

NGHIÊN CỨU ẢNH HƯỞNG CỦA HÌNH DẠNG CẦU DẪN LÊN
ĐỘ BỀN CỤC BỘ KẾT CẤU CẦU DẪN TRÊN
TÀU CAO TỐC HAI THÂN HOẠT ĐỘNG TRÊN NƯỚC TĨNH
RESEARCH ON THE INFLUENCE OF BRIDGE DECK SHAPE ON
THE LOCAL STRENGTH OF BRIDGE DECK STRUCTURE ON
HIGH-SPEED CATAMARAN OPERATING ON STILL WATER

ĐÀM VĂN TÙNG

Khoa Máy tàu biển, Trường Đại học Hàng hải Việt Nam

Email liên hệ: tungdv.mtb@vimaru.edu.vn

Tóm tắt

Tính toán đảm bảo độ bền cục bộ kết cấu cầu dẫn là một bài toán quan trọng trong việc xây dựng và thiết kế kết cấu tàu cao tốc hai thân. Sự phát triển liên tục của các đội tàu hai thân trên thế giới đã dẫn đến sự đa dạng hóa về kiểu dáng của kết cấu cầu dẫn. Điều này mở ra vấn đề về ảnh hưởng của hình dạng cầu dẫn lên độ bền cục bộ kết cấu cầu dẫn của tàu hai thân. Bài báo tập trung vào việc tính toán và nghiên cứu độ bền cục bộ của các dạng kết cấu cầu dẫn đang được áp dụng hiện nay, bằng việc sử dụng phương pháp phần tử hữu hạn (FEM) thông qua phần mềm Solidworks Simulation.

Từ khóa: Tàu cao tốc hai thân, độ bền cục bộ, kết cấu cầu dẫn, phần tử hữu hạn.

Abstract

Calculating to ensure the local strength of bridge deck structure is an important task in the construction and design of high-speed Catamaran ships. The continuous development of Catamaran fleet worldwide has led to a diversity in the design of bridge structures. This raises the issue of the influence of bridge deck shape on the local strength of the bridge deck structure of twin-hull ships. The present paper focuses on calculating and studying the local strength of the various bridge deck structure types currently in use by utilizing the finite element method (FEM) through Solidworks Simulation software.

Keywords: High-speed catamaran, local strength, bridge deck structure, finite element method (FEM).

1. Đặt vấn đề

Với đường bờ biển dài cùng hơn 3000 hòn đảo lớn nhỏ chạy dọc theo đất nước và các vịnh biển hoang sơ... đã tạo điều kiện cho việc khai thác và phát triển ngành du lịch biển ở Việt Nam. Sự phát triển của ngành du lịch biển, kéo theo nhu cầu về việc vận

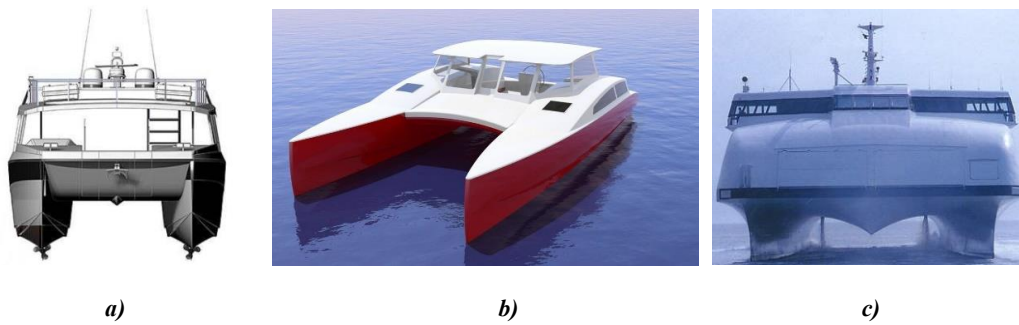
chuyển hành khách tại các cảng tàu khách của Việt Nam ngày càng lớn. Điều này dẫn đến việc xuất hiện các đội tàu cao tốc ngày càng nhiều. Với những ưu điểm vượt trội về tính ổn định trên sóng, mặt boong khai thác rộng, hiệu suất khai thác lớn hơn so với các tàu cao tốc một thân, do đó tàu cao tốc hai thân đang được các đơn vị chủ tàu tập trung vào nghiên cứu và phát triển với mục đích tăng tính hiệu quả trong quá trình khai thác[1].

