

MỞ ĐẦU

1. Tính cấp thiết của luận án

Bánh lái là đối tượng điều khiển, nhằm thay đổi hướng chuyển động tàu thủy. Bánh lái được đặt ngay sau chân vịt, 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. Hiện tượng này 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, 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 tàu thủy? Từ đó đề xuất giải pháp nhằm giảm thiểu tác hại do 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 về an toàn hàng hải. Xuất phát từ lý do trên nghiên cứu sinh (NCS) đã lựa chọn và thực hiện đề tài luận án tiến sĩ là: *“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, kết hợp nghiên cứu thực địa thực hiện trên tuyến luồng hàng hải Hải Phòng và tuyến luồng Sài Gòn, kết hợp khi tàu lên đà sửa chữa định kỳ tại Nhà máy Ship Marine Sài Gòn. Hơn nữa, NCS đã kết hợp chặt chẽ vấn đề nghiên cứu trong luận án tiến sĩ với vấn đề nghiên cứu thực hiện trong hai đề tài KHCN cấp Bộ Giao thông vận tải, cụ thể: NCS đã nghiên cứu và sử dụng một phần kết quả nghiên cứu của hai đề tài KHCN cấp Bộ năm 2017 là: *“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 NCS làm chủ nhiệm đề tài cùng nhóm nghiên cứu và 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 do PGS. TS. Phạm Kỳ Quang làm chủ nhiệm đề tài, NCS 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:

- 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 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 01 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, 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 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: Trên hệ thống thí nghiệm (áp dụng theo tiêu chuẩn đồng dạng Froude với bánh lái tàu M/V TAN CANG FOUNDATION) và khảo sát thực địa đối với M/V TAN CANG FOUNDATION, nhằm minh chứng 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.

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

Ý nghĩa khoa học: Tổng hợp cơ sở lý luận về hiện tượng xâm thực bánh lái tàu thủy nhằm đưa ra mô hình nghiên cứu. Thực hiện 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 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 đề tài:

- 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 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, khâu 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

ảnh hưởng xâm thực cục bộ tại mép vào bánh lái. Kết quả tính toán mô phỏng áp dụng cụ thể cho bánh lái M/V TAN CANG FOUNDATION, khi góc bề lái $\alpha = 35^\circ$ và vận tốc tàu $V = 7,5 \text{ m/s}$.

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 bề lái tàu thủy.

7. Kết cấu của luận án

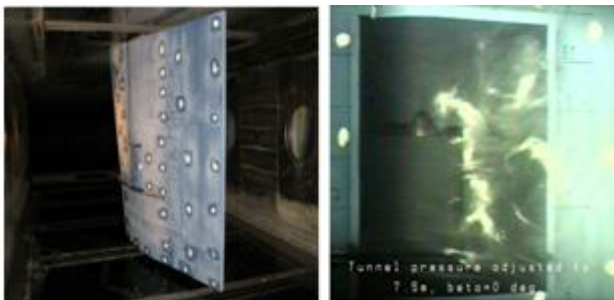
Luận án gồm 112 trang (không kể phụ lục), gồm các phần thứ tự sau: Mở đầu; nội dung (gồm 4 chương); kết luận và kiến nghị; danh mục các công trình khoa học đã công bố liên quan đến đề tài (8 công trình khoa học); tài liệu tham khảo và phụ lục (6 phụ lục).

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

Chương 1 tập trung nghiên cứu tổng quan về ảnh hưởng xâm thực bánh lái đến lực bề lái tàu thủy, cụ thể: Tình hình nghiên cứu trên thế giới và trong nước liên quan đến luận án; Cơ sở lý luận về xâm thực bánh lái tàu thủy; Lực bề lái trong giai đoạn xâm thực bánh lái tàu thủy và giới hạn phạm vi nghiên cứu của luận án.

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

Trên thế giới: Đã công bố về xâm thực từ năm 1880, có thể kể đến: Năm 1985 các tác giả J. Pierre Franc và J. Marie, Michel đã công bố và phân biệt các loại xâm thực, điều kiện xuất hiện xâm thực theo số xâm thực và góc đặt cánh. Năm 2001, công trình khoa học của nhóm nghiên cứu A. V. Pustoshny, S. V. Kaprantsev, thuộc Viện nghiên cứu tàu thủy Krylov tại St. Petersburg, LB. Nga, 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 về thực nghiệm và mô phỏng số dòng xâm thực bao quanh hydrofoil. Năm 2003 các tác giả Yoshinori Saito, Ichiro Nakamori và Toshiaki Ikohagi (Nhật Bản), 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. Năm 2009 các tác giả Thomas Lücke, Heinrich Streckwall tại Hamburg, LB. Đức, đã công bố những nghiên cứu thực nghiệm và tính toán mô phỏng số về xâm thực trên bánh lái “semi spade” mô tả theo hình 1.1.



Hình 1.1. Hình ảnh bánh lái trong hệ thống thí nghiệm HYKAT, LB. Đức

Tại Việt Nam: Do vấn đề nghiên cứu xâm thực đòi hỏi công phu và tốn kém, nên trong nước cũng chỉ bước đầu nghiên cứu tại một vài trường đại học, viện nghiên cứu trọng điểm, có thể kể đến: Các công trình khoa học, tài liệu về

thủy lực của các tác giả như: Tại Trường Đại học Bách khoa Hà Nội các tác giả 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, TS. Lê Thị Thái,... đã đưa ra được cơ chế hình thành xâm thực, tác hại, cũng như các biện pháp khắc phục thường dùng và điển hình cho máy thủy lực cánh dẫn như bơm ly tâm, bơm cánh dẫn hướng trục, tua bin nước, 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,... 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. TS. Vũ Văn Duy cùng nhóm nghiên cứu, thuộc Trường Đại học Hàng hải Việt Nam, 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,...

Rõ ràng, với phạm vi và đối tượng nghiên cứu của luận án cụ thể, 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 bề lái, luôn mang tính thời sự, có ý nghĩa khoa học và thực tiễn chuyên ngành hàng hải và không trùng lặp với bất kỳ công trình đã công bố trước đó.

Cơ sở lý luận về xâm thực bánh lái tàu thủy: Trong luận án đã nghiên cứu chi tiết về khái niệm và điều kiện xuất hiện xâm thực; Một số loại xâm thực trên bánh lái; Một số phương trình chủ đạo; Yếu tố ảnh hưởng đến xâm thực bánh lái tàu thủy; Một số profil bánh lái tàu thủy và cơ cấu điều khiển. Hình 1.2 mô tả hiện tượng xâm thực trên bánh lái của tàu M/V TAN CANG FOUNDATION, được NCS khảo sát thực địa khi tàu lên đà sửa chữa lớn tại Nhà máy Ship Marine Sài Gòn, tháng 5/2016.



Hình 1.2. Xâm thực trên bánh lái tàu M/V TAN CANG FOUNDATION

Lực bề lái tàu thủy trong giai đoạn xâm thực bánh lái:

Lực bề lái tàu thủy (R) xuất hiện khi góc bề lái khác 0^0 (góc bề lái từ 35^0 trái đến 35^0 phải). Giai đoạn không xâm thực, xác định lực bề lái theo công thức thực nghiệm như sau:

$$R = 577 A_R V^2 \sin \alpha \quad (1.1)$$

Trong đó: α - giá trị góc bề lái (độ); A_R - diện tích tham chiếu của bánh lái (m^2), đối với tàu M/V TAN CANG FOUNDATION, thì $A_R = 12m^2$; V - vận tốc dòng chảy bao bánh lái theo phương dọc trục (m/s). Việc xác định V theo (1.1) có một số phương pháp sau:

- Phương pháp tính toán mô phỏng bằng CFD với phần mềm Fluent - Ansys;
- Hoặc sử dụng công thức thực nghiệm: $V = 1,3V_p$ 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;
- Hoặc có thể tiến hành đo giá trị V trên hệ thống thí nghiệm.

