nghiên cứu để làm rõ cơ sở khoa học về xâm thực trên bánh lái tàu thủy và phân tích, đánh giá ảnh hưởng của chúng đến lực bẻ lái và đặc tính điều khiển hướng chuyển động của tàu thủy là vấn đề khoa học mà trong nước chưa có công trình hoặc tác giả công bố.

- Trên thế giới, những năm gần đây tập trung nghiên cứu khá sâu về vấn đề xâm thực trên các profil cánh 2D và 3D cũng như trên bánh công tác của máy thủy lực cánh dẫn như: bơm cánh dẫn, trong tua bin, chân vịt tàu thủy,... nhưng phần lớn các công trình nghiên cứu dựa trên sự hỗ trợ quan trọng của các trang thiết bị đo đạc, tính toán rất hiện đại và đắt tiền. Với điều kiện trong nước hiện nay thì điều này khó có thể thực hiện được. Mặt khác, kết quả nghiên cứu dừng lại ở việc nghiên cứu từng phần, nghiên cứu lý thuyết, nghiên cứu mô phỏng số, ứng dụng CFD để tính toán mô phỏng xâm thực cánh dẫn,... Đặc biệt các kết quả phân tích chuyên sâu về xâm thực bánh lái đến lực bẻ lái và đặc tính điều khiển hướng chuyển động tàu thủy vẫn còn mang tính bản quyền của hãng sản xuất, trung tâm nghiên cứu về khoa học hàng hải, chưa được tác giả hoặc nhóm tác giả công bố.

Như vậy, với phạm vi và đối tượng nghiên cứu cụ thể của luận án, vấn đề nghiên cứu của nghiên cứu sinh luôn mang tính thời sự, có ý nghĩa khoa học và thực tiễn chuyên ngành hàng hải và không trùng lặp với các công trình đã công bố trước đó.

1.2. Xâm thực bánh lái tàu thủy

1.2.1. Khái niệm xâm thực

Hiện tượng xâm thực xuất hiện khi áp suất của chất lỏng tại nơi nào đó bao quanh cánh dẫn nhỏ hơn hoặc bằng áp suất hơi bão hoà, khi đó những phần tử chất lỏng ở sát thành và lân cận sẽ tách ra tạo thành các đám bọt gọi

là túi hơi xâm thực. Ứng với mỗi chế độ vận hành khác nhau các túi hơi này sẽ có đặc điểm riêng, từ đó có các tên gọi khác nhau [2, 3, 7, 10, 71].

Hình 1.7 mô tả hiện tượng xâm thực trên bánh lái của tàu M/V TAN CANG FOUNDATION, được nghiên cứu sinh khảo sát thực địa khi tàu lên đà sửa chữa tại nhà máy Ship Marine Sài Gòn, tháng 5/2016 [41, 42].



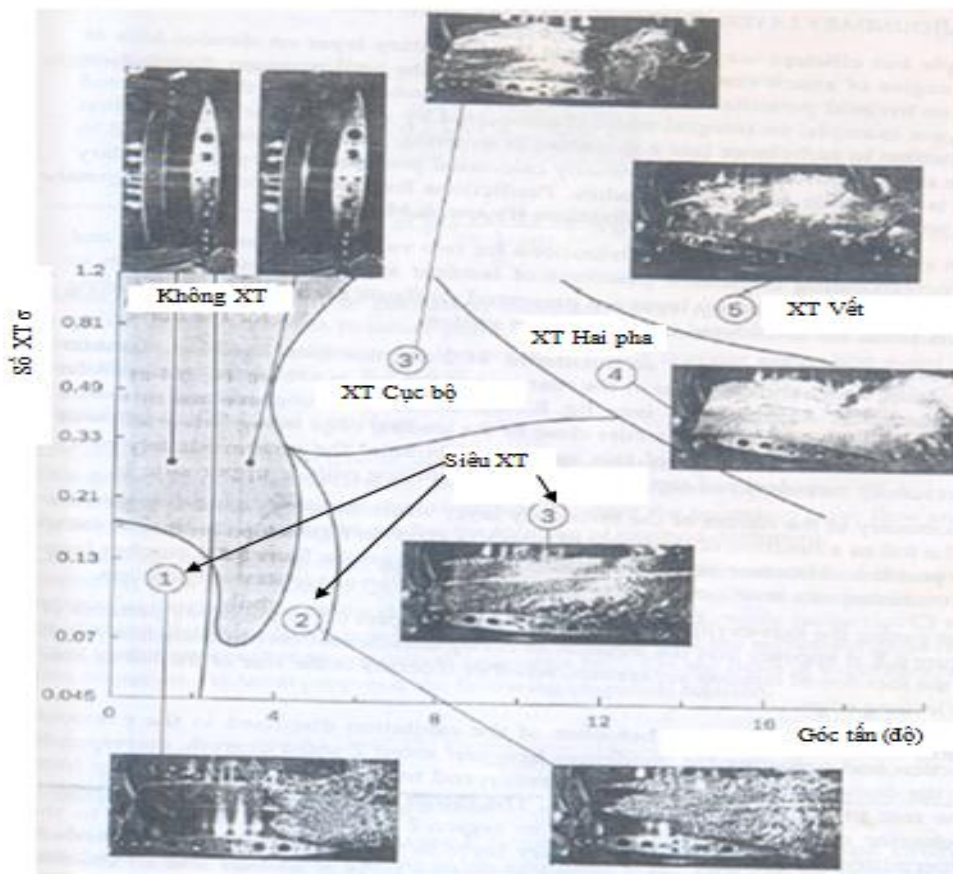
Hình 1.7. Xâm thực trên bánh lái tàu M/V TAN CANG FOUNDATION

Bằng nghiên cứu thực nghiệm, các tác giả J. Pierre Franc và J. Marie. Michel [67, 71], đã đưa ra bảng phân loại xâm thực trên cánh dẫn theo các góc đặt cánh và số xâm thực khác nhau, cũng như phân tích đặc điểm chính của mỗi loại xâm thực theo hình 1.8, đã mô tả ranh giới các loại xâm thực. Tuy nhiên hình ảnh thực nghiệm trên mẫu cánh NACA 16012 với $R_e = 10^6$ nên số liệu góc đặt cánh và số xâm thực ở đây mang tính chất tham khảo.

Khi số xâm thực là nhỏ ($\sigma \leq 0,33$), nhận thấy vùng xâm thực kéo dài vượt khỏi dây cung của cánh và được gọi là “siêu xâm thực”. Nhưng với các góc đặt cánh khác nhau, chúng cũng có đặc điểm riêng:

- Góc đặt cánh từ $0^\circ \div 3^\circ$, thấy những điểm đầu tách thành có dạng đường thẳng và ở gần phía mép sau cánh.

- Góc đặt cánh từ $0^0 \div 5^0$, thì những điểm tách thành này phân bố không thẳng hàng và kéo dần lên mép trên cánh.
- Góc đặt cánh lớn hơn 5^0 , lúc này các điểm tách thành đầu tiên phân bố dọc theo mép trên của cánh.



Hình 1.8. Hình ảnh xâm thực trên cánh NACA16012 khi số $Re = 10^6$

Khi số xâm thực $\sigma > 0,33$ và góc đặt cánh từ $5^0 \div 12^0$ túi hơi xâm thực cũng tách thành dọc theo mép trên cánh, nhưng vùng đóng túi hơi nằm ngay trên lưng cánh, nên loại xâm thực này gọi là “xâm thực cục bộ”. Đặc điểm xâm thực này là không ổn định (nếu kích thước túi hơi phù hợp), chúng hình thành, phát triển và mất đi theo chu kỳ nhất định.

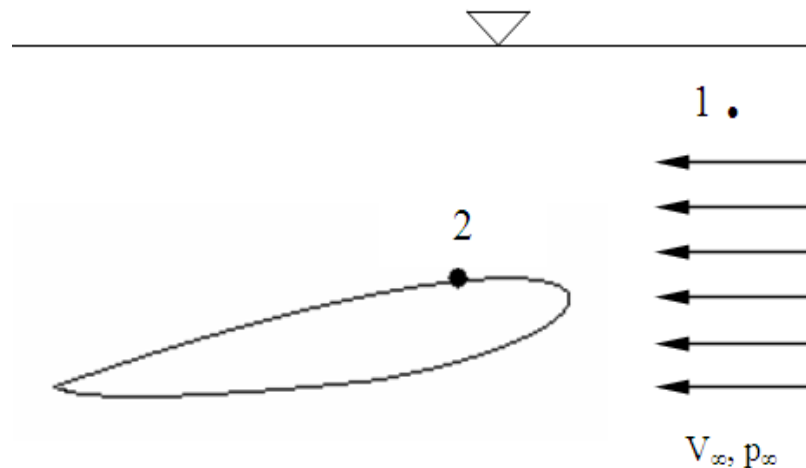
Khi số xâm thực $\sigma > 0,33$ và góc đặt cánh lớn hơn 12^0 tồn tại vùng “xâm thực 2 pha”.

Vùng ứng với số xâm thực $\sigma > 1,2$ và góc đặt cánh lớn, sẽ có dạng “xâm thực vết”, loại xâm thực này hình thành và nổ với chu kỳ rất ngắn.

Ngoài ra còn một loại xâm thực là “xâm thực xoáy” có đặc điểm là xuất hiện trong máy thủy lực cánh dẫn, đám bọt xâm thực từ cánh thoát ra và tạo thành vệt xoáy trong không gian.

1.2.2. Điều kiện xuất hiện xâm thực

Xét dòng chảy bao profil ngậm trong nước như hình 1.9 [37].



Hình 1.9. Hình ảnh dòng chảy bao profil bất kỳ

Trong đó: V_∞, p_∞ - vận tốc và áp suất của dòng ngoại vi;

1, 2 - hai điểm nằm trên cùng một đường dòng.

Áp dụng phương trình Becnulli cho hai điểm 1 và điểm 2 [2, 3, 4, 7, 10,

14, 17, 37], nhận được:

$$\frac{V_1^2}{2g} + \frac{p_1}{\gamma} = \frac{V_2^2}{2g} + \frac{p_2}{\gamma} \quad (1.1)$$

Suy ra:

$$p_2 = p_1 - \frac{\gamma}{2g} (V_2^2 - V_1^2)$$

Để bắt đầu xuất hiện xâm thực điều kiện là: $p_2 \leq p_{bh}$

Trong đó: p_{bh} - áp suất hơi bão hoà của chất lỏng công tác, nghĩa là:

$$p_2 = p_1 - \frac{\gamma}{2g} (V_2^2 - V_1^2) \leq p_{bh}$$

Suy ra:

$$\frac{p_1 - p_{bh}}{\frac{1}{2g} \gamma V_1^2} \leq \left(\frac{V_2}{V_1} \right)^2 - 1 \quad (1.2)$$

$$\text{Đặt số xâm thực: } \sigma = \frac{p_1 - p_{bh}}{\frac{1}{2g} \gamma V_1^2} \quad (1.3)$$

$$\text{và hệ số loãng là: } K = \left(\frac{V_2}{V_1} \right)^2 - 1$$

Khi đó, điều kiện để xuất hiện xâm thực là:

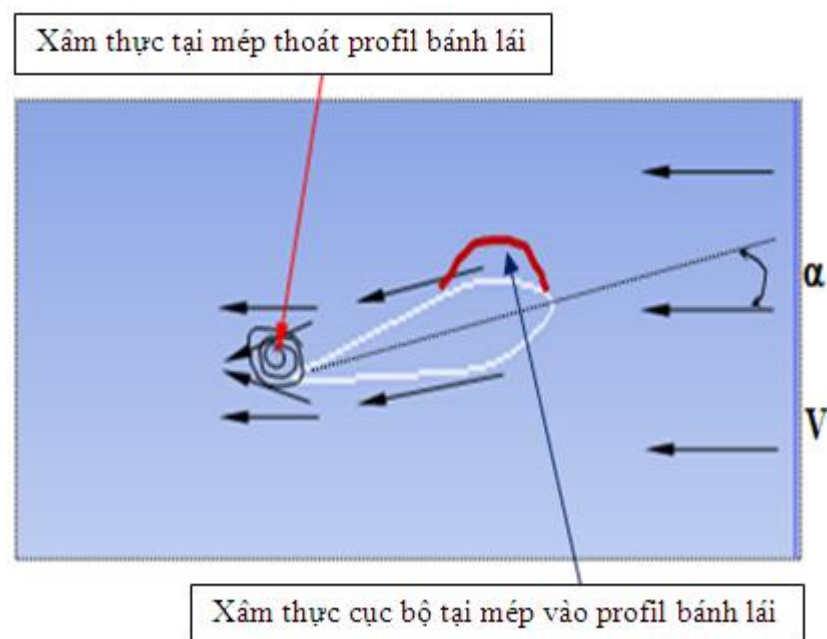
$$\sigma \leq K \quad (1.4)$$

1.2.3. Một số loại xâm thực trên bánh lái tàu thủy

Trên bánh lái tàu thủy có thể tồn tại chủ yếu hai loại xâm thực là xâm thực cục bộ tại mép vào và xâm thực tại mép thoát bánh lái. Hai loại xâm thực này có đặc tính khác nhau và ảnh hưởng tới lực bẻ lái cũng khác nhau. Ngoài ra còn xuất hiện loại xâm thực bánh lái “cưỡng bức” từ chân vịt tàu thủy.

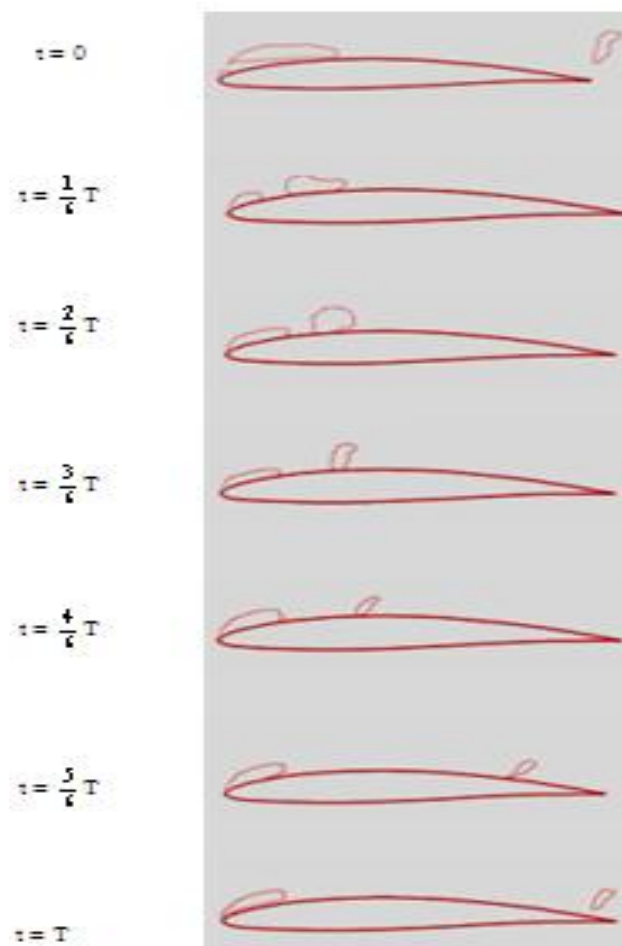
Xâm thực cục bộ tại mép vào bánh lái

Có dạng túi hơi bám sát cánh với điểm tách thành là gần mép vào mặt hút của bánh lái và vùng đóng nằm trên cánh. Đây là loại xâm thực xuất hiện cục bộ chủ yếu trên bánh lái, ảnh hưởng đáng kể đến lực bẻ lái tàu thủy. Hình 1.10 mô tả xâm thực cục bộ tại mép vào trên một profil bánh lái tàu thủy.



Hình 1.10. Hình ảnh túi hơi xâm thực cục bộ tại mép vào profil bánh lái

Nếu kích thước túi hơi phù hợp, chúng sẽ hình thành, phát triển và mất đi mang tính chu kỳ dẫn tới ảnh hưởng đến lực bề lái tàu thủy. Ngoài ra cấu trúc bọt ở phía sau túi hơi khi “nổ” gây ăn mòn bề mặt bánh lái. Từ các tài liệu thực nghiệm [37, 67, 71], có thể phân chu kỳ của loại xâm thực này thành 6 giai đoạn theo hình 1.11.

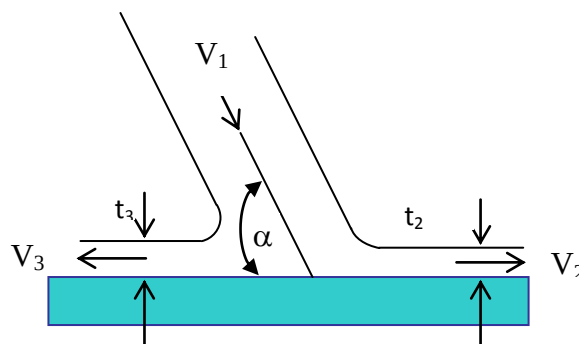


Hình 1.11. Các giai đoạn trong một chu kỳ của xâm thực cục bộ mép thoát

Vậy tại sao túi hơi phát triển tới một kích thước nào đó thì lại bị cuốn đi theo dòng chảy? Điều này được giải thích là do xuất hiện dòng chảy ngược: Bởi lẽ, khi hình thành túi hơi thì dòng chảy sẽ trùn qua nó hay biên dạng cánh lúc này như được đắp thêm phần túi hơi. Vậy chính hình dạng và kích thước túi hơi dẫn tới sự xuất hiện dòng chảy ngược này. Để hiểu rõ cơ chế chúng ta xét vấn đề vật lý mô tả theo hình 1.12 [37].

Gọi V_1 là vận tốc ban đầu của dòng chảy ở ngoài tới tiếp cận thành rắn

với góc nghiêng α , khi tiếp xúc với thành rắn chúng phân chia thành 2 thành phần là V_2 xuôi theo dòng và V_3 quay ngược trở lại. Như vậy tốc độ của dòng chảy ngược V_3 phụ thuộc vào vận tốc ban đầu V_1 và góc nghiêng α .



Hình 1.12. Hình ảnh dòng chảy tiếp cận với thành rắn

Với xâm thực cục bộ thì góc α được định dạng bởi hình dáng túi hơi, vì vậy phải đạt đến giá trị α nhất định thì dòng chảy ngược mới đủ năng lượng để bóc túi hơi ra khỏi thành và cuốn theo dòng chảy. Đây là nguyên nhân tạo ra tính chu kỳ của xâm thực cục bộ và ảnh hưởng tới lực bẻ lái trên bánh lái.

Xâm thực tại mép thoát bánh lái

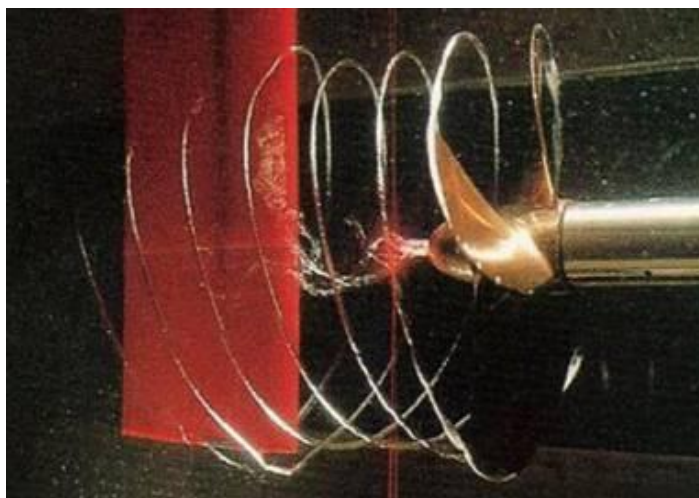
Trên hình 1.10, về phía mép thoát có hiện tượng dòng chảy từ hai phía bánh lái tàu thủy giao nhau và tạo thành vùng xoáy. Ở đây tốc độ dòng chảy tăng nhanh và áp suất giảm xuống, nghĩa là khi áp suất tại đây giảm xuống dưới áp suất hơi bão hòa của chất lỏng, sẽ xuất hiện vùng xâm thực và được gọi là xâm thực mép thoát và cũng ảnh hưởng đến lực bẻ lái tàu thủy.

Xâm thực bánh lái “cưỡng bức” từ chân vịt tàu thủy

Xâm thực bánh lái “cưỡng bức” hay gọi là “thụ động” [74, 75], từ chân vịt tàu thủy là hiện tượng bánh lái bị đám bọt xâm thực từ chân vịt thổi ra (từ bầu và đỉnh cánh chân vịt), đã bám trên bề mặt bánh lái tàu thủy làm ảnh hưởng tới cả trị số và tính ổn định của lực bẻ lái tàu thủy (hình 1.13).

Trong trường hợp này việc xuất hiện xâm thực trên bánh lái tàu thủy phụ thuộc vào chế độ làm việc của chân vịt, mà hầu như không phụ thuộc vào góc bẻ lái. Vì vậy, trong giới hạn nghiên cứu của đề tài luận án, nghiên cứu sinh

không nghiên cứu hiện tượng xâm thực này.



Hình 1.13. Hình ảnh bánh lái bị xâm thực cường bức từ chân vịt tàu thủy

1.2.4. Một số phương trình chủ đạo

Cùng với thời gian, đã hình thành nhiều phương pháp và kỹ thuật tính toán mô phỏng về xâm thực. Các phương pháp giải là khác nhau, nhưng đều xoay quanh việc giải quyết các phương trình vi phân chủ đạo dưới đây. Trường hợp này xét chất lỏng không nén được và trường vận tốc là trường thế, cụ thể [2, 3, 4, 7, 10, 14, 17]:

- Phương trình liên tục:

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad (1.5)$$

- Phương trình chuyển động Euler:

$$\frac{d\vec{V}}{dt} = \vec{F} - \frac{1}{\rho} \text{grad}p \quad (1.6)$$

- Phương trình Navier-Stokes (ký hiệu NS) với dòng chất lỏng nhớt không nén được:

$$\frac{d\vec{V}}{dt} = \vec{F} - \frac{1}{\rho} \text{grad}p + \nu \Delta \vec{V} \quad (1.7)$$

- Phương trình Becnulli:

$$\frac{p}{\gamma} + \frac{V^2}{2g} + z = c = \text{constant} \quad (1.8)$$

- Phương trình Laplace:

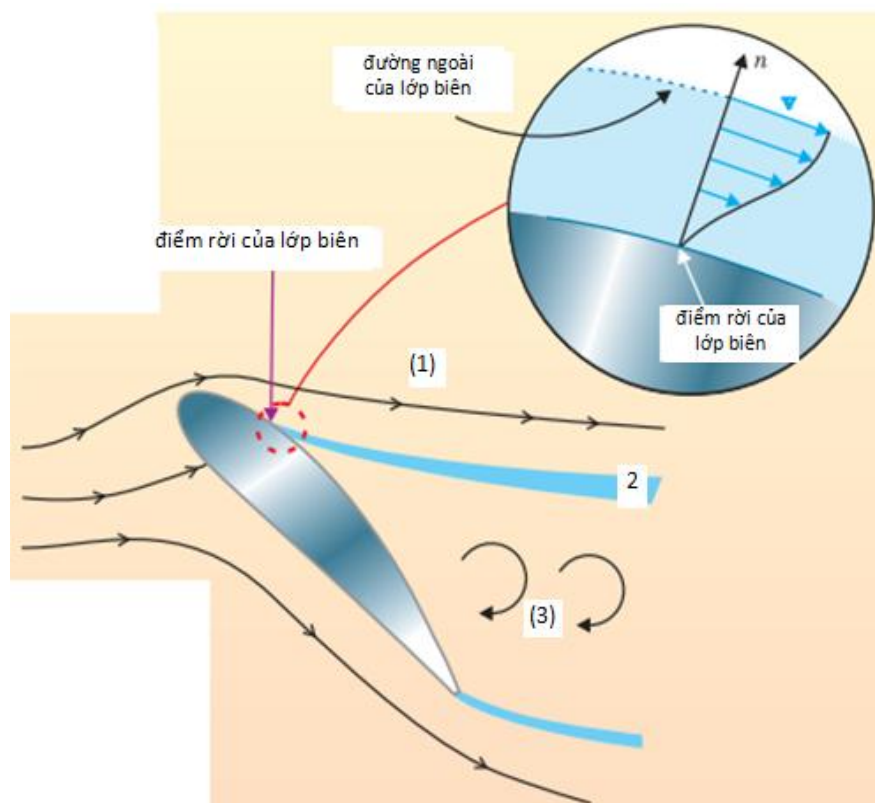
$$\nabla^2 \phi = 0 \quad (1.9)$$

1.2.5. Một số yếu tố ảnh hưởng đến xâm thực bánh lái tàu thủy

Ảnh hưởng của độ nhớt:

Dòng chảy nói chung tồn tại hai trạng thái chảy là chảy tầng và chảy rối (phụ thuộc vào số Rây nôn Re). Do chất lỏng có độ nhớt nên những phần tử lỏng ở sát thành rắn như dính vào thành, hay có vận tốc bằng không và chúng lôi kéo các phần tử tiếp theo tạo thành lớp sát thành có vận tốc biến thiên và gọi là lớp biên. Bề dày của lớp biên cũng như đặc trưng của nó là rất phức tạp, phụ thuộc chủ yếu vào hình dạng hình học của thành rắn.

Để phân tích rõ hơn đặc điểm của dòng chảy bao profil cánh, có thể xét mô hình như hình 1.14 [16, 74, 75].

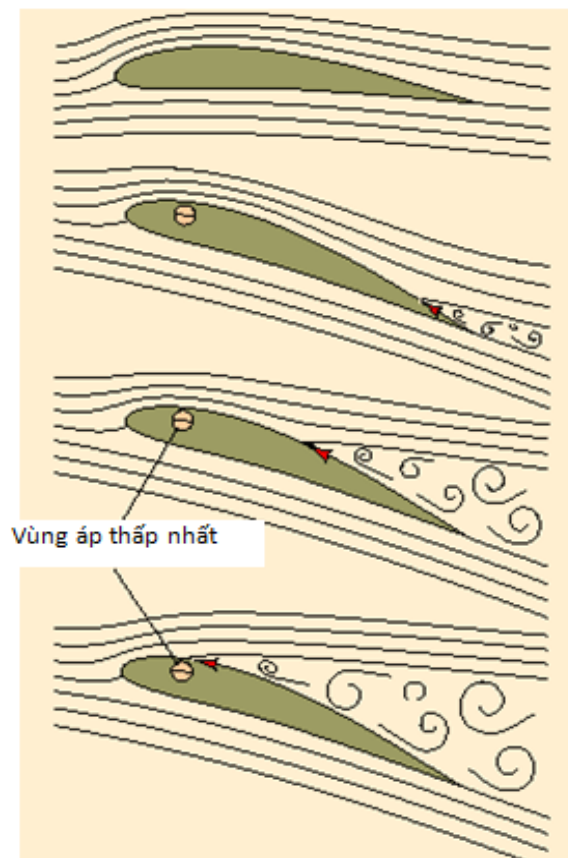


Hình 1.14. Đặc điểm dòng chảy bao profil cánh

- Vùng (1): Là dòng chảy ở phía ngoài lớp biên, gọi là dòng ngoại vi;
- Vùng (2): Là vùng biểu diễn lớp biên, biến thiên vận tốc trong lớp biên được thể hiện dọc theo vector pháp tuyến tại mỗi vị trí trên thành rắn;
- Vùng (3): Là vùng chảy rối sau cánh.

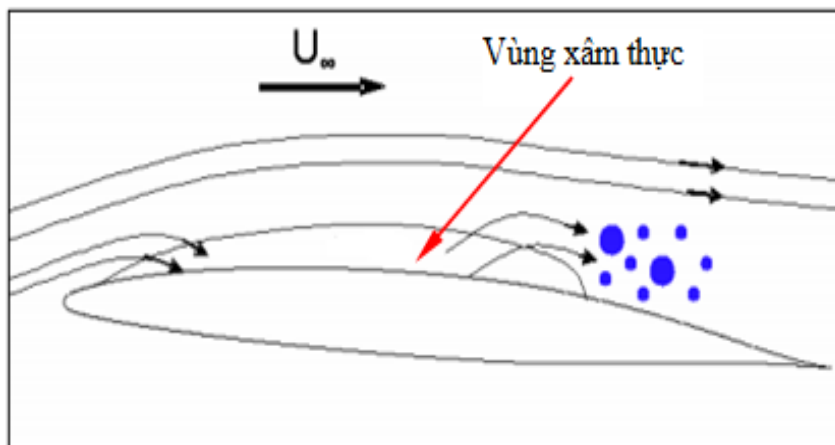
Từ hình 1.14 nhận xét rằng: Vị trí quan trọng nhất của lớp biên chính là điểm rời, thay đổi theo góc tấn khác nhau của profil cánh. Khi góc tấn lớn hơn, thì vị trí của điểm rời đã dịch chuyển dần về phía mép vào của profil cánh.

Nhưng vấn đề quan tâm ở đây là vùng nào sẽ có nguy cơ bị xâm thực, cơ chế hình thành và đặc điểm của chúng ra sao, với mỗi đặc điểm khác nhau của dòng cũng như biên dạng của profil mà các loại xâm thực khác nhau được hình thành.



Hình 1.15. Sự dịch chuyển điểm rời và vùng có áp suất thấp

Từ những lý luận trên về dòng chảy bao profil cánh, có thể hình thành mô hình chung về xâm thực trong chảy bao profil cánh (hình 1.16), còn cơ sở toán học để tính toán mô phỏng sẽ phụ thuộc vào từng loại xâm thực.



Hình 1.16. Mô hình xâm thực trong chảy bao profil cánh

Ảnh hưởng của chất lượng nước:

Do ở điều kiện thường một lượng khí nhất định đã được hoà tan trong nước, chính những phân tử khí này là tác nhân gây xuất hiện các mầm xâm thực khi gặp điều kiện thuận lợi. Vì vậy, chất lượng nước cần được xác định qua phần trăm thể tích khí trong nước.

Từ những năm 1949, đã có những khảo sát liên quan đến vấn đề này và trở thành yếu tố không thể thiếu khi nghiên cứu về xâm thực và có những nghiên cứu bằng thực nghiệm. Lượng khí hoà tan trong một đơn vị thể tích chất lỏng phụ thuộc vào chất lỏng khác nhau và áp suất của môi trường [2, 7].

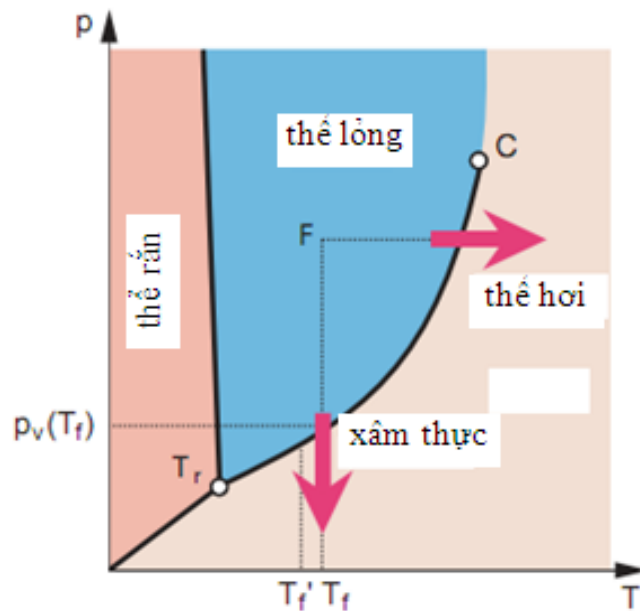
$$\frac{V_k}{V_n} = k \cdot \frac{p_2}{p_1} \quad (1.10)$$

Trong đó: p_1, p_2 - áp suất của nước trước và sau khi hoà tan.

Ảnh hưởng của nhiệt độ:

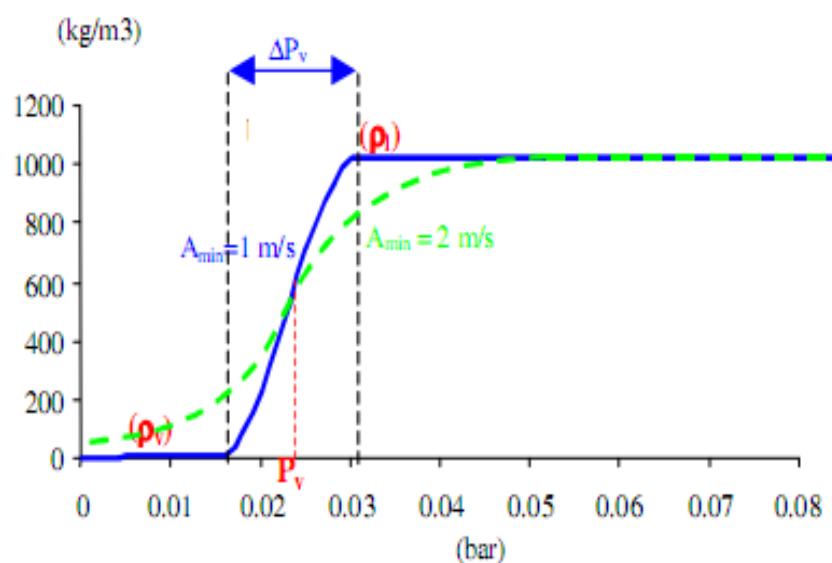
Nhiệt độ nước là yếu tố ảnh hưởng rất lớn tới vấn đề xâm thực, do áp suất bão hoà của chất lỏng phụ thuộc vào nhiệt độ của chất lỏng. Một cách tổng quát, xâm thực xuất hiện khi áp suất của chúng tại nhiệt độ T nhỏ hơn hoặc bằng áp suất bão hoà tại nhiệt độ đó.

Các vùng khác nhau (thể rắn, thể lỏng, thể hơi và vùng xâm thực) của nước theo quan hệ giữa áp suất và nhiệt độ được thể hiện trên hình 1.17, liên quan đến vấn đề này được các tác giả J. Pierre Franc, J. Marie. Michel [67, 71, 74] và các tác giả khác đã công bố.



Hình 1.17. Các thể và vùng xâm thực của nước theo áp suất và nhiệt độ

Để thấy rõ tính chất vật lý của vùng xâm thực, xét khối lượng riêng của nước theo các giá trị áp suất khác nhau tại cùng giá trị nhiệt độ khảo sát, được mô tả chi tiết theo hình 1.18.

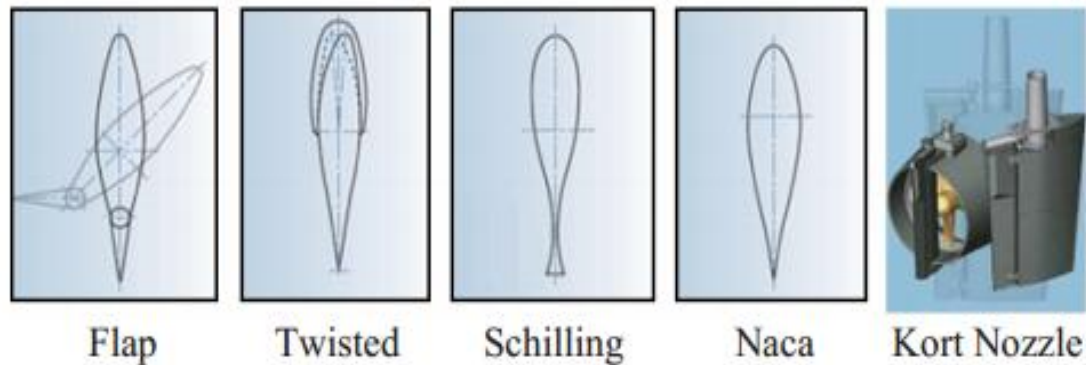


Hình 1.18. Quan hệ giữa khối lượng riêng và áp suất của nước ở 20°C

1.2.6. Một số profil bánh lái tàu thủy và cơ cấu điều khiển thường dùng

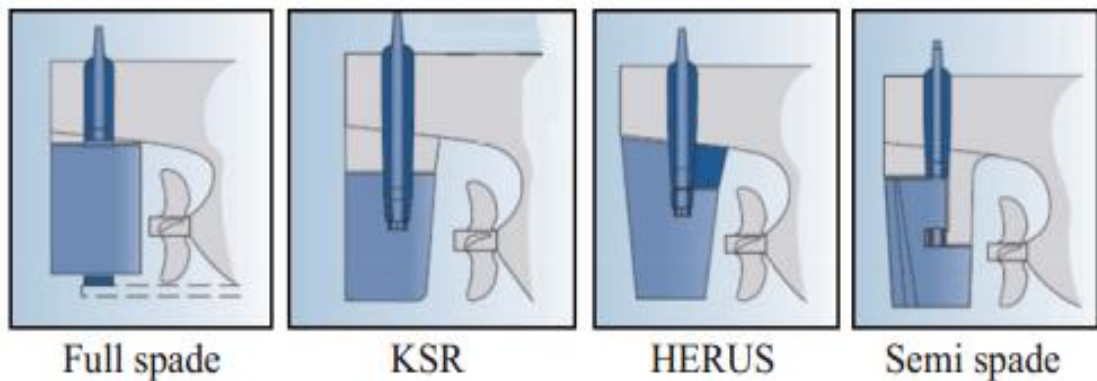
Hình 1.19 mô tả một số loại profil bánh lái thường dùng hiện nay. Tuy nhiên, bánh lái tàu thủy có dạng profil đối xứng để đảm bảo khi góc bẻ lái $\alpha^0 = 0^0$ thì không có lực bẻ lái và tàu sẽ chuyển động thẳng.

Hiện nay, hầu hết tàu hàng của Việt Nam thì profil bánh lái được lựa chọn theo mẫu của NACA [11, 37, 52, 68, 69, 74, 75].



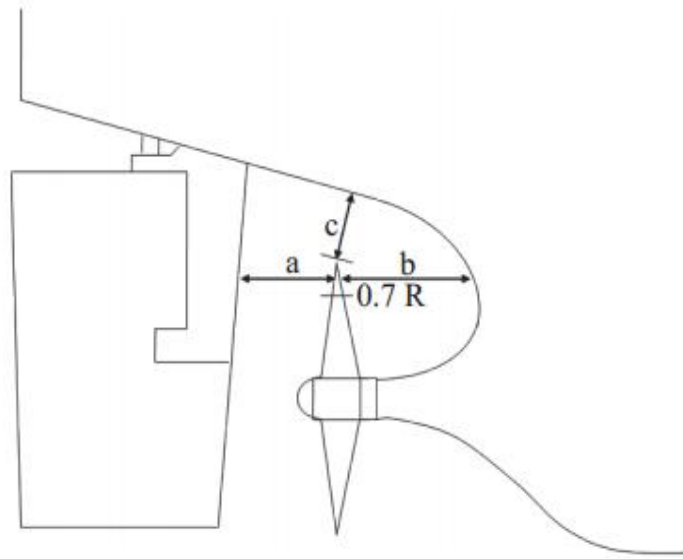
Hình 1.19. Một số loại profil bánh lái tàu thủy

Trên hình 1.20 mô tả một số cơ cấu điều khiển kết hợp với loại bánh lái tàu thủy có profil theo mẫu NACA thường được sử dụng cho tàu hàng hiện nay.



Hình 1.20. Một số loại cơ cấu điều khiển bánh lái tàu thủy

Một số kích thước cơ bản theo tiêu chuẩn trong trường hợp này, mô tả theo hình 1.21.