Trong kết cấu của tàu cao tốc hai thân, cầu dẫn là kết cấu kết nối giữa 2 thân tàu với nhau và là nơi thực hiện chức năng lưu trữ hàng hóa (hành khách, thiết bị,...) trong quá trình vận hành khai thác. Do đó, đây sẽ là khu vực chịu nhiều tải trọng cục bộ trong quá trình khai thác. Việc tính toán, thiết kế và đánh giá độ bền kết cấu cục bộ của cầu dẫn đóng vai trò vô cùng quan trọng trong việc xác định độ bền kết cấu cục bộ của toàn tàu. Bài báo tập trung vào việc nghiên cứu, tính toán và đánh giá ảnh hưởng của hình dạng cầu dẫn lên độ bền cục bộ kết cấu cầu dẫn trên tàu cao tốc hai thân hoạt động trên nước tĩnh. Kết quả của nghiên cứu hoàn toàn có thể được sử dụng cho việc đề xuất lựa chọn hình dạng cầu dẫn tàu phù hợp với nhu cầu khai thác của đơn vị chủ tàu.

2. Nghiên cứu các kiểu dáng kết cấu và cơ sở lý thuyết của phương pháp phần tử hữu hạn trong tính toán độ bền kết cấu

2.1. Các kiểu dáng kết cấu cầu dẫn

Trong thiết kế tàu cao tốc hai thân, việc lên ý tưởng thiết kế kết cấu cầu dẫn đóng vai trò quan trọng trong việc đảm bảo tính an toàn và thẩm mỹ của tổng thể tàu. Hiện nay, trên thế giới các đội tàu cao tốc hai thân xuất hiện ngày nhiều với nhiều kiểu dáng về kết cấu cầu dẫn khác nhau. Dựa trên nhu cầu về khai thác, đặc thù của vùng biển khai thác các kỹ sư thiết kế trên thế giới đã có nhiều ý tưởng cho việc thiết kế kết cấu cầu dẫn (Hình 1). Các kiểu dáng kết cấu cầu dẫn phổ biến hiện nay bao gồm: Cầu dẫn phẳng (1a); cầu dẫn cong (1b) và cầu dẫn cong dạng chữ V (1c).



Hình 1. Các kiểu dạng cầu dẫn tàu cao tốc hai thân

2.2. Phương pháp tính toán

Với việc 2 thân tàu được kết nối với nhau bởi kết cấu cầu dẫn đã tạo ra rất nhiều ưu điểm lớn của tàu khách hai thân so với các tàu đơn thân trong việc: Gia tăng không gian lưu trữ hành khách, thiết bị; tăng tính thoải mái về không gian cho hành khách [1]. Do đó việc nghiên cứu độ bền kết cấu cầu dẫn đóng vai trò quan trọng trong quá trình thiết kế tàu cao tốc hai thân.

Bảng 1. Thông số kết cấu cầu dẫn

Nội dung	kích thước
Chiều dài cầu dẫn	28,03m
Chiều rộng cầu dẫn	5,16m
Chiều cao cầu dẫn	0,8m
Độ dày tôn vỏ	6mm
Độ dày sống dọc	6mm
Quy cách dầm dọc	HP76x5
Độ dày sống ngang	6mm
Vật liệu	Nhôm 6061 ([σ]=125N/m ²)

Với đặc thù là tàu có độ dài ngắn và chiều rộng lớn (Tỷ số L/B nhỏ), vì vậy trong thiết kế tàu cao tốc hai thân các kỹ sư thiết kế sẽ tập trung vào việc đánh giá độ bền cục bộ kết cấu của tàu. Trong bài báo này, bằng phương pháp phần tử hữu hạn (FEM) sử dụng công cụ

mô phỏng số Solidworks Simulation, tác giả tập trung vào việc tính toán độ bền cục bộ kết cấu cầu dẫn tàu cao tốc hai thân có thông số thiết kế được thể hiện trên Bảng 1 và Hình 2 [2-4].