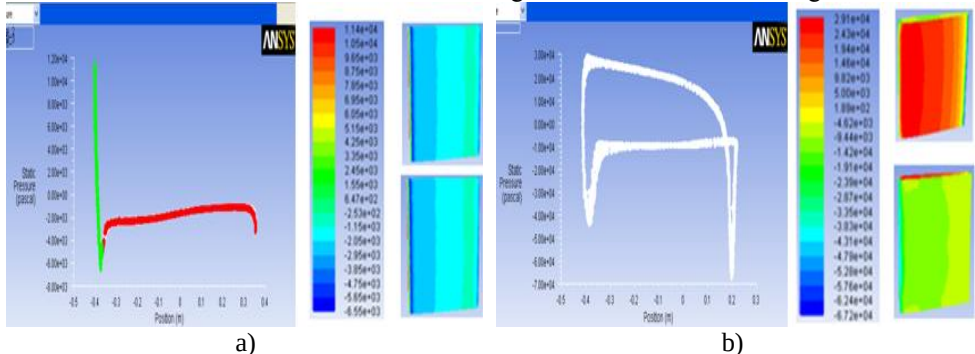
Đối với giai đoạn bánh lái bị xâm thực thì sai số của công thức (1.1) khá lớn, đặc biệt giá trị lực bề lái có hiện tượng dao động trong khi giữ nguyên góc bề lái và tốc độ tàu.

Trong trường hợp này tính lực bề lái R theo hệ số lực nâng C_L bằng công thức (1.2).

$$R = \frac{1}{2} \rho C_L A_R V^2 \quad (1.2)$$

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

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 (hình 1.3). 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 1.3. Một dạng kết quả tính toán mô phỏng phân bố áp suất và hệ số áp suất trên bánh lái tàu thủy khi: a) $\alpha = 0^\circ$; b) $\alpha = 30^\circ$.

Kết luận chương 1: Trong chương 1, đạt được kết quả cơ bản sau:

- Phân tích và đánh giá chi tiết tổng quan về tình hình nghiên cứu của các công trình liên quan đến đề tài luận án ở trong nước và ngoài nước. Từ đó rút ra kết luận vấn đề nghiên cứu luôn có tính cấp thiết, có 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 và xâm thực bánh lái tàu thủy, cơ sở lý luận về lực bề lái tàu thủy trong giai đoạn xâm thực bánh lái tàu thủy;
- Giới hạn phạm vi nghiên cứu trong đề tài luận án: Xây dựng cơ sở toán học và phương pháp số để tính toán mô phỏng xâm thực bánh lái tàu thủy trên cơ sở nền tảng CFD. Tập trung chủ yếu đánh giá ảnh hưởng của xâm thực cục bộ tại mép vào trên bánh lái đến lực bề lái tàu thủy. 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 trên cơ sở 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.

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

Chương 2 tập trung tính toán mô phỏng xâm thực bánh lái tàu thủy với các vấn đề cơ bản sau: Xây dựng mô hình nghiên cứu và cơ sở toán học; Xây dựng quy trình tính toán mô phỏng; Phân tích kết quả tính toán mô phỏng.

Xây dựng mô hình nghiên cứu và cơ sở toán học:

- Mô hình nghiên cứu: Dựa trên cơ sở 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.

Hệ số đồng dạng hình học ở đây là 10, các đại lượng khác tuân thủ qui luật đồng dạng Froude. Sử dụng cơ cấu điều khiển dạng “Semi spade” và profil bánh lái theo mẫu NACA.

- Cơ sở toán học: Sử dụng phương pháp phần tử biên (BEM); Phương pháp xâu chuỗi và Fluent - Ansys.

Xây dựng quy trình tính toán mô phỏng:

Xây dựng quy trình tính toán mô phỏng cho bài toán 2D bằng phương pháp phần tử biên và bài toán 3D bằng phương pháp xâu chuỗi, với các bước cụ thể theo hình 2.1. Đồng thời kết hợp sử dụng CFD với phần mềm Fluent - Ansys.

Phân tích kết quả tính toán mô phỏng:

Kết quả tính toán mô phỏng cho bài toán 2D

Đề thuận lợi so sánh với các kết quả đã được công bố trước, như chương trình PCPAN, PCJET, NCS tiến hành tính toán cho mẫu profil NACA 66 (MOD) (hình 2.2) với các thông số đầu vào cụ thể như sau:

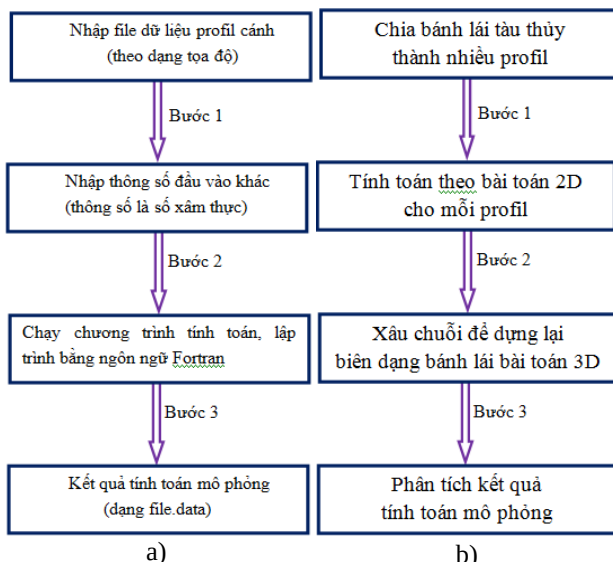
- Các giá trị $a = 0.8$, $t/c = 0.09$, $f/c = 0.02$;
- Giá trị đầu vào với số xâm thực $\sigma = 1.10998$;
- Góc bẻ lái $\alpha^0 = 4^0$.

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 tại bảng 2.1.

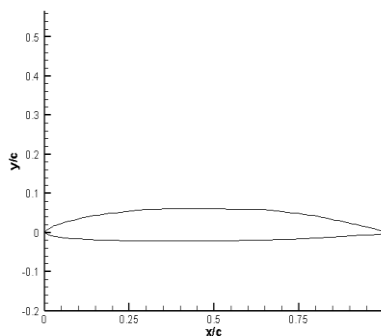
Bảng 2.1. Kết quả tính toán mô phỏng và so sánh với PCPAN và PCJET

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	0.6700
PCPAN	1.10998	0.35976	0.78551
PCJET	1.10998	0.36024	0.75817

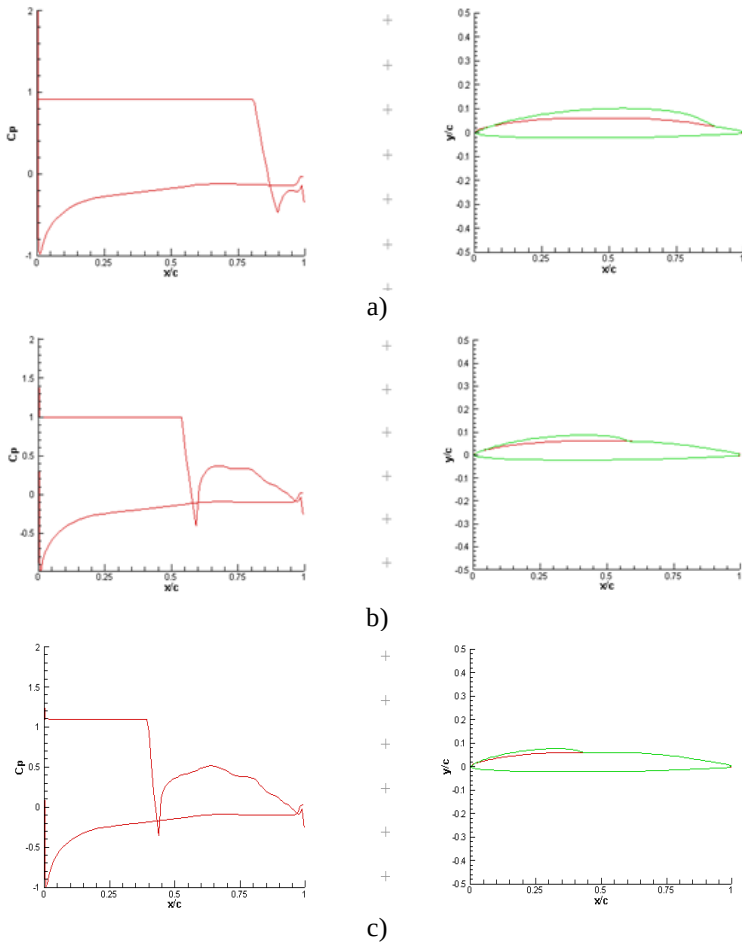
Kết quả tính toán mô phỏng cho mẫu profil NACA 66 (MOD) với các thông số đầu vào khác nhau, xét với trường hợp profil NACA 66 MOD, khi $\alpha = 5^0$ và số xâm thực $\sigma = 0.9$; 1.0; 1.1, được mô tả theo hình 2.3. Trường hợp khác mô tả chi tiết trong luận án.