Hình 1.21. Một số kích thước theo tiêu chuẩn khi thiết kế bánh lái

Trong đó:

$$\begin{aligned} a &\geq 0,2 r \text{ (r là bán kính chân vịt)} \\ b &\geq (0,7 - 0,04Z)r \text{ (Z là số cánh chân vịt)} \\ c &\geq (0,48 - 0,02Z)r \end{aligned} \quad (1.11)$$

Như vậy, bài toán xâm thực bánh lái chính là bài toán dòng chảy bao quanh cánh dẫn với đầu vào là trường vận tốc sau chân vịt, chiều sâu bánh lái và góc bề lái.

Ứng với mỗi tổ hợp số vòng quay chân vịt và góc bề lái, kết hợp với độ sâu đặt bánh lái dẫn tới bánh lái có bị xâm thực hay không.

Thông thường trong các chế độ điều động tàu thì bánh lái rơi vào trạng thái bị xâm thực.

1.2.7. Lực bề lái tàu thủy trong giai đoạn xâm thực bánh lái tàu thủy

Lực bề lái tàu thủy (ký hiệu R) xuất hiện khi góc bề lái khác 0^0 (góc bề lái trong khoảng 35^0 trái đến 35^0 phải). Trong giai đoạn bánh lái bị xâm thực thì lực bề lái bị ảnh hưởng như thế nào?

Một cách tổng quát, tùy thuộc vào loại xâm thực xuất hiện trên bánh lái tàu thủy, do điều kiện vận hành khác nhau, sẽ quyết định đến mức độ ảnh hưởng đến lực bề lái.

Giai đoạn không có xâm thực, có thể xác định lực bẻ lái theo công thức giải tích thực nghiệm như sau [8, 47, 48]:

$$R = 577 A_R V^2 \sin \alpha \quad (1.12)$$

Trong đó: α - giá trị góc bẻ lái (độ);

A_R - diện tích tham chiếu của bánh lái (m^2), đối với mỗi tàu cụ thể thì giá trị này luôn biết, cho trong hồ sơ tàu hoặc có thể đo trực tiếp, chẳng hạn đối với tàu M/V TAN CANG FOUNDATION, thì $A_R = 12m^2$ [42].

V - vận tốc dòng chảy bao bánh lái theo phương dọc trục (m/s).

Từ công thức (1.12), nhận xét rằng: Đối với mỗi tàu cụ thể, khi bánh lái tàu thủy được sản xuất, có nghĩa là diện tích là cố định, cho nên lực bẻ lái R chỉ phụ thuộc vào góc bẻ lái và vận tốc dòng chảy bao quanh bánh lái.

Đặc biệt là trường phân bố vận tốc bao quanh bánh lái, chính là vận tốc dòng chảy sau chân vịt. Việc xác định giá trị vận tốc V trong công thức (1.12) có thể thực hiện bằng nhiều phương pháp khác nhau, cụ thể:

- Sử dụng công thức thực nghiệm [8, 47, 48]:

Xác định theo công thức $V = 1,3V_p$ đối với tàu có một chân vịt và bánh lái đặt thẳng góc ngay sau chân vịt, phù hợp với tàu M/V TAN CANG FOUNDATION.

Xác định theo công thức $V = 1,2V_p$ đối với tàu có hai chân vịt và bánh lái đặt giữa hai chân vịt.

- Hoặc bằng phương pháp tính toán mô phỏng với việc sử dụng phần mềm thương mại chuyên dụng Fluent - Ansys [73].

- Hoặc có thể tiến hành đo giá trị trên hệ thống thí nghiệm.

Đối với giai đoạn bánh lái bị xâm thực thì sai số của công thức (1.12) khá lớn, đặc biệt giá trị lực bẻ lái có hiện tượng dao động trong khi giữ nguyên góc bẻ lái và vận tốc tàu. Trong trường hợp này tính lực bẻ lái theo hệ số lực nâng C_L , việc xác định C_L ở chế độ bánh lái bị xâm thực [7, 8, 49, 50].

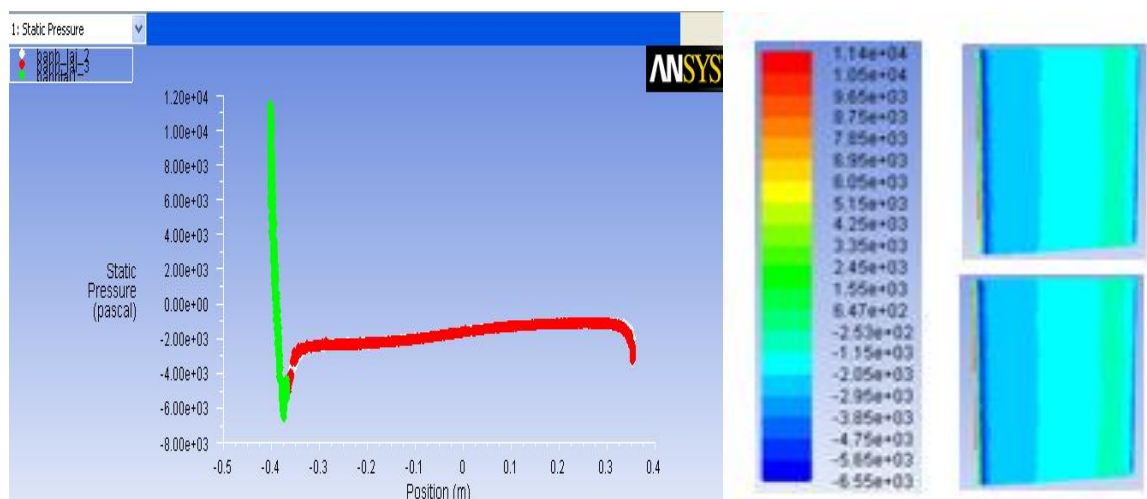
$$R = \frac{1}{2} \rho C_L A_R V^2 \quad (1.13)$$

Trong đó: C_L - hệ số lực nâng; ρ - khối lượng riêng chất lỏng (kg/m^3).

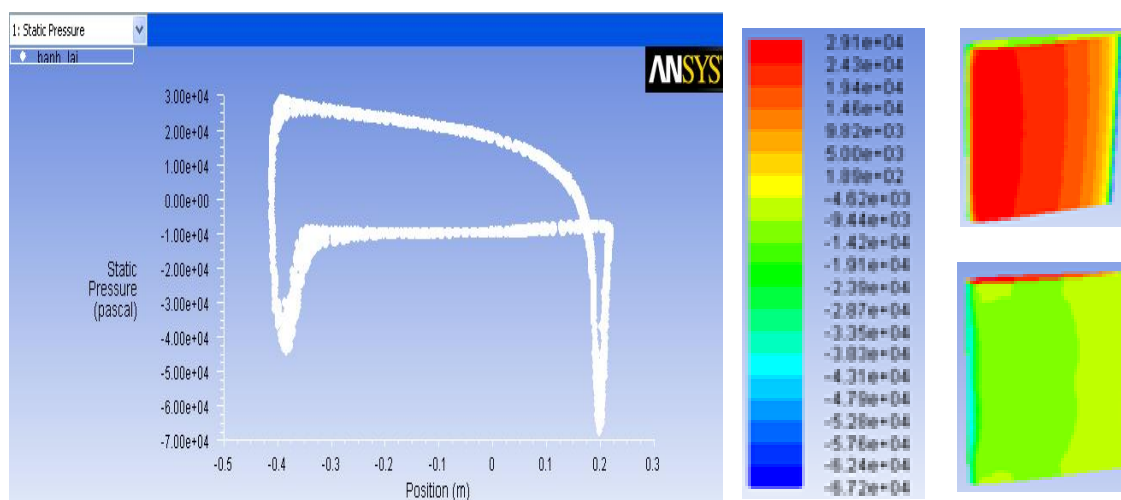
Chính vì vậy, việc xác định lực bề lái trực tiếp bằng phương án tính toán mô phỏng số, thông qua việc tính toán mô phỏng trường phân bố áp suất giữa hai mặt bánh lái theo thời gian sẽ làm rõ vấn đề này.

Trên hình 1.22 và hình 1.23 [33] thể hiện một dạng kết quả tính toán mô phỏng phân bố áp suất ở hai mặt của bánh lái tàu thủy tại góc bề lái tương ứng $\alpha = 0^\circ$ và $\alpha = 30^\circ$.

Trị số áp suất thể hiện ở cột chỉ thị màu tương ứng, từ đó có thể xác định được lực bề lái theo các bước thời gian tại các chế độ điều động khác nhau.



Hình 1.22. Phân bố áp suất trên bánh lái tàu thủy khi góc bề lái $\alpha = 0^\circ$



Hình 1.23. Phân bố áp suất trên bánh lái tàu thủy khi góc bề lái $\alpha = 30^\circ$

1.3. Phạm vi nghiên cứu của luận án

Từ việc nghiên cứu tổng quan về ảnh hưởng của xâm thực bánh lái đến lực bẻ lái tàu thủy, có thể đưa ra giới hạn phạm vi nghiên cứu của luận án tập trung vào các vấn đề sau:

- Cơ sở lý thuyết liên quan chặt chẽ đến hiện tượng xâm thực và xâm thực trên bánh lái tàu thủy;
- Xây dựng cơ sở toán học và ứng dụng CFD để tính toán mô phỏng xâm thực bánh lái;
- Nghiên cứu ảnh hưởng xâm thực bánh lái đến lực bẻ lái tàu thủy, xét với 2 trường hợp là xâm thực cục bộ tại mép vào bánh lái và xâm thực tại mép thoát bánh lái. Tuy nhiên, luận án tập trung chủ yếu đánh giá ảnh hưởng của xâm thực cục bộ tại mép vào trên bánh lái đến lực bẻ lái tàu thủy.
- Nghiên cứu thực nghiệm trên hệ thống thí nghiệm tại Trường Đại học Hàng hải Việt Nam và kết hợp với nghiên cứu tại thực địa nhằm minh chứng một số kết quả chính.

Nghiên cứu sinh lựa chọn và sử dụng mô hình theo tiêu chuẩn đồng dạng Froude với tàu M/V TAN CANG FOUNDATION để tiến hành nghiên cứu thực nghiệm. Đây là tàu container chạy chuyên tuyến Hải Phòng - Sài Gòn và ngược lại, trọng tải 7040 MT, thiết kế 01 chân vịt với chân vịt chiều phải và thuận lợi, chủ động nghiên cứu thực nghiệm.

Theo Fossen một vật thể chuyển động trong môi trường chất lỏng, phương trình tổng quát với sáu bậc tự do [45, 46]. Do đối tượng tàu M/V TAN CANG FOUNDATION được nghiên cứu sinh lựa chọn, chuyển động trên mặt nước, tương đương với chuyển động trên mặt phẳng nằm ngang có thể lược bớt và xét với ba bậc tự do [45, 46].

Hồ sơ liên quan đến vấn đề nghiên cứu của tàu M/V TAN CANG FOUNDATION cho trong Phụ lục 1 [42].

1.4. Kết luận chương 1

Trong chương 1, luận án đã tập trung nghiên cứu tổng quan về ảnh hưởng xâm thực bánh lái đến lực bẻ lái tàu thủy, đạt được kết quả cơ bản sau:

- Phân tích và đánh giá chi tiết tổng quan về tình hình nghiên cứu ở trong nước và ngoài nước của các công trình liên quan đến luận án mà nghiên cứu sinh thực hiện. Từ đó rút ra kết luận vấn đề nghiên cứu của luận án mang tính cấp thiết, đảm bảo ý nghĩa khoa học và đóng góp thực tiễn khoa học chuyên ngành hàng hải và không trùng lặp với các công trình nghiên cứu đã công bố;

- Hệ thống hóa cơ sở lý luận về hiện tượng xâm thực, phân loại xâm thực, các loại xâm thực xuất hiện trên bánh lái tàu thủy, các yếu tố ảnh hưởng đến xâm thực nói chung và đối với bánh lái tàu thủy nói riêng,... Đồng thời đưa ra cơ sở lý luận về lực bẻ lái tàu thủy trong giai đoạn xâm thực bánh lái tàu thủy;

- Giới hạn cụ thể phạm vi nghiên cứu trong luận án.

Trên cơ sở các kết quả đạt được trong chương 1, chương 2 sẽ đưa ra cơ sở toán học và nội dung phương pháp số để tính toán mô phỏng xâm thực bánh lái.

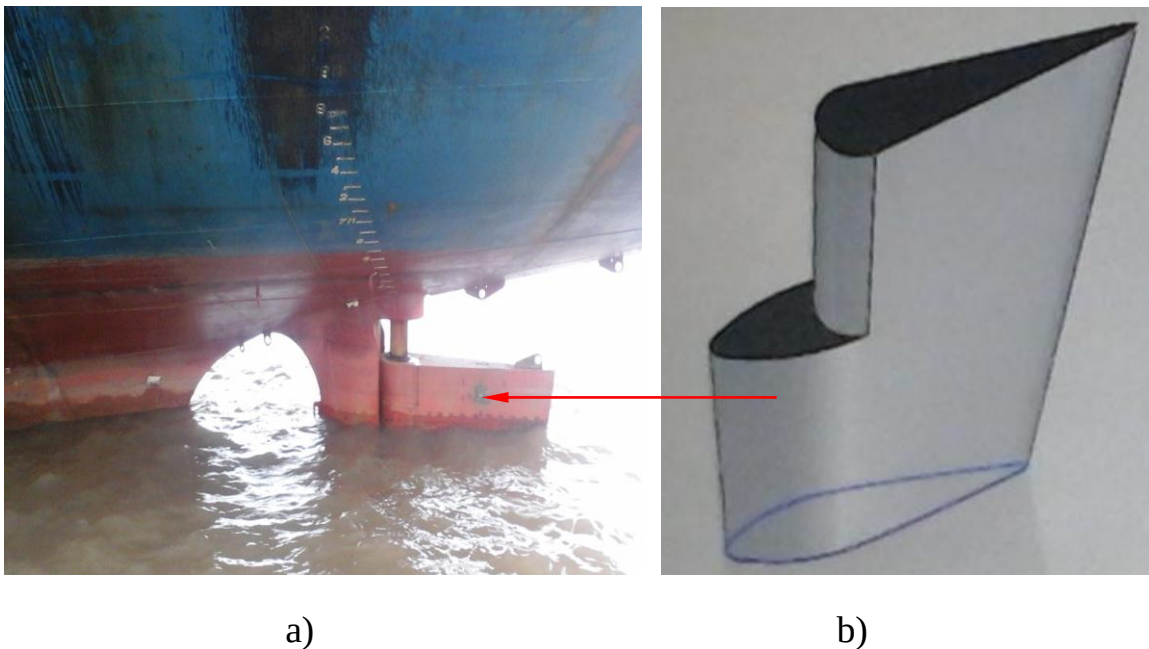
CHƯƠNG 2. TÍNH TOÁN MÔ PHỎNG XÂM THỰC BÁNH LÁI TÀU THỦY

2.1. Xây dựng mô hình nghiên cứu và cơ sở toán học

2.1.1. Xây dựng mô hình nghiên cứu

Để thuận lợi cho các nghiên cứu tiếp theo, nghiên cứu sinh thực hiện xây dựng mô hình nghiên cứu trên cơ sở các số liệu bánh lái để tính toán mô phỏng được đồng dạng theo tiêu chuẩn Froude với bánh lái của tàu M/V TAN CANG FOUNDATION [42]. Hệ số đồng dạng hình học ở đây là 10, các đại lượng khác tuân thủ qui luật đồng dạng Froude [2, 7, 10]. Ở đây cơ cấu điều khiển dạng “Semi spade” và profil bánh lái theo mẫu của NACA.

Thực hiện mô phỏng dạng 3D của bánh lái theo phần mềm Solidwork được mô tả theo hình 2.1 [8, 44, 53, 54].



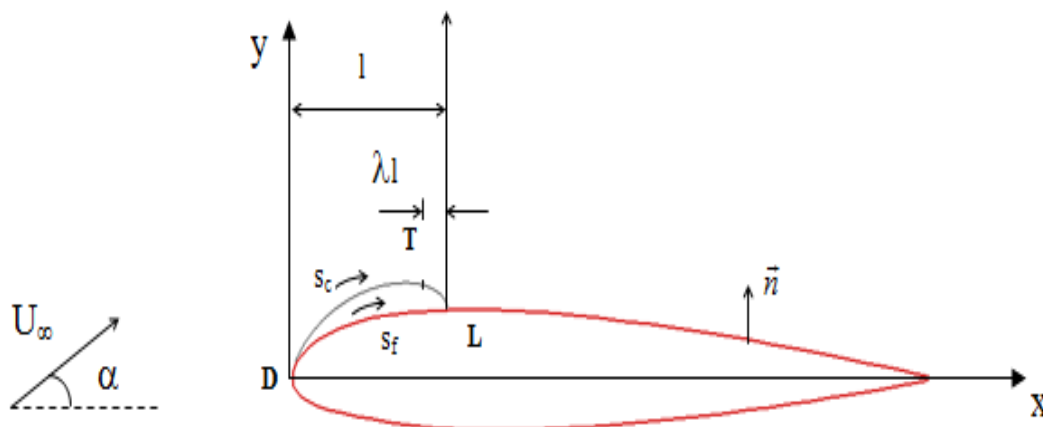
Hình 2.1. Hình ảnh bánh lái tàu thủy:

a) bánh lái M/V TAN CANG FOUNDATION; b) bánh lái mô phỏng 3D

2.1.2. Cơ sở toán học

2.1.2.1. Sử dụng phương pháp phần tử biên (BEM)

Dựa trên phương pháp phần tử biên, nghiên cứu sinh đã nghiên cứu, tham khảo và đưa ra thuật toán, lập trình tính toán cho bài toán xác định vùng xâm thực cục bộ trên profil cánh với nội dung chính như sau [9, 49, 55]:



Hình 2.2. Mô hình nghiên cứu theo phương pháp phần tử biên
Ở đây chỉ xét đối với chất lỏng không nén được và liên tục.

Trong đó: U_∞ - vận tốc dòng vào (m/s);

α - góc bẻ lái (độ);

D - điểm bắt đầu của vùng xâm thực;

L - điểm cuối trên profil cánh.

- Trong vùng xâm thực áp suất (p_c) bằng áp suất hơi bão hoà của chất lỏng (p_{bh}), nghĩa là:

$$p_c \leq p_{bh} \quad (2.1)$$

- Điều kiện biên động lực học trên vùng xâm thực, thỏa mãn:

$$\text{Số xâm thực: } \sigma = \frac{p_1 - p_{bh}}{\frac{1}{2} \rho V_1^2} \quad (2.2)$$

$$\text{Vận tốc trong vùng xâm thực: } V_c = U_\infty \sqrt{1 + \sigma} \quad (2.3)$$

- Vận tốc tại vùng chuyển đổi λl , tính theo công thức:

$$V_{tr} = U_\infty \sqrt{1 + \sigma} [1 - f(s_f)] \quad (2.4)$$

với hàm $f(s_f)$ được định nghĩa như sau [37, 58, 59, 60, 61]:

$$f(s_f) = \begin{cases} 0 & \text{khi } s_f < s_T \\ A \left(\frac{s_f - s_T}{s_L - s_T} \right)^v & \text{khi } s_T \leq s_f \leq s_L \end{cases} \quad (2.5)$$

Trong đó: s_f - chiều dài dây cung của cánh, (m);

các giá trị s_T, s_L mô tả theo hình 2.2, tính từ mép vào của cánh;

A ($0 < A < 1$) và v ($v > 0$) là những hằng số tùy ý.

- Điều kiện đóng của túi hơi trên cánh:

$$h(s_L) = 0 \quad (2.6)$$

Nghĩa là, chiều cao túi hơi tại điểm đóng trên cánh L phải bằng 0.

Tóm lại: Xuất phát từ mô hình bài toán, các điều kiện trên biên dạng cánh và trong vùng xâm thực, hoàn toàn tính toán được kích thước túi hơi theo trình tự sau:

- Chia biên dạng cánh thành N panel với:

$$N = N_c + N_w$$

Trong đó: N_c - số panel trong vùng xâm thực;

N_w - số panel vùng còn lại.

- Chọn p là điểm gốc, theo định lý Green, nhận được [60]:

$$\pi\phi_p = \int_s \left(-\phi \frac{\partial \ln r}{\partial n} + \frac{\partial \phi}{\partial n} \ln r \right) ds - \int_w \Delta\phi_w \frac{\partial \ln r}{\partial n} ds \quad (2.7)$$

Trong đó: ϕ_p - thế xáo trộn tại điểm gốc p ;

r - khoảng cách từ p tới bề mặt các phần tử ds dọc theo biên dạng cánh trong vùng xâm thực và không xâm thực;

$\Delta\phi_w$ - bước nhảy thế ở mép sau cánh;

S_c - chiều dài dây cung vùng xâm thực (xem hình 2.2).

$$\text{Khi đó:} \quad \frac{\partial \phi}{\partial S_c} + \frac{\partial \Phi_{in}}{\partial S_c} = V_c [1 - f(s_f)] \quad (2.8)$$

và thế trên vùng xâm thực được xác định như sau:

$$\phi(S_c) = \phi(0) - \Phi_{in}(S_c) + \Phi_{in}(0) + V_c \int_0^{s_c} [1 - f(s_f)] ds \quad (2.9)$$

- Từ đó thực hiện vòng lặp để đảm bảo điều kiện đóng trên cánh. Nghĩa là, thay đổi chiều dài túi hơi l và độ cao túi hơi h , với các số xâm thực cho trước để đạt điều kiện đóng là:

$$h(s_L) = \frac{1}{V_c} \int_0^{s_{cl}} \left[\vec{U}_\infty \vec{n} + \frac{\partial \phi}{\partial n} \right] ds = 0 \quad (2.10)$$

Trong đó: s_{cl} - tổng chiều dài dây cung của bề mặt vùng xâm thực.

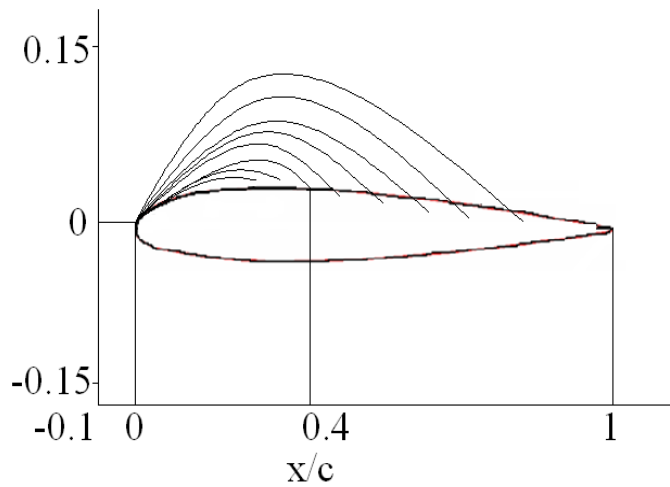
Hoặc xác định theo biểu thức sau:

$$\int_0^{s_{cl}} \frac{\partial \phi}{\partial n} \frac{ds_c}{1 - f(s_f)} = - \int_0^{s_{cl}} \frac{\partial \Phi_{in}}{\partial n} \frac{ds_c}{1 - f(s_f)} \quad (2.11)$$

Với mỗi số xâm thực (hoặc chiều dài vùng xâm thực) cho trước và một góc đặt cánh tương ứng, cần ấn định thêm vị trí điểm tách thành l_D/c , từ đó thực hiện các vòng lặp để xác định điểm đóng L và hình dạng túi hơi theo kỹ thuật sau:

+ Gọi độ cao túi hơi tại vị trí bất kỳ là δ , phụ thuộc vào l và σ (chiều dài profil và số xâm thực):

$$\delta(l, \sigma) \equiv h_c(s_{cl}) = \frac{1}{V_c} \int_0^{s_{cl}} \left[\frac{\partial \Phi_{in}}{\partial n} + \frac{\partial \phi}{\partial n} \right] \frac{ds_c}{1 - f(s_f)} \quad (2.12)$$



Hình 2.3. Hình ảnh khi lặp tìm biên dạng túi hơi và điểm đóng L

+ Thực hiện các vòng lặp, sao cho thỏa mãn điều kiện đóng trên biên dạng cánh là $\delta(l, \sigma) = 0$. Ở đây ẩn định số xâm thực σ , thực hiện kỹ thuật lặp theo phương pháp “secant” của Newton - Raphson [37, 60].

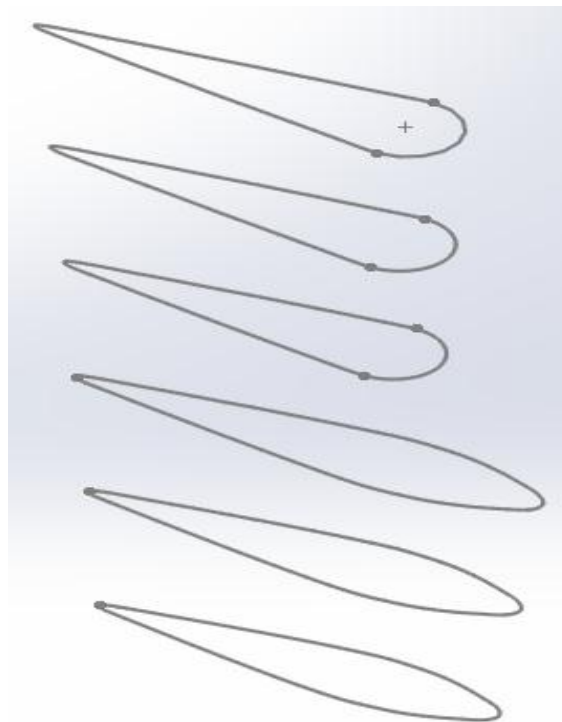
+ Bài toán hội tụ sẽ cho vị trí điểm đóng trên biên dạng cánh L và hình dạng túi hơi. Từ đó tiếp tục xác định các đặc tính như c_p , c_L , $c_m \dots$

- Chạy chương trình được lập trình bằng ngôn ngữ Fortran với các profil, góc bề lái và số xâm thực khác nhau, sẽ cho hình dạng túi hơi xâm thực và biểu đồ phân bố áp suất trên biên dạng cánh tương ứng.

2.1.2.2. Sử dụng phương pháp xâu chuỗi

Để lập trình tính toán mô phỏng xâm thực cho bài toán 3D bánh lái tàu thủy có khối lượng tính toán rất lớn, cho nên nghiên cứu sinh đề xuất theo “phương pháp xâu chuỗi”. Nghĩa là, dựa trên việc tính toán cho nhiều bài toán 2D ứng với các profil bánh lái ở vị trí khác nhau, dọc theo chiều dài sải cánh.

Sau khi có kết quả vùng xâm thực của từng bài toán 2D, tiến hành xâu chuỗi các profil, kèm theo vùng xâm thực tương ứng, sẽ cho biên dạng 3D của bánh lái cùng vùng xâm thực 3D cần xác định.



Hình 2.4. Hình ảnh xâu chuỗi 06 profil kèm vùng xâm thực

Từ hình 2.4 nhận xét rằng:

Tiến hành tính toán độc lập cho nhiều profil thứ i ($i = 1 \div m$) với m là tổng số profil khảo sát. Sau khi có kết quả vùng xâm thực của từng bài toán 2D, tiến hành xâu chuỗi các profil, kèm theo vùng xâm thực tương ứng, sẽ cho biên dạng 3D của bánh lái cùng vùng xâm thực 3D cần xác định.

2.1.2.3. Sử dụng chương trình Fluent - Ansys

Phần mềm Fluent - Ansys là phần mềm mạnh trong lĩnh vực CFD, là phần mềm phổ biến trong lĩnh vực khoa học chuyên ngành, được nhiều nhà khoa học trong nước và ngoài nước thường xuyên sử dụng [8, 37, 73].

Cơ sở thuật toán trọng tâm ở đây được sử dụng theo “k- ϵ model” kết hợp với “Cavitation model”. Nội dung của phương pháp được thể hiện như sau:

- Rời rạc không gian tính toán bằng cách chia lưới;
- Giải các phương trình vi phân chủ đạo như phương trình Navier - Stokes, động lượng, liên tục và phương trình năng lượng để xác định các đại lượng cơ bản như vận tốc, áp suất, khối lượng riêng,...;
- Đưa vào phương trình chuyển pha để xác định tỷ lệ khối lượng pha hơi f_{vap} .

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \cdot f_{vap}) + \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho \cdot f_{vap} \cdot u_{vap_j}) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\gamma \cdot \frac{\partial f_{vap}}{\partial x_j} \right) + R_e - R_c \quad (2.13)$$

Trong đó: R_e , R_c - phụ thuộc vào giá trị của áp suất tĩnh p và áp suất hơi bão hòa p_{vap} :

$$\text{- Nếu } p < p_{vap}: \quad R_e = C_e \frac{v_{ch}}{\sigma} \rho_l \rho_{vap} \sqrt{\frac{2(p_{vap} - p)}{3\rho_l}} (1 - f_{vap}) \quad (2.14)$$

$$\text{- Nếu } p > p_{vap}: \quad R_c = C_c \frac{v_{ch}}{\sigma} \rho_l \rho_l \sqrt{\frac{2(p - p_{vap})}{3\rho_l}} f_{vap} \quad (2.15)$$

Trong đó: v_{ch} - vận tốc đặc trưng;

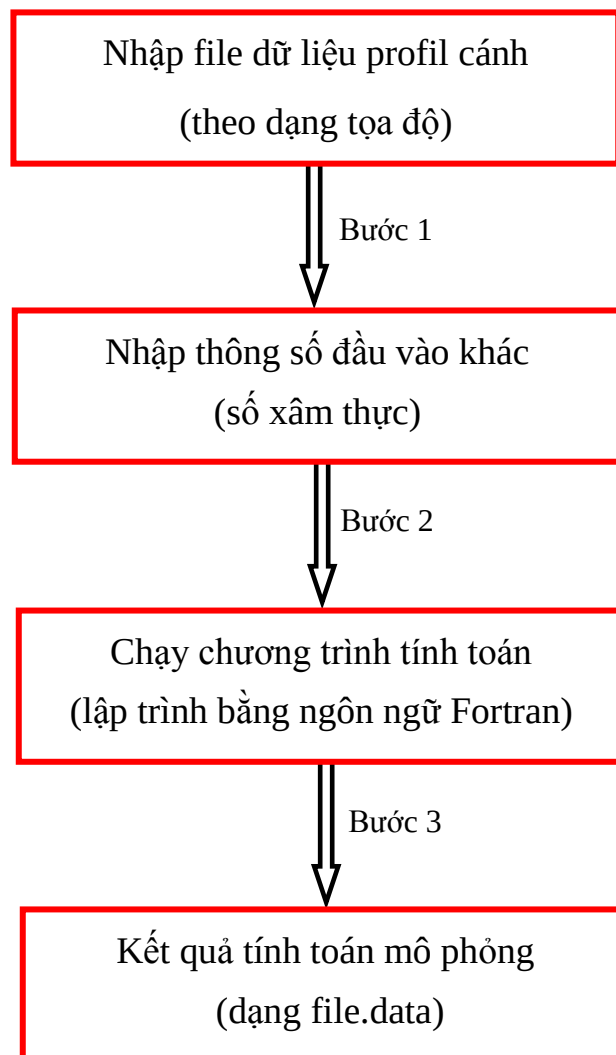
C_e , C_c - các hằng số thực nghiệm (lấy $C_e = 0.02$; $C_c = 0.01$).

Như vậy, kết quả tính toán cho phép xác định được tỷ lệ % pha hơi trong toàn bộ không gian tính toán.

2.2. Xây dựng quy trình tính toán mô phỏng

2.2.1. Xây dựng quy trình tính toán mô phỏng cho bài toán 2D

Nghiên cứu sinh thực hiện xây dựng quy trình tính toán mô phỏng cho bài toán 2D bằng phương pháp phần tử biên, được mô tả theo hình 2.5 với các bước cụ thể như sau [8, 23].



Hình 2.5. Sơ đồ quy trình tính toán cho bài toán 2D bằng phương pháp BEM

Thực hiện thông qua các bước sau:

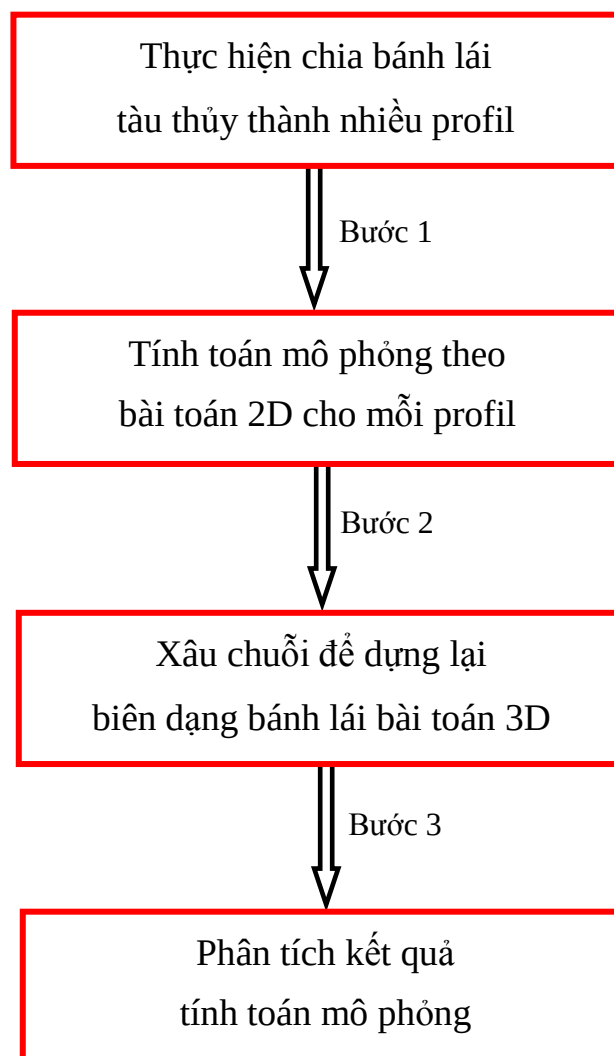
- Nhập file dữ liệu profil cánh (theo dạng tọa độ);
- Nhập thông số đầu vào khác là số xâm thực;

- Tiến hành chạy chương trình tính toán được lập trình bằng ngôn ngữ Fortran [37, 65]. Chương trình chính tính toán mô phỏng xâm thực cục bộ trên profil bánh lái bằng phương pháp BEM mô tả chi tiết trong Phụ lục 2.

- Kết quả tính toán mô phỏng là file.data, do đó có thể biểu diễn hình dạng vùng xâm thực bằng nhiều công cụ khác nhau.

2.2.2. Xây dựng quy trình tính toán mô phỏng cho bài toán 3D

Tương tự, nghiên cứu sinh thực hiện xây dựng quy trình tính toán mô phỏng cho bài toán 3D bằng phương pháp xâu chuỗi, được mô tả theo hình 2.6 với các bước cụ thể như sau [8, 23].



Hình 2.6. Sơ đồ quy trình tính toán cho bài toán 3D theo phương pháp xâu chuỗi

Thực hiện theo các bước sau:

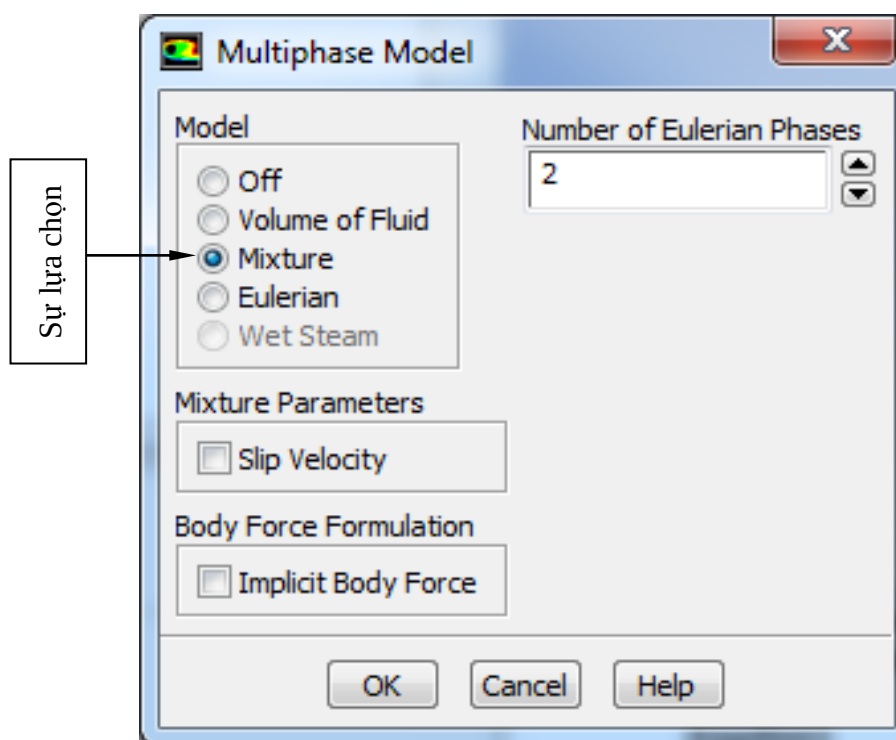
- Thực hiện việc chia bánh lái tàu thủy thành nhiều profil khác nhau và lưu dữ liệu thành các file;
- Tiến hành các bước tính toán cho mỗi profil (xem hình 2.5);
- Sử dụng kết quả tính toán trên nhiều profil, sau đó xâu chuỗi để dựng lại biên dạng bánh lái 3D kèm theo cả hình dạng vùng xâm thực.

2.2.3. Sử dụng phần mềm *Fluent - Ansys*

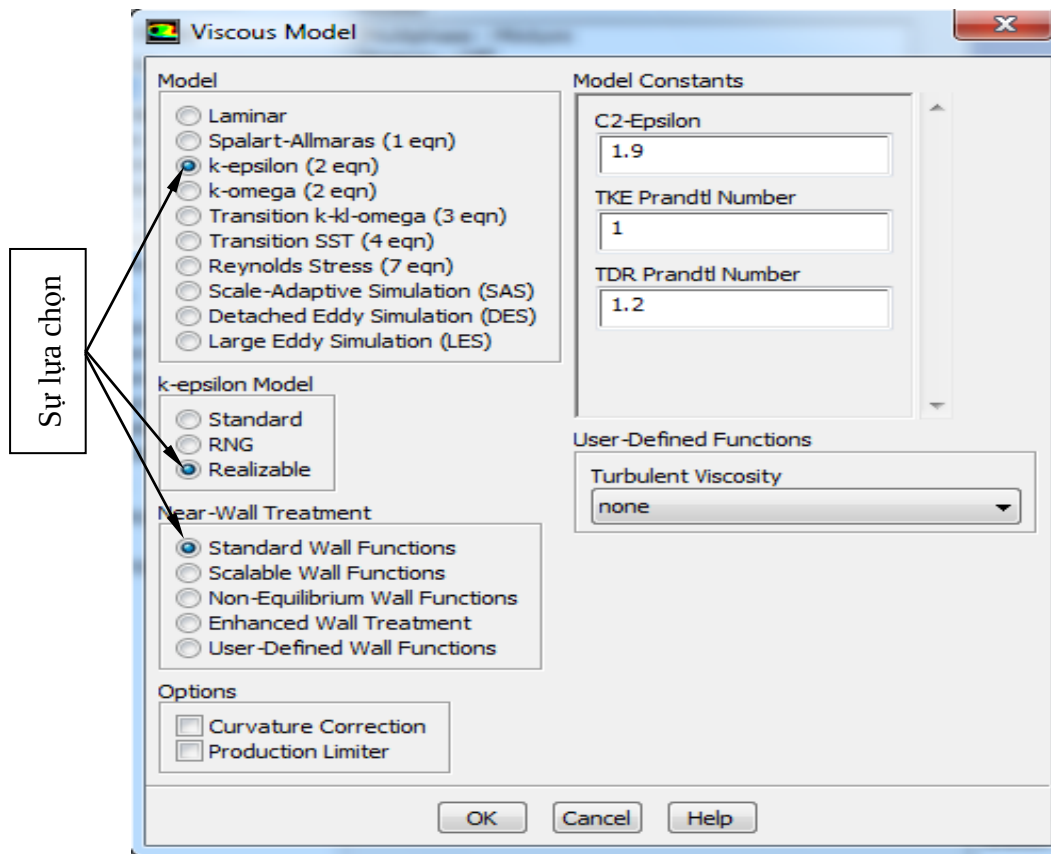
Nghiên cứu sinh ứng dụng CFD có chứa nội dung chương trình phần mềm *Fluent - Ansys* để thực hiện việc tính toán mô phỏng [8, 73, 74, 75].