Bằng phương pháp FEM, độ bền cục bộ của kết cấu cầu dẫn được đánh giá dựa trên giá trị về ứng suất Von-mises, trong đó vật liệu kết cấu sẽ bị phá hủy tại vị trí mà ở đó ứng suất Von-mises vượt qua giá trị ứng suất cho phép của vật liệu.

$$\sigma_{\text{von-mises}} \leq [\sigma] \text{ (MPa)} \quad (1)$$

3. Mô hình phân tích

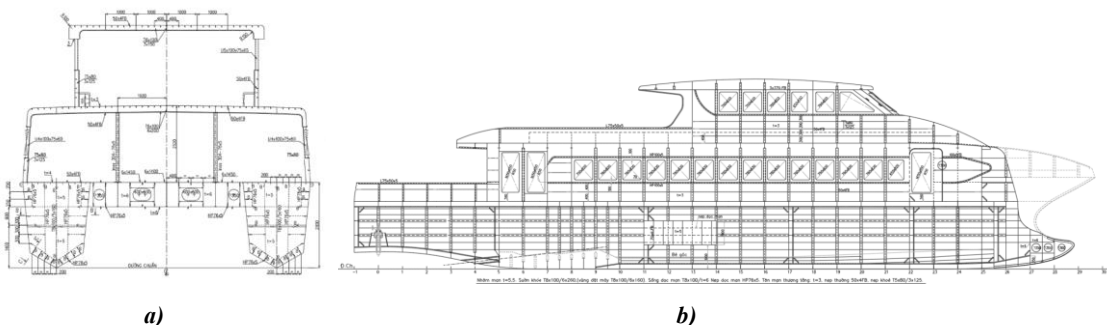
3.1. Mô hình 3D và tính toán

Mô hình 3D kết cấu tàu dẫn được xây dựng dựa theo bản vẽ kết cấu cầu dẫn của tàu mẫu (Hình 2). Trong bài báo này, ngoài phương án kết cấu cầu dẫn ban đầu theo tàu mẫu (Type 1), tác giả đề xuất và đưa ra thêm 2 dạng kết cấu cầu dẫn (Type 2 và Type 3) dựa theo các dạng kết cấu được các đội tàu khác trên thế giới sử dụng. Các dạng kết cấu này không có sự thay đổi lớn về kích thước tổng thể so với phương án ban đầu, tuy nhiên bài báo sẽ tập trung vào việc thay đổi hình dạng của tôn vỏ phía đáy cầu dẫn (Hình 3 a, b, c).

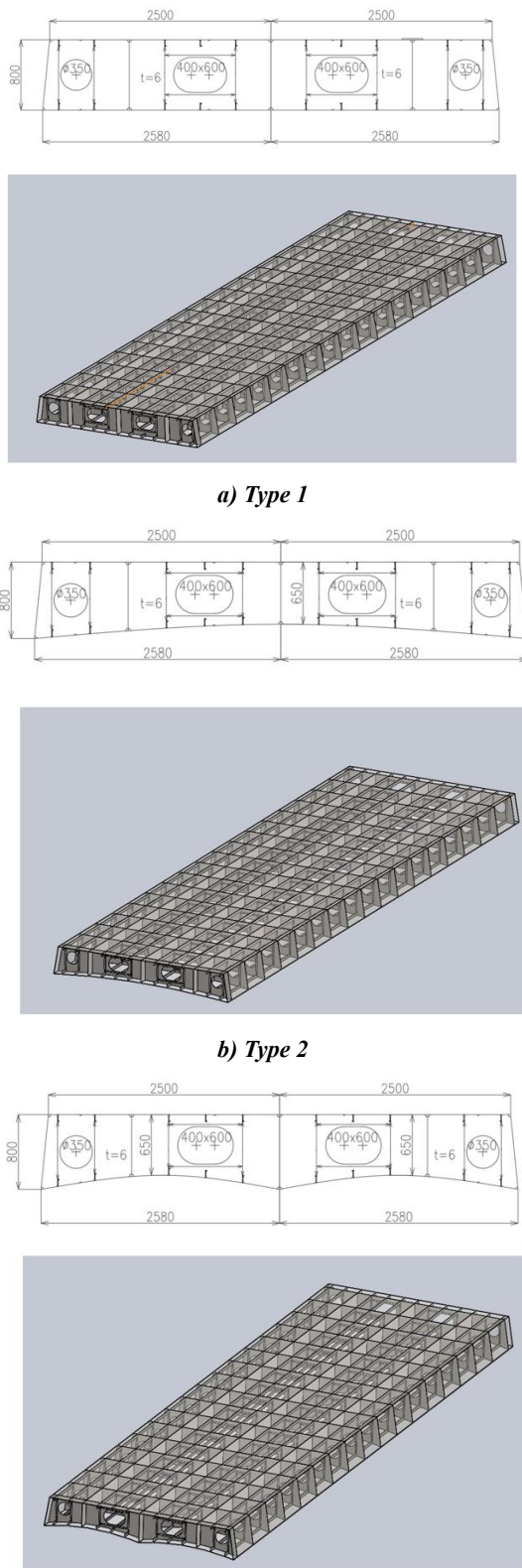
3.2. Điều kiện biên, tải trọng và lưới tính toán