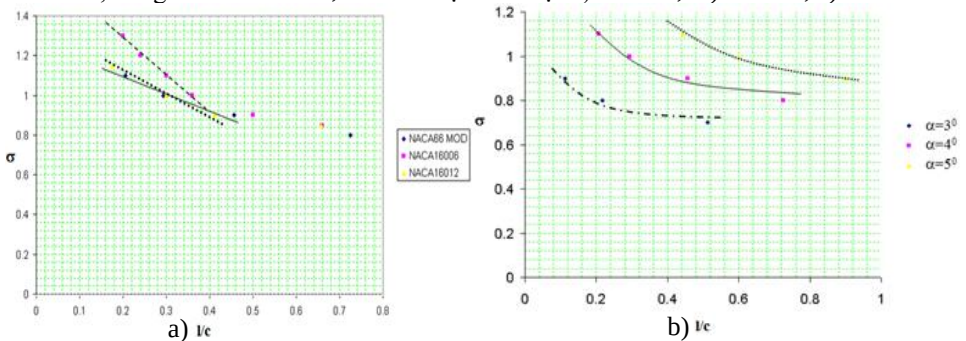
Hình 2.1. Quy trình tính toán mô phỏng:
a) bài toán 2D; b) bài toán 3D



Hình 2.2. Hình ảnh mẫu profil NACA 66 (MOD)



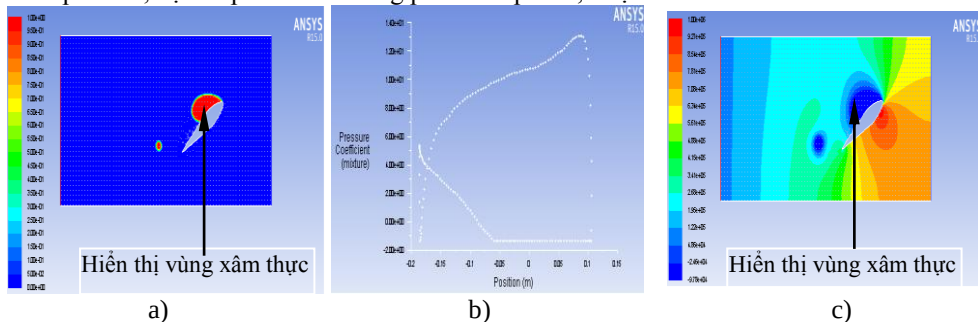
Hình 2.3. Kết quả tính toán phân bố áp suất và kích thước túi hơi của profil NACA 66 MOD, khi góc bề lái $\alpha = 5^\circ$, số xâm thực lần lượt: a) $\sigma = 0.9$, b) $\sigma = 1.0$, c) $\sigma = 1.1$.



Hình 2.4. Quan hệ giữa σ và l/c của profil NACA 66MOD khi: a) $\alpha = 4^\circ$, b) α khác nhau

Với một profil nhất định, chiều dài túi hơi xâm thực l/c , phụ thuộc vào góc bề lái α^0 và số xâm thực σ . Kết quả tính toán mô phỏng cho profil NACA 66MOD về biến thiên của l/c theo σ tại các giá trị góc bề lái α theo hình 2.4.

Hơn nữa, kết quả tính toán mô phỏng theo Fluent - Ansys với các tham số đầu vào theo bảng 2.1 cho profil bánh lái tàu thủy khi cùng giá trị vận tốc tàu $V = 7,5 \text{ m/s}$ và góc bề lái α khác nhau. Giá trị hiển thị tương ứng 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 hình 2.5.



Hình 2.5. Kết quả tính toán mô phỏng khí vận tốc tàu $V = 7,5 \text{ m/s}$ và góc bề lái $\alpha^0 = 35^0$:

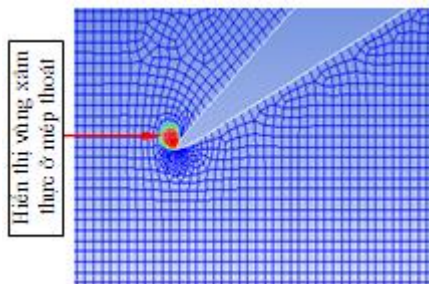
a) phân bố phần trăm pha hơi; b) phân bố hệ số áp suất; c) phân bố áp suất

Phân tích kết quả nhận được từ hình 2.5 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 tàu và góc bề lái đều có giá trị lớn nhất:

- Trên hình 2.5a, 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 $0,175 \text{ m}$. Theo phân loại về xâm thực trên cánh dẫn, thì đây là loại xâm thực cục bộ.

- Trên hình 2.5 b và hình 2.5c, 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 2.6.



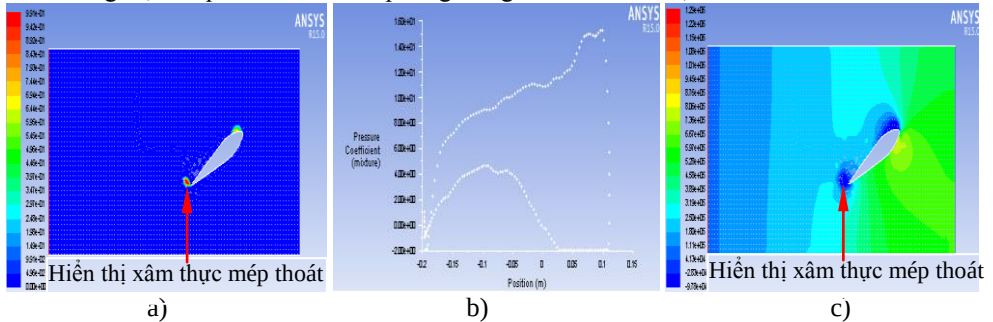
Hình 2.6. Kết quả mô phỏng vùng xâm thực ở mép thoát của profil

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 2.2. Từ đó 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.

Bảng 2.2. Kết quả tính toán chiều dài vùng xâm thực, khi góc bề lái $\alpha = 35^\circ$

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

Tương tự, kết quả tính toán mô phỏng các giá trị nhận được, mô tả theo hình 2.7.



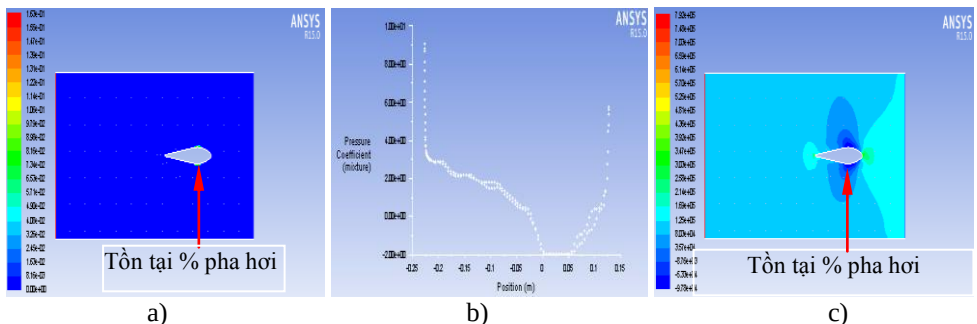
Hình 2.7. Kết quả tính toán mô phỏng khi vận tốc tàu $V = 7,5 \text{ m/s}$ và góc bề lái $\alpha^0 = 30^\circ$:

a) phân bố phần trăm pha hơi; b) phân bố hệ số áp suất; c) phân bố áp suất

Tổng hợp các kết quả tính toán mô phỏng trong trường hợp này cho trong bảng 2.3.

Bảng 2.3. Kết quả tính toán chiều dài vùng xâm thực, khi góc bề lái $\alpha = 30^\circ$

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



Hình 2.8. Kết quả tính toán mô phỏng khi vận tốc tàu $V = 7,5 \text{ m/s}$ và góc bề lái $\alpha^0 = 0^\circ$:

a) phân bố phần trăm pha hơi; b) phân bố hệ số áp suất; c) phân bố áp suất

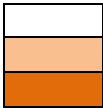
Phân tích kết quả nhận được theo hình 2.8, nhận xét rằng: Phân bố áp suất tại hai phía của profil là gần như hoàn toàn đối xứng, nghĩa là không tồn tại lực bề lái. Tuy nhiên vẫn xuất hiện nơi có phần trăm (%) pha hơi khác không, cụ thể theo hình 2.8a, số phần trăm

pha hơi lớn nhất là 16,3%.

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.