Tuy nhiên, phần mềm *Fluent - Ansys* là phần mềm mở với nhiều hệ số thực nghiệm, vì vậy mỗi bài toán cụ thể đòi hỏi người sử dụng cần nghiên cứu và có thể tham khảo của các tác giả đã công bố trước đó (nếu có), cũng như tính toán sơ bộ các hệ số cần thiết trước khi đưa vào hộp thoại.

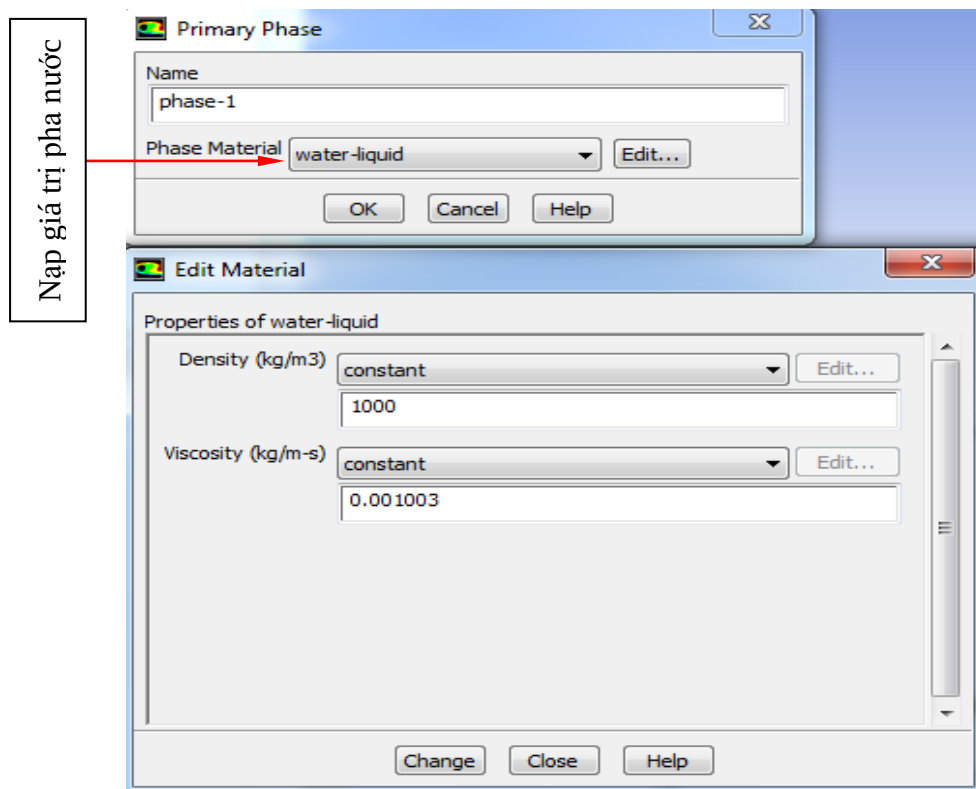
Khi sử dụng phần mềm *Fluent - Ansys*, xuất hiện các cửa sổ chính để tiến hành, được mô tả từ hình 2.7 đến hình 2.14, với mục đích đưa giá trị đầu vào và lựa chọn kỹ thuật giải cho phù hợp bài toán thực hiện.



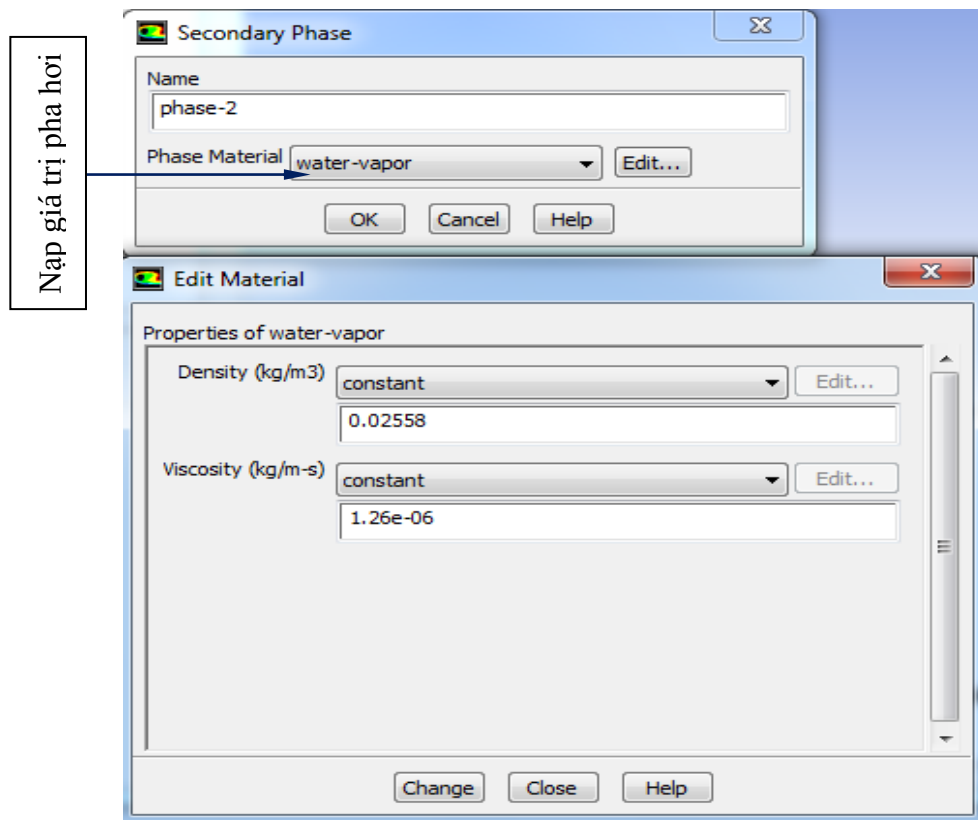
Hình 2.7. Lựa chọn Model “Mixture” với số pha là 2



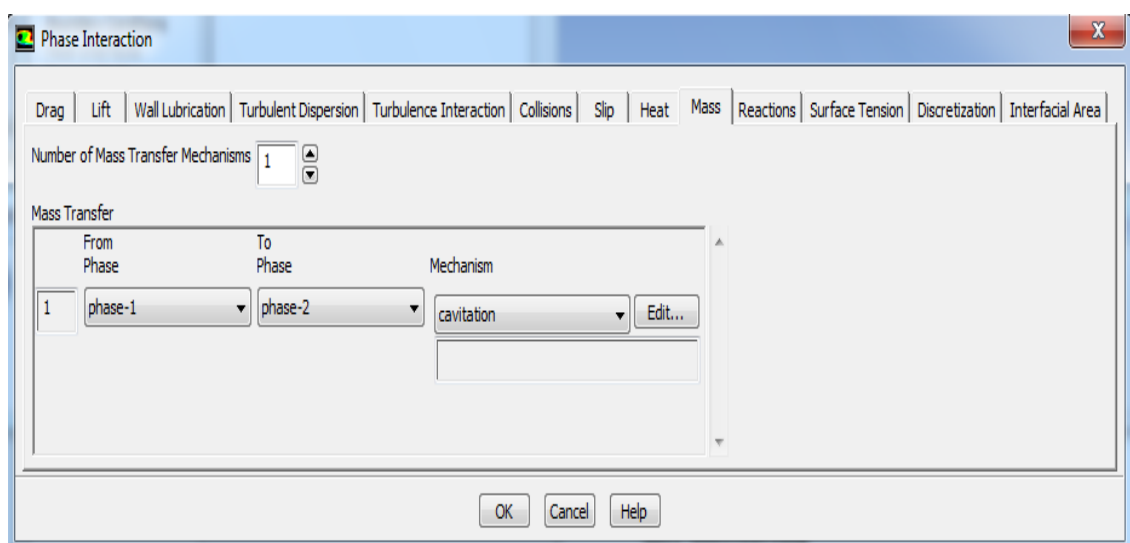
Hình 2.8. Cửa sổ lựa chọn kỹ thuật giải “k-epsilon” trong Model



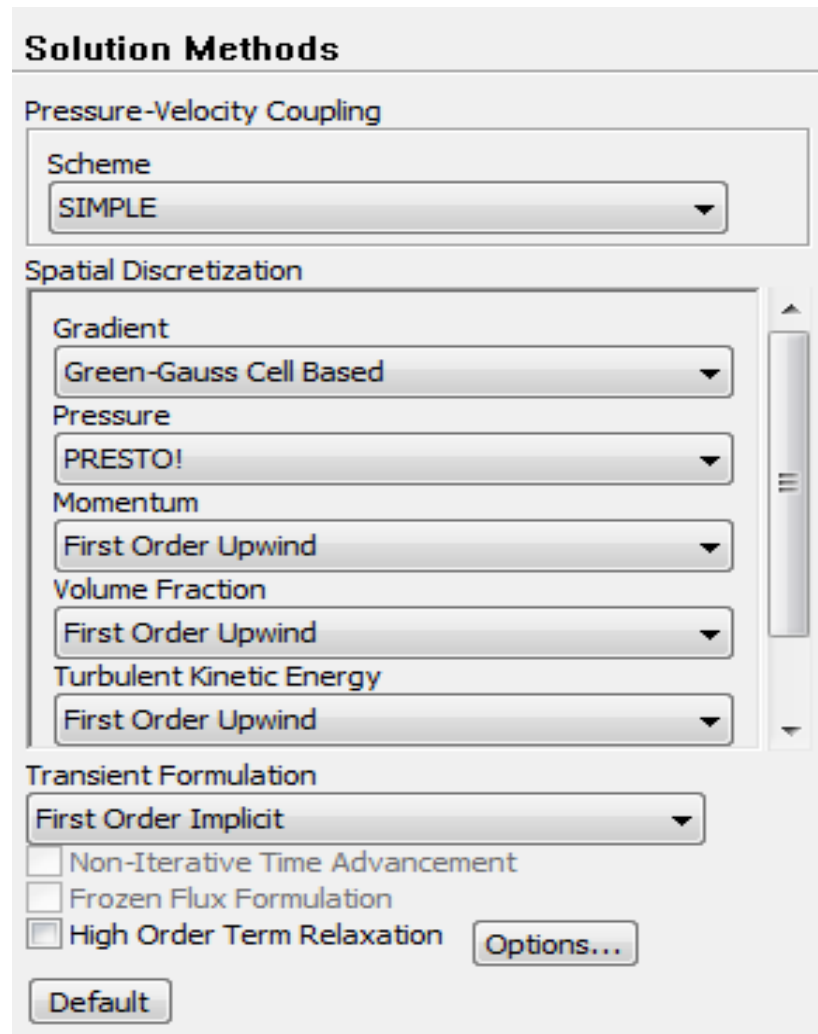
Hình 2.9. Lựa chọn cửa sổ nạp giá trị pha 1 (pha nước)



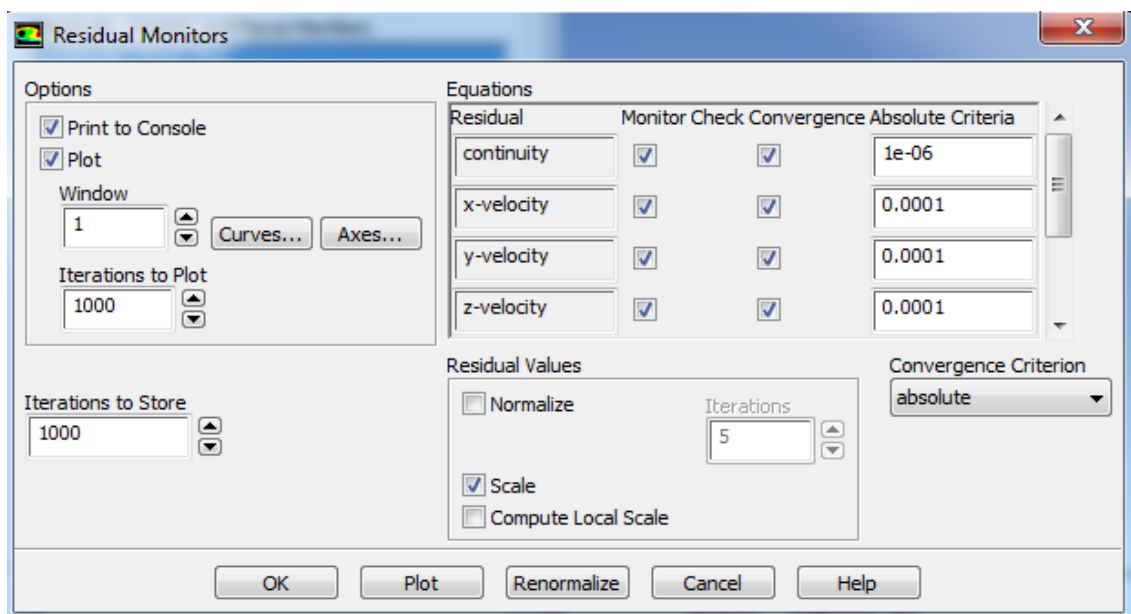
Hình 2.10. Lựa chọn cửa sổ nạp giá trị pha 2 (pha hơi)



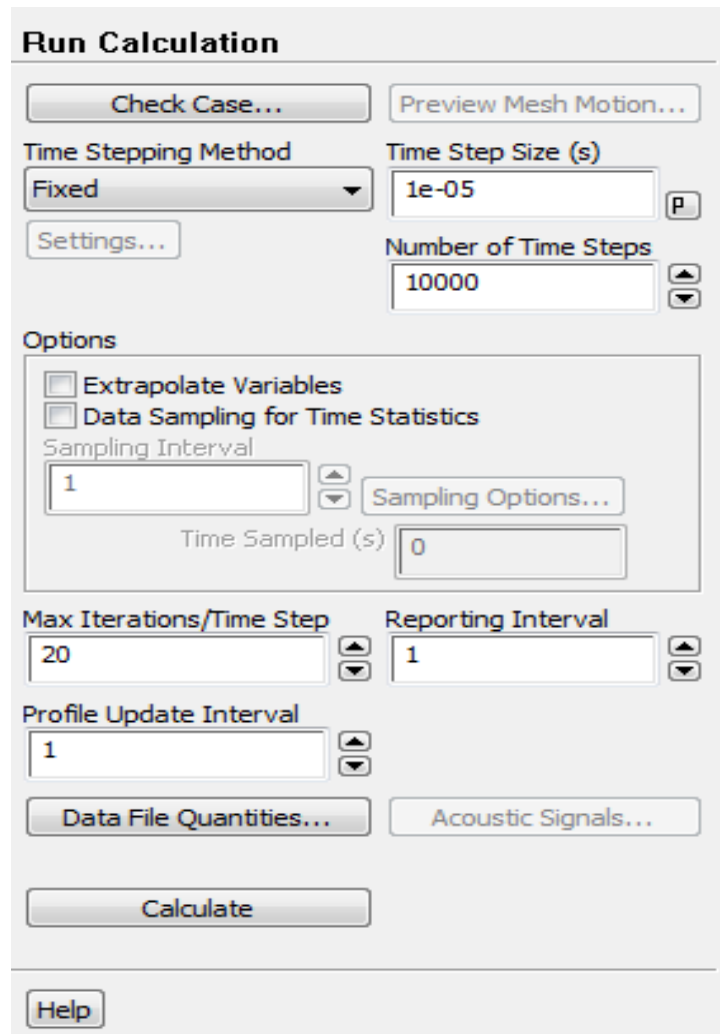
Hình 2.11. Cửa sổ thể hiện đặc tính chuyển pha của bài toán xâm thực



Hình 2.12. Cửa sổ lựa chọn phương pháp tính toán



Hình 2.13. Cửa sổ lựa chọn độ chính xác cho các biến tính toán



Hình 2.14. Đặt giá trị bước thời gian, số bước và số vòng lặp/bước

Ứng dụng CFD với phần mềm Fluent - Ansys để tính toán mô phỏng bài toán cụ thể với tham số đầu vào theo bảng 2.1 có tính đến tác động của dòng chảy, các kết quả nhận được thể hiện chi tiết trong bảng 2.1.

Bảng 2.1. Giá trị đầu vào và kết quả tính toán mô phỏng

Giá trị tham số đầu vào	Kết quả tính toán mô phỏng
- Biên dạng bánh lái (được vẽ theo hồ sơ tàu M/V TAN CANG FOUNDATION và tỷ lệ đồng dạng hình học là 1/10); - Giá trị vận tốc tàu V (m/s) và giá trị góc bẻ lái (α^0), cụ thể: $V = \{4,5; 5,0; 5,5; 6,0; 6,5; 7,0; 7,5\}$	- Phân bố áp suất trên bánh lái và không gian bao xung quanh bánh lái tàu thủy; - Phần trăm pha hơi tồn tại trên bánh lái và trong không gian tính toán xung quanh bánh lái;

$\alpha^0 = \{0^0, 5^0, 10^0, 15^0, 20^0, 25^0, 30^0, 35^0\}$ - Mô hình tính toán là Mixture; - Đặc tính pha nước và pha hơi.	- Các thông số làm việc của bánh lái như: Hệ số lực nâng C_L , hệ số lực cản $C_D, \dots$
---	---

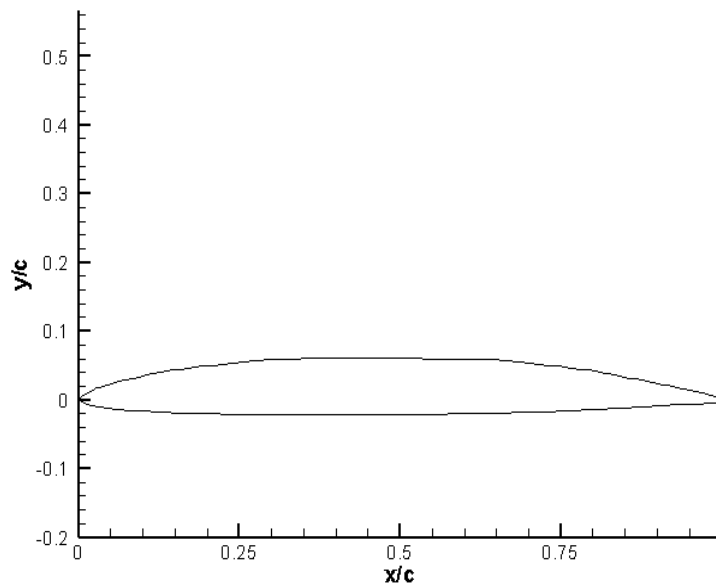
2.3. Phân tích kết quả tính toán mô phỏng

2.3.1. Kết quả tính toán mô phỏng cho bài toán 2D

Với bài toán 2D, được tính toán mô phỏng bằng hai phương pháp là: Sử dụng phần mềm Fluent - Ansys và lập trình theo phương pháp phần tử biên.

Mặt khác, để thuận tiện so sánh với các kết quả đã được công bố trước, như chương trình PCPAN, PCJET [37, 60], nghiên cứu sinh tiến hành tính toán cho mẫu profil NACA 66 (MOD) (hình 2.15) với các thông số đầu vào cụ thể như sau:

- Các giá trị $a = 0.8$, $t/c = 0.09$, $f/c = 0.02$;
- Giá trị đầu vào với số xam thực $\sigma = 1.10998$;
- Góc bẻ lái $\alpha^0 = 4^0$.



Hình 2.15. Hình ảnh mẫu profil NACA 66 (MOD)

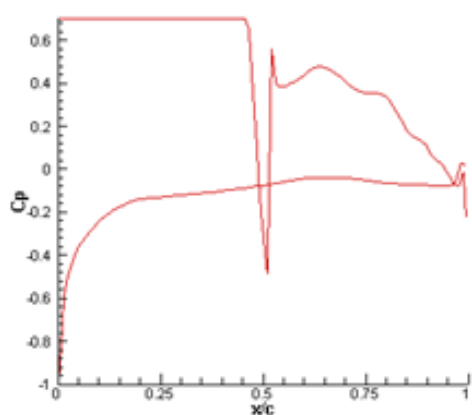
Từ đó, kết quả tính toán mô phỏng nhận được và so sánh với kết quả tính toán trước của chương trình PCPAN, PCJET thể hiện chi tiết tại bảng 2.2.

Bảng 2.2. Kết quả tính toán mô phỏng và so sánh với PCPAN, PCJET

Chương trình	Số xâm thực (σ)	Tỷ số chiều dài vùng xâm thực l và chiều dài dây cung c trên profil (l/c)	Hệ số lực nâng (C_L)
Tính toán	1.10998	0.36250	0.69387
Fluent	1.10998	0.36000	0.67000
PCPAN	1.10998	0.35976	0.78551
PCJET	1.10998	0.36024	0.75817

Kết quả tính toán mô phỏng cho mẫu profil NACA 66 (MOD) với các thông số đầu vào khác nhau được mô tả theo hình 2.16 và hình 2.17.

- Với profil NACA 66 MOD, khi $\alpha = 3^\circ$ và số xâm thực $\sigma = 0.7; 0.8; 0.9$.



+

+

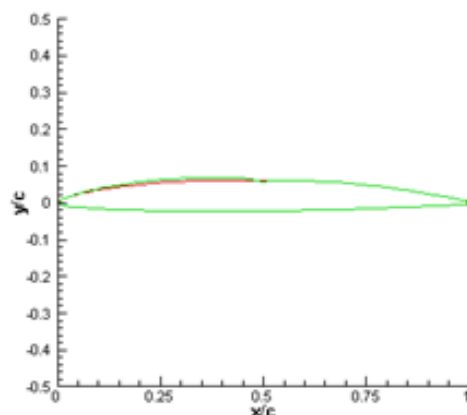
+

+

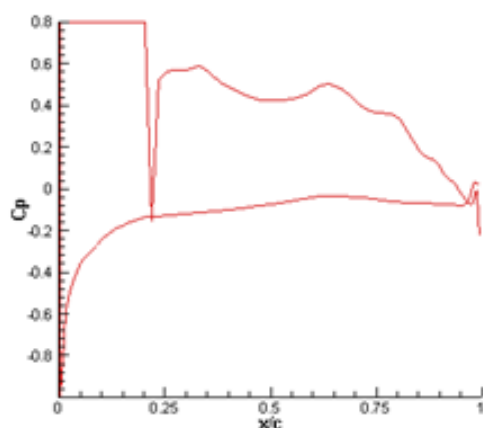
+

+

+



a)



+

+

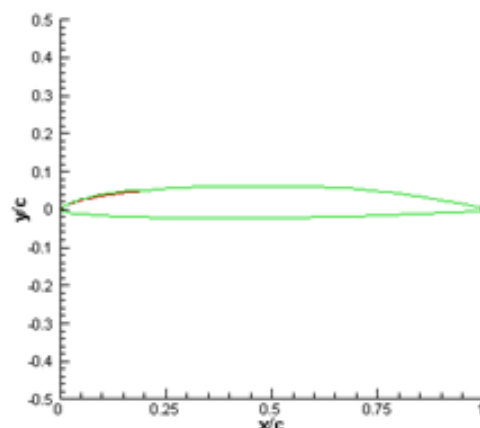
+

+

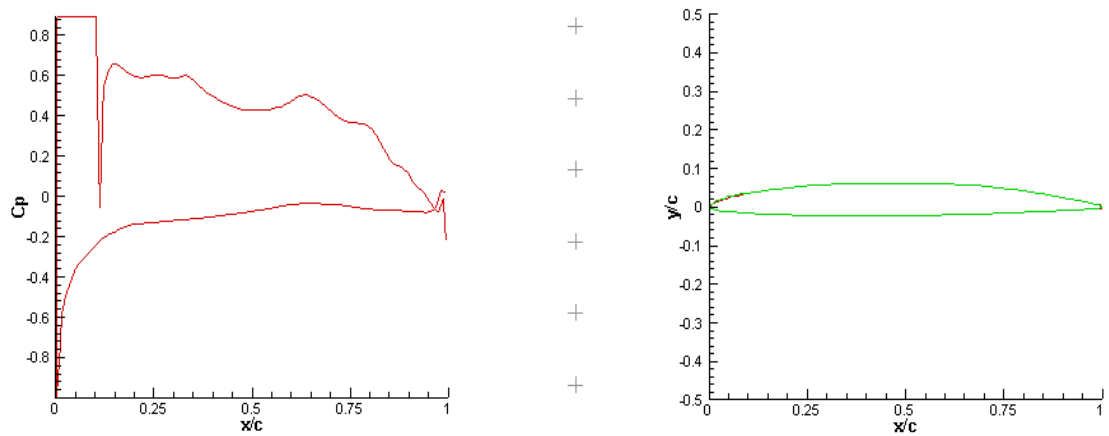
+

+

+



b)

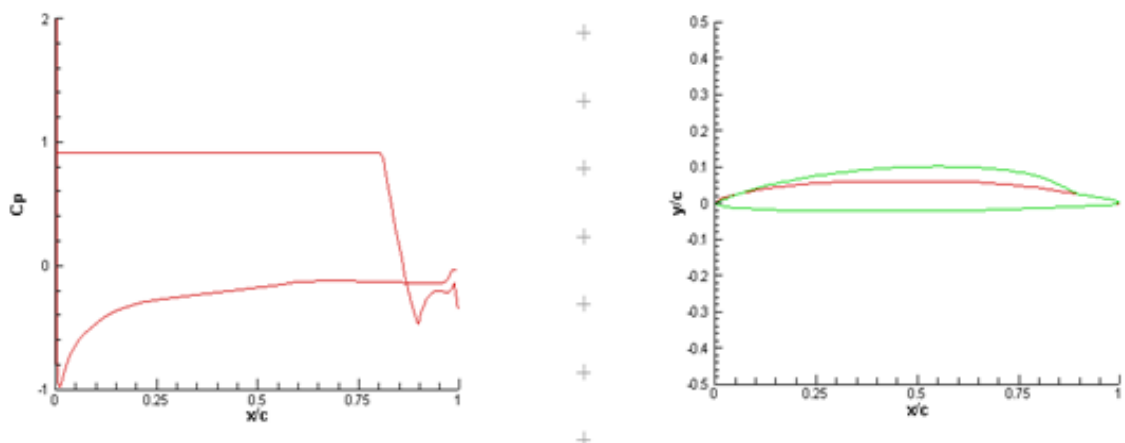


c)

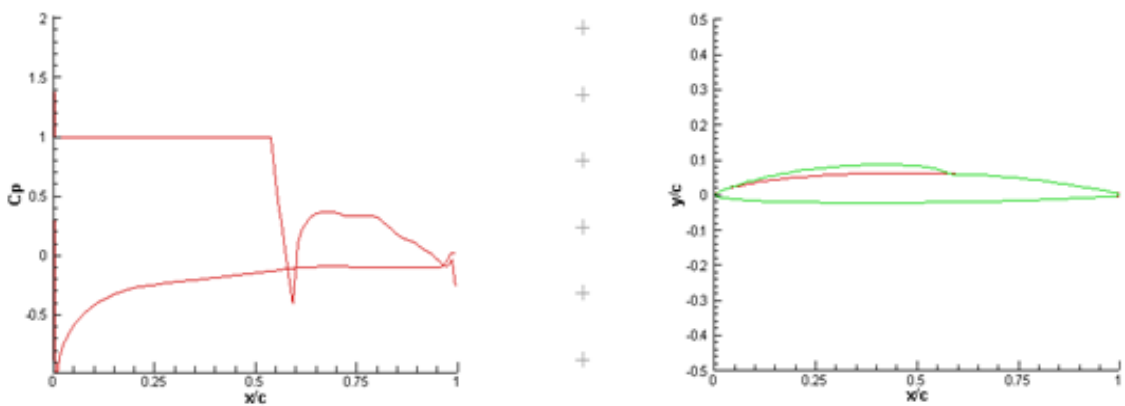
Hình 2.16. Kết quả tính toán mô phỏng phân bố áp suất và kích thước túi hơi của profil NACA 66 MOD, khi góc bề lái $\alpha = 3^\circ$ với số xam thực lần lượt:

a) $\sigma = 0.7$, b) $\sigma = 0.8$, c) $\sigma = 0.9$

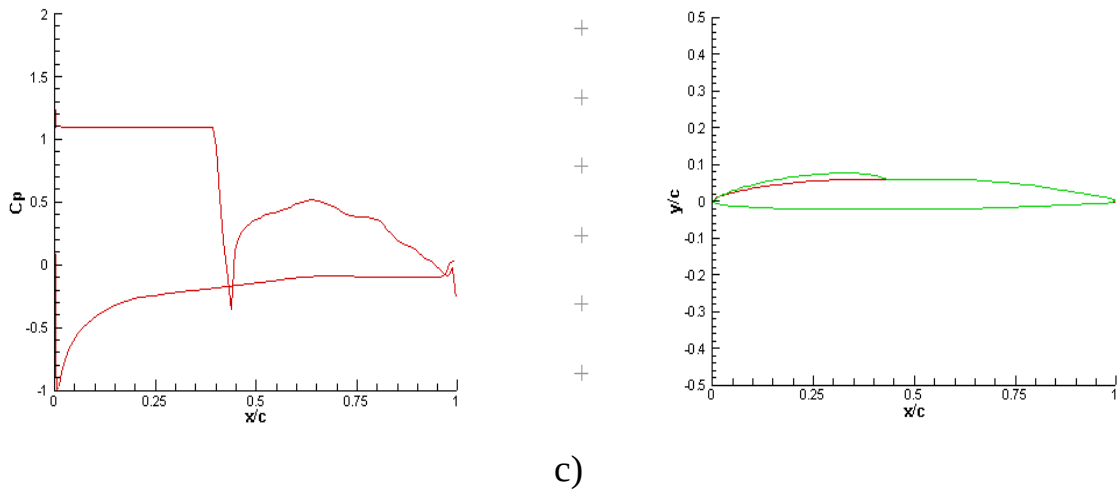
- Với profil NACA 66 MOD, khi $\alpha = 5^\circ$ và số xam thực $\sigma = 0.9$; 1.0; 1.1



a)



b)

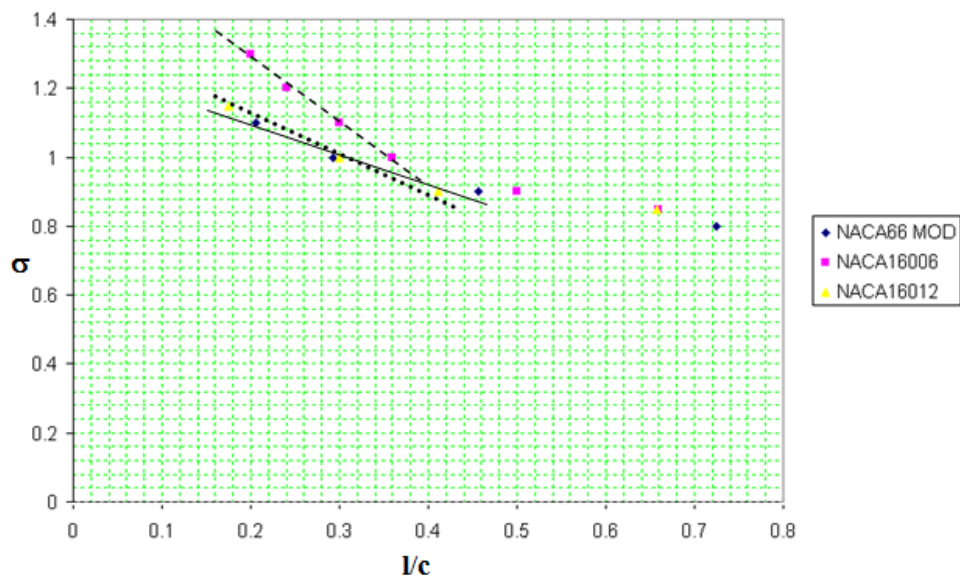


Hình 2.17. Kết quả tính toán mô phỏng phân bố áp suất và kích thước túi hơi của profil NACA 66 MOD, khi góc bề lái $\alpha = 5^\circ$ với số xâm thực lần lượt:

a) $\sigma = 0.9$, b) $\sigma = 1.0$, c) $\sigma = 1.1$

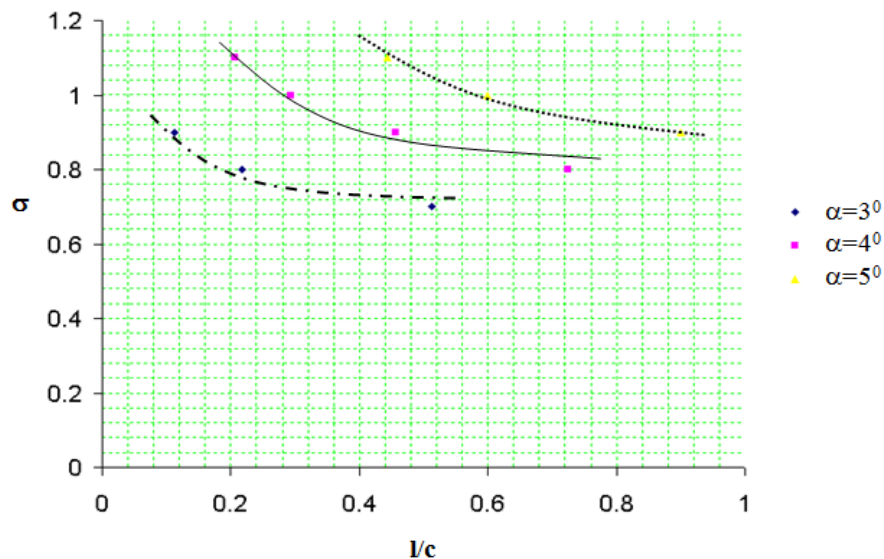
Phân tích kết quả nhận được từ bảng 2.2, hình 2.16 và hình 2.17, nhận xét rằng:

Với một profil nhất định, thì chiều dài túi hơi xâm thực l/c (đoạn nằm ngang trên đồ thị - C_p , tại đây áp suất bằng nhau và bằng áp suất hơi bão hòa của chất lỏng), phụ thuộc chặt chẽ vào góc bề lái α^0 và số xâm thực σ . Hình 2.18 mô tả mối quan hệ giữa σ và l/c , khi biết giá trị góc bề lái $\alpha = 4^\circ$.



Hình 2.18. Đồ thị quan hệ giữa σ và l/c tại góc bề lái $\alpha = 4^\circ$

Kết quả tính toán mô phỏng cho profil NACA 66MOD về biến thiên của l/c theo σ tại các giá trị góc tấn α khác nhau:



Hình 2.19. Đồ thị mô tả quan hệ giữa l/c và σ

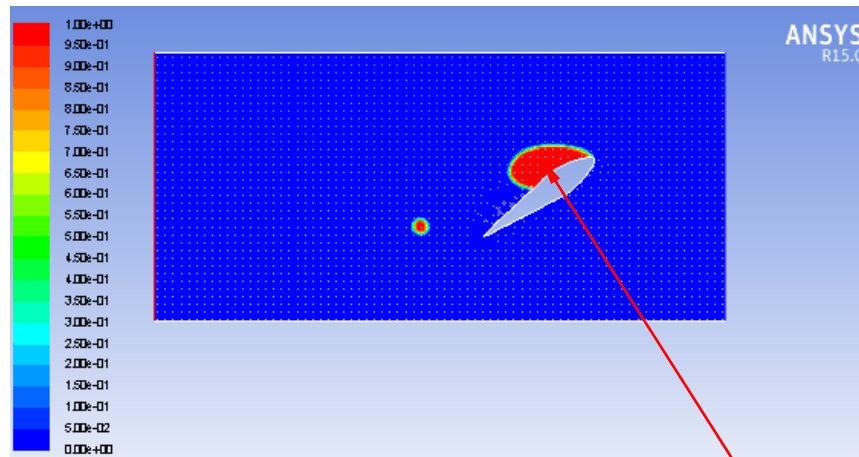
tại các giá trị α khác nhau của profil NACA 66MOD

Cần nhấn mạnh rằng: Do Fluent - Ansys là phần mềm thương mại rất mạnh về CFD, kết quả tính toán mô phỏng rõ ràng, tường minh hơn các phương án khác. Vì vậy, kết quả tính toán mô phỏng với các tham số đầu vào theo bảng 2.1 cho profil bánh lái tàu thủy được nghiên cứu sinh lựa chọn sử dụng Fluent - Ansys.

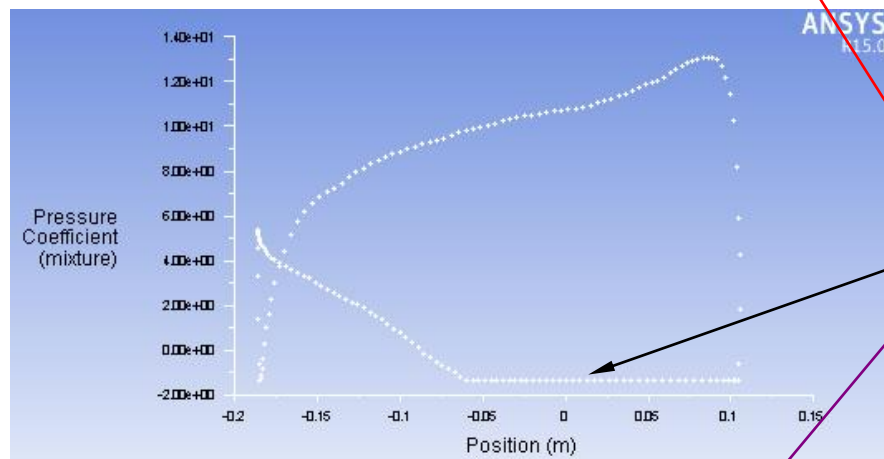
Dưới đây là kết quả tính toán mô phỏng bằng Fluent - Ansys:

- Xét trường hợp góc bẻ lái $\alpha = 35^\circ$ và giá trị vận tốc $V = 7,5 \text{ m/s}$.

Kết quả tính toán mô phỏng với các giá trị nhận được, hiển thị tương ứng với cột màu bên trái mỗi hình, cụ thể là: Phân bố phần trăm pha hơi; hệ số áp suất và trường phân bố áp suất, được mô tả chi tiết theo các hình 2.20, hình 2.21 và hình 2.22.