Điều kiện biên

Trong tính toán mô phỏng độ bền kết cấu, độ chính xác của kết quả đầu ra phụ thuộc vào việc thiết lập điều kiện biên, tải trọng và lưới tính toán của bài toán.



Hình 2. Kết cấu mặt cắt ngang (a) và mặt cắt dọc tàu (b)

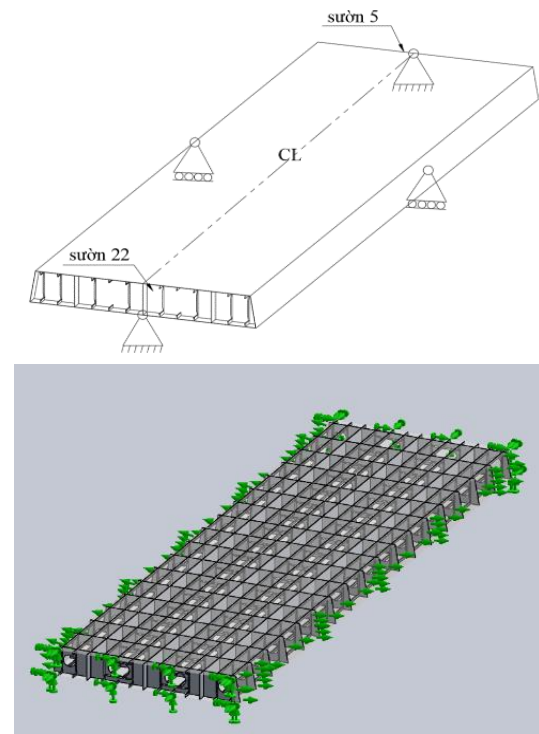


Hình 3. Mô hình 3D các dạng kết cấu cầu dẫn

Theo kết cấu của tàu mẫu (Hình 2a), vị trí sườn số 5 là vị trí vách sau của buồng máy và vị trí sườn

số 22 là vị trí vách trước của vùng boong chứa khách. Do đó trong bài toán tính độ bền kết cấu, tác giả mô phỏng vùng boong tính toán từ khu vực của sườn số 5 đến vị trí sườn số 22.

Dựa trên kết cấu tàu mẫu, hoạt động thực tế của tàu khách hai thân và các tài liệu nghiên cứu tin cậy về tính toán độ bền kết cấu cục bộ của tàu hai thân, tác giả đã thiết lập điều kiện biên cho bài toán mô phỏng độ bền cục bộ của cầu dẫn tàu khách hai thân theo sơ đồ được thể hiện trên Hình 4 [3, 4]. Trong đó: Tại vị trí sườn số 5 và số 22 được thiết lập các gối cố định; tại vị trí liên kết giữa cầu dẫn và hai thân tàu được gắn các gối di động.



Hình 4. Mô hình điều kiện biên

Tải trọng

Trong quá trình khai thác, kết cấu cầu dẫn là khu vực chịu tải trọng phức tạp, bao gồm: Tải trọng từ khối lượng của hàng hóa, hành khách, thiết bị trên mặt boong; tải trọng do hai thân tàu tác dụng lên dọc hai bên cầu dẫn gây ra momen xoắn đối với tâm cầu; tải trọng do nước biển va đập vào vùng đáy cầu dẫn trong quá trình di chuyển. Dựa trên các yêu cầu về tính toán và thiết kế cầu dẫn, người thiết kế cân phân tích 6 trạng thái tải trọng bao gồm: Tàu trên nước tĩnh, tàu trên đỉnh sóng, tàu trên đáy sóng, tàu ngang sóng, tải lệch gây xoắn và uốn xoắn đồng thời [3, 4].