Bảng 2.4. 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							



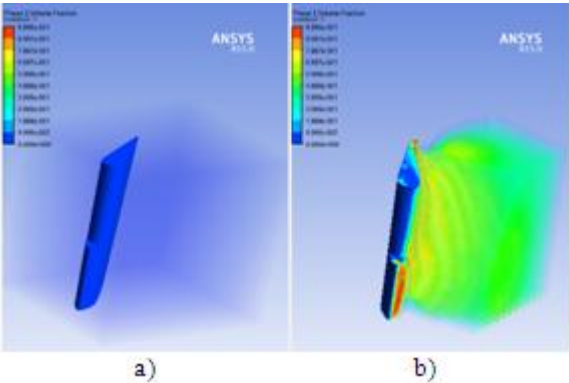
Không xuất hiện xâm thực
Chỉ xâm thực tại mép thoát
Xâm thực mép thoát + xâm thực cục bộ tại mép vào

Kết quả tính toán mô phỏng cho bài toán 2D

Tính toán mô phỏng bài toán xâm thực bánh lái cho một số trường hợp góc bề lái bằng Fluent - Ansys, khi $\alpha^0 = 0^0$ và $\alpha^0 = 30^0$, với vận tốc tàu là $V = 7,5$ m/s, vị trí đặt bánh lái theo hồ sơ tàu lúc đầy tải. Kết quả tính toán mô phỏng theo hình 2.9.

Phân tích kết quả nhận được theo hình 2.9, nhận xét rằng:

- Khi góc bề 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 bề lái thay đổi là $\alpha^0 = 30^0$, 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.



Hình 2.9. Kết quả tính toán mô phỏng phần trăm pha hơi khi: a) $\alpha^0 = 0^0$; b) $\alpha^0 = 30^0$

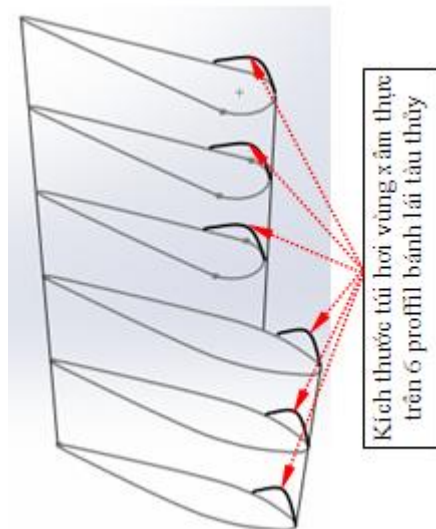
Sử dụng phương pháp xâu chuỗi từ các profil

Phương pháp xâu chuỗi các profil, kèm túi hơi cho phép giảm thiểu khối lượng tính toán bằng Fluent - Ansys. Để tiến hành xâu chuỗi các profil theo bài toán 2D, kèm theo kích thước vùng xâm thực nhằm hình thành bánh lái 3D và vùng xâm thực. Ở đây bánh lái được chia đều thành 06 profil, đồng thời tính toán mô phỏng trường hợp góc bề lái $\alpha^0 = 30^0$, vận tốc đầu vào $V = 7,5 \text{ m/s}$, với độ sâu đặt profil bánh lái so với mặt thoáng được tính theo thực tế. Kết quả tính toán trên từng profil và được xâu chuỗi như hình 2.10.

Kết luận chương 2:

Chương 2 đã 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 số liệu bánh lái 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; 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, cụ thể và tường minh trong các trường hợp về phần trăm pha hơi, phân bố hệ số áp suất, phân bố áp suất, NCS 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.



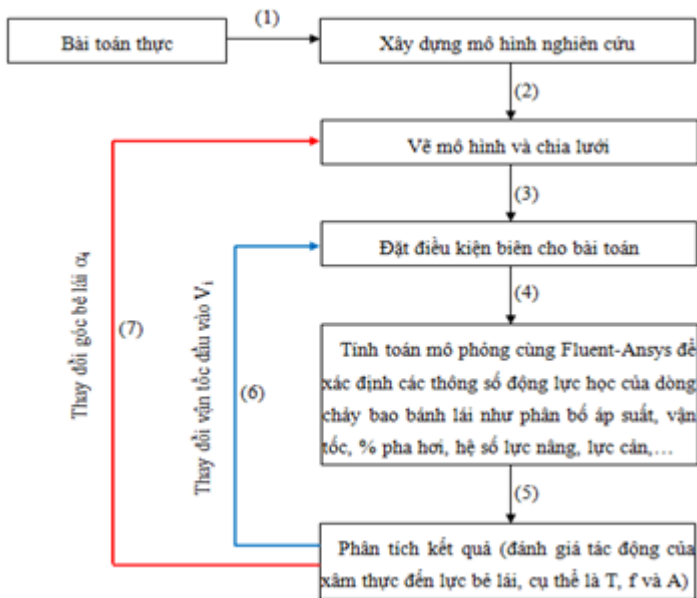
Hình 2.10. Kết quả xâu chuỗi 6 profil kèm vùng xâm thực bánh lái

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

Chương 3 tập trung nghiên cứu đánh giá ảnh hưởng của xâm thực bánh lái đến lực bề lái tàu thủy với các vấn đề sau: Xây dựng quy trình nghiên cứu; Đánh giá ảnh hưởng của xâm thực cục bộ mép vào đến lực bề lái tàu thủy; Đánh giá ảnh hưởng của xâm thực mép thoát đến lực bề lái tàu thủy.

Xây dựng quy trình nghiên cứu

NCS thực hiện 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 7 bước cụ thể theo hình 3.1.



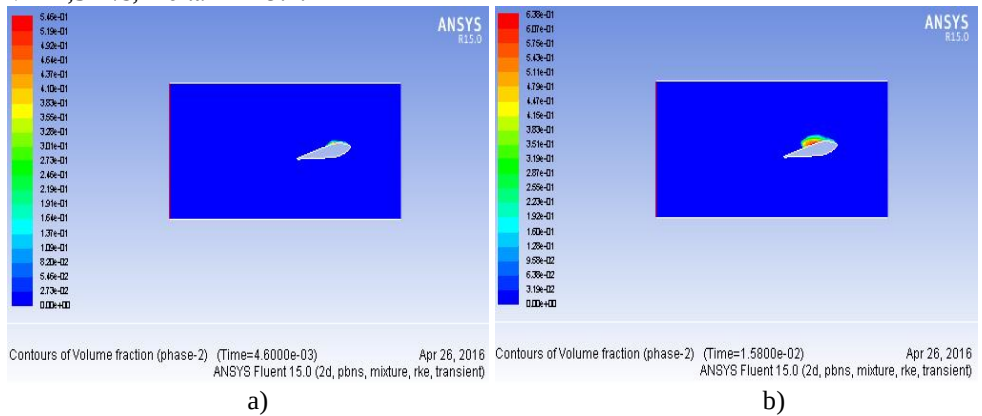
Hình 3.1. Quy trình đánh giá tác động của xâm thực cục bộ tới lực bề lái

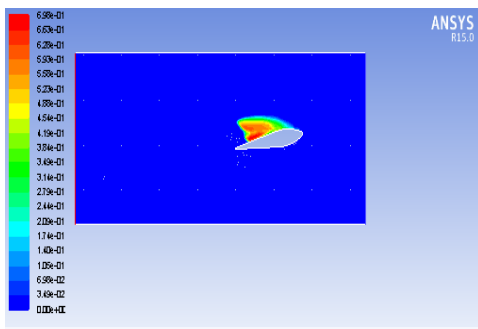
Đánh giá ảnh hưởng của xâm thực cục bộ mép vào đến lực bề lái

Từ kết quả trong chương 2, NCS thực hiện 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.

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

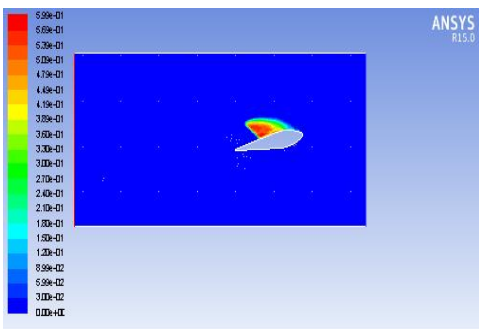
Kết quả tính toán mô phỏng hình ảnh và kích thước túi hơi xâm thực cục bộ tại mép vào tương ứng 6 giai đoạn trong một chu kỳ khi góc bề lái là $\alpha = 20^\circ$ và vận tốc tàu $V = 7,5$ m/s, mô tả hình 3.2.