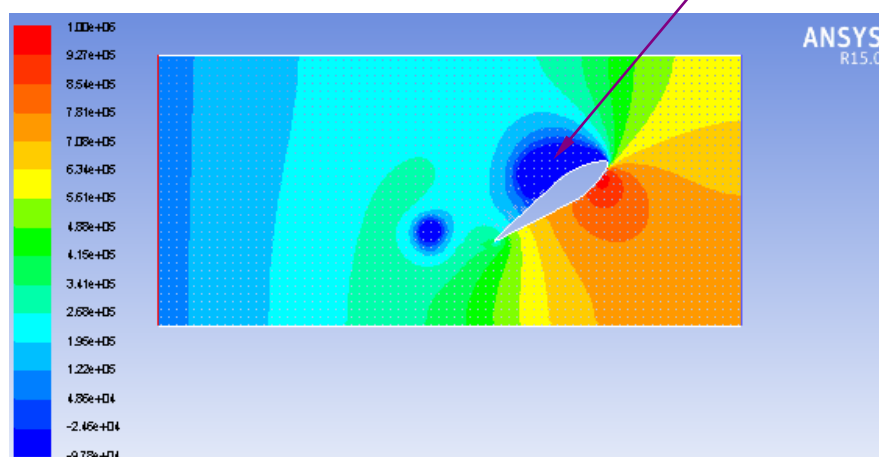


Hình 2.20. Kết quả tính toán mô phỏng phân bố phần trăm pha hơi



Hiện thị vùng xâm thực

Hình 2.21. Kết quả tính toán mô phỏng phân bố hệ số áp suất



Hình 2.22. Kết quả tính toán mô phỏng phân bố áp suất

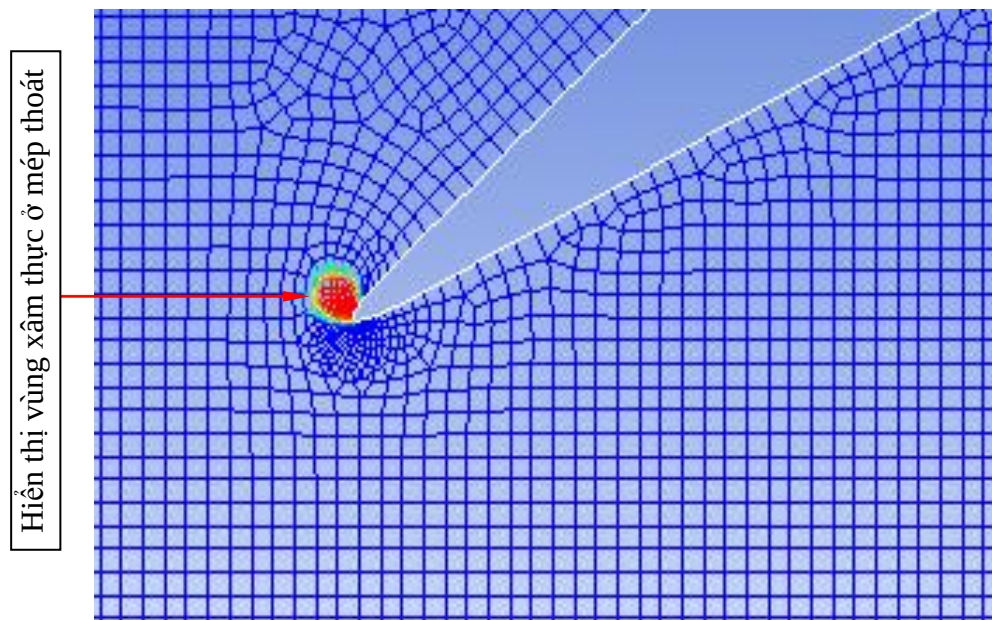
Phân tích kết quả nhận được từ hình 2.20 đến hình 2.22, nhận xét rằng:

- Đây là trường hợp sẽ có hiện tượng xâm thực rõ nét nhất, bởi vì, trong trường hợp này, với thông số đầu vào là vận tốc dòng chảy bao và góc bề lái đều có giá trị lớn nhất;

- Trên hình 2.20, thấy rõ kích thước túi hơi xâm thực, đạt 100% pha hơi, nó xuất phát từ mép vào profil và đóng kín trên profil, với chiều dài vùng xâm thực trên profil là 0,175 m. Theo phân loại về xâm thực trên cánh dẫn, thì đây là loại xâm thực cục bộ.

- Trên hình 2.21 và hình 2.22, thể hiện hệ số áp suất và phân bố áp suất tĩnh trên profil. Vùng xâm thực sẽ có giá trị áp suất tĩnh bằng áp suất hơi bão hòa của nước là 3540 N/m^2 , dẫn tới hệ số áp suất trong miền này có dạng nằm ngang (gọi là chiều dài xâm thực l). Ứng với mỗi giá trị vận tốc đầu vào khác nhau, nhận thấy l sẽ thay đổi, miền xâm thực tại mép thoát của profil cũng thay đổi theo.

- Mặt khác, phía mép thoát của profil cũng tồn tại vùng xâm thực và được mô tả chi tiết theo hình 2.23.



Hình 2.23. Mô phỏng vùng xâm thực ở mép thoát của profil

Thực hiện tương tự, xét các trường hợp với giá trị vận tốc đầu vào khác nhau. Kết quả tính toán mô phỏng cụ thể cho trong bảng 2.3.

Bảng 2.3. Kết quả tính toán chiều dài vùng xâm thực, khi góc bề lái $\alpha = 35^0$

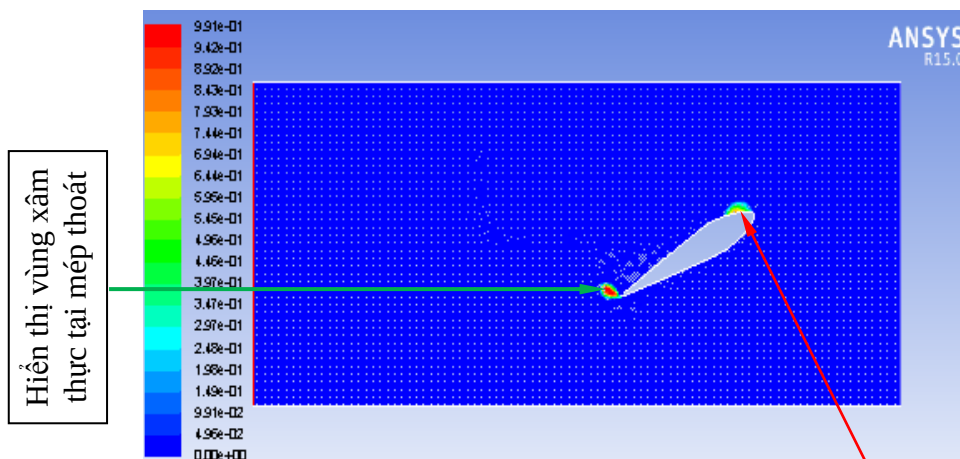
Vận tốc đầu vào (m/s)	Chiều dài xâm thực l (m)	Phân tích kết quả tính toán mô phỏng nhận được
4,5	0,015	Tồn tại xâm thực tại mép thoát profil khảo sát
5,0	0,025	
5,5	0,035	
6,0	0,045	
6,5	0,097	
7,0	0,125	
7,5	0,175	

Phân tích kết quả nhận được từ bảng 2.3, nhận xét rằng:

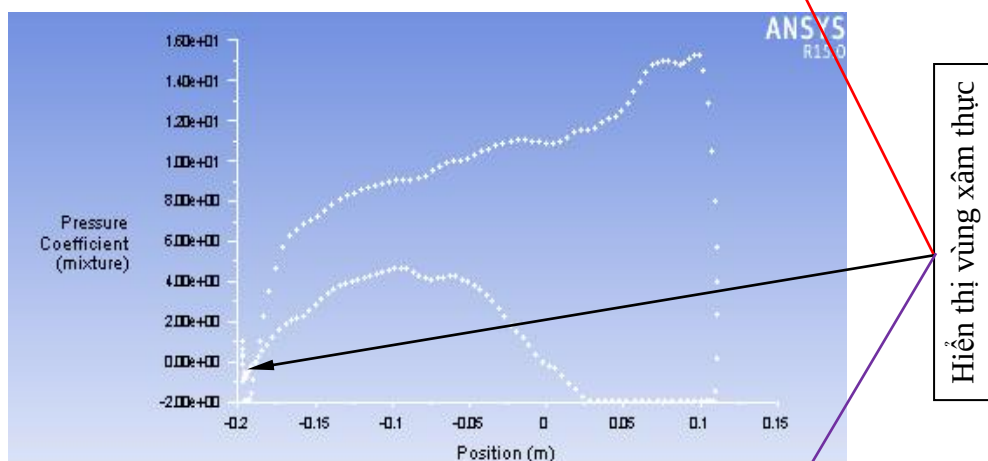
Cùng giá trị góc bề lái như nhau (cụ thể $\alpha^0 = 35^0$), nhưng ứng với giá trị tham số vận tốc đầu vào giảm dần, thì chiều dài vùng xâm thực trên profil tại mép vào cũng giảm dần, đồng thời kích thước vùng xâm thực tại mép thoát cũng nhỏ theo.

- Xét trường hợp góc bề lái $\alpha = 30^0$ và giá trị vận tốc $V = 7,5$ m/s.

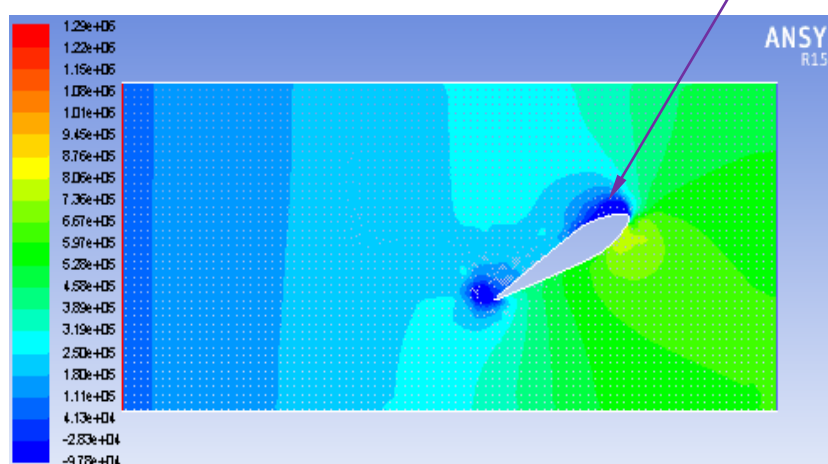
Bằng việc thực hiện tương tự, kết quả tính toán mô phỏng trong trường hợp này với các giá trị nhận được, mô tả chi tiết thứ tự theo hình 2.24, hình 2.25 và hình 2.26.



Hình 2.24. Kết quả tính toán mô phỏng phân bố phần trăm pha hơi



Hình 2.25. Kết quả tính toán mô phỏng phân bố hệ số áp suất



Hình 2.26. Kết quả tính toán mô phỏng phân bố áp suất

Tổng hợp các kết quả tính toán mô phỏng trong trường hợp này cho trong bảng 2.4.

Bảng 2.4. Kết quả tính toán chiều dài vùng xâm thực, khi góc bề lái $\alpha = 30^0$

Vận tốc đầu vào (m/s)	Chiều dài xâm thực l (m)	Phân tích kết quả tính toán mô phỏng nhận được
4,5	0,012	Vẫn tồn tại xâm thực tại mép thoát profil khảo sát
5,0	0,015	
5,5	0,025	
6,0	0,045	
6,5	0,050	
7,0	0,070	
7,5	0,085	

- Xét trường hợp góc bề lái $\alpha = 0^0$ và giá trị vận tốc $V = 7,5 \text{ m/s}$.

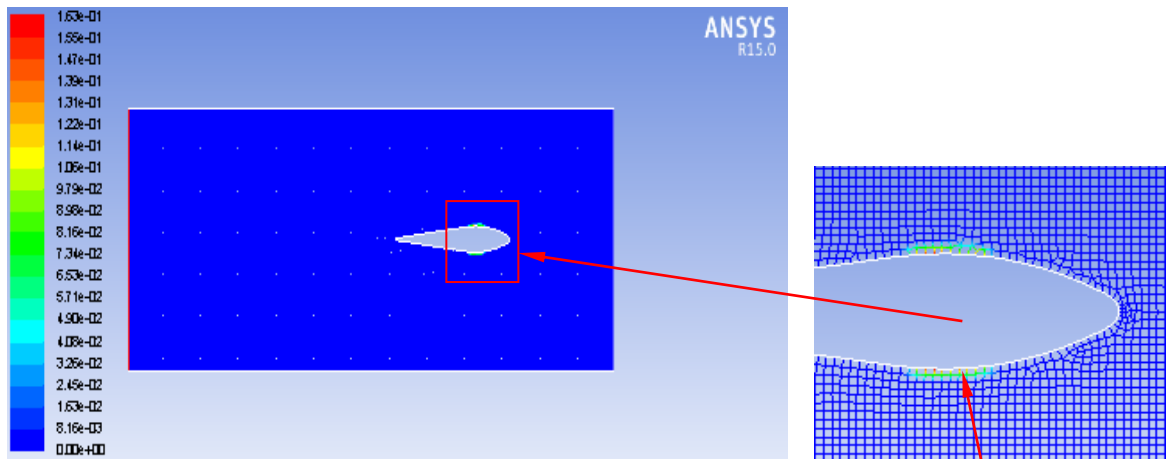
Tương tự, kết quả tính toán mô phỏng với các giá trị nhận được trong trường hợp này, mô tả chi tiết thứ tự theo hình 2.27, hình 2.28 và hình 2.29.

Phân tích kết quả nhận được trong trường hợp này, nhận xét như sau:

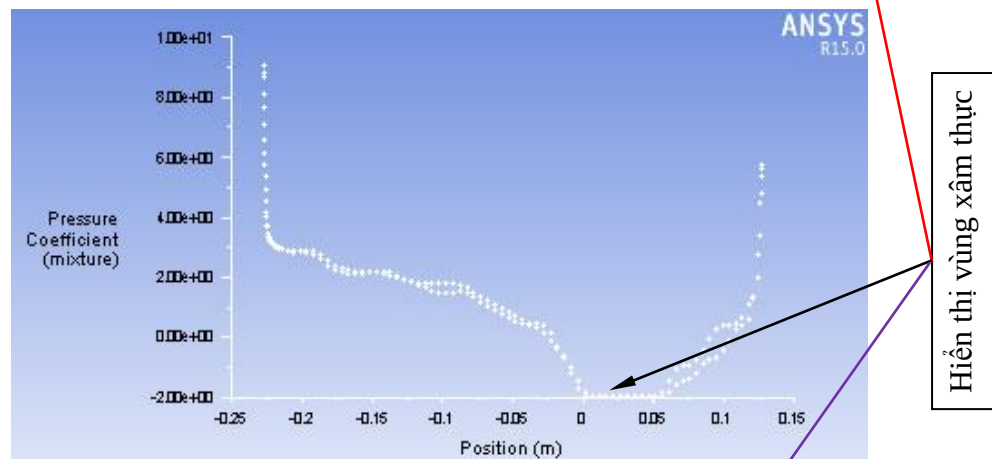
- Phân bố áp suất tại hai phía của profil là gần như hoàn toàn đối xứng, nghĩa là không tồn tại lực bề lái.

- Tuy nhiên, vẫn xuất hiện nơi có phần trăm (%) pha hơi khác không, cụ thể, theo hình 2.27, số phần trăm pha hơi lớn nhất là 16,3%.

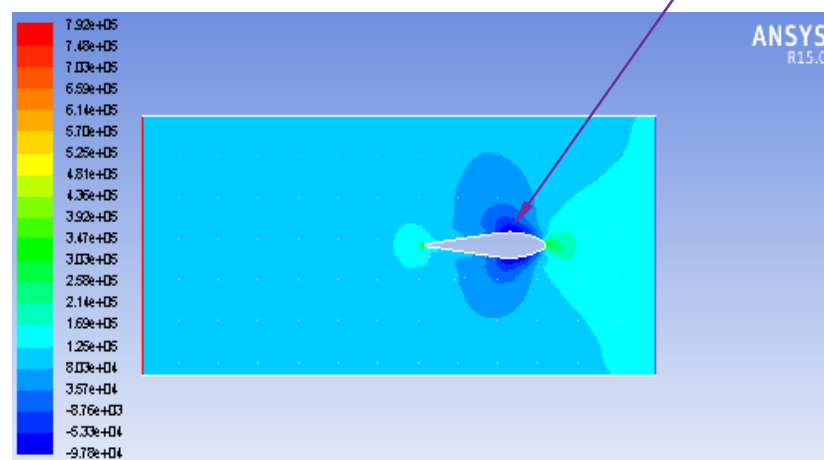
Do khối lượng tính toán cho các trường hợp khác nhau rất nhiều, cho nên thể hiện kết quả trong bảng tổng hợp.



Hình 2.27. Kết quả tính toán mô phỏng phân bố phần trăm pha hơi



Hình 2.28. Kết quả tính toán mô phỏng phân bố hệ số áp suất



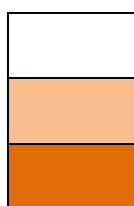
Hình 2.29. Kết quả tính toán mô phỏng phân bố áp suất

Tổng hợp các kết quả tính toán trên profil, nhận xét rằng:

Với một số giá trị đầu vào không tồn tại vùng xâm thực. Những giá trị đầu vào mà xuất hiện xâm thực trên profil, có thể được chia làm hai loại là: Chỉ xâm thực tại mép thoát và vừa xâm thực tại mép thoát vừa xuất hiện xâm thực cục bộ tại mép vào. Kết quả hiển thị cụ thể cho trong bảng 2.5.

Bảng 2.5. Tổng hợp kết quả tính toán mô phỏng

Giá trị góc bề lái (α^0)	Giá trị vận tốc đầu vào (m/s)						
	4,5	5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5
0^0							
5^0							
10^0							
15^0							
20^0							
25^0							
30^0							
35^0							



Không xuất hiện xâm thực

Chỉ xâm thực tại mép thoát

Xâm thực mép thoát + xâm thực cục bộ tại mép vào

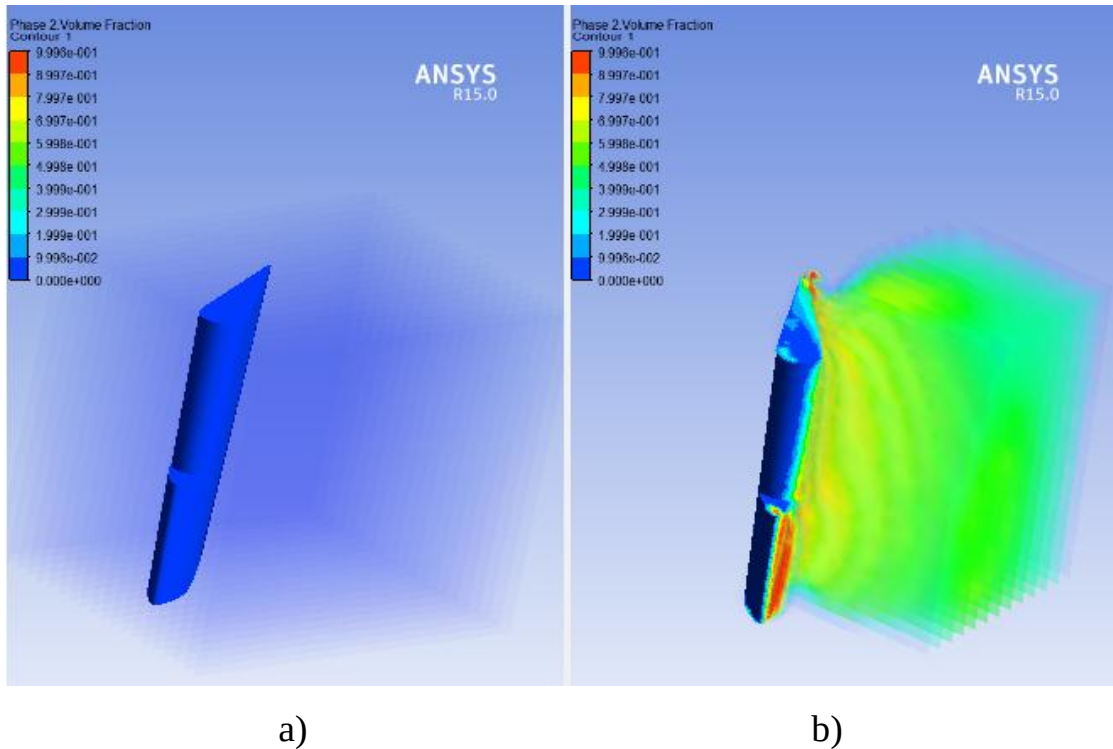
2.3.2. Kết quả tính toán mô phỏng cho bài toán 3D

Liên quan đến vấn đề thực hiện chia lưới cho không gian tính toán, nhận được kết quả cụ thể sau: tổng số nút lưới (nodes) là 95246, phần tử lưới (elements) bằng 530222 và loại lưới chia là Tetrahedra.

Tính toán mô phỏng bài toán xâm thực trên bánh lái cho một số trường hợp góc bề lái bằng phần mềm Fluent - Ansys, cụ thể: Khi $\alpha^0 = 0^0$ và khi

$\alpha^0 = 30^0$, với vận tốc dòng chảy bao quanh bánh lái $V = 7,5 \text{ m/s}$, vị trí đặt bánh lái theo hồ sơ tàu lúc đầy tải.

Kết quả tính toán mô phỏng theo hình 2.30.



Hình 2.30. Kết quả tính toán mô phỏng phần trăm pha hơi:

a) $\alpha^0 = 0^0$; b) $\alpha^0 = 30^0$

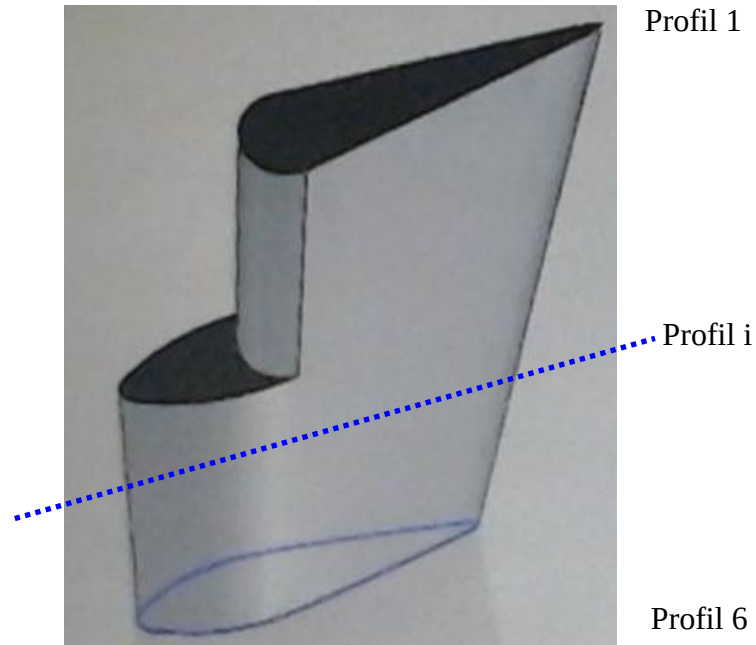
Phân tích kết quả nhận được theo hình 2.30, nhận xét rằng:

- Khi góc bẻ lái $\alpha^0 = 0^0$, thấy rằng phần trăm pha hơi trên bánh lái tàu thủy và không gian xung quanh gần bằng 0;
- Khi góc bẻ lái $\alpha^0 = 30^0$, thì phần trăm pha hơi khá lớn. Cụ thể, tại biên dạng bánh lái ở mép vào và mép thoát có phần trăm pha hơi đạt giá trị gần bằng 100% và giảm dần ra không gian xung quanh.

2.3.3. Sử dụng phương pháp xâu chuỗi từ các profil

Phương pháp xâu chuỗi các profil, kèm túi hơi cho phép giảm thiểu khối lượng tính toán và có thể xác định bằng chương trình theo mục 2.1 hoặc tính toán bằng Fluent - Ansys.

Để tiến hành xâu chuỗi các profil theo bài toán 2D, kèm theo kích thước vùng xam thực nhằm hình thành bánh lái 3D và vùng xam thực. Ở đây bánh lái được chia đều thành 06 profil, mô tả theo hình 2.31.



Hình 2.31. Hình ảnh chia bánh lái tàu thủy thành 6 profil

Thực hiện tính toán mô phỏng trường hợp góc bẻ lái $\alpha^0 = 30^0$, tham số vận tốc đầu vào $V = 7,5 \text{ m/s}$, với độ sâu đặt profil so với mặt thoáng được tính theo thực tế.

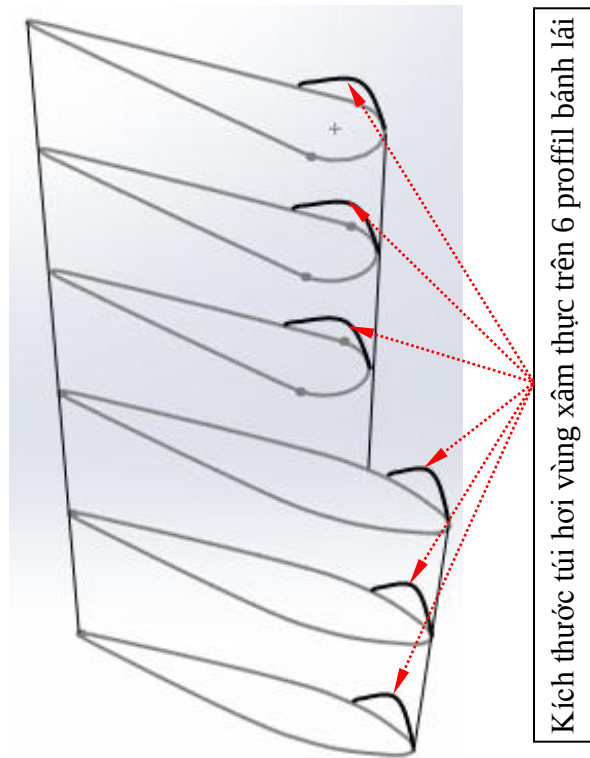
Việc tính toán theo mục 2.1, chỉ cho phép xác định được vùng xam thực cục bộ, nghĩa là có điểm xuất phát từ mép vào và điểm đóng tại profil bánh lái. Còn vùng xam thực phía mép thoát cần tính toán mô phỏng bằng phần mềm Fluent - Ansys.

Kết quả tính toán mô phỏng cụ thể được mô tả theo hình 2.32.

Phương pháp xâu chuỗi tuy không thể hiện hết những vùng xam thực, nhưng chương trình tính toán mô phỏng thực hiện cho từng profil theo bài toán 2D, nên khối lượng tính toán ít và tốc độ rất nhanh so với việc tính toán trực tiếp cho cả bánh lái bằng Fluent - Ansys.

Hơn nữa, việc tính toán trực tiếp cho bài 3D khối lượng tính toán rất lớn, đòi hỏi cấu hình máy tính rất lớn, thậm chí thời gian thực hiện chạy chương

trình mất vài ngày,... Vì vậy, tùy vào mục đích nghiên cứu để lựa chọn phương án tính toán mô phỏng cho phù hợp.



Hình 2.32. Kết quả xâu chuỗi 6 profil kèm vùng xâm thực bánh lái

2.4. Kết luận chương 2

Trong chương 2, nghiên cứu sinh tập trung tính toán mô phỏng xâm thực bánh lái tàu thủy và đã đạt được các kết quả cơ bản sau:

- Xây dựng mô hình nghiên cứu trên cơ sở các số liệu bánh lái được đồng dạng theo tiêu chuẩn Froude với bánh lái của tàu M/V TAN CANG FOUNDATION và cơ sở toán học trên nền tảng CFD với phần mềm chuyên dụng Fluent - Ansys phục vụ việc tính toán mô phỏng vùng xâm thực trên bánh lái tàu thủy.

- Xây dựng quy trình tính toán mô phỏng chung cho bài toán 2D bằng phương pháp phần tử biên và Fluent - Ansys và bài toán 3D bằng phương pháp xâu chuỗi và Fluent - Ansys. Từ đó, thực hiện tính toán mô phỏng cho

đối tượng cụ thể là bánh lái của tàu M/V TAN CANG FOUNDATION trong các trường hợp góc bẻ lái và vận tốc tàu khác nhau.

- Từ các kết quả tính toán mô phỏng chi tiết, cụ thể và tường minh trong các trường hợp về phần trăm pha hơi, phân bố hệ số áp suất, phân bố áp suất, nghiên cứu sinh đã tổng hợp kết quả giá trị đầu vào mà bánh lái tàu thủy nói chung, tàu M/V TAN CANG FOUNDATION nói riêng, bị xâm thực cục bộ tại mép vào và xâm thực tại mép thoát bánh lái.

Với những kết quả đạt được trong chương 2, là cơ sở quan trọng để nghiên cứu sinh tập trung đánh giá ảnh hưởng của xâm thực bánh lái đến lực bẻ lái tàu thủy trong chương 3.

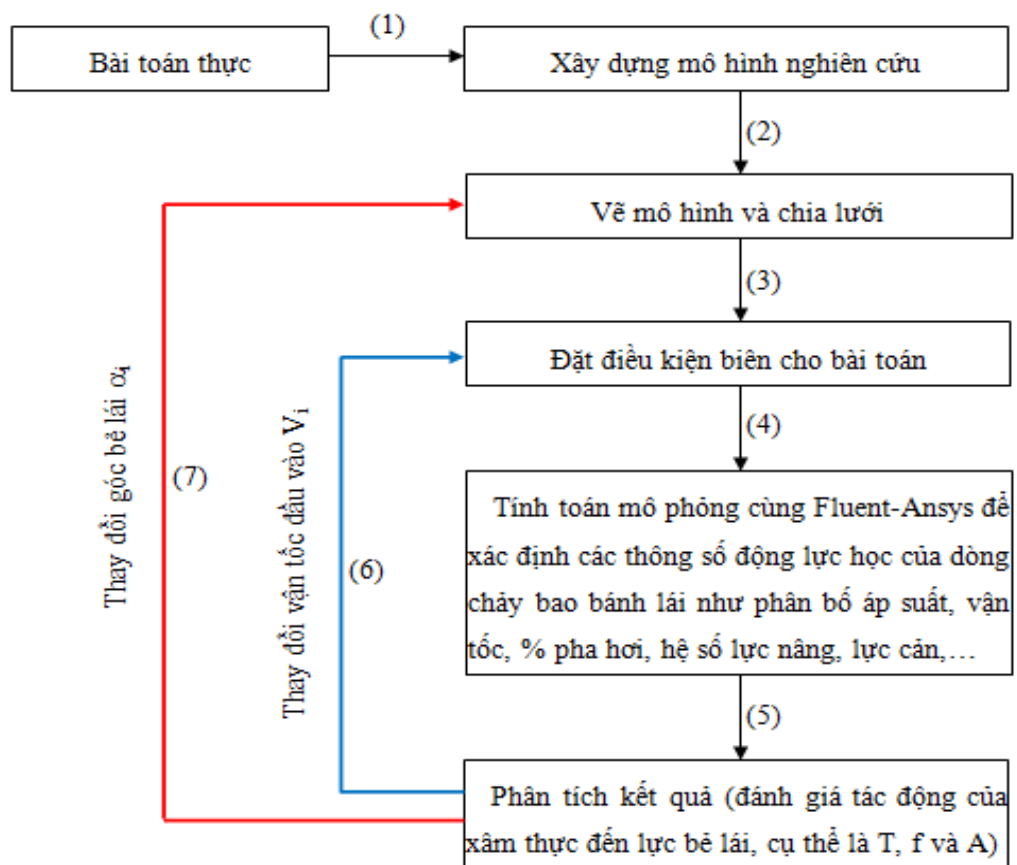
CHƯƠNG 3. ĐÁNH GIÁ ẢNH HƯỞNG CỦA XÂM THỰC BÁNH LÁI ĐẾN LỰC BỀ LÁI TÀU THỦY

Từ kết quả tính toán mô phỏng đạt được trong chương 2, trong chương 3 nghiên cứu sinh sẽ tiếp tục phân tích và đánh giá ảnh hưởng của xâm thực bánh lái đến lực bề lái bằng phương pháp số, nhưng tập trung vào xâm thực cục bộ tại mép vào và mép thoát trên bánh lái. Hơn nữa, một số kết quả liên quan đến vấn đề này đã được nghiên cứu sinh công bố [8, 29, 31, 32, 51].

3.1. Xây dựng quy trình nghiên cứu

3.1.1. Sơ đồ quy trình đánh giá tác động của xâm thực cục bộ tới lực bề lái

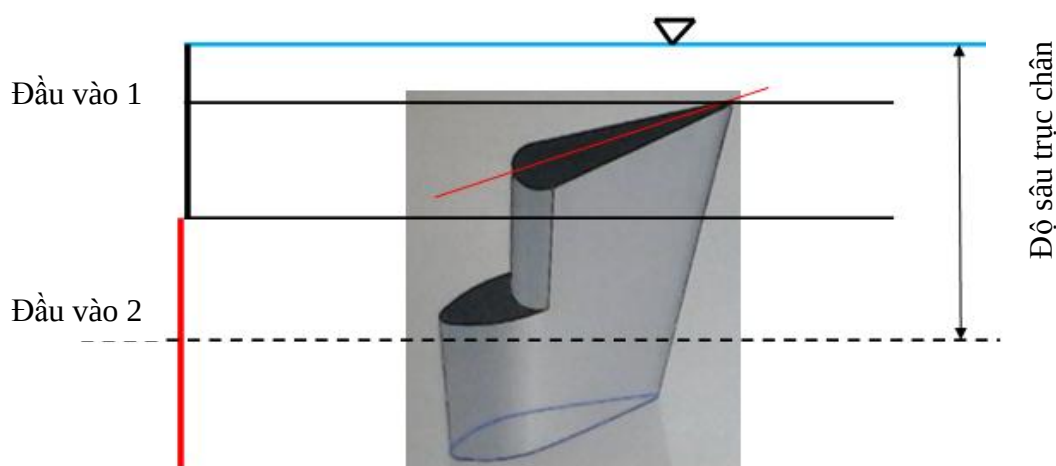
Nghiên cứu sinh thực hiện việc xây dựng quy trình nghiên cứu tác động của xâm thực cục bộ tại mép vào của bánh lái đến lực bề lái tàu thủy. Quy trình nghiên cứu được thực hiện thông qua các bước theo hình 3.1.



Hình 3.1. Quy trình đánh giá tác động của xâm thực cục bộ tới lực bề lái

3.1.2. Phân tích các bước thực hiện trong quy trình

Bước 1: Đây là giai đoạn xây dựng mô hình nghiên cứu, nghĩa là đã mô hình hóa bài toán thực sao cho bám sát nhất với thực tiễn về điều kiện biên. Mô hình bánh lái được xây dựng đồng dạng với bánh lái tàu thực, được minh họa như hình 3.2.



Hình 3.2. Mô hình nghiên cứu

Như vậy, mô hình nghiên cứu ngoài việc xây dựng đối tượng nghiên cứu là bánh lái mô hình đồng dạng với bánh lái tàu thực, hơn nữa các đặc điểm chính của bài toán thực cũng được mô hình hóa gần với thực tế như:

- Thể hiện được mặt thoáng;
- Thể hiện được độ sâu bố trí chân vịt và bánh lái (điều này liên quan đến giá trị áp suất tĩnh tại mỗi profil khảo sát);

- Đầu vào là tốc độ của dòng chảy bao bánh lái được chia làm hai phần:

Đầu vào 1: Thể hiện dòng chảy bao quanh bánh lái chính là vận tốc tiến của tàu;

Đầu vào 2: Thể hiện tốc độ lớn hơn do dòng chảy sau chân vịt (được lấy theo công thức thực nghiệm là $V_2 = 1,3V_1$).

Ngoài ra, không gian bao quanh bánh lái được giới hạn bởi các tường tĩnh có khoảng cách so với bánh lái, đảm bảo không ảnh hưởng đến bài toán động lực học dòng chảy bao quanh bánh lái tàu thủy.

Bước 2: Sau khi xây dựng mô hình nghiên cứu, tiến hành sử dụng một số phần mềm chuyên dụng để vẽ như Solidwork, Inventor, Gambit,... ở đây nghiên cứu sinh sử dụng Solidwork để vẽ mô hình nghiên cứu.

Việc chia lưới cho mô hình là vấn đề quan trọng, quyết định rất lớn đến sai số tính toán mô phỏng, khối lượng tính toán cũng như tốc độ tính toán. Có thể lập trình chia lưới, sử dụng các phần chuyên dụng Gambit, Workbench,... Trong luận án nghiên cứu sinh đã sử dụng Workbench để thực hiện chia lưới.

Bước 3: Tiến hành đặt các thuộc tính cho bài toán, như: Đầu vào 1, đầu vào 2, đầu ra 1, đầu ra 2, tường bao giới hạn hai bên, tường bao giới hạn đáy,... Sau đó xuất sang "file.msh" để mở bằng phần mềm Fluent - Ansys và đặt điều kiện biên chi tiết hơn như:

- Vận tốc đầu vào 1;
- Vận tốc đầu vào 2;
- Áp suất tĩnh đầu vào và đầu ra (thể hiện độ sâu của bánh lái tàu thủy so với mặt thoáng);
- Tường bao được định nghĩa là tường tĩnh.

Bước 4: Đòi hỏi kiến thức chuyên sâu về phương pháp số, kỹ năng sử dụng phần mềm để lựa chọn được các mô hình tính toán mô phỏng phù hợp. Ghi lại những biến quan tâm theo mỗi bước thời gian như trường vận tốc, áp suất, phân bố pha,... để phục vụ việc phân tích và đánh giá kết quả.

Bước 5: Kết quả tính toán mô phỏng các giá trị nhận được: Vận tốc, áp suất, hệ số áp suất, phần trăm (%) pha hơi,... tại nút lưới theo các bước thời gian khác nhau. Nhưng thể hiện chúng như thế nào, nhằm đánh giá sự phù hợp với lý thuyết và thực tế, từ đó là cơ sở phân tích ảnh hưởng của xâm thực bánh lái đến tính bất ổn định của lực bề lái theo một số khía cạnh cụ thể như:

- Chu kỳ dao động T;
- Tần số dao động f;
- Biên độ dao động A.

Bước 6: Nếu giữ nguyên góc bề lái mà chỉ thay đổi thông số vận tốc đầu vào, thực hiện quay lại bước 3 để đặt lại giá trị và tiếp tục cho các bước tiếp theo.

Bước 7: Nếu muốn thay đổi góc bề lái, phải quay lại bước 2 để vẽ lại mô hình và chia lại lưới (chẳng hạn khi bánh lái thay đổi với góc bề lái khác nhau) và tiếp tục cho các bước tiếp theo.

Với tài nguyên máy tính hiện có, nghiên cứu sinh chia lưới cho mô hình bài toán là hơn 2 triệu nút lưới. Việc tính toán cho một bộ số liệu đầu vào mất khoảng 3 ngày liên tục (do vậy cần chú ý nguồn điện và nhiệt độ phòng phù hợp để hạn chế lỗi về kỹ thuật máy tính).

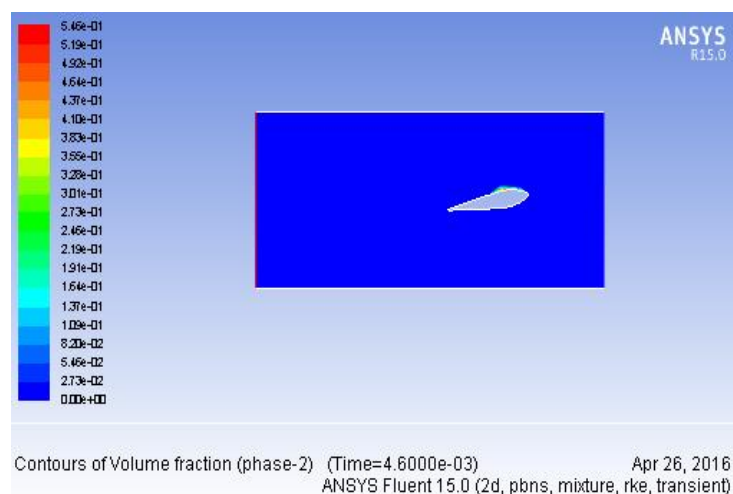
3.2. Đánh giá ảnh hưởng của xâm thực cục bộ mép vào đến lực bề lái

Từ kết quả trong chương 2, nghiên cứu sinh thực hiện việc tính toán mô phỏng với các thông số giá trị đầu vào mà bánh lái tàu thủy xuất hiện xâm thực cục bộ tại mép vào.