Với mô hình trong nghiên cứu này, bài báo tập trung vào phân tích và đánh giá khu vực nguy hiểm của tàu ở trạng thái tàu di chuyển trên nước tĩnh.

Việc tàu di chuyển trên nước tĩnh với tốc độ lớn sẽ làm dòng chảy giữa hai thân va đập vào nhau và đập lên phần đáy của cầu dẫn. Do đó, trong bài báo này ngoài việc áp dụng tải trọng boong do khối lượng hành khách và thiết bị tác dụng lên mặt boong cầu dẫn, bài báo tính thêm lượng tải do nước biển đập vào đáy cầu trong quá trình hoạt động nhằm gia tăng trạng thái nguy hiểm của cầu dẫn.

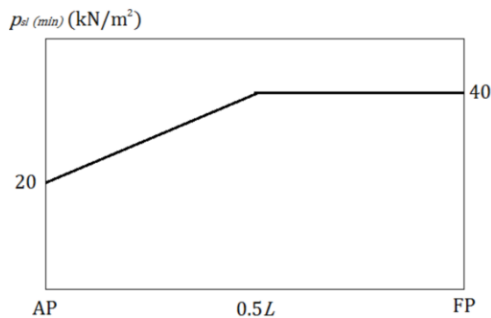
Tải trọng boong tác dụng lên cầu dẫn được xác định theo công thức (2) thuộc Mục 2.3.1 thuộc quy phạm DNV [5].

Tải trọng boong tác dụng lên cầu tàu:

$$p = r \cdot H \cdot (g_0 + 0,5a_v) \quad (\text{kN/m}^2) \quad (2)$$

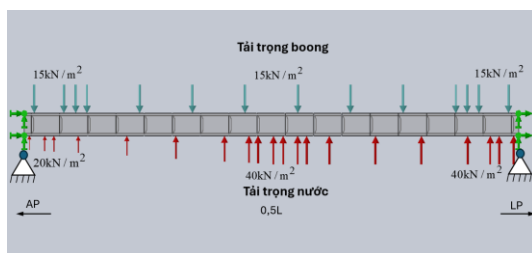
Trong đó: $r \cdot H = 0,95 \text{ t/m}^2$ - mật độ tải trọng trên boong hành khách; $a_v = 5 \text{ m/s}^2$ - gia tốc chuyển động thẳng đứng của tàu; $g_0 = 9,81 \text{ m/s}^2$ - gia tốc trọng trường.

Tải trọng do nước va đập lên đáy cầu dẫn trong bài báo được xác định theo biểu đồ phân bố tối thiểu tải trọng nước tác dụng lên đáy cầu dẫn thuộc Mục 3.2.1 trong quy phạm DNV (Hình 5) [5].



Hình 5. Tải trọng nước tối thiểu tác dụng lên đáy cầu dẫn

Theo thông số đầu vào của kết cấu và các quy định về tải trọng, bài báo thiết lập tải trọng cho việc tính toán như trong Hình 6.

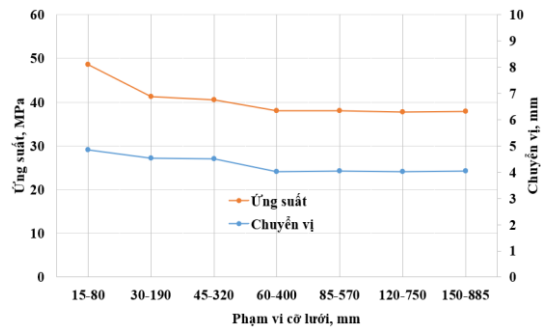


Hình 6. Tải trọng tác dụng lên kết cấu cầu dẫn

Lưới tính toán

Bài báo sử dụng dạng lưới Curvature-Based Mesh trong Solidworks Simulation để tiến hành việc chia lưới bề mặt phần tử. Đây là dạng lưới cho phép chia lưới trên các bề mặt phẳng và bề mặt cong, do đó các lưới tính toán được đảm bảo tính liên tục trong quá

trình chia. Để xác định độ hội tụ của lưới phần tử trong quá trình tính toán, nghiên cứu đã tiến hành chạy lưới mô phỏng cho 7 trường hợp kích thước phạm vi lưới trong Solidworks Simulation. Kết quả của 7 trường hợp về kích thước phạm vi lưới tính toán được thể hiện trên Hình 7. Sơ đồ hội tụ cho thấy với phạm vi lưới 60-400 (mm) kết quả của bài toán bắt đầu hội tụ. Vì vậy, nghiên cứu lựa chọn phạm vi kích thước lưới từ 60-400 (mm) cho việc tính toán mô phỏng (Hình 8).