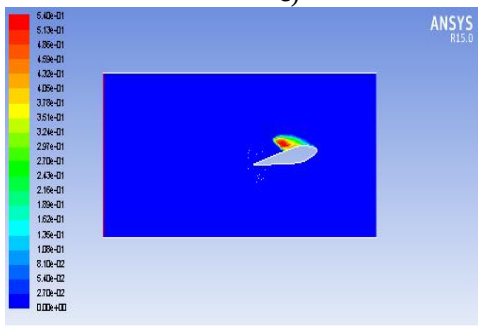
Contours of Volume fraction (phase-2) (Time=6.6400e-02) Apr 28, 2016
ANSYS Fluent 15.0 (2d, dp, pbns, mixture, #e, transient)

c)



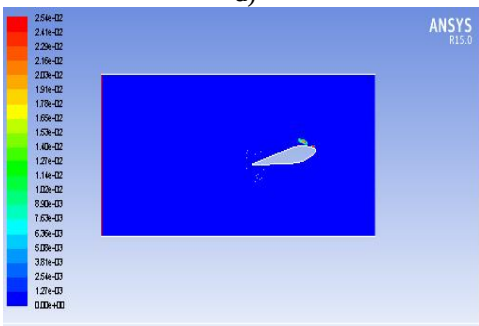
Contours of Volume fraction (phase-2) (Time=7.5400e-02) Apr 28, 2016
ANSYS Fluent 15.0 (2d, dp, pbns, mixture, #e, transient)

d)



Contours of Volume fraction (phase-2) (Time=8.3000e-02) May 04, 2016
ANSYS Fluent 15.0 (2d, pbns, mixture, rke, transient)

e)



Contours of Volume fraction (phase-2) (Time=9.5600e-02) May 04, 2016
ANSYS Fluent 15.0 (2d, pbns, mixture, rke, transient)

g)

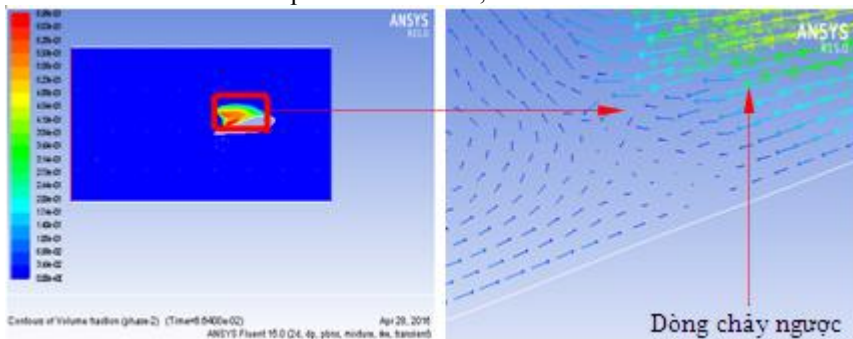
Hình 3.2. Phần trăm pha hơi theo các bước thời gian khác nhau: a) $t_1 = 0,0046s$,

b) $t_2 = 0,0158s$, c) $t_3 = 0,0664s$, d) $t_4 = 0,0754$, e) $t_5 = 0,083s$, g) $t_6 = 0,0956s$

Từ hình 3.2 phân tích cụ thể kết quả nhận được, 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;



Hình 3.3. Kết quả tính toán mô phỏng hình ảnh dòng chảy ngược

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 3.3. Đây là nguyên nhân khiến túi hơi bị bóc ra khỏi bánh lái tàu thủy.

d - 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 ;

e - 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 (T) của 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:
$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{0,091} \approx 11Hz \quad (3.2)$$

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 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 giá 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 $\sin \alpha \approx \alpha$) và có thể tính toán bằng công thức:

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

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

- Xác định phân bố áp suất trên biên dạng bánh lái;

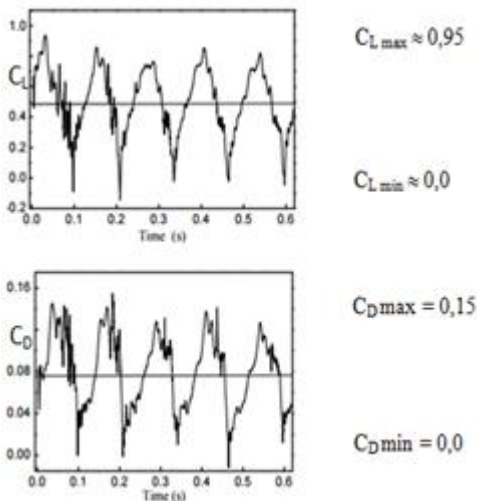
- Từ đó, xác định được áp lực của chất lỏng tác động lên bánh lái;

- Ghi giá trị C_L tương ứng với chu kỳ dao động sẽ được chu kỳ dao động và biên độ dao động tương ứng.

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

Lực bẻ lái được xác định theo công thức:
$$R = \frac{1}{2} \rho C_L A_R V^2 \quad (3.4)$$

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



Hình 3.4. Kết quả tính toán giá trị C_L và C_D tại $\alpha = 20^\circ$; $V = 7,5 \text{ m/s}$

- Biên độ dao động của R_i tính theo:

$$\frac{1}{2}C_{L\min}\rho A_R V^2 \div \frac{1}{2}C_{L\max}\rho A_R V^2 \quad (3.5)$$

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.

Trong đó: L - chiều cao bánh lái (m); k - đoạn xuất hiện xâm thực cục bộ (m).

Từ đây 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 3.5.

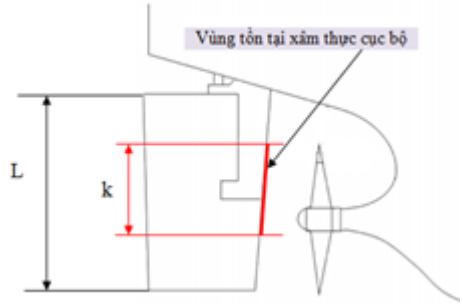
Lực bẻ lái trung bình R_{tb} được xác định như sau:

$$R_{tb} = \frac{1}{4}(C_{L\min} + C_{L\max})\rho A_R V^2 \quad (3.6)$$

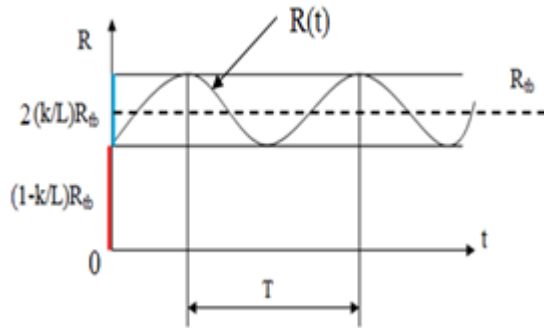
Với các trường hợp xuất hiện xâm thực cục bộ khác nhận được:

- Chu kỳ dao động là như nhau và có giá trị $T \approx 0,091$ s;

- Biên độ dao động của C_L thể hiện qua bảng 3.1.



Hình 3.5. Minh họa vùng xâm thực cục bộ mép vào bánh lái



Hình 3.6. Đồ thị mô tả lực bẻ lái biến thiên theo thời gian

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

Góc bẻ lái α^0	Hệ số lực nâng C_L	Góc bẻ lái α^0	Hệ số lực nâng C_L
20 ⁰	0 ÷ 0,950	30 ⁰	0 ÷ 2,191
25 ⁰	0 ÷ 1,643	35 ⁰	0 ÷ 2,298

Từ hình 3.5 và hình 3.6, phân tích và nhận xét rằng:

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

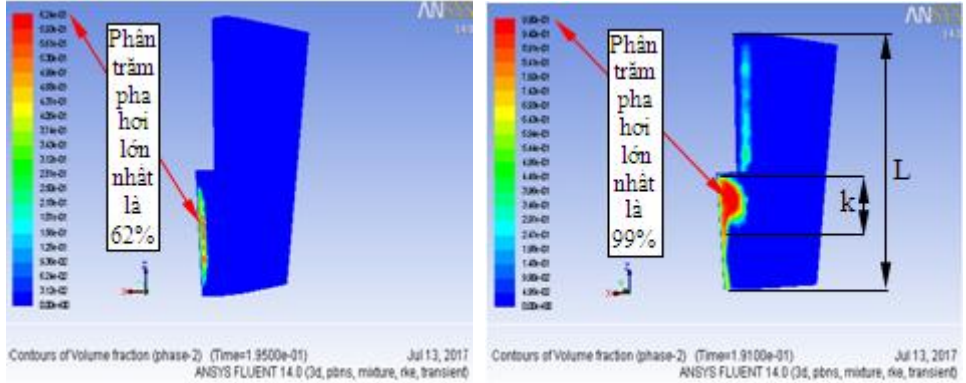
- Chu kỳ dao động và tần số dao động (f) không phụ thuộc vào tốc độ cũng như góc bẻ lái mà phụ thuộc vào loại profil sử dụng làm bánh lái. Như trên đã tính toán với profil bánh lái của tàu M/V TAN CANG FOUNDATION có $T = 0,091$ s và $f = 11$ Hz;