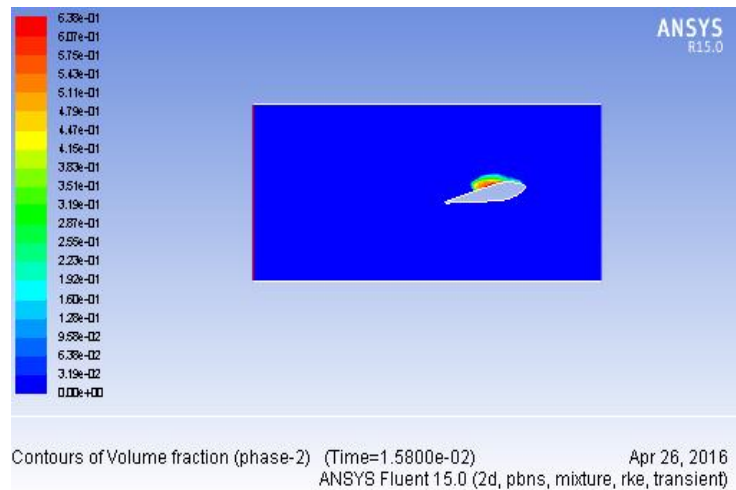
3.2.1. Kết quả tính toán mô phỏng kích thước túi hơi xâm thực cục bộ trong một chu kỳ

Trường hợp góc bề lái là $\alpha = 20^\circ$ và vận tốc tàu $V = 7,5 \text{ m/s}$.

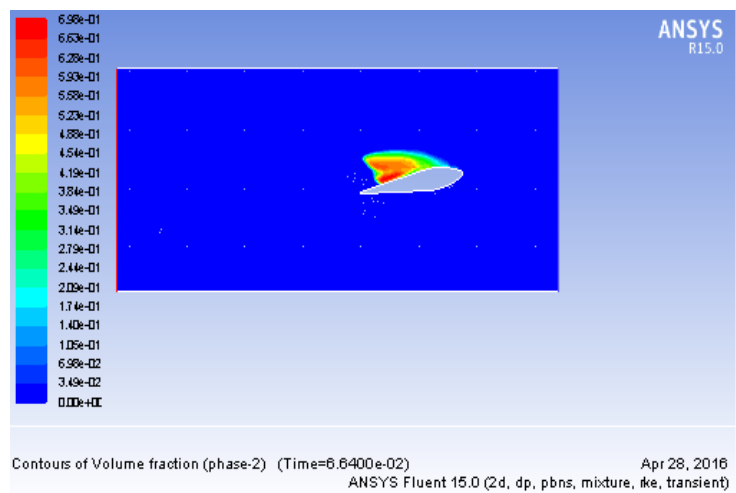
Kết quả tính toán mô phỏng hình ảnh và kích thước túi hơi xâm thực cục bộ tại mép vào tương ứng 6 giai đoạn trong một chu kỳ, mô tả hình 3.3.



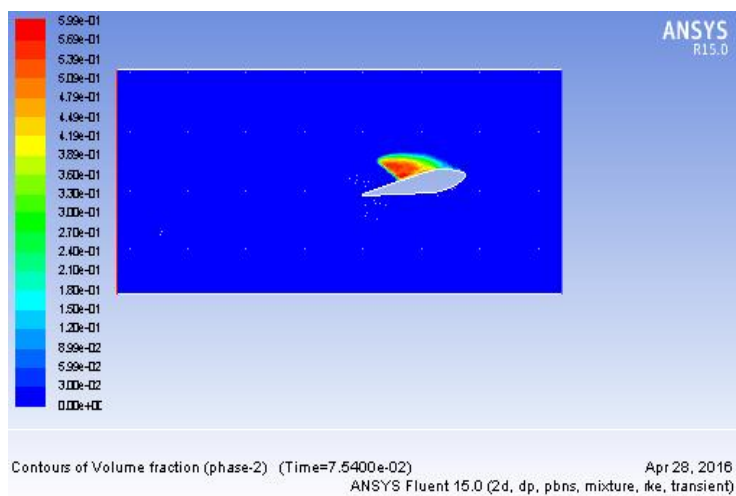
a)



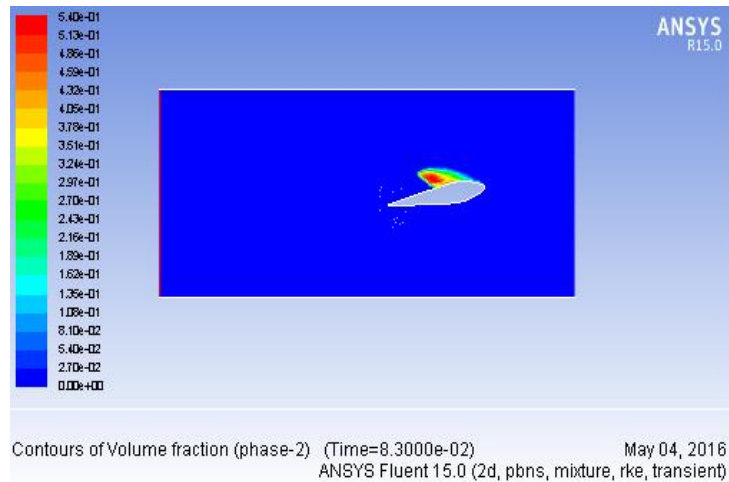
b)



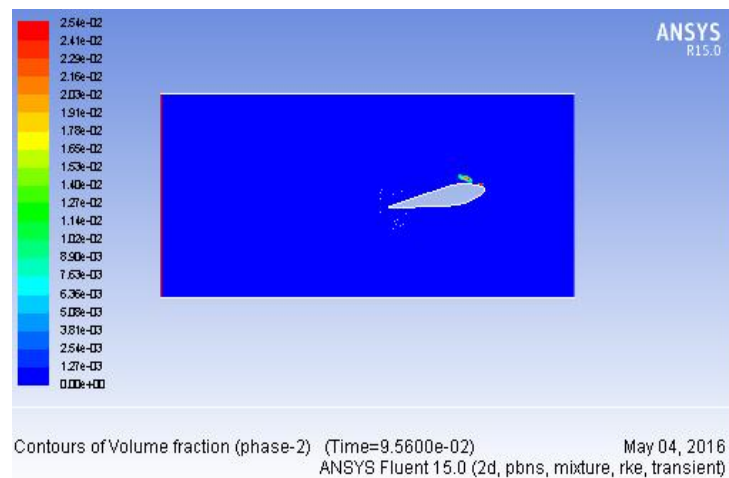
c)



d)



e)



g)

Hình 3.3. Kết quả tính toán mô phỏng phần trăm pha hơi theo các bước thời gian khác nhau: a) $t = 0,0046s$, b) $t = 0,0158s$, c) $t = 0,0664s$, d) $t = 0,0754s$, e) $t = 0,083s$, g) $t = 0,0956s$.

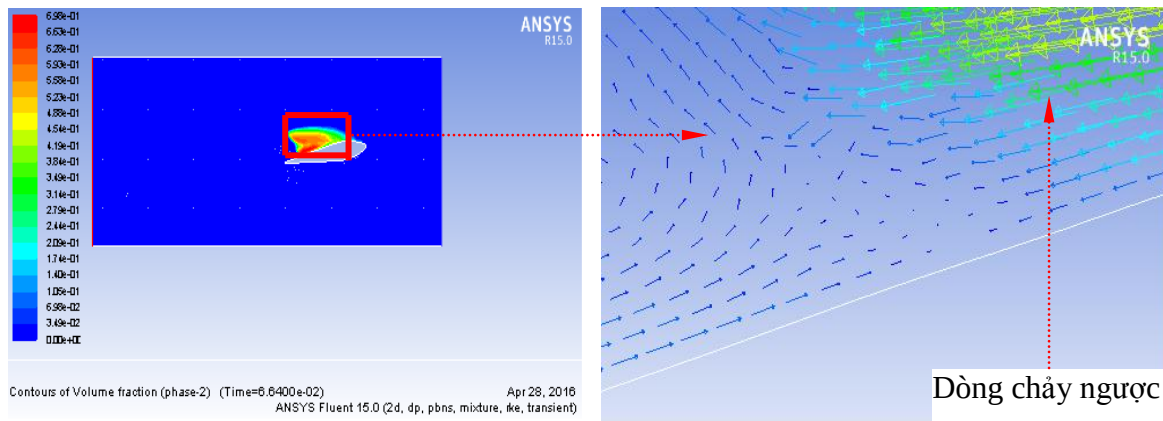
3.2.2. Phân tích và đánh giá kết quả tính toán mô phỏng

Từ hình 3.3 phân tích cụ thể kết quả nhận được và nhận xét rằng:

a - hình ảnh túi hơi xâm thực cục bộ bắt đầu hình thành tại mép vào của profil bánh lái tàu thủy;

b - hình ảnh túi hơi từ từ phát triển lớn dần;

c - hình ảnh túi hơi phát triển tới kích thước lớn nhất, tại đây bắt đầu xuất hiện dòng chảy ngược, kết quả nhận thấy rõ nét và tường minh theo hình 3.4. Đây là nguyên nhân khiến túi hơi bị bóc ra khỏi bánh lái tàu thủy.



Hình 3.4. Mô phỏng hình ảnh dòng chảy ngược

d, e - hình ảnh túi hơi xâm thực cục bộ mép vào bị tách dần ra không gian. Tại đây áp suất chất lỏng lớn hơn do đó bọt khí bị xẹp “nổ”, lúc này áp suất và nhiệt độ tăng vọt và là nguyên nhân gây rỗ bề mặt bánh lái;

g - hình ảnh bắt đầu hình thành chu kỳ mới của túi hơi xâm thực cục bộ tại mép vào của bánh lái tàu thủy.

Mặt khác, từ các kết quả trên, nhận được:

- Chu kỳ của loại xâm thực cục bộ đối với profil bánh lái trong trường hợp này là:

$$T = 0,0956s - 0,0046s = 0,091s, \quad (3.1)$$

hay tần số dao động f là:

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{0,091} \approx 11 \text{ Hz} \quad (3.2)$$

Hơn nữa, T cũng là chu kỳ dao động của hệ số lực nâng C_L , lực cản C_D hay chính là chu kỳ dao động của lực bẻ lái tàu thủy. Nghĩa là, khi bánh lái xuất hiện xâm thực cục bộ, mặc dù không thay đổi tốc độ tiến của tàu và giữ nguyên giá trị góc bẻ lái, nhưng lực bẻ lái lại dao động với một chu kỳ như tính toán, điều này ít nhiều gây khó khăn cho việc điều khiển hướng chuyển động tàu thủy.

Vậy biên độ dao động bằng bao nhiêu? Đây cũng là thông số quan trọng để đánh mức độ ảnh hưởng của xâm thực cục bộ, đặc biệt trong các chương

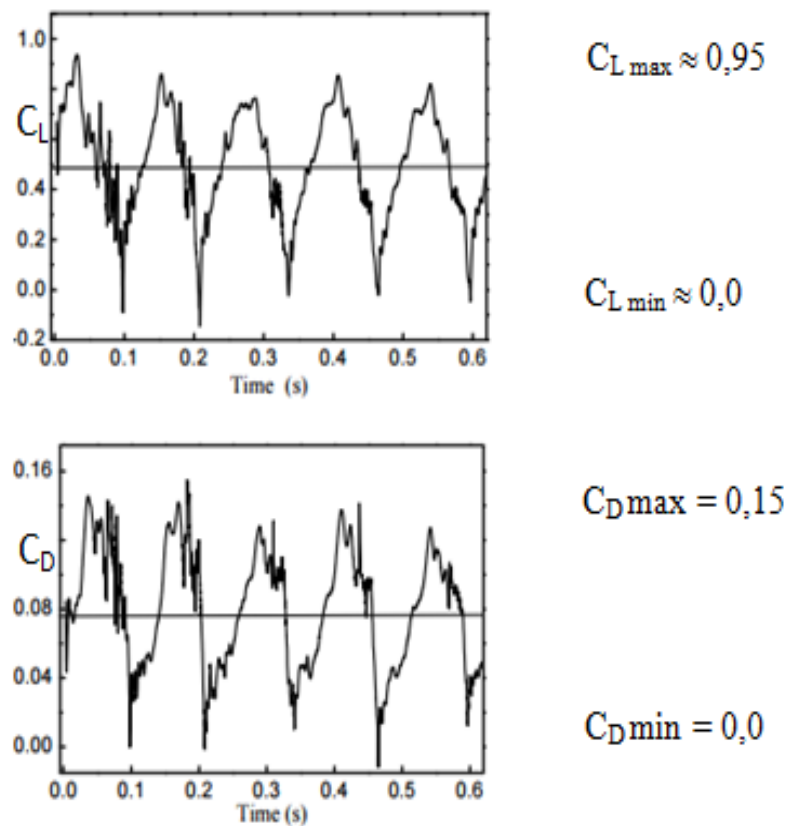
trình điều khiển tự động thì việc xác định được các yếu tố nhiều ảnh hưởng tới quỹ đạo chuyển động của tàu thủy là hết sức quan trọng.

Với profil bánh lái có dạng đối xứng, tồn tại giá trị hệ số C_L chỉ phụ thuộc vào góc bẻ lái, khi góc bẻ lái nhỏ (khi đó $\sin \alpha^0 \approx \alpha^0$) và có thể tính toán bằng công thức giải tích.

$$C_L = 2\pi\alpha \text{ (với } \alpha \text{ tính bằng rad)} \quad (3.3)$$

Nhưng trong giai đoạn có xâm thực, hệ số C_L là biến thiên và lúc này việc tính toán xuất phát từ việc xác định các thông số động lực học dòng chảy bao quanh bánh lái, cụ thể là:

- Xác định phân bố áp suất trên biên dạng bánh lái;
- Từ đó, xác định được áp lực của chất lỏng tác động lên bánh lái;
- Ghi giá trị C_L tương ứng với chu kỳ dao động của chúng, được chu kỳ dao động và biên độ dao động tương ứng theo hình 3.5.



Hình 3.5. Kết quả tính toán giá trị C_L và C_D tại $\alpha = 20^0$; $V = 7,5$ m/s

3.2.3. Tính toán lực bẻ lái trung bình khi có ảnh hưởng xâm thực cục bộ tại mép vào bánh lái

Lực bẻ lái được xác định theo công thức (1.13), nghĩa là thỏa mãn:

$$R = \frac{1}{2} \rho C_L A_R V^2$$

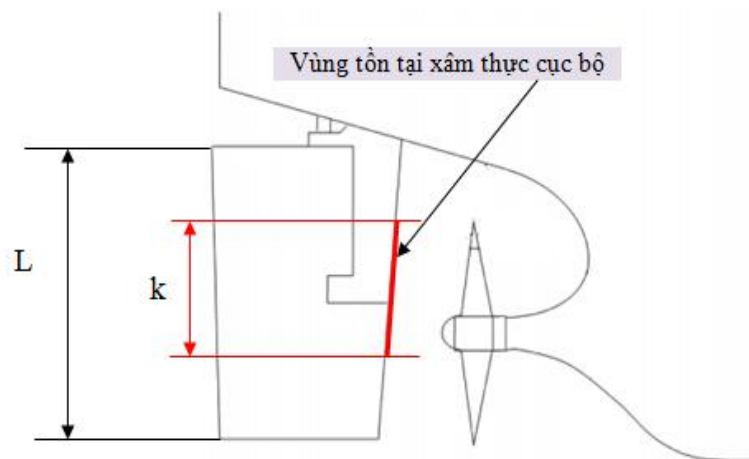
Từ công thức (1.13), nhận xét rằng:

- Chu kỳ dao động của C_L cũng là chu kỳ dao động của lực bẻ lái tính trên profil thứ i (R_i);

- Biên độ dao động của R_i tính theo:

$$\frac{1}{2} C_{L \min} \rho A_R V^2 \div \frac{1}{2} C_{L \max} \rho A_R V^2 \quad (3.4)$$

Để xác định tổng hợp biên độ của lực bẻ lái trên toàn bánh lái, cần tính phần trăm theo chiều cao bánh lái xuất hiện xâm thực cục bộ.

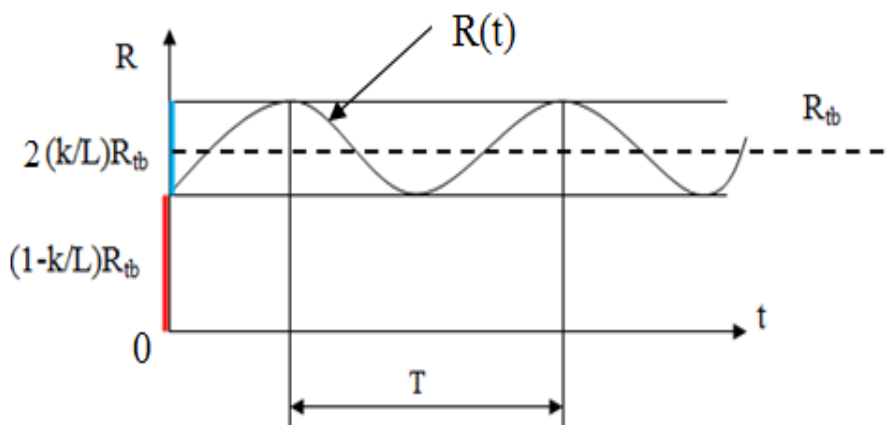


Hình 3.6. Minh họa vùng xâm thực cục bộ mép vào bánh lái

Trong đó: L - chiều cao bánh lái (m);

k - đoạn xuất hiện xâm thực cục bộ (m).

Từ đây nghiên cứu sinh hoàn toàn xác định được biên độ dao động của lực bẻ lái R . Cụ thể minh họa chu kỳ và biên độ dao động của lực bẻ lái R trong giai đoạn bánh lái xuất hiện xâm thực cục bộ như hình 3.7.



Hình 3.7. Đồ thị mô tả lực bề lái biến thiên theo thời gian
Với lực bề lái trung bình R_{tb} được xác định như sau:

$$R_{tb} = \frac{1}{4} (C_{L \min} + C_{L \max}) \rho A_R V^2 \quad (3.5)$$

Các trường hợp xuất hiện xâm thực cục bộ khác:

Từ kết quả tổng hợp theo bảng 2.5 của chương 2, nhận được:

- Với góc bề lái là $\alpha = 25^\circ$ trên bảng 2.5, cho thấy giá trị vận tốc dòng chảy sau chân vịt tương ứng là $V = 7,0$ và $7,5$ m/s;
- Với góc bề lái là $\alpha = 30^\circ$ trên bảng 2.5, cho thấy giá trị vận tốc dòng chảy sau chân vịt tương ứng là $V = 6,0; 6,5; 7,0$ và $7,5$ m/s;
- Với góc bề lái là $\alpha = 35^\circ$ trên bảng 2.5, cho thấy giá trị vận tốc dòng chảy sau chân vịt tương ứng là $V = 6,0; 6,5; 7,0$ và $7,5$ m/s.

Từ đó, tổng hợp kết quả cụ thể như sau:

- Chu kỳ dao động là như nhau $T \approx 0,091$ s.
- Biên độ dao động của C_L thể hiện chi tiết qua bảng 3.1.

Bảng 3.1. Một số kết quả tổng hợp tính toán giá trị C_L

TT	Góc bề lái α°	Hệ số lực nâng C_L
1	20°	$0 \div 0,950$
2	25°	$0 \div 1,643$
3	30°	$0 \div 2,191$
4	35°	$0 \div 2,298$

Từ hình 3.6 và hình 3.7, phân tích và nhận xét rằng:

Ảnh hưởng của xâm thực cục bộ tới lực bẻ lái thể hiện dưới hai thông số là chu kỳ dao động (T) và biên độ dao động (A) của lực bẻ lái (trong giai đoạn bánh lái xuất hiện xâm thực cục bộ).

- Chu kỳ dao động và tần số dao động (f) không phụ thuộc vào tốc độ cũng như góc bẻ lái mà phụ thuộc vào loại profil sử dụng làm bánh lái. Như trên đã tính toán với profil bánh lái của tàu M/V TAN CANG FOUNDATION có $T = 0,091s$ và $f = 11Hz$;

- Biên độ dao động phụ thuộc vào tốc độ dòng chảy và góc bẻ lái, cụ thể:

$$A = 2 \frac{k}{L} R_{tb}$$

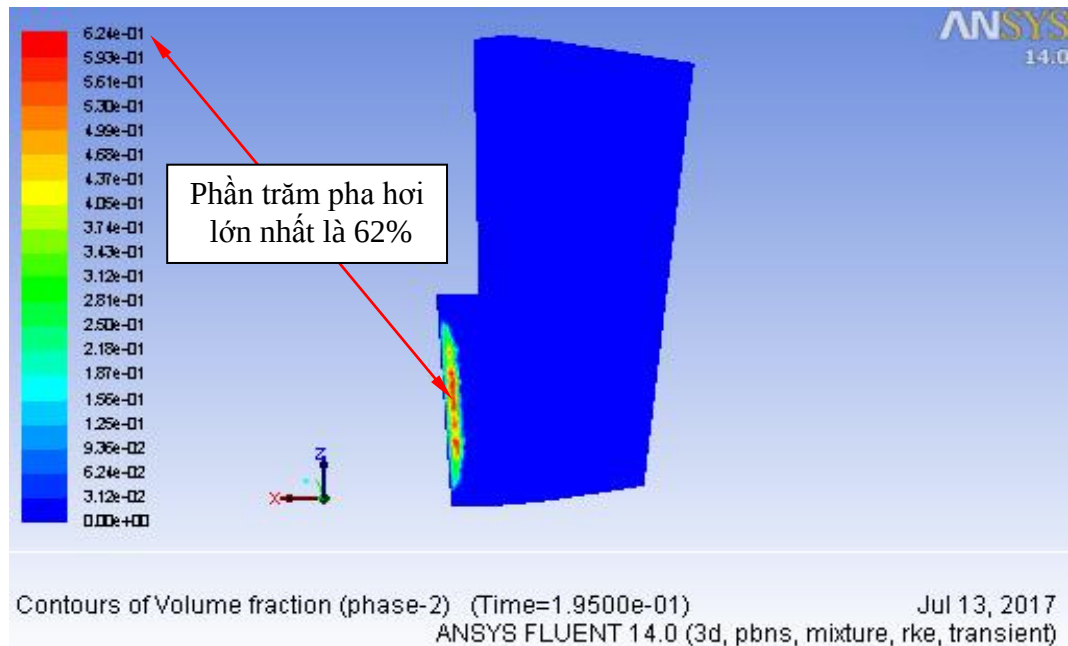
Trong đó: R_{tb} được xác định theo công thức (3.5);

L - chiều cao bánh lái (m), được tính theo phần bánh lái có dòng chảy bao quanh;

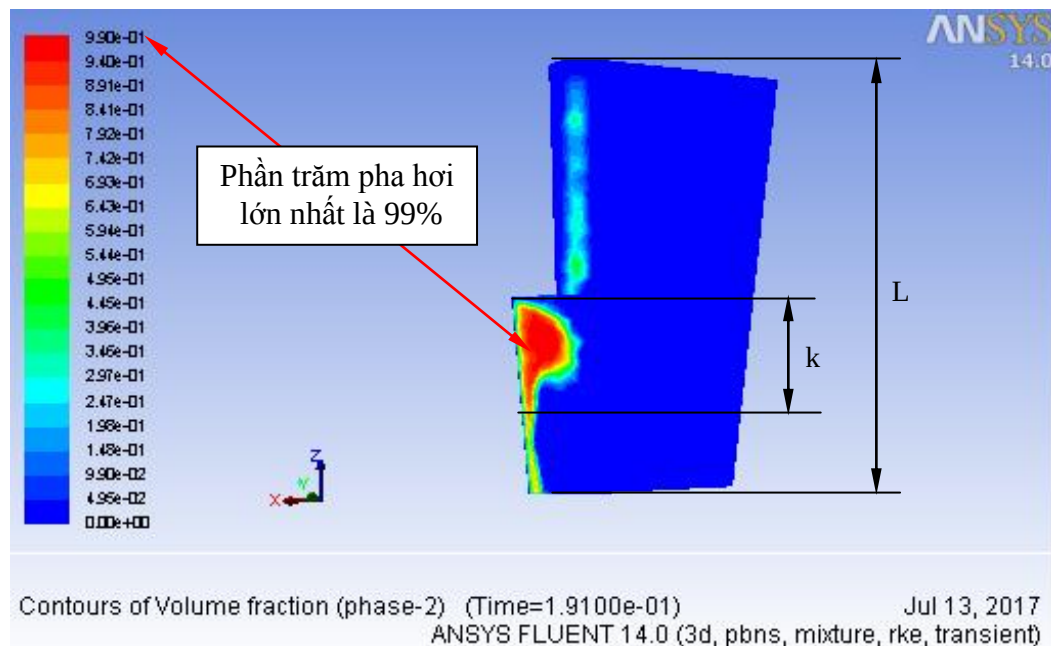
k - đoạn bánh lái xuất hiện xâm thực cục bộ (m), phụ thuộc vào loại profil, góc bẻ lái, tốc độ dòng chảy bao,...

Mặt khác, để xác định được giá trị k cho bánh lái của tàu M/V TAN CANG FOUNDATION tương ứng với tốc độ dòng chảy bao và tại giá trị góc bẻ lái khác nhau, nghiên cứu sinh tiến hành tính toán mô phỏng cho bài toán 3D bằng phần mềm Fluent - Ansys cho các trường hợp này. Kết quả tính toán mô phỏng được thể hiện qua phân bố phần trăm pha hơi cho trong hình 3.8 và hình 3.9.

Phân tích kết quả nhận được theo hình 3.8, nhận xét rằng: Vệt bọt xâm thực có phần trăm pha hơi lớn nhất đạt 62% (cho ở ô cột màu bên trái của hình) và có diện tích khá nhỏ (chưa hình thành rõ loại xâm thực cục bộ), trong trường hợp này nhận được $k = 0$, nghĩa là lực bẻ lái không bị ảnh hưởng bởi xâm thực cục bộ.



Hình 3.8. Kết quả tính toán mô phỏng phần trăm pha hơi trên bánh lái M/V TAN CANG FOUNDATION khi $\alpha = 15^\circ$ và $V = 7,5$ m/s



Hình 3.9. Kết quả tính toán mô phỏng phần trăm pha hơi trên bánh lái M/V TAN CANG FOUNDATION khi $\alpha = 35^\circ$ và $V = 7,5$ m/s

Phân tích kết quả nhận được theo hình 3.9, nhận xét rằng: Giá trị phần trăm pha hơi lớn nhất đạt 99% và hình thành túi hơi xâm thực cục bộ tại mép vào bánh lái, tỷ lệ chiều dài k so với chiều dài toàn bánh lái là:

$$\frac{k}{L} = 0,187$$

Vậy hoàn toàn có thể tính toán cụ thể lực bẻ lái kể đến ảnh hưởng của xâm thực cục bộ trong trường hợp này như sau:

- Chu kỳ dao động là như nhau $T \approx 0,091$ s
- Biên độ dao động của C_L thể hiện qua bảng 3.1 là: $0 \div 2,298$
- Lực bẻ lái trung bình theo (3.5) bằng:

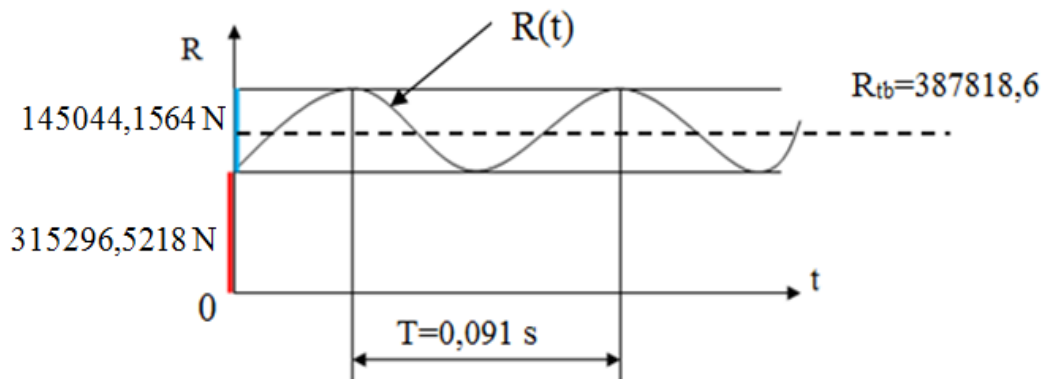
$$R_{tb} = \frac{1}{4}(C_{L_{\min}} + C_{L_{\max}})\rho A_R V^2 = 387818,6 \text{ N}$$

(với bánh lái tàu M/V TAN CANG FOUNDATION có giá trị $A_R = 12 \text{ m}^2$)

- Biên độ dao động của lực bẻ lái: $A = 2 \frac{k}{L} R_{tb} = 145044,1564 \text{ N}$.
- Giá trị lực bẻ lái thuộc phần bánh lái không bị xâm thực (R_o):

$$R_o = \left(1 - \frac{k}{L}\right) R_{tb} = (1 - 0,187) \times 387818,6 = 315296,5218 \text{ N}.$$

- Giá trị lực bẻ lái theo thời gian được thể hiện như hình 3.10.



Hình 3.10. Đồ thị mô tả giá trị lực bẻ lái của tàu

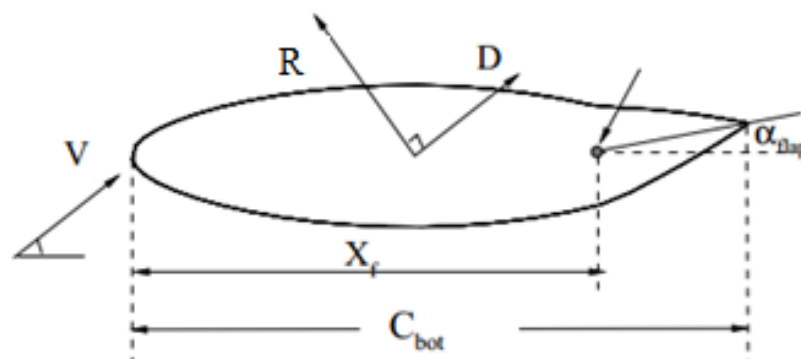
M/V TAN CANG FOUNDATION khi $\alpha = 35^\circ$ và $V = 7,5 \text{ m/s}$

3.3. Đánh giá ảnh hưởng của xâm thực mép thoát đến lực bẻ lái

3.3.1. Xây dựng mô hình và quy trình nghiên cứu

Trong kết quả chương 1 và chương 2 đã chỉ ra cụ thể khái niệm và kết quả tính toán mô phỏng xâm thực tại mép thoát bánh lái tàu thủy. Trong thực tiễn các nhà thiết kế bánh lái tàu thủy đã đưa ra giải pháp làm giảm thiểu hiện

tượng này. Từ những năm 2000, các tác giả Pyo. S và Suh. J [68] đã đưa ra mô hình bánh lái có đoạn uốn cong, gọi là góc “flap” tại mép thoát để hạn chế hiện tượng này và được mô tả theo hình 3.11.



Hình 3.11. Mô hình bánh lái có góc “flap”

Trong đó: V - vận tốc phương dọc trục sau chân vịt và bao bánh lái (m/s);

α - góc bẻ lái (độ);

C_{bot} - chiều dài dây cung (m);

X_f - chiều dài dây cung tính tới điểm uốn (m);

α_{flap} - góc uốn phía mép thoát (độ);

R - lực nâng (N);

D - lực cản (N).

Tuy nhiên, ứng với chế độ điều động của nhiều chủng loại tàu khác nhau thì X_f/C_{bot} và α_{flap} phải được tính toán thiết kế cho phù hợp. Thực tế tính toán góc vẩy tương ứng với chế độ điều động tàu, sao cho hiệu quả cải thiện đặc tính động lực học và cụ thể là lực bẻ lái là tốt nhất. Điều này đem lại hiệu quả cao hơn cho các trường hợp chế độ lái tàu tự động, giúp giảm bớt yếu tố nhiễu, ảnh hưởng tới điều khiển tàu thủy theo quỹ đạo cho trước.

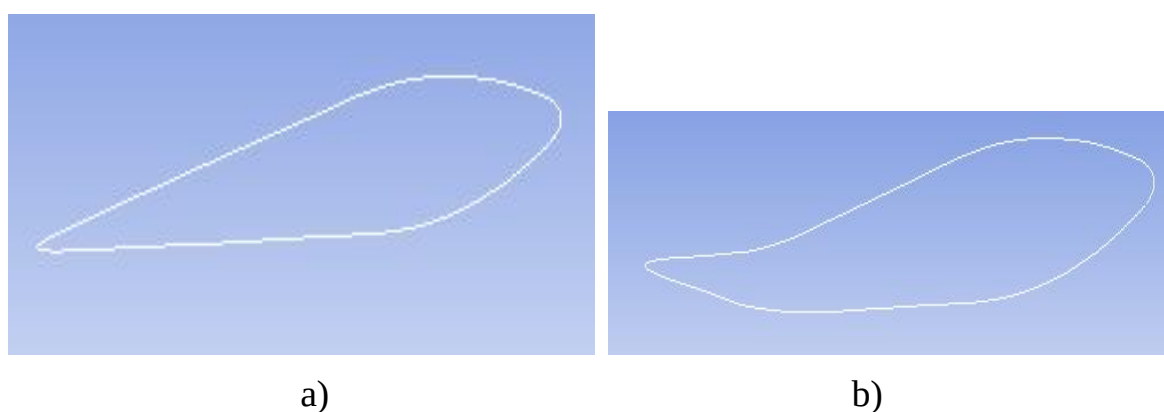
Một hạn chế đối với giải pháp tạo góc “flap” phía mép thoát là cơ cấu điều khiển bánh lái có kết cấu phức tạp hơn, phải tích hợp cùng việc điều khiển góc bẻ lái cho phù hợp, dẫn tới giá thành và đòi hỏi kỹ thuật khai thác, bảo dưỡng, sửa chữa cao hơn nhiều.

Trong giới hạn của luận án, áp dụng cụ thể đối tượng là bánh lái của tàu M/V TAN CANG FOUNDATION, không có góc “flap”. Do đó, nghiên cứu sinh dựa trên nền tảng lý thuyết và phương pháp số để tính toán mô phỏng nhằm chứng minh hiệu quả của giải pháp. Điều quan trọng hơn là đưa ra được các khuyến cáo cho loại tàu có chế độ điều khiển tự động, khi mà bất kỳ yếu tố nhiễu nào cũng sẽ ảnh hưởng đáng kể tới quỹ đạo chuyển động của tàu thủy sau một khoảng thời gian nhất định. Lúc đó xâm thực tại mép thoát cần được tính đến và khắc phục.

Về xây dựng quy trình nghiên cứu, thực hiện tương tự quy trình như hình 3.1, trong đó bước 5 (phân tích kết quả) được tập trung đánh giá ảnh hưởng của xâm thực mép thoát tới lực bẻ lái tàu thủy.

3.3.2. Phân tích và đánh giá kết quả tính toán mô phỏng

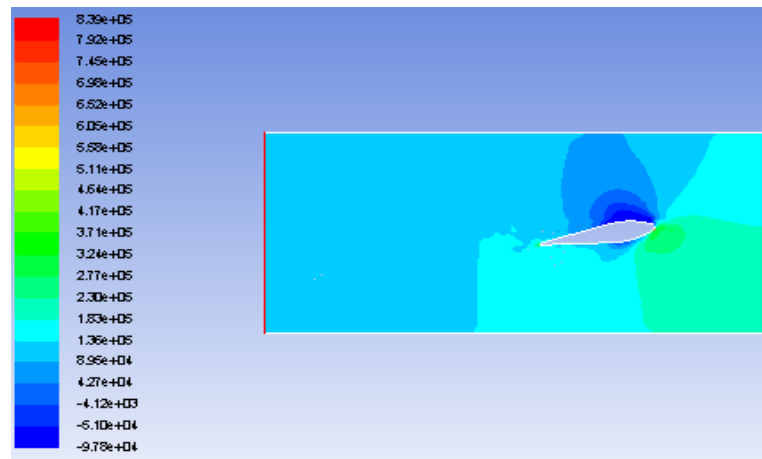
Nghiên cứu sinh xét hai trường hợp với cùng profil bánh lái tàu thủy, trong đó một trường hợp tạo góc “flap” là 15^0 , điểm uốn ở vị trí có giá trị $X_f/C_{bot} = 0,75$, đầu vào là góc bẻ lái $\alpha = 10^0$, vận tốc dòng tới $V = 7,5$ m/s tại cùng bước thời gian là 2839 bước và thực hiện các kỹ thuật tính toán và mô phỏng như nhau. Cụ thể hình ảnh profil tính toán mô tả theo hình 3.12.



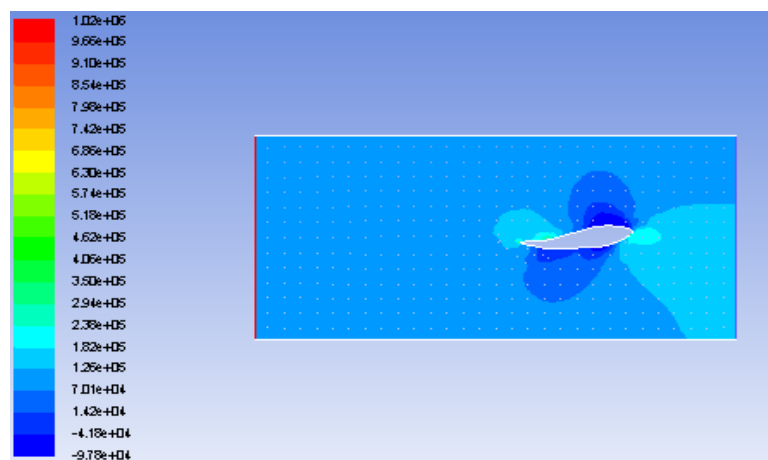
Hình 3.12. Hình ảnh profil bánh lái tàu thủy tính toán:

a) không có góc flap, b) góc flap 15^0

Thực hiện tính toán mô phỏng hai trường hợp hình 3.12, nhận được một số kết quả tính toán mô phỏng về phân bố áp suất tĩnh, hệ số áp suất, phân bố vận tốc và phân bố phần trăm pha hơi từ hình 3.13 đến hình 3.16.