Hình 7. Đồ thị xác định độ hội tụ lưới tính toán

Mesh Details	
Study name	Static 2 from [Static 1] (-Default-)
Mesh type	Solid Mesh
Meshes Used	Curvature-based mesh
Jacobian points	4 points
Max Element Size	400 mm
Min Element Size	60 mm
Mesh quality	Draft
Total nodes	101714
Total elements	343796
Maximum Aspect Ratio	2,759.2
Percentage of elements with Aspect Ratio < 3	1.35
Percentage of elements with Aspect Ratio > 10	81.2
Remesh failed parts with incompatible mesh	On
Time to complete mesh(hh:mm:ss)	00:01:33
Computer name	MIMI1204

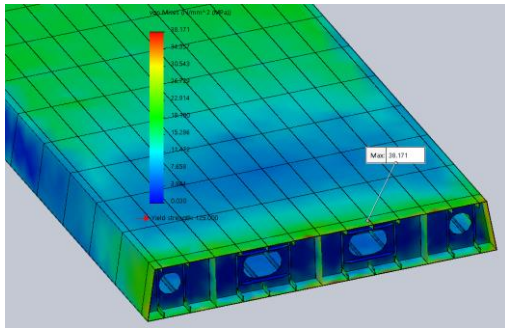
Hình 8. Thông số về lưới tính toán

Với Solidworks Simulation, ngoài việc cho phép thiết lập cá nhân về kích thước mặt lưới trên từng chi tiết, phần mềm cũng sẽ tự động thiết lập các giá trị lưới phần tử phù hợp với bề mặt và phạm vi kích thước lưới đã chọn [2, 6, 7].

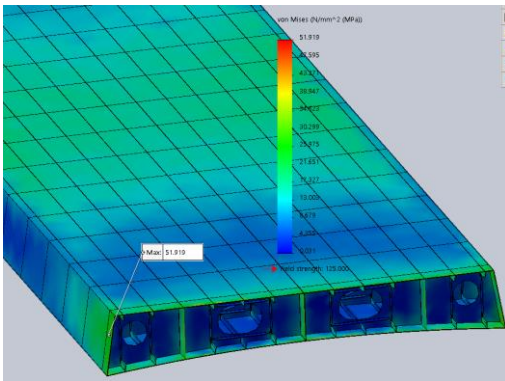
3.3. Kết quả và thảo luận

Kết quả tính toán ba trường hợp khác nhau về kiểu dạng kết cấu cầu dẫn được thể hiện trên các Hình 9-11 và Bảng 2. Theo đó, giá trị ứng suất lớn xuất hiện tại khu vực cửa sườn số 22 thuộc kiểu kết cấu Type 2 với giá trị đạt được là $\sigma_{max2} = 52 \text{ MPa}$. Tại các kiểu kết cấu Type 1 và Type 3 giá trị ứng suất lớn nhất đạt được lần lượt là $\sigma_{max1} = 38,8 \text{ MPa}$ và $\sigma_{max3} = 32,8 \text{ MPa}$. Các vị trí này đều nằm tại khu vực sườn số 22 của kết cấu cầu dẫn.