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

$$A = 2 \frac{k}{L} R_{tb} \quad (3.7)$$

Trong đó: R_{tb} được xác định theo công thức (3.6); 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. 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 bề lái khác nhau, 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 mô tả theo hình 3.7.



a)

b)

Hình 3.7. Kết quả tính toán mô phỏng phần trăm pha hơi trên bánh lái

M/V TAN CANG FOUNDATION khi $V = 7,5 \text{ m/s}$ và: a) $\alpha = 15^\circ$, b) $\alpha = 35^\circ$

Phân tích kết quả nhận được theo hình 3.7, nhận xét rằng:

- Đối với hình 3.7a: 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 bề lái ảnh hưởng không đáng kể bởi xâm thực cục bộ.

- Đối với hình 3.7b: 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 bề lái kể đến ảnh hưởng của xâm thực cục bộ trong trường hợp này như sau:

- + Chu kỳ dao động là như nhau $T \approx 0,091 \text{ s}$
- + Biên độ dao động của C_L thể hiện qua bảng 3.1 là: $0 \div 2,298$
- + Lực bề lái trung bình theo (3.6) bằng:

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

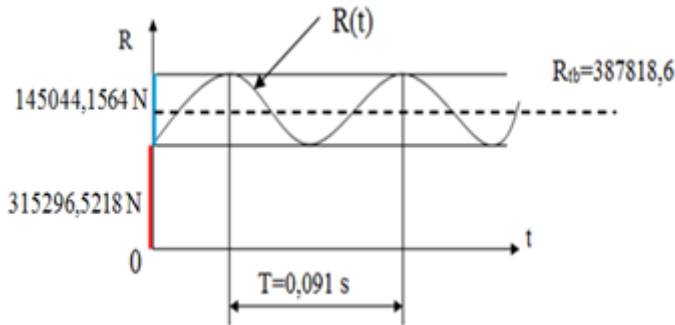
với bánh lái tàu M/V TAN CANG FOUNDATION có giá trị $A_R = 12 \text{ m}^2$, thì:

- + Biên độ dao động của lực bề lái: $A = 2 \frac{k}{L} R_b = 145044,1564 \text{ N}$

- + Giá trị lực bề lái thuộc phần bánh lái không bị xâm thực (R_o):

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

- + Giá trị lực bề lái theo thời gian được thể hiện như hình 3.8.

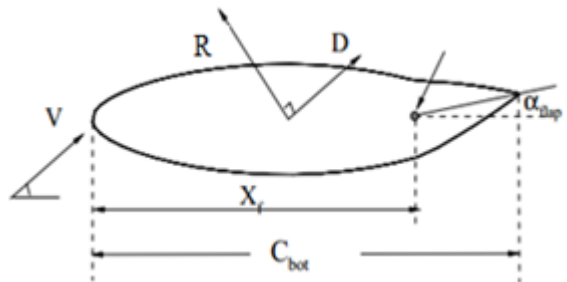


Hình 3.8. Đồ thị mô tả giá trị lực bề lái của tàu

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

Đánh giá ảnh hưởng của xâm thực mép thoát đến lực bề lái tàu thủy

Chương 1 và chương 2 đã đưa ra cụ thể kết quả tính toán mô phỏng xâm thực tại mép thoát bánh lái tàu thủy. Thực tiễn các nhà thiết kế bánh lái tàu thủy đã đưa ra giải pháp làm giảm thiểu hiện tượng này. Từ năm 2000, các tác giả Pyo. S và Suh. J 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 3.9.



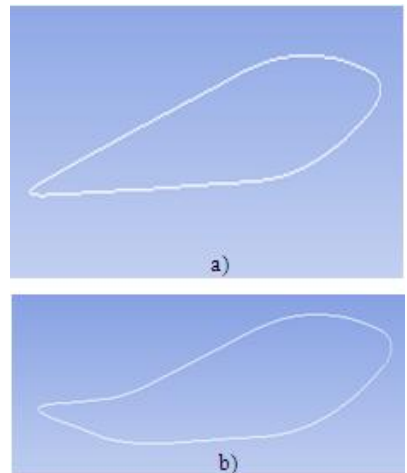
Hình 3.9. Mô hình bánh lái tàu thủy có góc “flap”

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

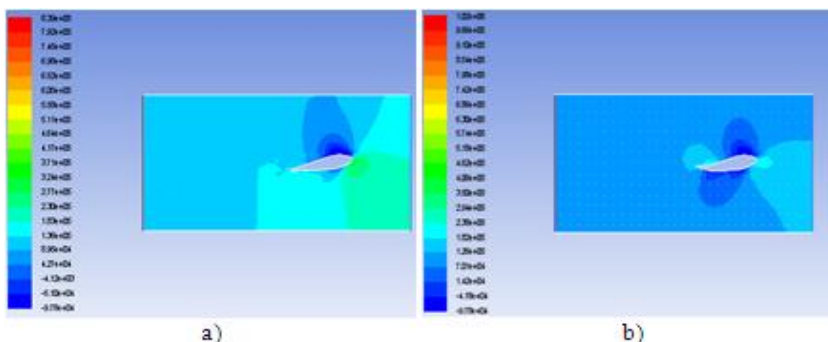
Phân tích và đánh giá kết quả tính toán mô phỏng

Xét hai trường hợp với cùng profil bánh lái tàu thủy, trong đó một trường hợp tạo góc “flap” là 15° , điểm uốn ở vị trí có giá trị $X_f/C_{bot} = 0,75$, đầu vào là góc bề lái $\alpha = 10^\circ$, 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. Hình ảnh profil tính toán mô tả theo hình 3.10.

Thực hiện tính toán mô phỏng hai trường hợp hình 3.10, 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 3.11 đến hình 3.14.

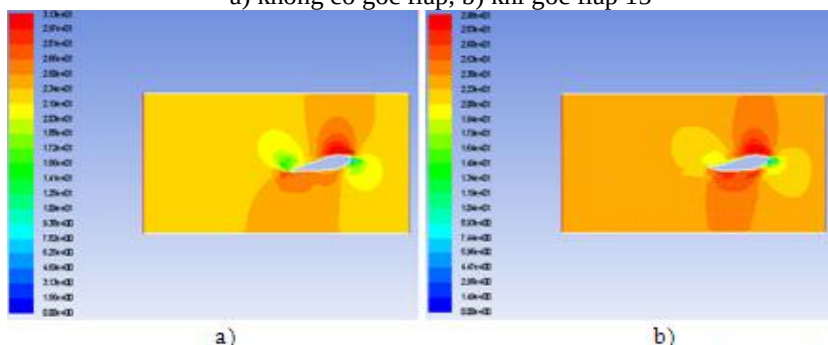


Hình 3.10. Hình ảnh profil bánh lái: a) không có góc flap, b) góc flap 15°



Hình 3.11. Kết quả tính toán mô phỏng phân bố áp suất tĩnh:

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



Hình 3.12. Kết quả tính toán mô phỏng phân bố vận tốc:

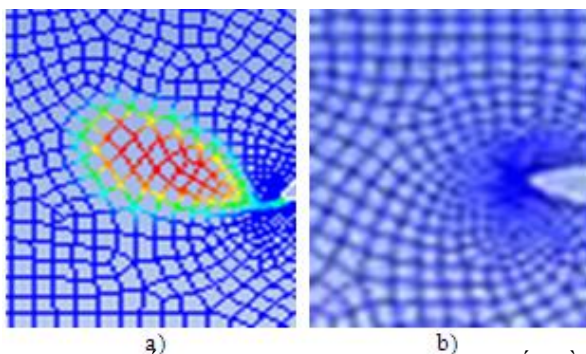
a) không có góc flap, b) khi góc flap 15^0

Việc tạo góc flap ở phía mép thoát đã cải tiến đáng kể đặc tính động lực học dòng chảy bao quanh profil bánh lái.