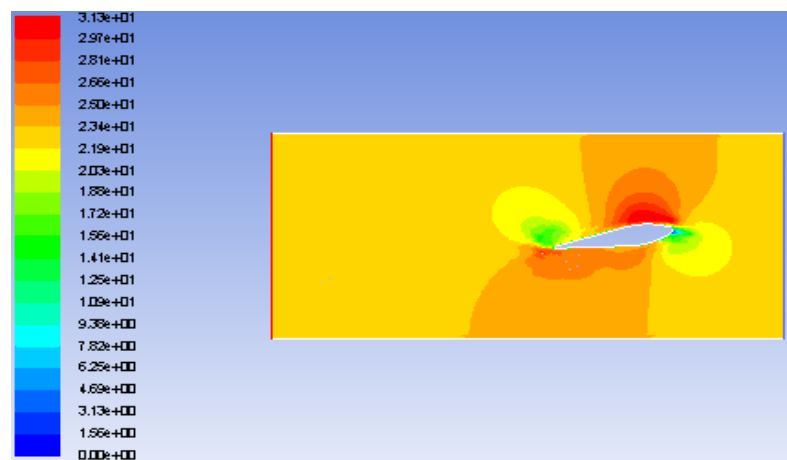


a)

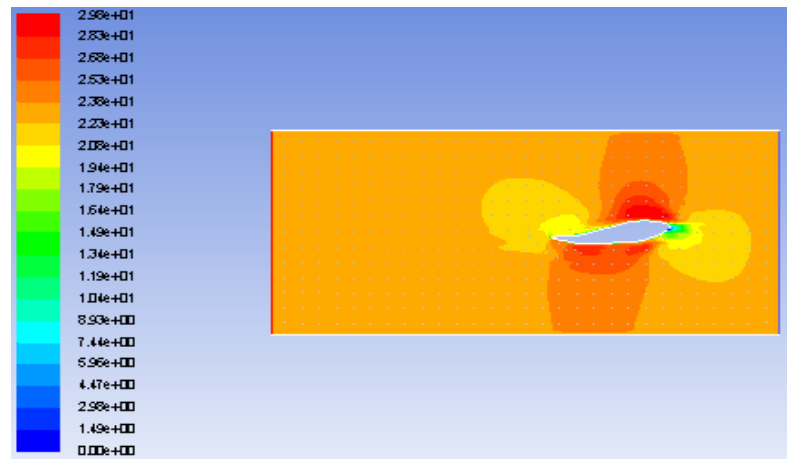


b)

Hình 3.13. Kết quả tính toán mô phỏng phân bố áp suất tĩnh:
a) không có góc flap, b) khi góc flap 15°



a)



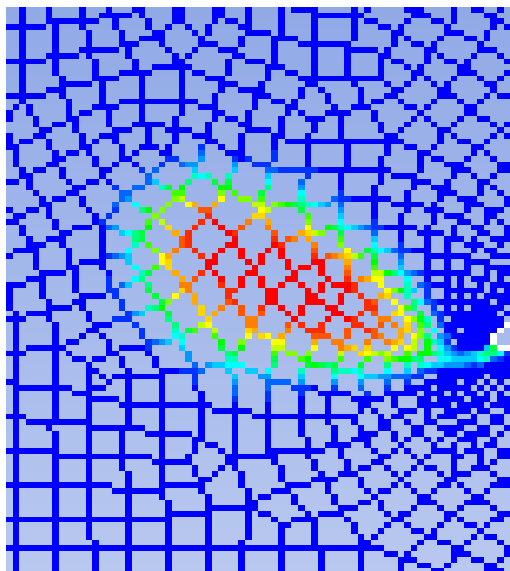
b)

Hình 3.14. Kết quả tính toán mô phỏng phân bố vận tốc:

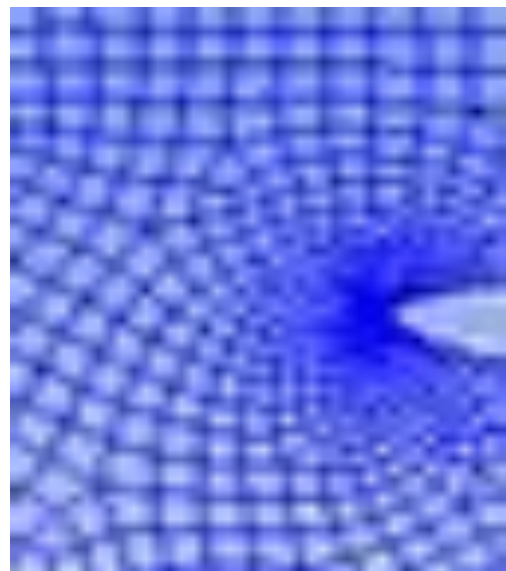
a) không có góc flap, b) khi góc flap 15^0

Phân tích kết quả từ hình 3.13 và hình 3.14, nhận xét rằng:

Việc tạo góc flap ở phía mép thoát đã cải tiến được đáng kể đặc tính động lực học dòng chảy bao quanh profil bánh lái. Bản chất của vấn đề ở đây là tạo ra biên dạng hình học phía mép thoát, sao cho giảm thiểu được sự chênh lệch năng lượng của dòng chảy từ hai phía profil trước khi chúng hòa trộn thành một dòng ở sau mép thoát bánh lái.



a)



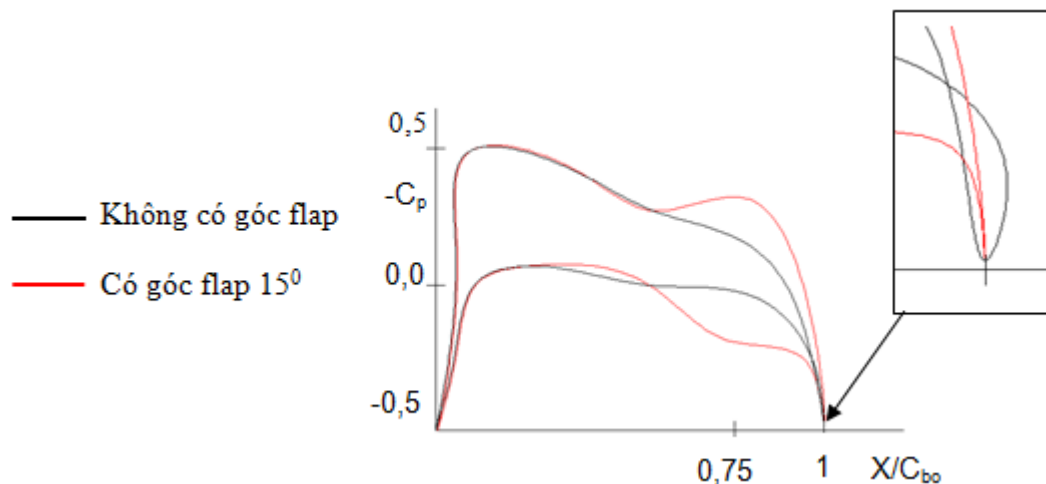
b)

Hình 3.15. Kết quả tính toán mô phỏng phân bố phân trăm pha hơi:

a) không có góc flap, b) khi góc flap 15^0

Phân tích kết quả từ hình 3.15, nhận xét rằng: Rõ ràng vùng xâm thực mép thoát khi không có góc flap thể hiện rõ màu đỏ với 100% là pha hơi, nhưng trong trường hợp khi có góc flap (góc flap = 15^0) thì gần như đã dập được vùng xâm thực.

Để thấy rõ hơn nghiên cứu sinh đã thực hiện tính toán và thể hiện kết quả cụ thể theo hệ số áp suất trong hình 3.16 [31].



Hình 3.16. Kết quả tính toán mô phỏng hệ số áp suất: a) đường cong màu đen - không có góc flap, b) đường cong màu đỏ - khi góc flap 15^0

Từ kết quả nhận được theo hình 3.16, đã minh chứng tính hiệu quả khi sử dụng góc flap tại mép thoát, không những dập được xâm thực tại đây và còn tăng được độ chênh áp suất giữa hai bên bánh lái. Tuy nhiên với chiều bẻ lái ngược lại thì góc uốn α_{flap} cũng được đảo chiều cho phù hợp, điều này dẫn đến cần cơ cấu điều khiển góc flap này. Trong trường hợp tàu đi thẳng, góc flap được điều chỉnh về bằng không.

3.4. Kết luận chương 3

Chương 3 của luận án, nghiên cứu sinh tập trung nghiên cứu đánh giá ảnh hưởng của xâm thực bánh lái đến lực bẻ lái tàu thủy bằng phương pháp số và đạt được các kết quả cụ thể sau:

- Xây dựng được mô hình nghiên cứu bằng phương pháp số và xây dựng quy trình tính toán mô phỏng ảnh hưởng của xâm thực cục bộ tại mép

vào bánh lái tới lực bề lái tương ứng với mỗi tổ hợp đầu vào (n_i, α_i) khi tồn tại xâm thực cục bộ. Từ đó, thực hiện tính toán mô phỏng cho bánh lái của tàu M/V TAN CANG FOUNDATION, với kết quả cụ thể như sau:

+ Chu kỳ và tần số dao động của lực bề lái phụ thuộc vào loại profil sử dụng làm bánh lái, với bánh lái của tàu M/V TAN CANG FOUNDATION cho kết quả là:

Chu kỳ dao động của lực bề lái là $T = 0,091s$;

Tần số dao động của lực bề lái là $f = 11Hz$.

+ Biên độ dao động của lực bề lái trong giai đoạn bánh lái xuất hiện xâm thực cục bộ phụ thuộc vào tốc độ dòng chảy và góc bề lái:

$$A = 2 \frac{k}{L} R_{tb}$$

Trong đó: R_{tb} được xác định theo công thức 3.5 và bảng 3.1.

Giá trị k cho bánh lái của tàu M/V TAN CANG FOUNDATION tương ứng với tốc độ dòng chảy bao và tại giá trị góc bề lái khác nhau, nghiên cứu sinh tiến hành tính toán mô phỏng cho bài toán 3D bằng phần mềm Fluent - Ansys cho các trường hợp này. Kết quả tính toán mô phỏng được thể hiện qua phân bố phần trăm pha hơi một cách chi tiết và tường minh.

Như vậy, biến thiên lực bề lái theo thời gian $R(t)$ khi kể đến ảnh hưởng của xâm thực cục bộ tại mép vào bánh lái được thể hiện theo hình 3.7.

- Xây dựng mô hình nghiên cứu bằng phương số và quy trình tính toán mô phỏng ảnh hưởng của xâm thực mép thoát. Trên cơ sở đó thực hiện so sánh với giải pháp có góc flap tại mép thoát, với các kết quả tính toán mô phỏng cụ thể, tường minh thông qua các giá trị: Phân bố phần trăm pha hơi, phân bố áp suất, phân bố vận tốc, phân bố hệ số áp suất. Từ đó phân tích, đánh giá, minh chứng và đưa ra được giải pháp khuyến cáo cho trường hợp điều khiển tàu tự động nhằm giảm thiểu ảnh hưởng của hiện tượng này.

CHƯƠNG 4. NGHIÊN CỨU THỰC NGHIỆM: PHÂN TÍCH, SO SÁNH VÀ ĐÁNH GIÁ KẾT QUẢ

4.1. Tổng quan về nghiên cứu thực nghiệm xâm thực bánh lái tàu thủy

Nói chung, hiện nay đang tồn tại hai phương án nghiên cứu thực nghiệm về xâm thực bánh lái, có thể tóm tắt như sau:

Phương án 1: Nghiên cứu trên hệ thống tuần hoàn kín, đặt trong các phòng thí nghiệm với đầy đủ các hệ thống thiết bị đo, thiết bị quan sát hiện đại. Có thể kể đến một số phòng thí nghiệm trên thế giới như sau [74, 75]:

- Hệ thống thí nghiệm của Marintek (Na Uy);
- Hệ thống thí nghiệm của Trường Đại học Kỹ thuật Công nghệ Sharif (Cộng hòa Hồi giáo Iran);
- Hệ thống thí nghiệm của hãng Hyundai (Hàn Quốc);
- Hệ thống thí nghiệm của hãng CTO S.A (Cộng hòa Ba Lan);
- Hệ thống thí nghiệm tại Potsdam Model Basin (Liên bang Đức).

Chú ý: Các chức năng cơ bản và thông số cụ thể của các hệ thống thí nghiệm này được mô tả chi tiết trong Phụ lục 3.

Từ việc nghiên cứu, tìm tòi và phân tích, có thể đánh giá đặc điểm chung của các hệ thống thí nghiệm theo phương án này là:

- Có các nhóm thiết bị điển hình như: Hệ thống dẫn động và kết cấu bể chứa tạo dòng chảy tuần hoàn khép kín; buồng quan sát, nơi bố trí bánh lái, thường được cấu tạo bằng kính cường lực vừa đảm bảo độ bền vững, kín và thuận tiện cho việc quan sát, hệ thống thiết bị đo, phân tích dữ liệu;
- Trang thiết bị đồng bộ, hiện đại, thường gắn với các trung tâm nghiên cứu lớn trên thế giới;
- Hạn chế lớn nhất là không nghiên cứu được ảnh hưởng của mặt thoáng đến các kết quả nghiên cứu.

Phương án 2: Sử dụng bể thử, đây là phương án đòi hỏi chi phí rất lớn và khó khăn, do số lượng bể thử ít, vận hành phức tạp và đòi hỏi nguồn nhân lực phù hợp. Hơn nữa, không phải lúc nào cũng phù hợp với vấn đề nghiên cứu. Trường Đại học Hàng hải Việt Nam được trang bị bể thử mô hình tàu, tuy nhiên hiện tại cũng chưa đủ điều kiện để triển khai các bài toán liên quan đến xâm thực bánh lái tàu thủy.

Mặt khác, với điều kiện trong nước hiện nay, việc triển khai hệ thống thí nghiệm giống như trên là rất khó khăn. Hơn nữa, vấn đề mà nghiên cứu sinh đặt ra ở đây là nghiên cứu thực nghiệm ảnh hưởng của xâm thực bánh lái tới lực bẻ lái tàu thủy. Nghĩa là, muốn chứng minh tồn tại xâm thực trên bánh lái tàu thủy ở một số chế độ điều động và đo đạc được lực bẻ lái tại giai đoạn mà bánh lái tàu thủy bị xâm thực.

Chính vì vậy, nghiên cứu sinh lựa chọn giải pháp cùng nhóm nghiên cứu tham gia xây dựng hệ thống thí nghiệm và sử dụng hệ thống thí nghiệm để phục vụ nghiên cứu thực nghiệm nhằm minh chứng cho một số kết quả chính của luận án.

Liên quan đến vấn đề nghiên cứu thực nghiệm này, nghiên cứu sinh đã kết hợp chặt chẽ vấn đề nghiên cứu trong đề tài luận án tiến sĩ với vấn đề nghiên cứu thực hiện trong hai đề tài khoa học công nghệ cấp Bộ Giao thông vận tải, mà nghiên cứu sinh là chủ nghiệm một đề tài và là thành viên tham gia chính một đề tài. Hơn nữa, cả hai đề tài khoa học công nghệ cấp Bộ này đều có phần nội dung quan trọng liên quan đến xâm thực trên bánh lái tàu thủy và nghiên cứu thí nghiệm liên quan đến xâm thực bánh lái tàu thủy.

Mặt khác, nghiên cứu sinh cũng đã giành nhiều thời gian để thực hiện nghiên cứu thực địa cùng với nhóm nghiên cứu trên đối tượng tàu thật M/V TAN CANG FOUNDATION, khi tàu nằm tại cầu chính cảng Hải Phòng, khi tàu hành trình trên tuyến luồng hàng hải Hải Phòng và khi tàu lên đà sửa chữa định kỳ tại Nhà máy sửa chữa tàu Ship Marine Sài Gòn.

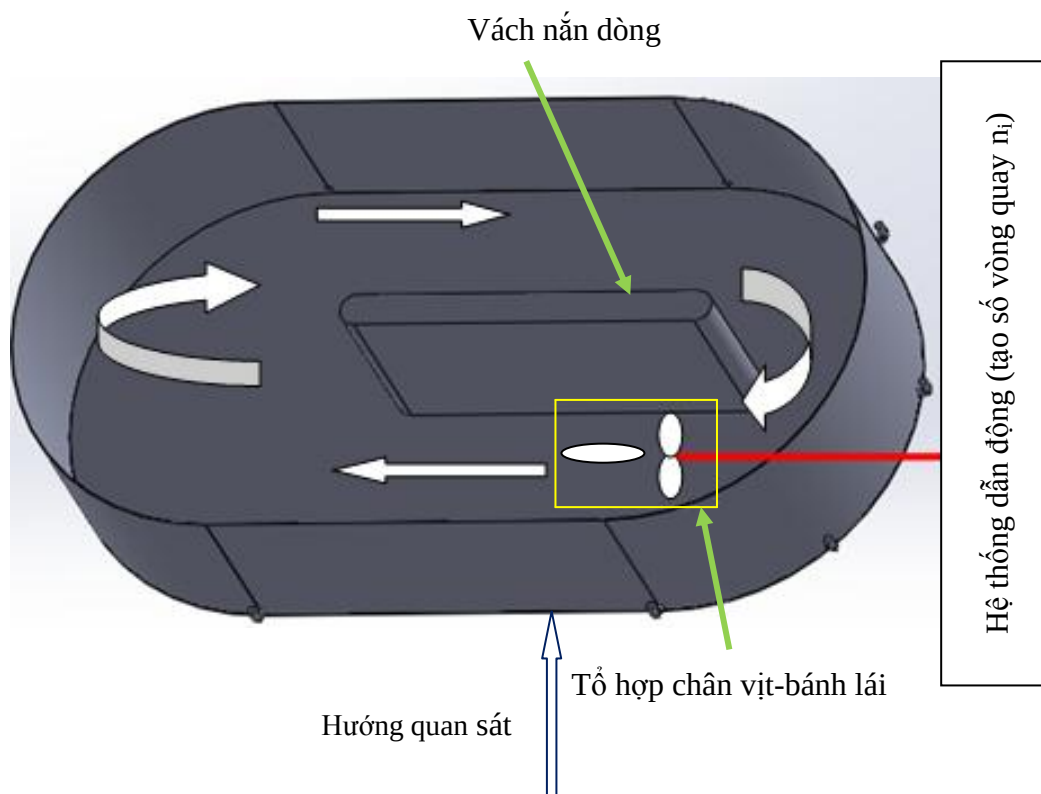
Hồ sơ liên quan đến quá trình nghiên cứu thực địa, gồm: Giấy giới thiệu, giấy chứng nhận,... cho trong Phụ lục 5 của luận án.

4.2. Thiết kế và chế tạo hệ thống phục vụ nghiên cứu thực nghiệm

4.2.1. Giới thiệu hệ thống nghiên cứu thực nghiệm

Với giới hạn vấn đề đặt ra theo phạm vi nghiên cứu của luận án là “Nghiên cứu ảnh hưởng của xâm thực bánh lái đến lực bề lái tàu thủy”, dựa theo điều kiện thực tiễn tại Việt Nam, mong muốn làm chủ quy trình thiết kế, chế tạo, vận hành, bảo dưỡng, sửa chữa và chủ động nâng cấp mở rộng phạm vi nghiên cứu liên quan,... nghiên cứu sinh cùng nhóm nghiên cứu đã đề xuất ý tưởng thiết kế hệ thống phục vụ nghiên cứu thực nghiệm như sau [1, 5, 6, 12, 13, 15].

Trên hình 4.1 thể hiện sơ đồ bố trí các cụm thiết bị chính như: Hệ thống dẫn động chân vịt với các số vòng quay khác nhau n_i , bể chứa nước và vách ngăn dòng tạo dòng chảy tuần hoàn, hướng quan sát bánh lái.



Hình 4.1. Sơ đồ bố trí các cụm thiết bị chính của hệ thống thí nghiệm

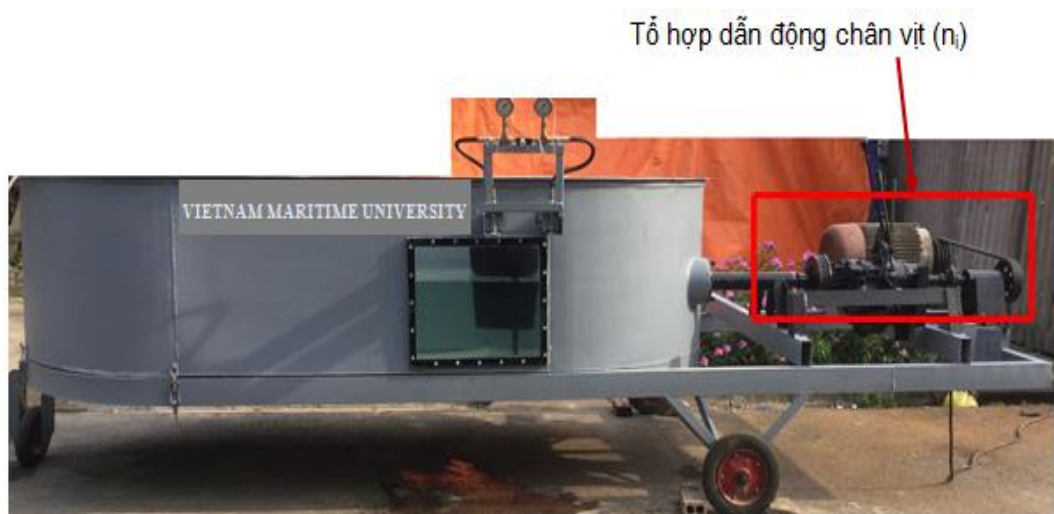
Với hướng quan sát đã định sẽ thiết kế buồng quan sát phù hợp, bao gồm kết cấu lắp ráp các thiết bị chính (bánh lái, thiết bị điều chỉnh góc bề lái α_i , các thiết bị đo), cửa sổ quan sát bằng kính cường lực (đảm bảo bền vững, kín nước, trong suốt).



Hình 4.2. Ý tưởng thiết kế buồng quan sát phục vụ nghiên cứu

Kích thước buồng quan sát được thiết kế phù hợp với bể chứa nước và kích thước bánh lái thí nghiệm theo mô hình đồng dạng với tàu M/V TAN CANG FOUNDATION.

Hình ảnh thiết kế và chế tạo phần liên quan đến nghiên cứu thực nghiệm xâm thực bánh lái trên hệ thống thí nghiệm sau khi hoàn thiện, mô tả theo hình 4.3.



Hình 4.3. Hình ảnh hệ thống thí nghiệm hoàn thiện

Chú ý: Các bản vẽ thiết kế một số chi tiết chính liên quan đến hệ thống thí nghiệm cho trong Phụ lục 4.

4.2.2. Mục tiêu thí nghiệm và phương án giải quyết

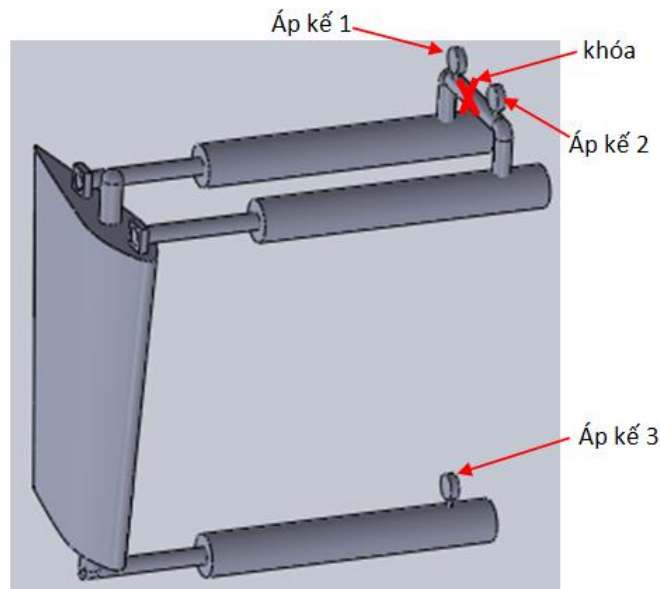
Mục tiêu thí nghiệm:

- Quan sát được hiện tượng xâm thực bánh lái tàu thủy;
- Đo được lực bẻ lái trong giai đoạn bánh lái bị xâm thực.

Phương án giải quyết:

- Để quan sát được hiện tượng xâm thực bánh lái, trước tiên cần phải tạo điều kiện làm việc tương ứng với các tổ hợp số vòng quay chân vịt (đặc trưng bởi giá trị vận tốc tàu) và góc bẻ lái tương ứng, ký hiệu (n_i, α_i) mà bánh lái xuất hiện xâm thực (theo bảng 2.5). Hơn nữa, cùng với sự hỗ trợ của thiết bị quang học, như: Đèn chiếu sáng, máy chụp hình, camera tốc độ nhanh,... Từ vách cửa sổ bằng kính cường lực trong suốt cho phép quan sát được hiện tượng xâm thực trên bánh lái và ghi lại hiện tượng.

Tuy nhiên, do cửa sổ quan sát chỉ bố trí một phía bánh lái cho nên góc bẻ lái cũng chỉ quay sang phía cửa sổ để thuận tiện cho việc quan sát.



Hình 4.4. Thiết kế và bố trí hệ thống thủy lực đo lực bẻ lái R

- Để đo được lực bẻ lái (hình 4.4), nghiên cứu sinh đề xuất ý tưởng sử dụng hệ thống thủy lực bao gồm 3 piston- xy lanh, 3 áp kế (hoặc 3 cảm biến áp suất), 1 van đóng mở, đường ống dẫn, đầu nối và dầu thủy lực.

Về mặt nguyên lý hệ thống được bố trí như sau:

Nguyên lý chung có thể được mô tả như sau:

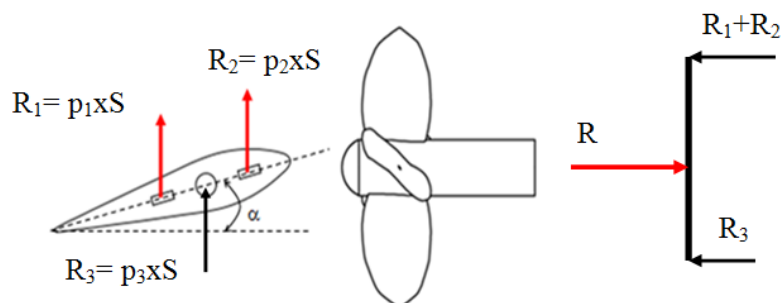
- Khi hệ thống chưa hoạt động, nếu mở khóa để thông đường dầu thủy lực trong hai xy lanh (1 và 2), lúc này việc điều khiển góc bẻ lái được diễn ra dễ dàng (lưu ý chỉ điều khiển góc bẻ lái về một hướng), xy lanh 3 (hoạt động độc lập) được đặt theo ray dẫn hướng và gắn với điểm tì của bánh lái;

- Khi góc bẻ lái được xác lập, cần khóa đường dầu và hai xy lanh (1 và 2) hoạt động độc lập, hai đồng hồ đo áp suất hiển thị trị số áp suất dầu trong xy lanh;

- Khi chân vịt hoạt động tạo dòng chảy bao quanh bánh lái tàu thủy, trên bánh lái sẽ diễn ra quá trình chuyển đổi năng lượng của dòng chảy thành lực bẻ lái R tác động trực tiếp lên bánh lái (theo hướng ép ba cần piston), khi đó sẽ làm áp suất dầu thủy lực trong hai xy lanh (1,2 và 3) tăng lên.

Như vậy, dựa vào chỉ số 3 áp kế hoàn toàn đọc và xác định được lực bẻ lái. Nếu gọi p_1 là chỉ số áp kế 1 (N/m^2), p_2 là chỉ số áp kế 2 (N/m^2), p_3 là chỉ số áp kế 3 (N/m^2), diện tích các piston là như nhau S (m^2), khi đó lực bẻ lái R được xác định như sau (xem công thức 4.1 và hình vẽ 4.5):

$$R = (p_1 + p_2 + p_3) \times S \quad (4.1)$$



Hình 4.5. Nguyên lý xác định giá trị lực bẻ lái R

Trong quá trình đo đạc, có thể thay thế áp kế bằng các cảm biến áp suất (về mặt nguyên lý không có gì thay đổi).

4.2.3. Các thông số kỹ thuật và đánh giá ưu nhược điểm của hệ thống

Các thông số kỹ thuật của hệ thống thí nghiệm được thể hiện trong bảng 4.1.

Bảng 4.1. Các thông số kỹ thuật của hệ thống thí nghiệm

Thông số chung	- Kích thước bể chứa nước tuần hoàn: 5m x 2m x 1,5m - Kích thước buồng quan sát: 1,5m x 1m - Công suất động cơ: 15 KW - Hộp số: 4 số tương ứng số vòng quay quy đổi là: 380 rpm, 410 rpm, 445 rpm và 475 rpm
Tính năng kỹ thuật	Cho phép nghiên cứu thực nghiệm các bài toán: - Tương tác chân vịt - bánh lái, ảnh hưởng của mặt thoáng và chiều quay chân vịt đến lực bề lái; - Xâm thực chân vịt, bánh lái; - Ảnh hưởng của dòng chảy đến lực căng dây buộc và lún neo tàu thủy; - Ảnh hưởng của biên dạng đuôi tàu, mặt thoáng đến động lực học chân vịt.

Đánh giá một số ưu điểm:

- Tạo hệ thống dẫn động ổn định tương ứng 4 giá trị số vòng quay với giá thành rẻ hơn nhiều so với mua động cơ và biến tần. Hơn nữa, đã tạo ra được hệ trục với sai số độ lệch tâm chấp nhận được (bởi lẽ để có thể cân bằng động theo tiêu chuẩn công nghiệp sẽ rất phức tạp và tốn kém);

- Bể chứa hồ tuần hoàn cho phép dòng chảy quay lại cửa hút của chân vịt với hướng suôn đều đã tạo điều kiện hoạt động tốt nhất cho chân vịt và bánh lái. Bởi thực tế khi chân vịt quay thì tàu sẽ tiến về phía trước tạo ra dòng chảy qua chân vịt phù hợp. Hơn nữa là bể hồ do đó đương nhiên yếu tố mặt

thoáng đã được kể đến khi khảo sát bài toán;

- Chủ động toàn phần về kỹ thuật (thiết kế, chế tạo, vận hành và bảo dưỡng sửa chữa nếu có), cho phép cải tiến, hoán cải theo thực tiễn triển khai nghiên cứu thực nghiệm.

Đánh giá một số nhược điểm:

- Dải làm việc của hệ thống dẫn động mới đáp ứng được 4 trường hợp tốc độ đặt ra, so với việc tính toán mô phỏng là 7 trường hợp tốc độ;

- Thiết bị đo chưa đồng bộ và hiện đại để khảo sát hiện tượng xâm thực, đặc biệt là chu kỳ dao động của lực bẻ lái. Thực tế chứng minh giá trị áp kế hiện tại dao động liên tục (mạnh hơn lúc bánh lái không bị xâm thực), nhưng độ nhạy không đáp ứng được theo thời gian thực của giá trị bẻ lái, vì thế không đủ khả năng để xác định chu kỳ dao động của của lực bẻ lái khi bánh lái bị xâm thực.

- Cửa sổ quan sát ở một phía dẫn đến góc bẻ lái chỉ thay đổi về phía cửa sổ và đặc biệt việc quan sát hiện tượng xâm thực ở mép thoát sẽ khó khăn hơn.

- Mỗi khi thay đổi tốc độ thí nghiệm, thì phải ngắt nguồn điện động cơ. Nghĩa là chưa tạo được bộ tự động điều khiển để điều chỉnh thích nghi cho các trường hợp.

4.2.4. Quy trình vận hành hệ thống thí nghiệm

Công tác chuẩn bị:

- Vệ sinh bể chứa, kiểm tra và làm kín lỗ thoát đáy;
- Bơm nước vào bể chứa tới mức nước tính toán;
- Kiểm tra nguồn điện 3 pha cấp cho động cơ dẫn động;
- Kiểm tra vị trí số trên hộp giảm tốc (để số 1);
- Kiểm tra góc bẻ lái, thiết bị đo, các thiết bị quay phim, chụp ảnh;
- Chuẩn bị nguồn nhân lực đảm bảo các vị trí được triển khai đồng loạt;
- Thống nhất các phương án thực nghiệm với cả nhóm để triển khai

theo trình tự và đảm bảo các số liệu, hình ảnh được ghi lại theo kịch bản.

Các bước chính khi vận hành hệ thống thí nghiệm:

Bước 1: Đóng nhả cầu dao điện 3 pha để kiểm tra xem chiều quay của động cơ đã đúng với quy trình thiết kế của chân vịt chưa, nếu chưa đúng có thể đảo lại bằng cách chuyển hai pha cho nhau.

Bước 2: Tiến hành lấy số liệu cho tổ hợp số vòng quay chân vịt và góc bề lái (n_i, α_i), các số liệu cần ghi lại là trị số 2 áp kế và hình ảnh dòng chảy bao quanh bánh lái theo thời gian.

Bước 3: Giữ nguyên số vòng quay, thay đổi góc bề lái và lặp lại bước 2.

Bước 4: Tắt động cơ, chuyển số trên hộp số để có được số vòng quay khác, thực hiện quy trình lặp lại bước 2 và bước 3.

Bước 5: Khi hoàn tất lấy số liệu, thực hiện tắt động cơ, xả hết nước trong bể chứa, vệ sinh và lau khô các thiết bị, bảo dưỡng thiết bị cần thiết.

4.3. Phân tích, so sánh và đánh giá kết quả

4.3.1. Quy đổi thông số đầu vào và phương án nghiên cứu thực nghiệm

Quy đổi giá trị đầu vào theo tiêu chuẩn đồng dạng Froude:

Các số liệu đầu vào được quy đổi theo tiêu chuẩn đồng dạng Froude. Theo tiêu chuẩn này, mô hình nghiên cứu và mô hình thực được gọi là đồng dạng với nhau khi có cùng số Froude, nghĩa là thỏa mãn điều kiện [2, 7, 10].

$$F_n = \frac{V^2}{Lg}, \quad (4.2)$$

Trong đó: L - chiều dài đặc trưng, ở đây là đường kính chân vịt D (m);

g - gia tốc trọng trường, $g = 9,8 \text{ m/s}^2$;

V - giá trị vận tốc (m/s).

Khi đó:

$$\frac{(V_p)_t^2}{g_t D_t} = \frac{(V_p)_m^2}{g_m D_m} \text{ với } g_t = g_m = g. \quad (4.3)$$

Vậy các đại lượng cho mô hình được xác định:

- Vận tốc (tiến) của mô hình là:

$$(V_p)_m = (V_p)_t \sqrt{\frac{D_m}{D_t}} \quad (4.4)$$

- Số vòng quay chân vịt mô hình là:

$$(n)_m = (n)_t \sqrt{\frac{D_t}{D_m}} \quad (4.5)$$

Trong đó: n_t - số vòng quay thực của chân vịt;
 n_m - số vòng quay của chân vịt mô hình.

- Lực tác động lên bánh lái:

$$F_t = k^3 \times F_m \quad (4.6)$$

(Trong đó k là hệ số đồng dạng hình học, $k = 10$)

Sử dụng với 7 thông số vận hành của vòng quay chân vịt thực, theo hồ sơ M/V TAN CANG FOUNDATION là:

$$n_t = \{90; 100; 110; 120; 130; 140; 150\} \text{ (rpm)}.$$

Tương ứng với vận tốc thực, được xác định theo công thức:

$$(V_p)_t = n_t h \quad (4.7)$$

Trong đó: P - bước của chân vịt, $P = 2,459 \text{ m}$;

h - bước tiến thật, $h = 0,2P$.

Khi đó, giá trị vận tốc thực tương ứng với 7 thông số vòng quay là:

$$(V_p)_t \approx \{4,5; 5,0; 5,5; 6,0; 6,5; 7,0; 7,5\} \text{ (m/s)}$$

Với đường kính chân vịt tàu thực là $D_t = 3,5 \text{ m}$ và đường kính chân vịt mô hình $D_m = 0,35 \text{ m}$, giá trị đầu vào cho mô hình tính toán mô phỏng cũng như nghiên cứu thực nghiệm theo bảng 4.2.

Bảng 4.2. Quy đổi từ giá trị thực sang giá trị cho mô hình đồng dạng

n_t	Vòng quay chân vịt						
	90	100	110	120	130	140	150
	Các giá trị quy đổi tương ứng						
n_m	284,4	316,0	347,6	379,2	410,8	442,4	474,0
V_t	4,5	5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5
V_m	1,44	1,60	1,76	1,92	2,08	2,24	2,40
$1,3.V_m$	1,87	2,08	2,88	2,49	2,7	2,91	3,12

Phương án nghiên cứu thực nghiệm:

Với hệ thống thí nghiệm hiện tại có 4 số vòng quay khác nhau tương ứng với số trên hộp số của hệ thống dẫn động:

- Số 1 tương ứng 380 rpm;
- Số 2 tương ứng 410 rpm;
- Số 3 tương ứng 445 rpm;
- Số 4 tương ứng 475 rpm.

Góc bề lái được chia thành 8 trường hợp là:

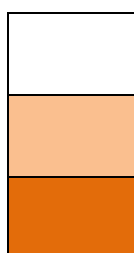
$$\alpha^0 = \{0^0, 5^0, 10^0, 15^0, 20^0, 25^0, 30^0, 35^0\}$$

Như vậy, sẽ có 32 trường hợp tiến hành thí nghiệm, tuy nhiên mục tiêu là nghiên cứu ảnh hưởng của xâm thực bánh lái đến lực bề lái, do đó nghiên cứu sinh quan sát dòng chảy bao quanh bánh lái để xác định trường hợp tồn tại xâm thực trên bánh lái và chỉ lấy số liệu cho những trường hợp này.

Kết hợp với kết quả tính toán mô phỏng, có thể tổng hợp các phương án nghiên cứu thực nghiệm như bảng 4.3.

Bảng 4.3. Tổng hợp giá trị đầu vào xuất hiện xâm thực trên bánh lái

Giá trị góc bề lái (α^0)	Giá trị vận tốc đầu vào (m/s)						
	4,5	5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5
0^0	Không nghiên cứu thực nghiệm						
5^0							
10^0							
15^0							
20^0							
25^0							
30^0							
35^0							



Không xuất hiện xâm thực

Chỉ xâm thực tại mép thoát

Xâm thực mép thoát + xâm thực cục bộ tại mép vào

Dựa vào điều kiện thực tiễn của hệ thống thí nghiệm phục vụ nghiên cứu thực nghiệm, kết hợp với những kết quả đã được tính toán mô phỏng trong chương 2 và chương 3 đã giới hạn đầu vào nghiên cứu (như bảng 4.3).

4.3.2. Phân tích, so sánh và đánh giá kết quả thí nghiệm

4.3.2.1. Xâm thực và kích thước vùng xâm thực trên bánh lái tàu thủy

Hình ảnh vùng xâm thực trên bánh lái và kích thước chiều dài túi hơi tại profil thẳng tâm chân vịt theo hình 4.6. Đây là trường hợp được tính toán mô phỏng ở chương 2. Để thuận tiện cho việc so sánh chiều dài túi hơi xâm thực, nghiên cứu sinh tiến hành đánh dấu profil khảo sát và tỷ lệ phần trăm tương ứng về chiều dài.

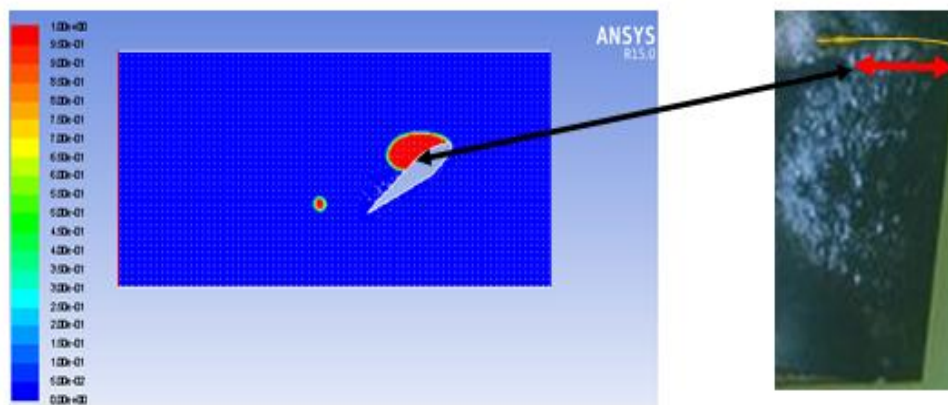


Hình 4.6. Vị trí profil bánh lái khảo sát

Trên profil thẳng tâm chân vịt tiến hành kẻ vạch theo % chiều dài dây cung để khảo sát kích thước túi hơi xâm thực nếu có.