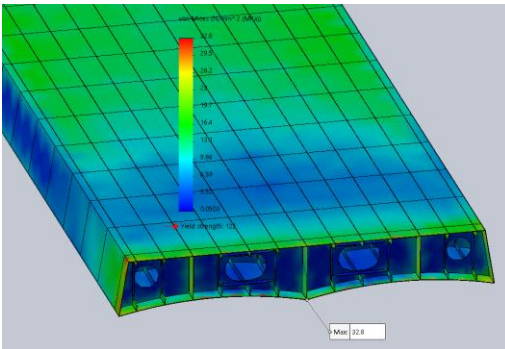
Trong khi đó, giá trị lớn nhất về chuyển vị đạt được là 4,17mm tại khu vực tôn vò sườn 15 thuộc kiểu



a) Type 1

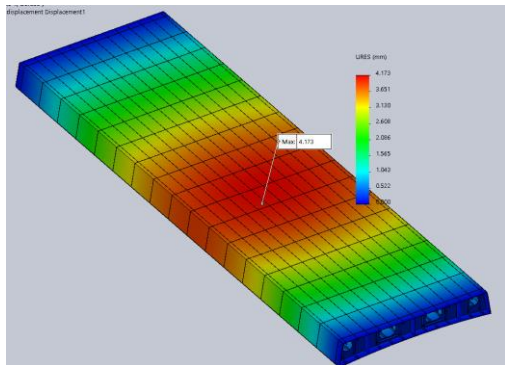


b) Type 2



c) Type 3

Hình 9. Biểu đồ phân bố ứng suất trên 3 dạng kết cấu cầu dẫn

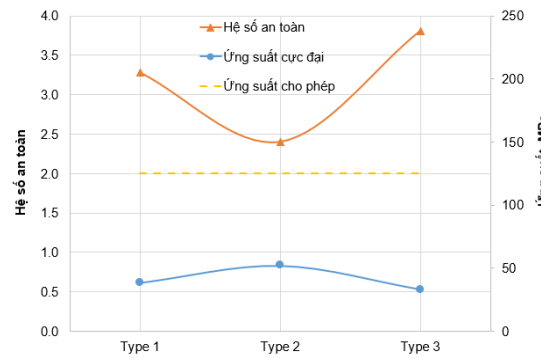


Hình 10. Biểu đồ phân bố giá trị chuyển vị kết cấu cầu dẫn

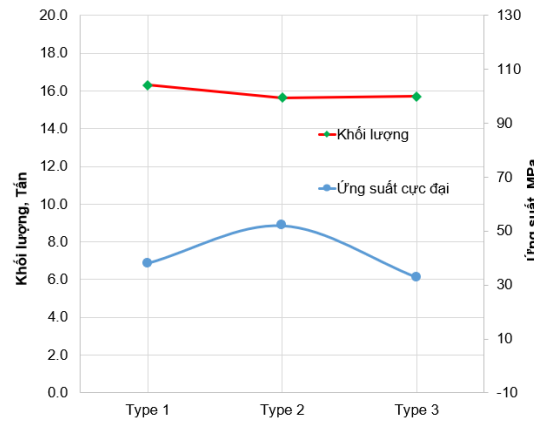
kết cấu Type 2 (Hình 11). Các giá trị chuyển vị cực đại tại 2 kiểu kết cấu Type 1 và Type 3 lần lượt là 4,02mm và 3,56mm đều thuộc khu vực sườn số 15 của kết cấu (Hình 12).

Bảng 2. Kết quả nghiên cứu

Dạng kết cấu	Khối lượng (Tấn)	Ứng suất (MPa)	Chuyển vị (mm)	Hệ số an toàn	Tỷ lệ dư bền (%)
Type 1	16,31	38,1	4,02	3,28	0,00
Type 2	15,65	52,1	4,17	2,40	-26,87
Type 3	15,72	32,8	3,56	3,81	16,16



Hình 11. Kết quả nghiên cứu độ bền cục bộ kết cấu cầu dẫn trong 3 trường hợp



Hình 12. Sự thay đổi khối lượng cầu dẫn trong 3 trường hợp

Các giá trị ứng suất cực đại của 3 dạng kết cấu đều nằm trong giá trị ứng suất cho phép của vật liệu, do đó tiêu chuẩn về độ bền cục bộ của kết cấu được đảm bảo trong cả 3 trường hợp. Dựa theo kết quả về độ bền cục bộ trên 3 dạng kết cấu cầu dẫn, nếu lấy dạng Type 1 làm tiêu chuẩn, có thể thấy được rằng: Với kiểu kết cấu dạng Type 3 cho kết quả tỷ lệ dư bền tăng 16,61%,

trong khi đó với kiểu dạng kết cấu Type 2 cho thấy tỷ lệ dư bền của kết cấu giảm đi 26,87% (Bảng 2). Việc dư bền trong tính toán độ bền kết cấu cục bộ cho phép các kỹ sư lên phương án xem xét lại về quy cách tôn vỏ và kết cấu sử dụng trong quá trình đóng tàu.