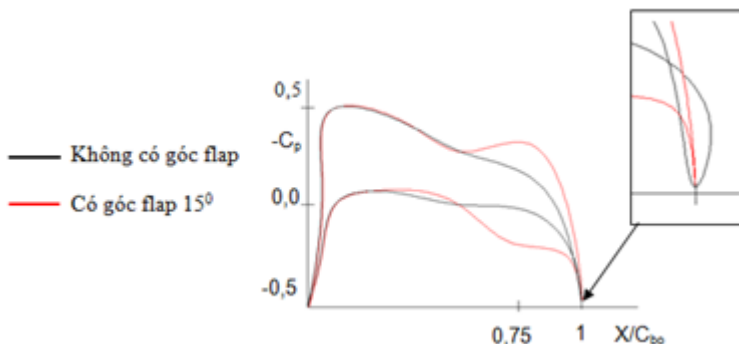
Phân tích kết quả từ hình 3.13, nhận xét rằng: Vùng xâm thực mép thoát khi không có góc flap thể hiện rõ màu đỏ với 100% là pha hơi, nhưng trong trường hợp khi có góc flap (góc flap = 15^0) thì gần như đã dập được vùng xâm thực.

Kết quả nhận được theo hình 3.14, 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. Với chiều bề 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.



Hình 3.13. Kết quả tính toán mô phỏng phân bố phần trăm pha hơi: a) không có góc flap, b) khi góc flap 15^0



Hình 3.14. 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

Kết luận chương 3: Trong chương 3 đã đạt được các kết quả cụ thể cơ bản 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 về chu kỳ, tần số và biên độ dao động của lực bề lái khi xuất hiện xâm thực;
- Xây dựng đồ thị 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;
- Xây dựng mô hình nghiên cứu bằng phương số và quy trình tính toán mô phỏng ảnh hưởng của xâm thực mép thoát. Từ đó thực hiện so sánh với giải pháp có góc flap tại mép thoát, với các kết quả tính toán mô phỏng cụ thể nhằm 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

Chương 4 tập trung nghiên cứu thực nghiệm và đã giải quyết cụ thể các vấn đề sau: Tổng quan về nghiên cứu thực nghiệm xâm thực bánh lái tàu thủy; Thiết kế và chế tạo một phần trong hệ thống phục vụ nghiên cứu thực nghiệm; Phân tích, so sánh và đánh giá kết quả; Kết quả khảo sát thực địa.

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

Từ nghiên cứu tổng quan về các hệ thống thực nghiệm liên quan trên thế giới cũng như ở trong nước, NCS kết hợp với nhóm nghiên cứu đưa ra ý tưởng thiết kế và chế tạo một phần liên quan đến quan sát hiện tượng xâm thực và ảnh hưởng đến lực bề lái tàu thủy, nhằm chủ động giải quyết vấn đề nghiên cứu trong luận án đặt ra. Đây là quá trình kết hợp chặt chẽ giữa vấn đề nghiên cứu trong luận án tiến sĩ với 02 đề tài KHCN cấp Bộ mà NCS là chủ nhiệm đề tài và thành viên tham gia. Hệ thống thí nghiệm này (hình 4.1), đã được Hội đồng Khoa học chuyên ngành đánh giá, theo Quyết định số 1482/QĐ-ĐHHVN-KHCN, 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 của Bộ trưởng Bộ Giao thông vận tải

với kết quả xếp loại A (xuất sắc). Trong luận án đã mô tả chi tiết nguyên lý chung, các thông số kỹ thuật, tính năng, ưu nhược điểm và quy trình vận hành hệ thống.

Các số liệu đầu vào được quy đổi theo tiêu chuẩn đồng dạng Froude, trong đó cụm chân vịt và bánh lái được thiết kế, chế tạo đồng dạng theo hồ sơ tàu M/V TAN CANG FOUNDATION. Sử dụng với 7 thông số vận hành của vòng quay chân vịt thực, theo hồ sơ M/V TAN CANG FOUNDATION là: $n_t = \{90; 100; 110; 120; 130; 140; 150\}$ (rpm).

Tương ứng với vận tốc thực, được xác định theo công thức: $(Vp)_t = n_t h$ (4.1)
Trong đó: P - bước của chân vịt, P = 2,459 m; h - bước tiến thật, h = 0,2P.

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

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

Tuy nhiên, do hệ thống chỉ có 4 số tốc độ quy đổi là $n_m = \{380; 410; 445; 475\}$ (rpm), tương ứng với 4 vòng quay của chân vịt $n_t = \{120; 130; 140; 150\}$ (rpm), nên khi tiến hành thí nghiệm trên hệ thống, chỉ thực hiện với 4 số vòng quay.

Góc bề lái được chia thành 8 trường hợp là: $\alpha^0 = \{0^0, 5^0, 10^0, 15^0, 20^0, 25^0, 30^0, 35^0\}$

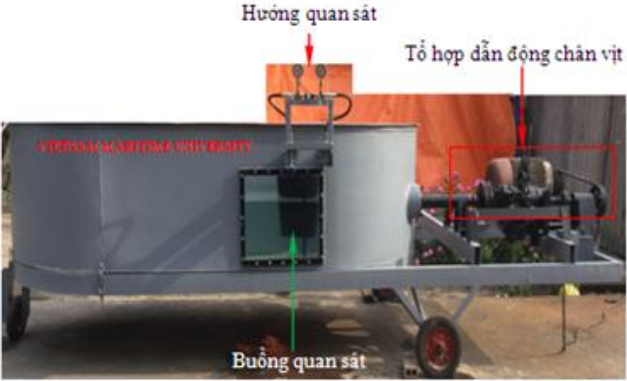
Như vậy, sẽ có 32 trường hợp tiến hành thí nghiệm, kết hợp với kết quả tính toán mô phỏng trong bảng 2.4, tổng hợp các phương án nghiên cứu thực nghiệm như bảng 4.1.

Bảng 4.1. 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						Không xâm thực
5 ⁰							
10 ⁰							
15 ⁰							
20 ⁰							Xâm thực mép thoát
25 ⁰							
30 ⁰							Xâm thực mép thoát và xâm thực cục bộ mép vào
35 ⁰							

Một số kết quả tính toán: Xét trường hợp đặc trưng nhất, khi góc bề lái $\alpha = 35^0$ và số vòng quay chân vịt $n_m = 475$ rpm (tương ứng $n_t = 150$ rpm) là lớn nhất.

Rõ ràng, việc ứng dụng CFD tính toán mô phỏng chiều dài túi hơi xâm thực cục bộ trong chương 2 và chương 3 đã chỉ ra phần trăm pha hơi trong không gian tính toán (đòng chảy bao quanh bánh lái), kết hợp nghiên cứu thực nghiệm trên hệ thống cho hình ảnh vùng xâm thực tương đồng (hình 4.2).



Hình 4.1. Hệ thống nghiên cứu thí nghiệm

Hình 4.3 mô tả kết quả so sánh tính toán mô phỏng bằng CFD và trên hệ thống thí nghiệm trong quá trình quan sát xối bọt khí và hiện tượng xâm thực:

Từ các điểm làm việc có xâm thực cục bộ tại mép vào bánh lái kết hợp kết quả tính toán mô phỏng trong chương 2, chương 3 và tổng hợp theo hình 4.4, 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 bẻ lái nhưng vận tốc nhỏ hơn so với nghiên cứu thực nghiệm;

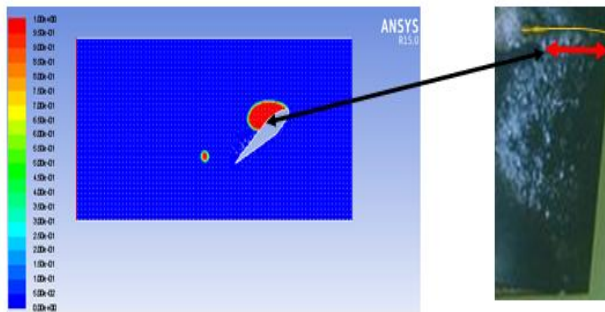
- Ngược lại việc sử dụng CFD cho kết quả có xâm thực cục bộ ở cùng vận tốc $V = 7,5$ m/s nhưng góc bẻ lái $\alpha > 25^\circ$ và $\alpha > 20^\circ$ đối với nghiên cứu thực nghiệm.