Do lượng bọt khí phân bố xung quanh bánh lái khá nhiều đã ít nhiều gây hạn chế việc quan sát vùng xâm thực trên bánh lái, điều này càng khó để xác định chiều dài túi hơi tại mỗi profil khảo sát. Trong khả năng cho phép nghiên cứu sinh xin đưa ra so sánh một cách tương đối đại lượng này để khẳng định việc làm chủ bài toán.

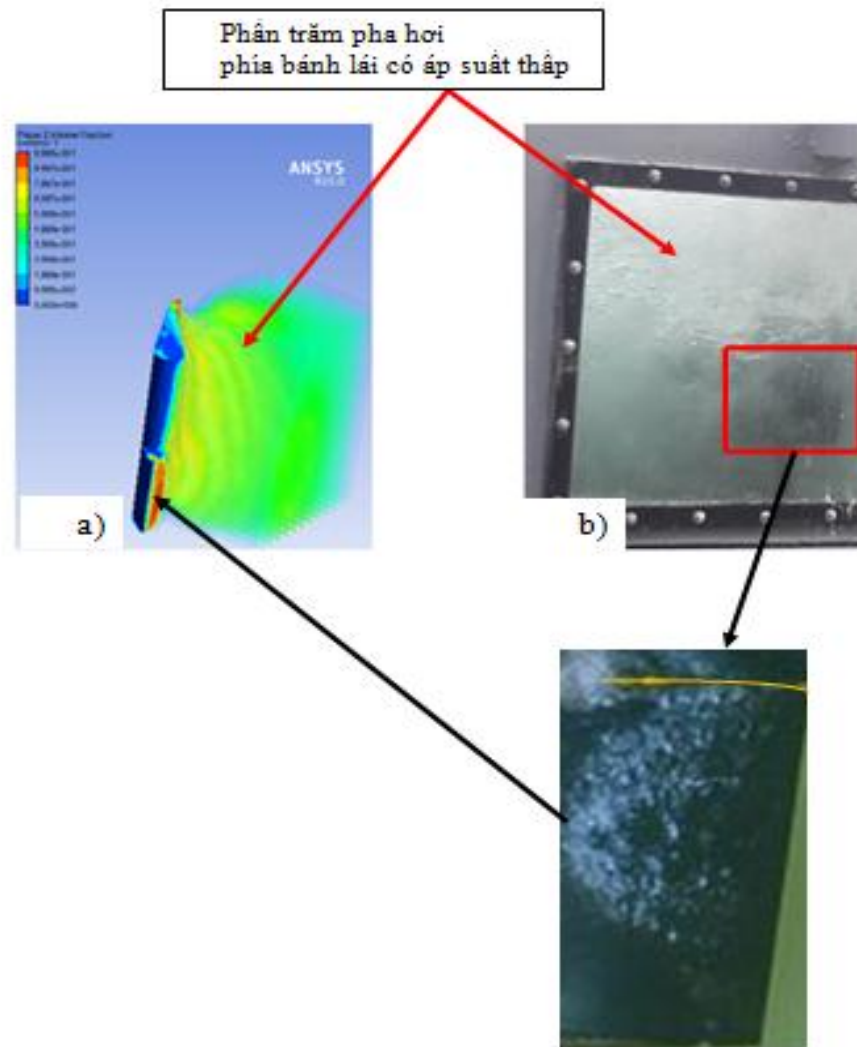
- Với góc bề lái $\alpha = 35^0$ và số vòng quay chân vịt (số 4) là 475 rpm.



Hình 4.7. Chiều dài túi hơi xâm thực cục bộ tại profil thẳng tâm chân vịt

Việc ứng dụng CFD khảo sát bài toán hai pha cho bánh lái 3D ở chương 2 đã chỉ ra phần trăm pha hơi trong không gian tính toán (dòng chảy bao quanh bánh lái). Kết hợp với nghiên cứu thực nghiệm cho hình ảnh vùng xâm thực khá tương đồng.

Tuy nhiên việc khảo sát được thực hiện trong bể hở (nghĩa là tồn tại mặt thoáng), do đó hiện tượng xói khí xuống dưới làm cản trở việc quan sát và chụp ảnh vùng xâm thực trên bánh lái. Trường hợp góc bể lái $\alpha = 35^\circ$ và số vòng quay chân vịt mô hình là 475 rpm cho hình ảnh tốt nhất, các trường hợp khác bọt khí che phủ khá nhiều dẫn tới không phân biệt được vùng xâm thực trên bánh lái và ở ngoài không gian bao quanh.



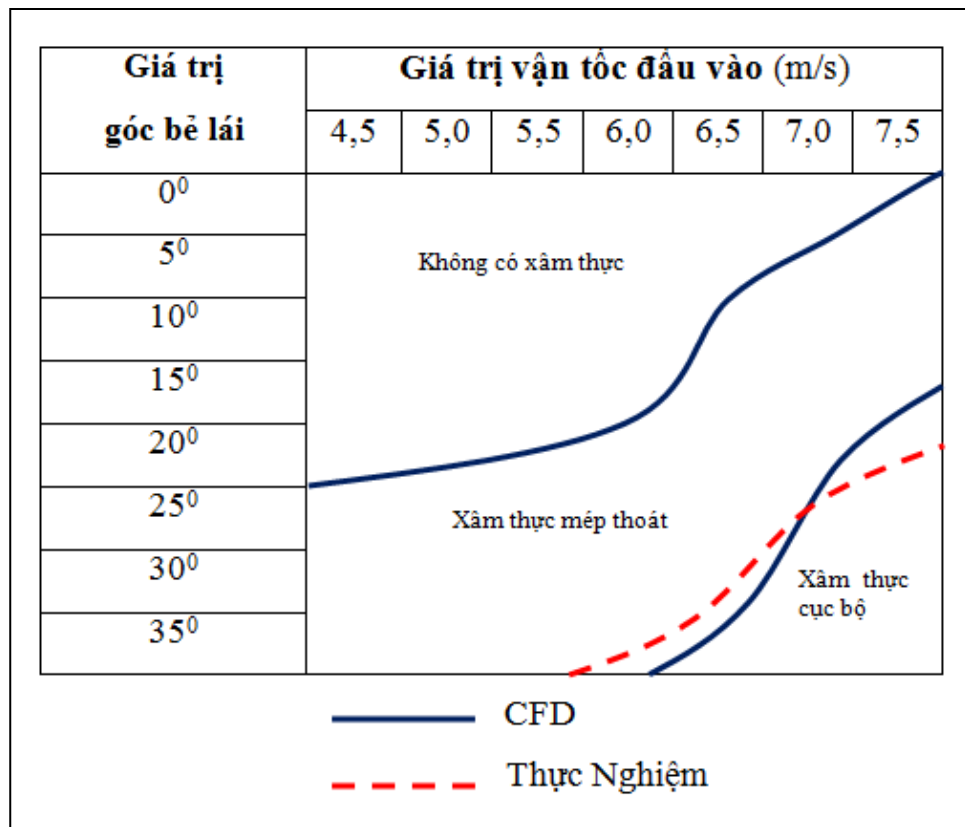
Hình 4.8. So sánh kết quả vùng xâm thực trên bánh lái:

a) theo tính toán mô phỏng bằng CFD; b) theo thực nghiệm trên hệ thống

Như vậy, với hệ thống thí nghiệm sẽ cho biết những điểm làm việc nào xuất hiện xâm thực cục bộ tại mép vào trên bánh lái, còn xâm thực tại mép

thoát và xác định kích thước vùng xâm thực cần được cải tiến thêm của sổ quan sát và thiết bị quang học hiện đại hơn.

Từ các điểm làm việc có xâm thực cục bộ tại mép vào bánh lái kết hợp với kết quả tính toán mô phỏng trong chương 2 và chương 3, nghiên cứu sinh tổng hợp theo hình 4.9 như sau.



Hình 4.9. Tổng hợp kết quả tính toán xâm thực bánh lái

Phân tích kết quả trên hình 4.9, nhận xét rằng:

- Việc ứng dụng CFD với phần mềm Fluent - Ansys để tính toán mô phỏng xuất hiện xâm thực cục bộ ở điểm làm việc cùng góc bề lái nhưng vận tốc nhỏ hơn so với nghiên cứu thực nghiệm.

- Ngược lại việc sử dụng CFD cho kết quả có xâm thực cục bộ ở cùng vận tốc $V = 7,5 \text{ m/s}$ nhưng góc bề lái lớn hơn là $\alpha > 25^0$ và $\alpha > 20^0$ đối với nghiên cứu thực nghiệm.

4.3.2.2. So sánh giá trị trung bình của lực bề lái

Nghiên cứu sinh đã thực hiện tính toán cụ thể giá trị lực bề lái trung bình, cụ thể:

- Theo công thức thực nghiệm (1.12).
- Theo tính toán mô phỏng trong chương 3;
- Đo đạc trên hệ thống thí nghiệm, thể hiện thông qua giá trị áp suất của đồng hồ đo 1, 2, kết hợp các công thức (4.1) và (4.6).

Nghiên cứu sinh thể hiện các kết quả theo các phương pháp trên, đề cùng thể hiện trong bảng 4.4.

Bảng 4.4. Bảng tổng hợp so sánh giá trị trung bình lực bề lái

Vòng quay (rpm)	Góc bề lái (α^0)							
	0^0	5^0	10^0	15^0	20^0	25^0	30^0	35^0
	Lực bề lái trung bình R_{tb}							
380	0	36696,33	73113,66	108975,1	144008,1	177946,1	210531,3	241515,8
	0	37166,79	74051,01	110372,22	145854,36	180227,46	213230,42	244612,2
	0	32742,34	65154,87	94909,91	126882,97	154985,21	189755,78	215248,55
410	0	43067,22	85807	127894,4	169009,4	208839,5	247081,8	283445,5
	0	43831,72	87330,2	130164,7	172009,56	212546,7	251467,86	288477,1
	0	38122,96	75102,7	110629,3	151357,91	189155,93	216251,61	250964,98
445	0	49947,78	99515,8	148327,2	196010,9	242204,4	286556,4	328729,7
	0	52253,06	104108,8	155173,07	205057,56	253383,06	299782,08	343901,8
	0	45972,63	92646,11	131887,04	180440,15	220433,2	257879,91	292305,84
475	0	57338,02	114240,1	170273,6	225012,6	278040,8	328955,1	377368,4
	0	58925,84	117403,67	174988,87	231243,72	285740,39	338064,6	387818,6
	0	51254,74	103304,63	148729,7	201171,4	245726,31	290725,03	341269,83

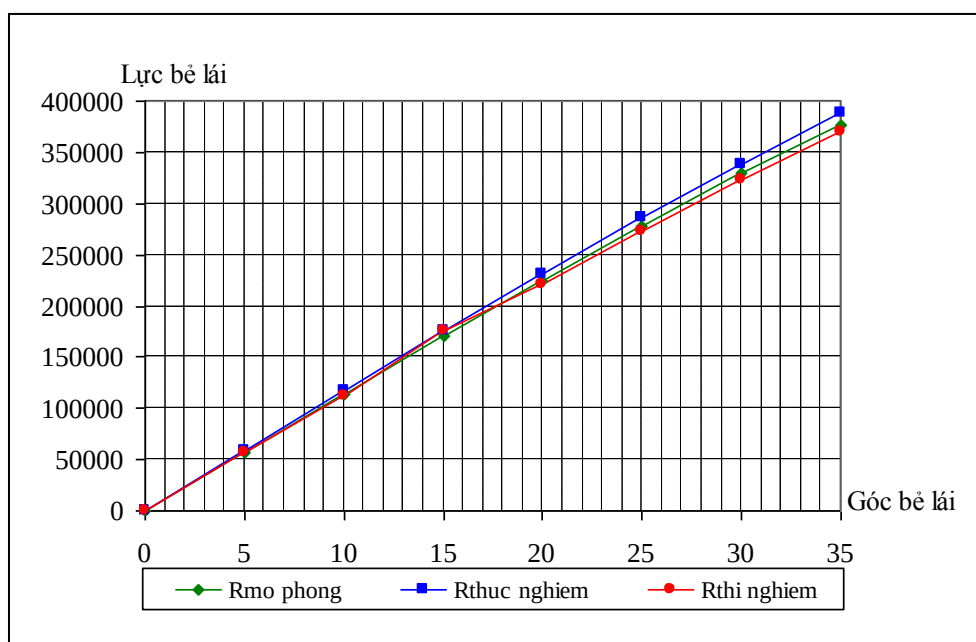
Các giá trị trong bảng 4.4, tương ứng với mỗi số vòng quay và góc bề lái khác nhau sẽ có 3 bộ giá trị tương ứng lần lượt từ trên xuống, gồm:

- Kết quả tính toán giá trị lực bề lái trung bình R_{tb} theo công thức thực nghiệm (1.12);
- Kết quả tính toán giá trị lực bề lái trung bình R_{tb} theo tính toán mô phỏng bằng CFD với phần mềm Fluent - Ansys;

- Kết quả tính toán giá trị lực bẻ lái trung bình R_{tb} theo nghiên cứu thực nghiệm trên hệ thống thí nghiệm.

Từ kết quả trong bảng 4.4, để so sánh rõ kết quả nhận được giữa các phương pháp, xây dựng trên cùng đồ thị (hình 4.10) kết quả trong trường hợp số vòng quay chân vịt mô hình là 475 rpm, đây là trường hợp đặc trưng nhất.

Đối với các trường hợp còn lại phân tích, đánh giá và so sánh tương tự.



Hình 4.10. Tổng hợp và so sánh kết quả lực bẻ lái với số vòng quay 475 rpm

Phân tích kết quả nhận được theo hình 4.10, nhận xét rằng:

- Đồ thị mô tả giá trị lực bẻ lái trung bình theo hình 4.10 dạng đường thẳng và tỷ lệ thuận với giá trị góc bẻ lái. Đồ thị giá trị $R_{thuc\ nghiem}$ nằm phía trên đồ thị mô tả giá trị lực bẻ lái $R_{mo\ phong}$, cuối cùng là đồ thị $R_{thi\ nghiem}$;

- Ba đường đồ thị này gần nhau. Khi góc bẻ lái tăng dần (bắt đầu từ $\alpha^0 = 20^0$ trở lên), thì xuất hiện rõ sự chênh lệch, nhưng sự chênh lệch không quá lớn. Cụ thể, từ giá trị trong bảng 4.4 và hình 4.10, xét trường hợp khi góc bẻ lái lớn nhất ($\alpha^0 = 35^0$) và vòng quay chân vịt lớn nhất ($n = 475\ rpm$), đây là trường hợp tồn tại mức độ chênh lệch giá trị lực bẻ lái trung bình theo các phương pháp là lớn nhất với kết quả so sánh chi tiết như sau:

So sánh tỷ lệ chênh lệch phần trăm giữa $R_{\text{thực nghiệm}}$ và $R_{\text{mô phỏng}}$:

$$R\% = \frac{387818,6 - 377368,4}{387818,6} \times 100\% \approx 2,69\%$$

So sánh tỷ lệ chênh lệch phần trăm giữa $R_{\text{thực nghiệm}}$ và $R_{\text{thí nghiệm}}$:

$$R\% = \frac{377368,4 - 341269,83}{377368,4} \times 100\% \approx 9,56\%$$

So sánh tỷ lệ chênh lệch phần trăm giữa $R_{\text{mô phỏng}}$ và $R_{\text{thí nghiệm}}$:

$$R\% = \frac{387818,6 - 341269,83}{387818,6} \times 100\% \approx 12\%$$

Kết luận: Tỷ lệ chênh lệch biến thiên từ 2,69% ÷ 12% theo ba phương pháp khác nhau, thì kết quả tính toán theo các phương pháp đảm bảo tin cậy.

4.4. Một số kết quả khảo sát thực địa

Trong thời gian học tập, nghiên cứu và thực hiện luận án, nghiên cứu sinh cùng thầy hướng dẫn và các thành viên khác đã nghiên cứu khảo sát thực địa trên tàu M/V TAN CANG FOUNDATION, khi tàu cập cảng và khi tàu hành trình trên tuyến luồng Hải Phòng vào tháng 12/2015 và tháng 7/2017.



Một số hình ảnh bánh lái bị ăn mòn do xâm thực gây ra

Hình 4.11. Bánh lái M/V TAN CANG FOUNDATION và vấn đề xâm thực

Các giấy tờ liên quan đến nghiên cứu thực địa cho trong Phụ lục 5.

Tuy nhiên, tùy theo mục đích đề tài luận án, đối tượng và phạm vi nghiên cứu khác nhau mà nghiên cứu sinh cùng nhóm nghiên cứu đã có những kết quả nghiên cứu thực địa cụ thể để phục vụ đề tài luận án của mình.

Mặt khác, tháng 5/2016 tàu M/V TAN CANG FOUNDATION đã lên đà sửa chữa định kỳ tại Nhà máy sửa chữa tàu Ship Marine Sài Gòn, nghiên cứu sinh đã khảo sát và nghiên cứu cụ thể, cho một số kết quả như sau:

Ngoài ra, khi nghiên cứu hồ sơ các lần lên đà trước, quan sát kỹ bánh lái và trao đổi kiến người phụ trách kỹ thuật của Công ty, đã chỉ ra một số vị trí hàn đắp bảo dưỡng trước đó, vị trí trên bánh lái thể hiện đây chính là vùng đuôi túi hơi xâm thực cục bộ bản chất là do hiện tượng xẹp bọt xâm thực.

Khảo sát thực địa cho thấy:



Hình 4.12. Phân tích thực địa hình ảnh ăn mòn bánh lái do xâm thực

4.5. Kết luận chương 4

Trên cơ sở kết quả đạt được của chương 2 và chương 3, trong chương 4 luận án tập trung vào nghiên cứu thực nghiệm, đã thực hiện phân tích, so sánh và đánh giá nhằm minh chứng cho một số kết quả chính đạt được trong luận án, cụ thể:

- Hệ thống hóa hệ thí nghiệm về xâm thực bánh lái tàu thủy trên thế giới liên quan đến vấn đề nghiên cứu của đề tài luận án;

- Thiết kế và chế tạo một phần nghiên cứu thực nghiệm liên quan đến xâm thực bánh lái tàu thủy trên hệ thống thí nghiệm phù hợp với mục đích nghiên cứu của luận án. Toàn bộ hệ thống thí nghiệm này một dạng sản phẩm khoa học của đề tài KHCN cấp Bộ [30], được Hội đồng Khoa học chuyên ngành đánh giá, được thành lập theo Quyết định số 1482/QĐ-ĐH-HV, ngày 11/8/2017 của Hiệu trưởng Trường Đại học Hàng hải Việt Nam. Mặt khác, hệ thống này được Hội đồng KHCN cấp Bộ Giao thông vận tải đánh giá nghiệm thu ngày 07/11/2017 theo Quyết định số 2890/QĐ-BGTVT ngày 12/10/2017 của Bộ trưởng Bộ Giao thông vận tải với kết quả xếp loại A (xuất sắc).

Hơn nữa, một phần kết quả nghiên cứu chính của hệ thống thí nghiệm này được nghiên cứu sinh cùng nhóm nghiên cứu báo cáo tại Hội nghị và công bố kết quả chính trên Kỷ yếu Hội nghị Khoa học Quốc tế chuyên ngành tháng 11/2017. Kết quả đạt giải Nhất theo tiêu chuẩn cao nhất của một công trình khoa học xuất sắc, tại Diễn đàn Hội nghị khoa học Quốc tế các trường Đại học Hàng hải và Nghề cá Châu Á (AMFUF), năm 2017. Đồng thời nghiên cứu sinh cùng nhóm nghiên cứu được Chủ tịch AMFUF vinh danh tại Hội nghị và trao giấy chứng nhận.

Các Quyết định, biên bản và giấy chứng nhận mô tả trong Phụ lục 6.

Sau đó, tiến hành thí nghiệm ảnh hưởng của xâm thực bánh lái đến lực bẻ lái R trên hệ thống thí nghiệm. Kết quả thí nghiệm được so sánh, phân tích và đánh giá với kết quả tính toán mô phỏng và kết quả tính toán theo công

thức thực nghiệm. Từ đó, mình chứng cho một số kết quả tính toán mô phỏng về xâm thực trên bánh lái cũng như ảnh hưởng của nó tới lực bẻ lái tương ứng với tổ hợp tốc độ dòng chảy bao quanh bánh lái và góc bẻ lái khác nhau. Trên cơ sở này rút ra rằng, các kết quả tính toán theo các phương pháp đảm bảo độ tin cậy.

- Nghiên cứu khảo sát thực địa đối với tàu M/V TAN CANG FOUNDATION, trong các trường hợp cụ thể, để làm rõ hơn ý nghĩa thực tiễn của luận án.

KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

1. KẾT LUẬN

Bằng các phương pháp nghiên cứu đã thực hiện trong luận án “*Nghiên cứu ảnh hưởng xâm thực bánh lái đến lực bề lái tàu thủy*”, luận án đã đạt được mục đích nghiên cứu đặt ra, với các kết quả cụ thể như sau:

1.1. Hệ thống hóa cơ sở lý luận về hiện tượng xâm thực nói chung và xâm thực bánh lái tàu thủy nói riêng. Hơn nữa, đã xây dựng cơ sở lý luận về lực bề lái tàu thủy trong giai đoạn xâm thực bánh lái tàu thủy.

1.2. Xây dựng mô hình nghiên cứu và cơ sở toán học trên nền tảng CFD để tính toán mô phỏng vùng xâm thực, cụ thể:

- Xây dựng mô hình nghiên cứu trên cơ sở số liệu bánh lái được đồng dạng theo tiêu chuẩn Froude với bánh lái của tàu M/V TAN CANG FOUNDATION;

- Xây dựng quy trình tính toán mô phỏng chung cho bài toán 2D bằng phương pháp phần tử biên và Fluent - Ansys và bài toán 3D bằng phương pháp xâu chuỗi và Fluent - Ansys. Từ đó, thực hiện tính toán mô phỏng cho đối tượng cụ thể là bánh lái của tàu M/V TAN CANG FOUNDATION trong các trường hợp góc bề lái và tốc độ tàu khác nhau. Từ các kết quả tính toán mô phỏng chi tiết và tường minh trong các trường hợp, đã tổng hợp kết quả giá trị đầu vào mà bánh lái tàu thủy nói chung, tàu M/V TAN CANG FOUNDATION nói riêng, bị xâm thực cục bộ tại mép vào và xâm thực tại mép thoát bánh lái.

1.3. Xây dựng mô hình nghiên cứu bằng phương pháp số và quy trình tính toán mô phỏng ảnh hưởng của xâm thực cục bộ tại mép vào và của xâm thực mép thoát bánh lái tới lực bề lái tàu thủy, tương ứng với mỗi tổ hợp đầu vào (n_i, α_i) khi tồn tại xâm thực. Từ đó, thực hiện tính toán mô phỏng cho bánh lái của tàu M/V TAN CANG FOUNDATION, với kết quả cụ thể như sau:

- Chu kỳ và tần số dao động của lực bề lái phụ thuộc vào loại profil sử dụng làm bánh lái, với bánh lái của tàu M/V TAN CANG FOUNDATION cho kết quả là:

+ Chu kỳ dao động của lực bề lái là $T = 0,091s$;

+ Tần số dao động của lực bề lái là $f = 11Hz$.

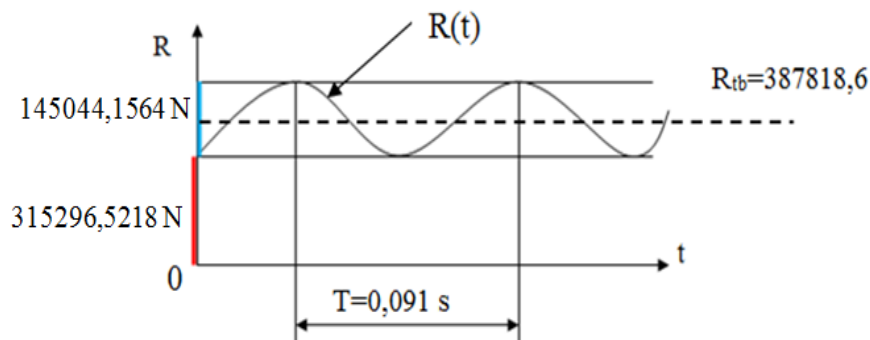
- Biên độ dao động của lực bề lái trong giai đoạn bánh lái xuất hiện xâm thực cục bộ phụ thuộc vào vận tốc dòng chảy và góc bề lái:

$$A = 2 \frac{k}{L} R_{tb}$$

Trong đó: R_{tb} được xác định theo công thức 3.5 và bảng 3.1.

Giá trị k cho bánh lái của tàu M/V TAN CANG FOUNDATION tương ứng với tốc độ dòng chảy bao và tại giá trị góc bề lái khác nhau, được tính toán mô phỏng cho bài toán 3D bằng phần mềm Fluent - Ansys với các trường hợp này. Kết quả tính toán mô phỏng được thể hiện qua phân bố phần trăm pha hơi một cách chi tiết và tường minh.

- Xây dựng quy luật biến thiên lực bề lái theo thời gian $R(t)$ khi kể đến ảnh hưởng của xâm thực cục bộ tại mép vào bánh lái được thể hiện theo hình 3.7 của chương 3. Từ đó, tính toán mô phỏng cho bánh lái của tàu M/V TAN CANG FOUNDATION, với trường hợp đặc trưng là góc bề lái là $\alpha = 35^\circ$ và vận tốc $V = 7,5 \text{ m/s}$, cho kết quả cụ thể như hình vẽ:



- Thực hiện so sánh với giải pháp có góc flap tại mép thoát, với các kết quả tính toán mô phỏng cụ thể, tường minh thông qua các giá trị: Phân bố phần trăm pha hơi, phân bố áp suất, phân bố vận tốc, phân bố hệ số áp suất.

Từ đó phân tích, đánh giá và đưa ra được giải pháp khuyến cáo cho trường hợp điều khiển tàu tự động nhằm giảm thiểu ảnh hưởng của hiện tượng xâm thực tại mép thoát bánh lái tàu thủy.

1.4. Thiết kế và chế tạo phần nghiên cứu thực nghiệm liên quan đến xâm thực bánh lái tàu thủy trên hệ thống thí nghiệm. Phân tích đánh giá ưu và nhược điểm của hệ thống thí nghiệm.

1.5. Thực hiện nghiên cứu thực nghiệm để kiểm chứng một số kết quả chính đạt được trong luận án, cụ thể:

- Thí nghiệm ảnh hưởng của xâm thực bánh lái đến lực bẻ lái R trên hệ thống thí nghiệm. Phân tích, so sánh và đánh giá chi tiết kết quả nhận được theo các phương pháp. Từ đó, minh chứng cho một số kết quả tính toán mô phỏng về xâm thực trên bánh lái cũng như ảnh hưởng của nó tới lực bẻ lái tương ứng với tổ hợp vận tốc dòng chảy bao quanh bánh lái và góc bẻ lái khác nhau. Trên cơ sở này rút ra rằng, các kết quả tính toán theo các phương pháp đảm bảo độ tin cậy.

- Khảo sát thực địa đối với tàu M/V TAN CANG FOUNDATION, trong các trường hợp cụ thể, để làm rõ hơn ý nghĩa thực tiễn của luận án.

2. KIẾN NGHỊ

Kiến nghị của luận án cũng chính là những vấn đề cần quan tâm trong hướng nghiên cứu tiếp theo, cụ thể:

2.1. Từng bộ phận, từng thiết bị trong hệ thống thí nghiệm được thiết kế và chế tạo đã có chứng nhận về độ chính xác thiết bị của nhà sản xuất, nhưng cả hệ thống chưa được đánh giá về độ chính xác. Tuy nhiên, kết quả nghiên cứu thí nghiệm trên hệ thống không ảnh hưởng nhiều, bởi vì nghiên cứu sinh sử dụng phương pháp tiếp cận là phân tích, đánh giá và so sánh kết quả tính toán theo các phương pháp.

2.2. Trong điều kiện cho phép, nghiên cứu sinh cùng nhóm tác giả tiếp tục nghiên cứu từng bước cải thiện một số hạn chế của hệ thống thiết kế và

chế tạo, như: Trang bị hệ thống dẫn động có dải đầu vào rộng hơn, thiết bị quang học hiện đại hơn, cảm biến áp suất có độ nhạy và khả năng lưu trữ dữ liệu theo thời gian tốt hơn,... nhằm giải quyết vấn đề nghiên cứu có độ chính xác hơn.

2.3. Từng bước mở rộng cho nhiều bài toán nghiên cứu thực nghiệm khác của chuyên ngành khoa học hàng hải hay chuyên ngành gần có liên quan, trên hệ thống thí nghiệm này.

DANH MỤC CÁC CÔNG TRÌNH KHOA HỌC ĐÃ CÔNG BỐ LIÊN QUAN ĐẾN ĐỀ TÀI LUẬN ÁN

1. PGS. TS. Phạm Kỳ Quang, TS. Vũ Văn Duy, ThS. Cổ Tấn Anh Vũ, ThS. Nguyễn Thành Nhật Lai. *Mô phỏng số xâm thực cục bộ trên bánh lái tàu thủy*. Tạp chí Giao thông vận tải, ISSN: 2354-0818, № 11, 11/2015, tr. 89 - 91.
2. PGS. TS. Phạm Kỳ Quang, TS. Vũ Văn Duy, NCS. Cổ Tấn Anh Vũ. *Nghiên cứu tính bất ổn định của lực bẻ lái tàu thủy trong một số chế độ điều động*. Tạp chí “Khoa học Công nghệ Giao thông vận tải”, ISSN: 1859-4263, № 18, 02/2016, tr. 07 - 09.
3. 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. *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.
4. PGS. TS. Phạm Kỳ Quang, TS. Nguyễn Mạnh Cường, TS. Vũ Văn Duy, NCS. Cổ Tấn Anh Vũ. *Tính toán mô phỏng và đề xuất giải pháp giảm thiểu hiện tượng xâm thực tại mép thoát bánh lái tàu thủy*. Hội nghị Quốc tế Khoa học - Công nghệ Hàng hải, ISBN: 978-604-937-127-1, 26 - 29/10/2016, Hải Phòng, Việt Nam, tr. 8 - 13.
5. PGS. TS. TTr. Phạm Kỳ Quang (*Chủ biên*), TS. Vũ Văn Duy, ThS. Bùi Văn Cường, ThS. Cổ Tấn Anh Vũ, ThS. Nguyễn Thành Nhật Lai. *Sách chuyên khảo “Ứng dụng CFD trong khoa học hàng hải”*. Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật, ISBN: 978-604-67-0897-1, Hà Nội, năm 2017.

6. PGS. TS. Phạm Kỳ Quang (*Chủ nhiệm đề tài*), TS. Vũ Văn Duy, NCS. Cổ Tấn Anh Vũ cùng các thành viên khác. *Nghiên cứu thiết kế và chế tạo thử nghiệm hệ thống đánh giá tác động của tổ hợp chân vịt - bánh lái đến đặc tính điều khiển hướng chuyển động tàu thủy*. Đề tài Khoa học công nghệ cấp Bộ Giao thông vận tải; mã số: DT174003, năm 2017.
7. NCS. Cổ Tấn Anh Vũ (*Chủ nhiệm đề tài*), PGS. TS. Phạm Kỳ Quang, TS. Vũ Văn Duy cùng các thành viên khác. *Xây dựng chương trình tính toán mô phỏng và thử nghiệm một số nguyên nhân cơ bản dẫn đến tai nạn hàng hải trên tuyến luồng Sài Gòn phục vụ công tác đào tạo và huấn luyện thuyền viên*. Đề tài Khoa học Công nghệ cấp Bộ Giao thông vận tải; mã số: DT174030, năm 2017.
8. Assoc. Prof. Dr. Captain. Pham Ky Quang, Dr. Vu Van Duy, PhD Student. Co Tan Anh Vu, PhD Student. Bui Van Cuong, MsC. Vu Dang Thai, PhD Student. Nguyen Van Cang, PhD Student. Pham Nguyen Dang Khoa. *Study on building a system evaluating fundamental reasons leading to sea-going ship accidents to enhance maritime training and education in Viet Nam*. The 16th Asia Maritime and Fisheries Universities Forum (AMFUF)”, ISSN: 2508-5247, November 9 - 11, 2017, pp. 191 - 200.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

Tiếng Việt

1. Đoàn Đình Kiến. *Kết cấu thép*. Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật, Hà Nội, 2008.
2. Hoàng Văn Quý, Nguyễn Đình Lương, Lê Bá Sơn, Đỗ Hữu Thành, Lê Văn Thuận. *Cơ học chất lỏng ứng dụng*. Nhà xuất bản Xây dựng, Hà Nội, 2005.
3. Lê Danh Liên, Võ Sỹ Huỳnh. *Lý thuyết cánh*. Nhà xuất bản Đại học, Trung học và chuyên nghiệp, Hà Nội, 1977.
4. Lê Xuân Hòa, Nguyễn Thị Bích Ngọc. *Lý thuyết và thực hành Bơm-Quạt-Máy nén*. Nhà xuất bản Đà Nẵng, 2005.
5. Nguyễn Hữu Lộc. *Cơ sở thiết kế máy*. Nhà xuất bản Đại học Quốc gia TP. Hồ Chí Minh, 2008.
6. Nguyễn Trọng Hiệp. *Chi tiết máy, tập I, II*. Nhà xuất bản Giáo dục, Hà Nội, 2006.
7. PGS. PTS. Hoàng Văn Quý. *Thủy lực và khí động lực*. Nhà xuất bản Khoa học kỹ thuật, Hà Nội, 1997.
8. PGS. TS. Phạm Kỳ Quang (*Chủ biên*), TS. Vũ Văn Duy, ThS. Cổ Tấn Anh Vũ, ThS. Bùi Văn Cường, ThS. Nguyễn Thành Nhật Lai. Sách chuyên khảo “*Ứng dụng CFD trong khoa học hàng hải*”. Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật, Hà Nội, 2017.
9. Phạm Hồng Giang. *Phương pháp phần tử biên*. Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật, Hà Nội, 2002.
10. Phạm Văn Vĩnh. *Cơ học chất lỏng ứng dụng*. Nhà xuất bản Giáo dục, 2005.
11. Trần Công Nghị. *Lý thuyết tàu thủy*. Nhà xuất bản Đại học Quốc gia Tp. Hồ Chí Minh, 2001.
12. Trịnh Chất, Lê Văn Uyển. *Tính toán thiết kế hệ dẫn động cơ khí, tập I, II*. Nhà xuất bản Giáo dục, Hà Nội, 2006.

13. Trịnh Chất. *Cơ sở thiết kế máy và chi tiết máy*. Nhà xuất bản Khoa học và kỹ thuật, Hà Nội, 2007.
14. Võ Sỹ Huỳnh, Nguyễn Thị Xuân Thu. *Tua bin nước*. Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật, Hà Nội, 2004.
15. Vũ Văn Duy. *Hệ thống truyền động thủy khí*. Trường Đại học Hàng hải Việt Nam, 2016.
16. Hoàng Thị Bích Ngọc. *Đặc điểm phân bố áp suất trong dòng chảy bao profil cánh khí động hàng không và profil cánh máy thủy khí*. Tuyển tập công trình HN Khoa học Cơ học Thủy khí và Công nghệ mới, 2002.
17. Lê Quang, Phạm Thị Thanh Hương, Ngô Văn Hệ. *Nghiên cứu thực nghiệm và ứng dụng CFD trong khai thác tàu thủy nhằm giảm tiêu hao nhiên liệu*. Tạp chí Phát triển Khoa học & Công nghệ, Trường Đại học Bách khoa Hà Nội, số 18, năm 2015, tr. 136 - 143.
18. Lê Quang. *Những vấn đề nảy sinh khi mô hình hóa dòng chảy có xâm thực từng phần*. Tuyển tập các công trình HN Cơ học toàn quốc, 2002.
19. Lê Quang. *Những vấn đề nảy sinh trong quá trình mô hình hóa dòng chảy có xâm thực từng phần*. Tuyển tập Hội nghị Khoa học toàn quốc về Cơ kỹ thuật, 2002.
20. Lê Quang. *Tính toán dòng chảy xâm thực bằng phương pháp điểm kỳ dị*. Tuyển tập Hội nghị Khoa học toàn quốc về Cơ kỹ thuật, 1996.
21. Lê Thị Minh Nghĩa, Nguyễn Anh Thi, Phạm Minh Vượng. *Nghiên cứu dòng hai chiều bao quanh vật cản bằng phương pháp số và thực nghiệm*. Tuyển tập HN khoa học toàn quốc về Cơ học Thủy khí, 2012.
22. Lê Thị Minh Nghĩa, Nguyễn Vĩnh Tân. *Tính dòng hai chiều bằng phương pháp kết hợp mô hình chất lỏng lý tưởng và chất lỏng nhớt*. Tuyển tập Hội nghị Khoa học toàn quốc về Cơ học toàn quốc, 2002.
23. NCS. ThS. Cổ Tấn Anh Vũ (*Chủ nhiệm đề tài*), PGS. TS. Phạm Kỳ Quang, TS. Vũ Văn Duy cùng các thành viên khác. *Xây dựng chương*

trình tính toán mô phỏng và thử nghiệm một số nguyên nhân cơ bản dẫn đến tai nạn hàng hải trên tuyến luồng Sài Gòn phục vụ công tác đào tạo và huấn luyện thuyền viên. Đề tài Khoa học Công nghệ cấp Bộ Giao thông vận tải; mã số: DT174030, năm 2017.

24. Nguyễn Thế Đức. *Một lược đồ ẩn cho tính toán dòng không nén được với thuật toán nén giả*. Tuyển tập Hội nghị Cơ học Thủy khí toàn quốc, 2004.
25. Nguyễn Thế Mịch. *Một số kết quả thực nghiệm về áp suất trung bình bao quanh profil cánh ở chế độ xâm thực và không xâm thực*. Tuyển tập Hội nghị Khoa học toàn quốc về cơ kỹ thuật, 2003.
26. Nguyễn Thế Mịch. *Phân tích các đặc trưng xâm thực bằng phim cực nhanh*. Tuyển tập Hội nghị Khoa học toàn quốc về Cơ kỹ thuật, 1996.
27. Nguyễn Thế Mịch. *Tối ưu hóa việc chọn thông số bơm hướng trục NPSH loại nhỏ*. Tuyển tập Hội nghị Khoa học toàn quốc về Cơ kỹ thuật, 2001.
28. Nguyễn Thế Mịch, Phạm Văn Thu, Vũ Văn Duy. *Một số kết quả tính toán của các loại bơm có N_s lớn và khả năng xâm thực cao*. Tạp chí Tài nguyên nước, số 1/2006.
29. PGS. TS. Lương Công Nhó, PGS. TS. Phạm Kỳ Quang, ThS. Bùi Văn Cường. *Ứng dụng CFD phân tích lực tác động lên bánh lái nhằm thay đổi hướng đi tàu thủy*. Tạp chí “Khoa học-Công nghệ Hàng hải”, № 43, 08/2015, tr. 05-08.
30. PGS. TS. Phạm Kỳ Quang (Chủ nhiệm đề tài), TS. Vũ Văn Duy, NCS. ThS. Cổ Tấn Anh Vũ cùng các thành viên khác. *Nghiên cứu thiết kế và chế tạo thử nghiệm hệ thống đánh giá tác động của tổ hợp chân vịt - bánh lái đến đặc tính điều khiển hướng chuyển động tàu thủy*. Đề tài Khoa học công nghệ cấp Bộ Giao thông vận tải; mã số: DT174003, năm 2017.