Việc giảm khối lượng cầu dẫn đóng vai trò quan trọng trong việc tiết kiệm chi phí về kinh tế đóng tàu cũng như tăng khả năng lướt sóng trong quá trình vận hành của tàu khách cao tốc hai thân. Tuy nhiên, cần xem xét mối quan hệ giữa khối lượng và đặc tính bền của kết cấu cầu dẫn. Theo kết quả như trên Hình 12 cho thấy việc giảm khối lượng kết cấu hoàn toàn có thể dẫn đến 2 trạng thái có thể xảy ra là độ bền kết cấu của cầu dẫn giảm đi (Type 2) và độ bền kết cấu của cầu dẫn tăng lên (Type 3). Chính vì vậy, để nghiên cứu hoàn thiện và chính xác hơn cần xem xét đến việc phân bố tải trọng nước lên đáy cầu dẫn.

4. Kết luận

Bài báo đã tiến hành thực hiện tính toán và nghiên cứu đánh giá ảnh hưởng của 3 kiểu dạng kết cấu cầu dẫn lên độ bền cục bộ kết cấu tàu cao tốc hai thân trong trường hợp tàu chịu tải trọng boong trên nước tĩnh và tải trọng nước va đập lên đáy cầu dẫn trong quá trình di chuyển bằng phương pháp phần tử hữu hạn sử dụng công cụ mô phỏng số Solidworks Simulation. Phương án sử dụng trong bài báo hoàn toàn có thể được đề xuất cho giai đoạn thiết kế cơ bản ban đầu về kết cấu cầu dẫn với mục đích mang lại hiệu quả về kinh tế và khả năng khai thác vận hành của tàu. Kết quả của bài báo mới chỉ tập trung cho trạng thái tàu di chuyển trên nước tĩnh không có sóng, do đó để hoàn thiện nghiên cứu, tác giả đề xuất cho việc phân tích độ bền cục bộ các dạng kết cấu cầu dẫn tại các trạng thái cầu dẫn chịu uốn xoắn và lực slamming do sóng gió tác dụng lên đáy cầu dẫn trong quá trình khai thác ở các nghiên cứu tiếp theo.

Lời cảm ơn

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Trường Đại học Hàng hải Việt Nam trong đề tài mã số: **DT23-24.14**.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Зуи, Ха Ван and Максим Владимирович Китаев (2021), *Методика оптимизации проектных характеристик скоростных пассажирских катамаранов*. Научные проблемы водного транспорта, Vol.66, pp.62-75.
- [2] Đàm Văn Tùng, Nguyễn Trí Minh, Nguyễn Trung Anh (2022), *Tối ưu hóa độ bền cục bộ kết cấu boong tàu đánh cá*. Tạp chí Cơ khí Việt Nam, Vol.11/2022, pp.545-549.
- [3] Đỗ Hùng Chiến, Bùi Ngọc Thuận (2022), *Phân tích độ bền kết cấu du thuyền buồm hai thân*. Tạp chí Công nghiệp tàu thủy Việt Nam, Số.1+2/2022: tr.64-73.
- [4] Vũ Ngọc Bích, Đỗ Hùng Chiến (2018), *Phân tích tối ưu kết cấu cầu dẫn cho tàu khách hai thân*. Khoa học Công nghệ Giao thông vận tải, Vol.30, pp.31-35.
- [5] *DNV Rules for classification. High speed and light craft*, in *Part 3 Hull/section 3 Design loads*. January 2018.
- [6] Akbar M. S., Prabowo A.R. (2021), *Analysis of plated-hull structure strength against hydrostatic and hydrodynamic loads: A case study of 600 TEU container ships*. Journal of the Mechanical Behavior of Materials, Vol.30, pp.237-248.
- [7] Bin Liu, C.Guedes Soares (2020), *Ultimate strength assessment of ship hull structures subjected to cyclic bending moments*. Journal of Ocean Engineering, Vol.215.

Ngày nhận bài:	08/04/2024
Ngày nhận bản sửa:	15/04/2024
Ngày duyệt đăng:	22/04/2024