Kết quả tính toán giá trị lực bẻ lái trung bình bằng ba phương pháp sau:

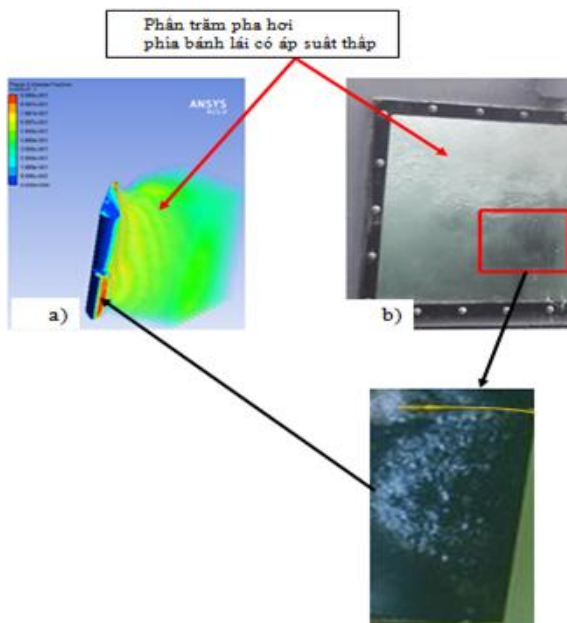
- Theo công thức thực nghiệm (1.1);

- 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 và 2.



Hình 4.2. So sánh kết quả tính toán mô phỏng chiều dài túi hơi xâm thực với profil khảo sát trên hệ thống thí nghiệm



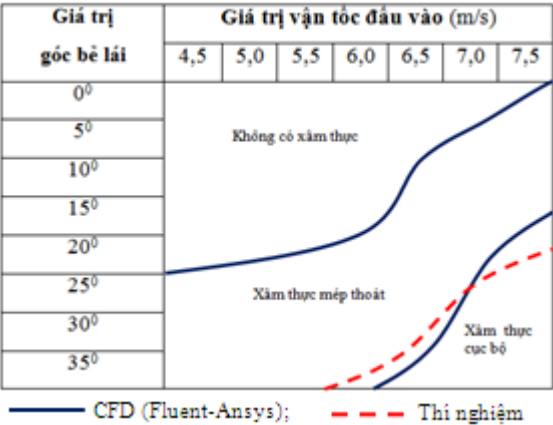
Hình 4.3. So sánh kết quả quan sát xối bọt khí và hiện tượng xâm thực:
a) tính toán mô phỏng bằng CFD; b) trên hệ thống thí nghiệm

Từ kết quả tính toán giá trị lực bề lải R, theo ba phương án được mô tả theo bảng 4.2.

Tương ứng với mỗi tổ hợp (n_i, α_i) sẽ có 3 bộ giá trị thứ tự lần lượt từ trên xuống, gồm: Kết quả tính toán giá trị theo công thức thực nghiệm; tính toán mô phỏng bằng CFD với phần mềm Fluent - Ansys; thực nghiệm trên hệ thống thí nghiệm.

Từ kết quả trong bảng 4.2, xây dựng trên cùng đồ thị các giá trị lực bề lải theo hình 4.5, nhận xét rằng:

- Đồ thị mô tả giá trị lực bề lải trung bình dạng đường thẳng và tỷ lệ thuận với giá trị góc bề lải. Đồ thị giá trị $R_{thực\ nghiệm}$ nằm phía trên đồ thị lực bề lải $R_{mô\ phỏng}$, cuối cùng là đồ thị $R_{thí\ nghiệm}$;
- Ba đường đồ thị này bám sát nhau. Khi góc bề lải tăng dần (bắt đầu từ $\alpha = 20^0$ trở lên), thì xuất hiện rõ sự chênh lệch, nhưng sự chênh lệch này không quá lớn.



Hình 4.4. Tổng hợp kết quả xuất hiện xâm thực trên bánh lái khảo sát bằng CFD và thí nghiệm

Bảng 4.2. Tổng hợp kết quả tính toán giá trị lực bề lải theo ba phương pháp

Vòng quay (rpm)	Góc bề lải (α^0)							
	0 ⁰	5 ⁰	10 ⁰	15 ⁰	20 ⁰	25 ⁰	30 ⁰	35 ⁰
	Lực bề lải trung bình R_b (N)							
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	85807,0	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	38112,96	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

Chúng tỏ rằng: Với tỷ lệ chênh lệch biến thiên từ 2,69% ÷ 12% theo ba phương pháp khác nhau (xét trường hợp góc bề lải lớn nhất và vòng quay chân vịt lớn nhất), thì kết quả tính toán mô phỏng và kết quả nghiên cứu thực nghiệm trên hệ thống đảm bảo độ tin cậy.

Đối với các trường hợp còn lại hoàn toàn phân tích, đánh giá và so sánh tương tự. Mặt khác, NCS cùng tập thể hướng dẫn và thành viên khác đã thực hiện khảo sát thực địa trên tàu M/V TAN CANG FOUNDATION, khi tàu cập cảng và hành trình trên tuyến luồng Hải Phòng vào tháng 12/2015 và tháng 7/2017. Hơn nữa, tháng 5/2016 tàu M/V TAN CANG FOUNDATION lên đà sửa chữa định kỳ tại Nhà máy Đóng tàu Ship Marine Sài Gòn, đã khảo sát và nghiên cứu cụ thể hiện tượng xâm thực trên bánh lái.

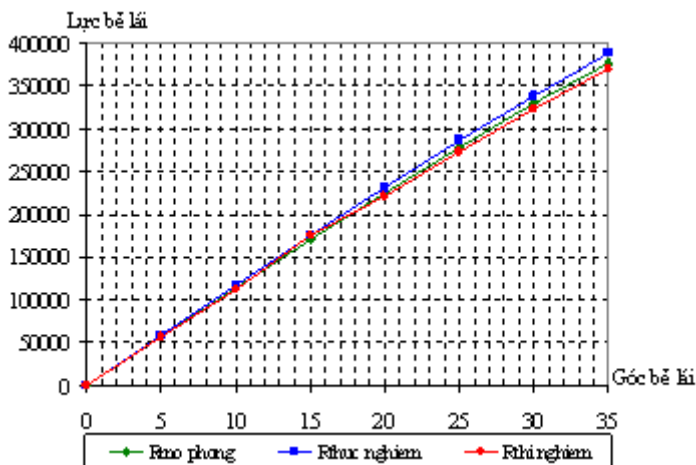
Kết luận chương 4: Tập trung nghiên cứu thực nghiệm, thực hiện phân tích, so sánh và đánh giá nhằm minh chứng cho một số kết quả chính đạt được trong luận án, cụ thể:

- 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 phần nghiên cứu thực nghiệm liên quan đến xâm thực bánh lái tàu thủy trên hệ thống thí nghiệm. 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 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;

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



Hình 4.5. Tổng hợp và so sánh kết quả tính toán lực bẻ lái theo ba phương pháp khác nhau

KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

1. KẾT LUẬN

Bằng các phương pháp nghiên cứu đã thực hiện trong đề tài luận án, luận án đã đạt 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 bẻ 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 với phần mềm Fluent-Ansys 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 bẻ lái và tốc độ tàu khác nhau. Từ các kết quả tính toán mô phỏng chi tiết 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 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:

- Chu kỳ $T = 0,091s$; Tần số $f = 11Hz$ và Biên độ dao động của lực bề lái $A = 2 \frac{k}{L} R_{tb}$

- Xây dựng quy luật biến thiên lực bề lái theo thời gian $R(t)$ khi có xâm thực cục bộ tại mép vào bánh lái. 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 $V = 7,5 m/s$;

- 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 và phân tích, đánh giá ưu và nhược điểm của hệ thống.

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

- Đã thí nghiệm ảnh hưởng của xâm thực bánh lái đến lực bề 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 bề lái tương ứng với tổ hợp tốc độ dòng chảy bao quanh bánh lái và góc bề 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, hơn nữa được quan sát khảo sát thực tế khi tàu lên đà sửa chữa định kỳ, 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 hoặc chưa có điều kiện để so sánh với các hệ thống trên thế giới. Tuy nhiên, kết quả nghiên cứu thí nghiệm trên hệ thống không ảnh hưởng nhiều, bởi vì trong luận án đã sử dụng phương pháp tiếp cận là phân tích, đánh giá và so sánh kết quả tính toán theo các phương pháp khác nhau. Từ đó tính toán và rút ra sự chênh lệch giá trị lực bề lái tàu thủy giữa các phương pháp.

2.2. Trong điều kiện cho phép, NCS cùng nhóm 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.