31. PGS. TS. Phạm Kỳ Quang, TS. Nguyễn Mạnh Cường, TS. Vũ Văn Duy, NCS. Cổ Tấn Anh Vũ. *Tính toán mô phỏng và đề xuất giải pháp giảm thiểu hiện tượng xâm thực tại mép thoát bánh lái tàu thủy*. Hội nghị Quốc tế Khoa học - Công nghệ Hàng hải, ISBN: 978-604-937-127-1, 26 - 29/10/2016, Hải Phòng, Việt Nam, tr. 8 - 13.
32. PGS. TS. Phạm Kỳ Quang, TS. Vũ Văn Duy, NCS. Cổ Tấn Anh Vũ. *Nghiên cứu tính bất ổn định của lực bẻ lái tàu thủy trong một số chế độ điều động*. Tạp chí “Khoa học Công nghệ Giao thông vận tải”, № 18, 02/2016, tr. 07 - 09.
33. PGS. TS. Phạm Kỳ Quang, TS. Vũ Văn Duy, ThS. Cổ Tấn Anh Vũ, ThS. Nguyễn Thành Nhật Lai. *Mô phỏng số xâm thực cục bộ trên bánh lái tàu thủy*. Tạp chí Giao thông vận tải, № 11, 11/2015, tr. 89 - 91.
34. Trần Ngọc Phương, Tống Duy Tân, Vũ Cộng Hòa. *Một số mô hình tính toán động lực học lưu chất sử dụng phần mềm Fluent & Gambit*. Trường Đại học Bách khoa thành phố Hồ Chí Minh. (<http://www.fas.hcmut.edu.vn/webhcn10/Baocao/PDF/TNPhong-Gambit.pdf>)
35. Võ Sỹ Huỳnh, Lê Danh Liên. *Đặc điểm kết cấu và tính toán chân vịt siêu xâm thực ứng dụng trong kỹ thuật tàu thủy*. Tuyển tập các công trình Hội nghị Cơ học toàn quốc, 2002.
36. Vũ Văn Duy, Bùi Trọng Tùng. *Một số kết quả ứng dụng phần mềm Fluent trong nghiên cứu dòng chảy qua chân vịt tàu thủy*. Tạp chí Khoa học - Công nghệ Hàng hải, Số 10/2007.
37. Vũ Văn Duy. *Nghiên cứu xâm thực cục bộ trên profil cánh bằng phương pháp số*. Luận án tiến sĩ kỹ thuật, Trường Đại học Bách khoa Hà Nội, 2009.
38. Lê Thị Thái. *Nghiên cứu hiện tượng xâm thực bao quanh chân vịt tàu thủy*. Luận án tiến sĩ kỹ thuật, Trường Đại học Bách khoa Hà Nội, 2013.

39. Vũ Văn Duy. *Sử dụng phần mềm Fluent để phân tích dòng chảy bao quanh hydrofoil*. Tạp chí Khoa học - Công nghệ Hàng hải, số 6/2006.
40. Các số liệu khảo sát và nghiên cứu thực nghiệm tại Nhà máy Ship Marine Sài Gòn, Tp. Hồ Chí Minh, tháng 5/2016.
41. Các số liệu khảo sát và nghiên cứu thực nghiệm tại thực địa trên tuyến luồng Hải Phòng, tháng 12/2015, tháng 5/2016 và tháng 7/2017.
42. Hồ sơ và các thông số liên quan của M/V TANCANG FOUNDATION.

Tiếng Anh

43. A. V. Pustoshny, S. V. Kaprantsev. *AZIPOD propeller blade cavitation observations during ship maneuvering*. Krylov Shipbuilding Research Institute, Russia, St.Petersburg, 2001.
44. Force Technology. *MAN Diesel A/S and DTU*. CFD Project, 2009.
45. Fossen, T. I and O. E. Fjellstad. *Nonlinear Modelling of Marine Vehicles in 6 Degrees of Freedom*. International Journal of Mathematical Modelling of Systems JMMS-1(1), pp. 17-28, 1995.
46. Fossen, T. I. *Marine Control Systems - Guidance, Navigation and Control of Ships, Rigs and Underwater Vehicles* Marine Cybernetics, 3rd edition, 2002.
47. Jonh P. Breslin, Poul Andersen. *Hydrodynamics of Ship Propellers*. Cambridge University Press, 1993.
48. K. J. Rawson, E. C. Tupper. *Basic Ship Theory*. Reed Educational and Professional Puplishing Ltd. Oxford, 2001.
49. Peter Hunter, Andrew Pullan. *FEM/BEM*. Department of Engineering Science the University of Auckland. New Zealand, 2012.
50. Phillips A.B, Turnock S.R and Furlong M.E. *Accurate capture of rudder - propeller interaction using a coupled blade element momentum - RANS approach*. Ship Technology Research, 57(2), pp.128 - 139, 2010.

51. 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. *Calculation and simulation of the current effects on maritime safety in Haiphong fairway, Vietnam*. International Association of Maritime Universities, 17th Annual General Assembly, 26 - 29 October, 2016, Vietnam, pp. 170 - 179.
52. Shreenaath Natarajan, B. Tech. Thesis “*Computational Modeling of Rudder Cavitation and Propeller/Rudder Interaction*”. The University of Texas at Austin, August, 2003.
(<http://cavity.caee.utexas.edu/kinnas/theses/report-nat.pdf>).
53. T. Zorn, J. Heiman, V. Bertram. *CFD analysis of a duct’s effectiveness for model scale and full scale*. 13th Numerical Towing Tank Symp (NuTTS), Duisburg, 2010.
54. Ugo Piomelli. *Large-eddy and direct simulation of turbulent flow*. College Park, Maryland, USA, 2002.
55. Nguyen The Mich, Nguyen The Duc, Vu Van Duy. *A Numerical Simulation Study of Partial Cavitation on Axial Tubomachines*. The 3rd South East Asian Technical University Consortium (SEATUC) Symposium, 2008.
56. Nguyen The Duc. Park.W.G. *Numerical Simulation of Air Flow and Gas Dispersion around Obstacles*. Proceedings of the 5th Asia Computational Fluid Dynamics Conference, Busan, pp. 210-217, 2003.
57. Nguyen The Mich. *Partial Cavitation Closures Kinematics of Partial Cavitation*. The international symposium cavitation and erosion in hydrostructure and hydromachinery. Naging, China, 2012.
58. Kinas. S, Fine.n. *A numerical nonlinear analysis of the flow around two-and three-dimension partially cavitating hydrofoils*. Journal of Fluid Mechanics, 254, Septemper, pp. 151-181, 1993.

59. Press W. H., Teukolsky P. A., Vetterling W. T. Flannery B. P. *Numerical Recipes in Fortran. The Art of Scientific Computing*, Cambridge University Press, New York, USA, 2002.
60. Padamanabhan Krishnaswamy. *Flow modelling for partially cavitating hydrofoils*. PhD thesis, Technical university of Denmark, 2000.
61. J. Bore'e. *Turbulence Course*. ENSMA, 2006.
62. O. Coutier Delgosha and J. F. Devillers. *A joint experimental and numerical study of mechanisms associated to instability of partial cavitation on two-dimensional hydrofoil*. CAV2003, Osaka, Japan, 2003.
63. Yoshinori Saito, Ichiro Nakamori and Toshiaki Ikohagi. *Numerical analysis of unsteady behavior of cloud cavitation around a NACA0015 foil*. CAV2003, Osaka, Japan, 2003.
64. Masashi Fukaya, Tomoyoshi Okamura, Yoshiaki Tamura and Yoichiro Matsumoto. *Prediction of cavitation performance of axial flow pump by using numerical cavitating flow simulation with bubble flow model*. CAV2003, Osaka, Japan, 2003.
65. Robert F. Kunz, Todd A. Kaday, Jules W. Lindau, Leonard J. Peltier. *Unsteady RANS and Detached eddy simulation of cavitation flow over a hydrofoil*. CAV2003, Osaka, Japan, 2003.
66. G. Wuibaut, G. Bois. *Optical PIV and LDV comparisons of internal flow investigations in SHF impeller*. International journal of rotating machinery, pp. 1-9, 2006.
67. J. Pierre Franc, J. Marie Michel. *Fundamentals of Cavitation*. Kluwer academic publishers. Dordrecht, Boston, London, 2004.
68. Pyo. S and Suh. J. *Numerical prediction of open water performance of flapped rudders*. SOTEC Vol. 4, No.1, pp.110, 2000.

69. Hyun Jun Kim, Sang Hyun Kim, Jung Keun Oh. *A proposal on standard rudder device design procedure by investigation of rudder design process at major Korean shipyard*. Journal of Marine Science and Technology, Vol. 20, No. 4, pp. 450-458, 2012.
70. Thomas Lücke, Heinrich Streckwall. *Cavitation Research on a Very Large Semi Spade Rudder*. First International Symposium on Marine Propulsors smp'09, Trondheim, Norway, June 2009.
(<http://caltechconf.library.caltech.edu/36/1/observ.pdf>)

Tiếng Pháp

71. J. M. Michel. *Cavitation et hydrodynamique des écoulements rapides*. Institut National Polytechnique de Grenoble, 1994.
72. Nguyen The Mich. *Fermeture de poches de cavitation partielle: Cinématique-Pressions à la paroi*. These. Grenoble, 1986.

Các trang website

73. www.ansys.com
74. Các trang website nước ngoài: www.sname.org, onepetro.org, researchgate.net, academia.edu, sciencedirect.com, libramar.net, witpress.com, ntnu.no/publications.lib.chalmers.se, amazon.co.uk, dissercat.com, tutorgig.com, sintef.no, ksri.ru, cerimes.education.fr, vti.mod.gov.yu, mech.sharif.edu, shi.samsung.co.kr, dt.navy.mil, pumps.org,...
75. Các trang website trong nước: www.google.com.vn, vimaru.edu.vn, fas.hcmut.edu.vn, hust.edu.vn, ntu.edu.vn, tlu.edu.vn, ut.edu.vn, vinamarine.gov.vn, cangvuhaiphong.gov.vn, vms-north.vn,...

PHẦN PHỤ LỤC

(Gồm 6 phụ lục kèm theo)

PHỤ LỤC 1: HỒ SƠ LIÊN QUAN TÀU M/V TAN CANG FOUNDATION

PHỤ LỤC 2: CHƯƠNG TRÌNH TÍNH TOÁN MÔ PHỎNG XÂM THỰC CỤC BỘ TRÊN PROFIL BÁNH LÁI BẰNG PHƯƠNG PHÁP PHẦN TỬ BIÊN

PHỤ LỤC 3: CÁC CHỨC NĂNG CƠ BẢN VÀ THÔNG SỐ CỦA MỘT SỐ HỆ THỐNG THÍ NGHIỆM VỀ XÂM THỰC TRÊN THỂ GIỚI

PHỤ LỤC 4: HỒ SƠ THIẾT KẾ, CHẾ TẠO VÀ BẢN VẼ LIÊN QUAN CỦA HỆ THỐNG THÍ NGHIỆM

PHỤ LỤC 5: GIẤY TỜ LIÊN QUAN ĐẾN NGHIÊN CỨU THỰC ĐỊA TRÊN TUYẾN LUỒNG HÀNG HẢI HẢI PHÒNG VÀ TẠI NHÀ MÁY SHIP MARINE SÀI GÒN

PHỤ LỤC 6: QUYẾT ĐỊNH THÀNH LẬP HỘI ĐỒNG VÀ BIÊN BẢN HỌP HỘI ĐỒNG KHOA HỌC CHUYÊN NGÀNH ĐỂ ĐÁNH GIÁ HỆ THỐNG THÍ NGHIỆM CỦA CÁC CẤP

PHỤ LỤC 1

HỒ SƠ LIÊN QUAN TÀU M/V TAN CANG FOUNDATION

Hồ sơ gồm:

1.1. Particular of M/V TAN CANG FOUNDATION

(Các thông số chính của tàu)

1.2. Hồ sơ liên quan đến hệ thống bánh lái của tàu

PHỤ LỤC 2

CHƯƠNG TRÌNH TÍNH TOÁN MÔ PHỎNG XÂM THỰC CỤC BỘ TRÊN PROFIL BÁNH LÁI BẰNG PHƯƠNG PHÁP PHẦN TỬ BIÊN

CHƯƠNG TRÌNH TÍNH TOÁN MÔ PHỎNG XÂM THỰC CỤC BỘ TRÊN PROFIL BÁNH LÁI BẰNG PHƯƠNG PHÁP PHẦN TỬ BIÊN

Mô đun chương trình chính

```
program blm
    implicit none

c
c          low order boundary element method
c  base on Constant-Potential Panel Approach
c          element lifting airfoil in 2-d
c          incompressible flow
c

integer ista,iend

real lsta,lcav,lamda,qc,abig,nuy,sl,st,fsf

common /cav/ ista,iend,lsta,lcav,lamda,qc,abig,nuy,sl,st,fsf(300)

real pi,pi2inv

common /num/ pi,pi2inv

real cosalf,sinalf

common /alf/cosalf,sinalf

real alpha

real xx

real ff

EXTERNAL func2
```

```

real func2

real tol

real sigma

real x1,x2,rtbis

tol=1.0e-05

c    ista=99

lamda=0.1

abig=0.5

nuy=1.0

pi=3.1415926585

pi2inv=.5/pi

c

OPEN(7,FILE="pcpan_out.txt")

write(*,*) ' input lsta (starting point of cavity)'

read(*,*)lsta

write(*,*) ' input alpha in degrees'

read(*,*)alpha

write(*,*) ' input sigma (cavitation number)'

read(*,*)sigma

c

write(*,*)"lsta =",lsta

write(*,*)"alpha=",alpha

qc=sqrt(1.0+sigma)

```



```

        write(*,*)"sigma=",sigma,"~qc=",qc
        pause
    if (alpha.gt.90) go to 200
c
    cosalf=cos(alpha*pi/180.)
    sinalf=sin(alpha*pi/180.)
        pause
    call input_body_pcpan2
        x1=0.1
        x2=0.9
    xx=rtbis(func2,x1,x2,0.001)
        write(*,*)"xx=",xx
        pause'call func2'
    ff=func2(xx)
        write(*,*) "xx=",xx," ff=",ff
        pause "Update_Sc2"
    call update_sc2
    pause 'Begin tinh_phisc'
    call tinh_phisc
        call veldis_pcpan
    call fandm
200 stop
end

```

PHỤ LỤC 3

CÁC CHỨC NĂNG CƠ BẢN VÀ THÔNG SỐ CỦA MỘT SỐ HỆ THỐNG THÍ NGHIỆM VỀ XÂM THỰC TRÊN THẾ GIỚI

CÁC CHỨC NĂNG CƠ BẢN VÀ THÔNG SỐ CỦA MỘT SỐ HỆ THỐNG THÍ NGHIỆM VỀ XÂM THỰC TRÊN THỂ GIỚI

1. Hệ thống thí nghiệm của Marintek (Na Uy)

Marintek là chi nhánh của tập đoàn SINTEF thuộc Na Uy. Hệ thống thí nghiệm mô tả theo hình 1.



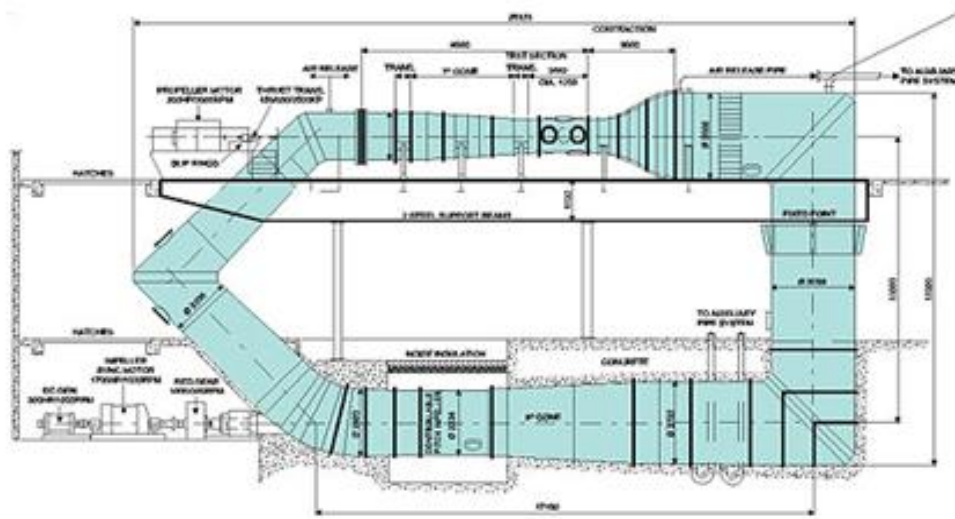
Hình 1. Hình ảnh hệ thống thí nghiệm của Marintek

Hệ thống thí nghiệm có các thông số chính như sau:

- Chiều cao giữa đường tâm là 10 (m);
- Độ rộng giữa đường tâm là 22,22 (m);
- Tỷ lệ khu vực thu nhỏ là 6,25;
- Đường kính khu vực hoạt động là 1,2 (m);
- Chiều dài khu vực hoạt động là 2,08 (m);
- Kiểu hoạt động là đóng kín trong phạm vi hẹp;
- Vận tốc cực đại của dòng chảy là 18 (m/s);
- Số vòng quay cực đại của bánh công tác là 3000 (v/ph);
- Công suất của động cơ là 50 (kW);
- Áp suất hoạt động cực đại là 6 (atm);
- Áp suất hoạt động cực tiểu là 0,1 - 0,2 (atm);

- Công suất động cơ bánh công tác là 1150 (kW).
- Hệ thống thí nghiệm có các chức năng cơ bản sau:
 - Đo các phân bố áp suất trên chân vịt, bánh lái tàu thủy;
 - Đo phân bố trường vận tốc dòng chảy tương tác bánh lái tàu thủy;
 - Quan sát hiện tượng xâm thực, hiện tượng ăn mòn xâm thực;
 - Đo tiếng ồn;
 - Đo 6 thành phần lực.

Cavitation Tunnel



Hình 2. Sơ đồ hệ thống thí nghiệm xâm thực của Marintek

2. Hệ thống thí nghiệm của Trường Đại học Kỹ thuật Công nghệ Sharif (Cộng hòa Hồi giáo Iran)

Hình 3 mô tả hệ thống thí nghiệm của Trường Đại học Kỹ thuật Công nghệ Sharif.

Các thông số chính của hệ thống thí nghiệm:

- Kích thước của khoang kiểm tra:

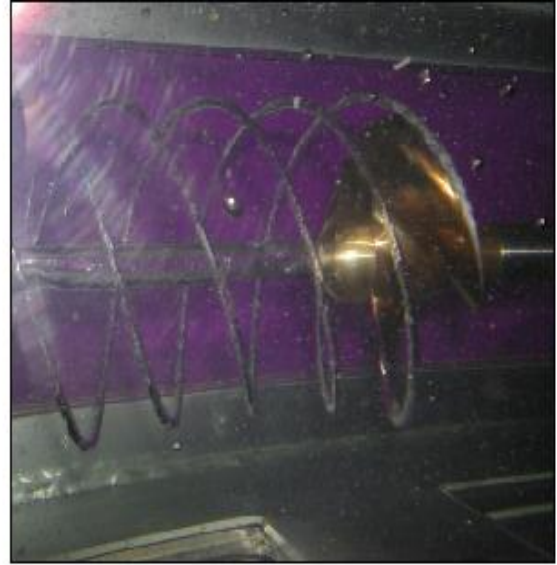
Chiều dài là 3200 (mm);

Chiều rộng là 650 (mm);

Chiều sâu là 350 (mm).

- Tỷ số co là 2.54:1;

- Vận tốc lớn nhất qua khoang kiểm tra là 3.6 (m/s);
- Dải áp suất sử dụng là 200-2000 (Pa), (theo áp suất tuyệt đối);
- Khoảng cách giữa hai đường tâm theo phương ngang là 1482 (mm);
- Khoảng cách giữa hai đường tâm theo phương đứng là 4890 (mm).



Hình 3. Hệ thống thí nghiệm nghiên cứu xâm thực
tại Trường Đại học Kỹ thuật Công nghệ Sharif

Hệ thống này có các chức năng: Thực hiện nhiều bài toán thí nghiệm, trong nhiều điều kiện khác nhau, chẳng hạn: Xâm thực trên cánh dẫn, bánh lái, chân vịt tàu thủy, sự tương tác chân vịt - bánh lái tàu thủy,...

3. Hệ thống thí nghiệm của hãng Hyundai (Hàn Quốc)

Hình 4 mô tả tổng quan hệ thống thí nghiệm của hãng Hyundai Hàn Quốc, với các thông số cơ bản mô tả theo bảng 1.

Bảng 1. Các thông số cơ bản của hệ thống thí nghiệm

Thông số cơ bản	Buồng 1	Buồng 2
Kích thước buồng kiểm tra (m)	6 x 1,2 x 1,2	12 x 3 x 1,4
Vận tốc lớn nhất (m/s)	28	12
Đường kính chân vịt (mm)	200-350	150-350
Tốc độ quay chân vịt (rpm)	65	65
Số xâm thực nhỏ nhất	0.04	0.04

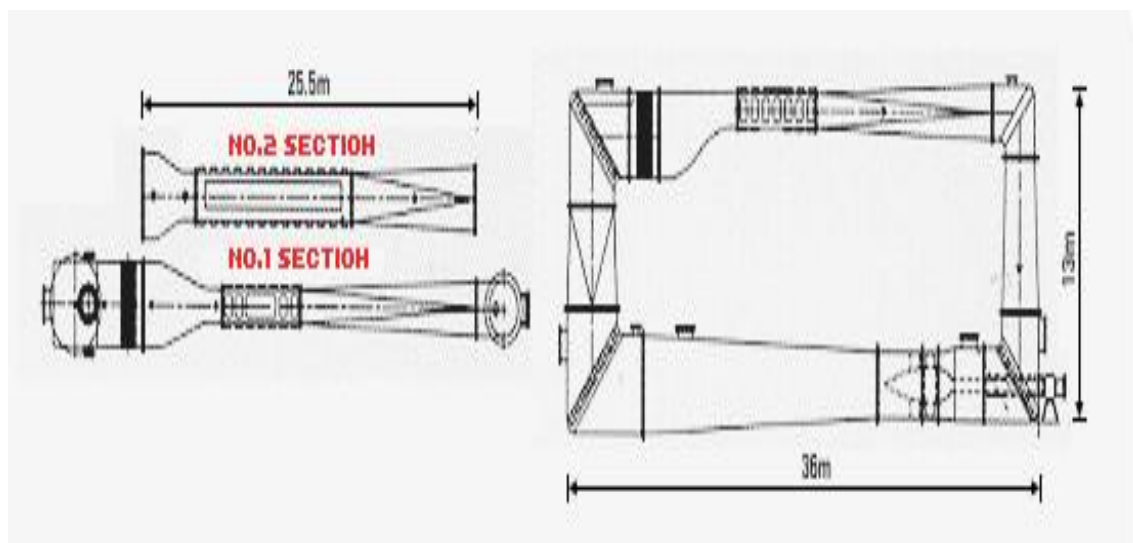


Hình 4. Hệ thống thí nghiệm nghiên cứu xâm thực của hãng Hyundai

Chức năng cơ bản của hệ thống:

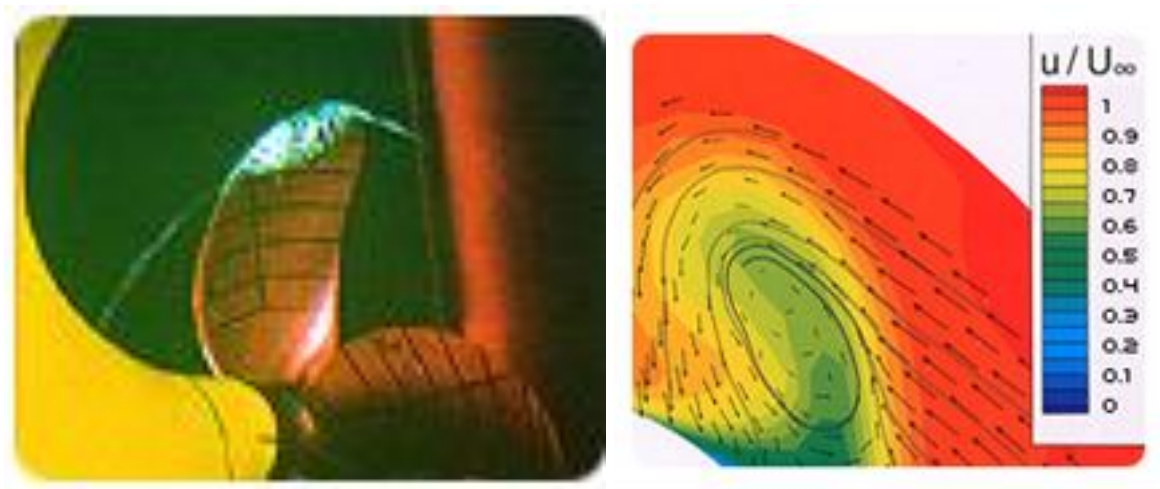
- Đo vận tốc dọc trục (vận tốc trung bình tại mặt chuyển tiếp);
- Sự tương tác chân vệt và bánh lái tàu thủy,
- Phân bố áp suất, vận tốc,...
- Quan sát xâm thực;
- Đo sự dao động áp suất;
- Kiểm tra ăn mòn xâm thực,...

Nguyên tắc hoạt động của hệ thống này được mô tả theo hình 5.



Hình 5. Sơ đồ nguyên lý hoạt động hệ thống thí nghiệm của hãng Hyundai

Một số kết quả nghiên cứu thực nghiệm chính về hiện tượng xâm thực của hệ thống mô tả theo hình 6.



Hình 6. Một số kết quả với hệ thống thí nghiệm xâm thực của Hyundai

4. Hệ thống thí nghiệm của hãng CTO S.A (Cộng hòa Ba Lan)

Các thông số chính của hệ thống này là:

- Kích thước buồng làm việc là $3 \times 0,8 \times 0,8$;
- Vận tốc lớn nhất là 20 (m/s);
- Dải áp suất là 3 - 400 (kPa).



Hình 7. Hệ thống thí nghiệm của hãng STO S.A

Đã có nhiều kết quả điển hình nghiên cứu về tương tác chân vịt - bánh lái tàu thủy, xâm thực bánh lái,... được thực hiện từ phòng thí nghiệm này.



Hình 8. Kết quả diễn hình ghi lại hình ảnh xâm thực trên cánh chân vịt

5. Hệ thống thí nghiệm tại Potsdam Model Basin (Liên bang Đức)

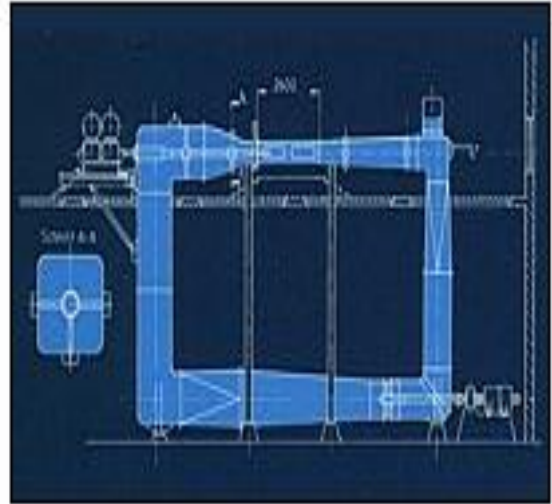
Hình ảnh hệ thống và sơ đồ nguyên lý được thể hiện qua hình 9.

Các thông số chính của hệ thống:

- Loại: K15AC (Kempf & Remmers, Hamburg);
- Bánh công tác: 100kW; 360 min^{-1} ; $D_i = 1078 \text{ mm}$;
- Kích thước buồng thử:
test 1 là $600 \times 600 \text{ mm}$; test 2 là $850 \times 850 \text{ mm}$;
- Vận tốc lớn nhất là 12 m/s ;
- Áp suất từ $-0,93 \text{ bar}$ đến $1,2 \text{ bar}$ (theo áp suất dư).

Các chức năng cơ bản của hệ thống:

- Kiểm tra trường dòng chân vịt;
- Kiểm tra xâm thực, ăn mòn xâm thực;
- Đo các xung áp và tiếng ồn;
- Đo vận tốc bằng ống Pitot và LDV;
- Đo xung lực và mômen cũng như lực vận trên từng cánh,...



Hình 9. Hệ thống thí nghiệm tại Potsdam Model Basin

Các chức năng cơ bản của hệ thống:

- Kiểm tra trường dòng chân vệt;
- Kiểm tra trường áp suất;
- Kiểm tra xâm thực, ăn mòn xâm thực;
- Đo các xung áp và tiếng ồn;
- Đo vận tốc bằng ống Pitot và LDV;
- Đo xung lực và mômen cũng như lực vận trên từng cánh,...

6. Hệ thống thí nghiệm của hãng Carderock Division

Đây là hệ thống thí nghiệm khép kín có các đặc điểm như: Giá trị vận tốc, áp suất được điều chỉnh, có thể thay đổi hình dạng của vùng kiểm tra và sử dụng bơm hướng trục 4 cánh (hình 10).

Các thông số chính của hệ thống là:

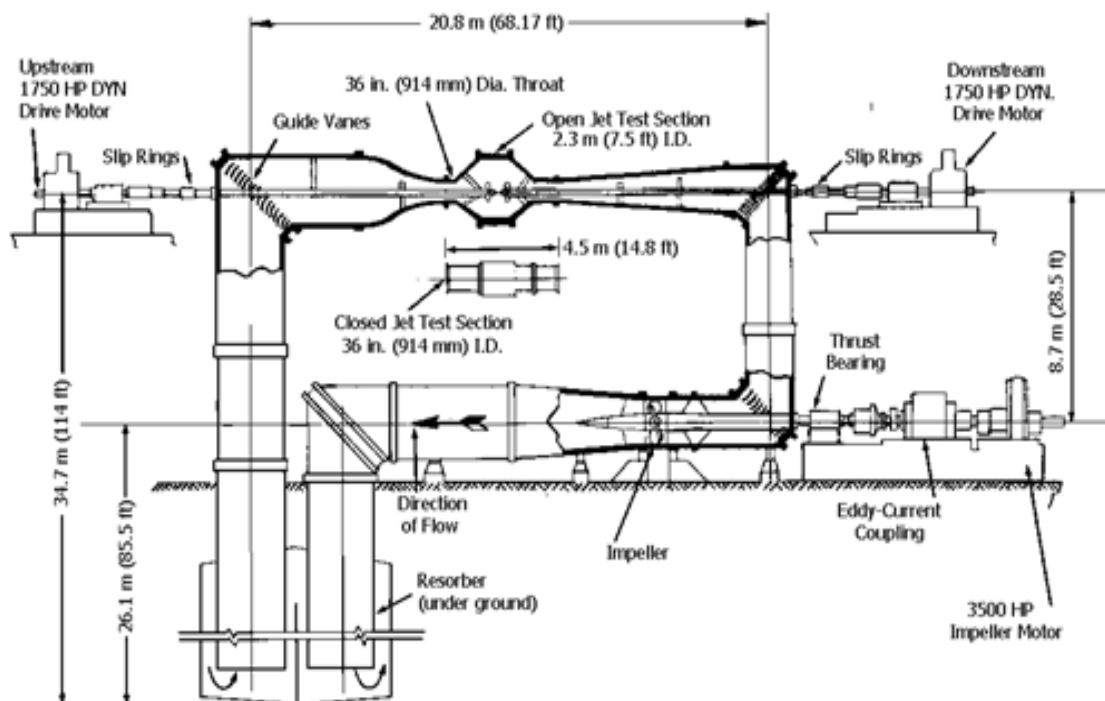
- Công suất tổng là 2610 (kW) ;
- Vận tốc lớn nhất là 25,7 (m/s) ;
- Áp suất lớn nhất là 414 (kPa) ;
- Áp suất nhỏ nhất là 14 (kPa) ;
- Số xâm thực nhỏ nhất là 0.034.

Chức năng chính của hệ thống: Hệ thống này có thể thực hiện thực nghiệm, kiểm tra đo đặc xâm thực và tham số khác, có thể kể đến: Mô men

cản; Độ dốc của dòng; Bắt đầu xâm thực; Lực đẩy; Tiếng ồn; Trường phân bố dòng chảy; Ăn mòn; Lực dọc trục ổ bi; Phân bố áp suất,...



Hình 10. Hệ thống thí nghiệm xâm thực của hãng Carderock Division
Sơ đồ nguyên lý cấu tạo của hệ thống mô tả theo hình 11.



Hình 11. Sơ đồ hệ thống thí nghiệm xâm thực của hãng Carderock Division

Tóm lại: Việc nghiên cứu tổng hợp nhiều hệ thống thí nghiệm về xâm thực nói chung và xâm thực trên bánh lái, chân vịt tàu thủy nói riêng, cũng như nhiều vấn đề thí nghiệm liên quan khác, đã được tiến hành trên các trường đại học, viện nghiên cứu lớn của nhiều nước trên thế giới. Từ đó có nhận xét rằng:

- Các phòng thí nghiệm được đầu tư quy mô, công suất lớn, trang thiết bị kèm theo hiện đại;
- Kết quả quan sát, đo đạc thể hiện cụ thể về vấn đề nghiên cứu;
- Hệ thống được bố trí dạng dòng chảy kín và tuần hoàn, thuận tiện cho việc tạo dải áp suất phục vụ quá trình nghiên cứu, chưa kể đến vấn đề ảnh hưởng của mặt thoáng,...

Tại Việt Nam, hiện nay nghiên cứu sinh chưa tìm thấy có Trường đại học, cơ sở đào tạo, viện nghiên cứu, tập đoàn đóng tàu,... có phòng thí nghiệm chuyên ngành để nghiên cứu thí nghiệm chuyên sâu về xâm thực.

Rõ ràng, ở trong nước việc triển khai hệ thống thí nghiệm chuyên sâu hoàn toàn giống như trên còn gặp nhiều khó khăn vì một số nguyên nhân khác nhau.

PHỤ LỤC 4

HỒ SƠ THIẾT KẾ, CHẾ TẠO VÀ BẢN VẼ CƠ BẢN LIÊN QUAN CỦA HỆ THỐNG THÍ NGHIỆM

Hồ sơ gồm:

1. Sơ đồ nguyên lý hoạt động của hệ thống thí nghiệm
2. Bản vẽ thiết kế bể thử của hệ thống thí nghiệm
3. Bản vẽ thiết kế phần dẫn dòng của hệ thống thí nghiệm
4. Bản vẽ thiết kế tổ hợp giá đỡ của hệ thống thí nghiệm
5. Bản vẽ thiết kế bánh lái của hệ thống thí nghiệm (thiết kế và chế tạo theo tiêu chuẩn đồng dạng với tàu M/V TAN CANG FOUNDATION)
6. Bản vẽ thiết kế chân vịt của hệ thống thí nghiệm (thiết kế và chế tạo theo tiêu chuẩn đồng dạng với tàu M/V TAN CANG FOUNDATION)

Chú ý: Các thiết bị, tổ hợp thiết bị khác được thiết kế, chế tạo và bố trí trên hệ thống được mô tả trong luận án.

PHỤ LỤC 5

GIẤY TỜ LIÊN QUAN ĐẾN NGHIÊN CỨU THỰC ĐỊA TUYẾN LUỒNG HÀNG HẢI HẢI PHÒNG VÀ TẠI NHÀ MÁY SHIP MARINE SÀI GÒN

1. Giấy giới thiệu số 68/GGT ngày 06/12/2015 của Hiệu trưởng Trường Đại học Hàng hải Việt Nam gửi Ban chỉ huy tàu M/V TAN CANG FOUNDATION.
2. Giấy xác nhận khảo sát thực địa của Thuyền trưởng tàu M/V TAN CANG FOUNDATION, ngày 08/12/2015 khi tàu nằm tại cảng.
3. Giấy xác nhận nghiên cứu thực địa, đi trực tiếp trên tàu khi hành trình trên tuyến luồng hàng hải Hải Phòng của Thuyền trưởng tàu M/V TAN CANG FOUNDATION, ngày 18/12/2015.
4. Giấy giới thiệu số 74/GGT ngày 25/4/2016 của Hiệu trưởng Trường Đại học Hàng hải Việt Nam gửi Ban chỉ huy tàu M/V TAN CANG FOUNDATION.
5. Giấy xác nhận khảo sát thực tế của Thuyền trưởng tàu M/V TAN CANG FOUNDATION, ngày 06/5/2016, khi tàu lên đà sửa chữa định kỳ tại Nhà máy Ship Marine Sài Gòn.
6. Giấy giới thiệu số 89/GGT ngày 05/7/2017 của Hiệu trưởng Trường Đại học Hàng hải Việt Nam gửi Ban chỉ huy tàu M/V TAN CANG FOUNDATION.
7. Giấy xác nhận nghiên cứu thực địa trên tuyến luồng hàng hải Hải Phòng, để kiểm chứng kết quả nghiên cứu của đề tài luận án và các vấn đề nghiên cứu liên quan do Thuyền trưởng tàu M/V TAN CANG FOUNDATION ký ngày 15/7/2017.

PHỤ LỤC 6

QUYẾT ĐỊNH THÀNH LẬP HỘI ĐỒNG VÀ BIÊN BẢN HỌP HỘI ĐỒNG KHOA HỌC CHUYÊN NGÀNH ĐỂ ĐÁNH GIÁ HỆ THỐNG THÍ NGHIỆM CỦA CÁC CẤP

1. Quyết định số 3468/QĐ-BGTVT ngày 07/11/2016 của Bộ trưởng Bộ Giao thông vận tải về việc phê duyệt danh mục đề tài, cơ quan chủ trì và cá nhân chủ nhiệm đề tài KHCN cấp Bộ năm 2017, trong đó:
 - Đề tài: “*Nghiên cứu thiết kế và chế tạo thử nghiệm hệ thống đánh giá tác động của tổ hợp chân vịt - bánh lái đến đặc tính điều khiển hướng chuyển động tàu thủy*”, mã số: DT 174003;
 - Đề tài: “*Xây dựng chương trình tính toán mô phỏng và thử nghiệm một số nguyên nhân cơ bản dẫn đến tai nạn hàng hải trên tuyến luồng Sài Gòn phục vụ công tác đào tạo và huấn luyện thuyền viên*”, DT 174030.
2. Quyết định số 1482/QĐ-ĐHHHVN-KHCN, ngày 11/8/2017 của Hiệu trưởng Trường Đại học Hàng hải Việt Nam về việc thành lập Hội đồng Khoa học chuyên ngành đánh giá sản phẩm khoa học “Hệ thống đánh giá tác động của tổ hợp chân vịt - bánh lái tàu thủy”.
3. Biên bản họp của Hội đồng Khoa học chuyên ngành, ngày 17/8/2017, xác nhận của Trường Đại học Hàng hải Việt Nam.
4. Các Quyết định của Bộ trưởng Bộ Giao thông vận tải về việc Thành lập Hội đồng Khoa học Công nghệ cấp Bộ GTVT để đánh giá nghiệm thu các đề tài khoa học và công nghệ nêu trên.
5. Biên bản họp của Hội đồng nghiệm thu khoa học công nghệ cấp Bộ của 02 đề tài nêu trên.
6. Giấy chứng nhận giải Nhất theo tiêu chuẩn cao nhất của một công trình khoa học xuất sắc, của Chủ tịch Diễn đàn Hội nghị khoa học Quốc tế các trường Đại học Hàng hải và nghề cá Châu Á (AMFUF), năm 2017.