

# JTST - JOURNAL OF TRANSPORTATION SCIENCE & TECHNOLOGY

MANUSCRIPT ID: JIST-2022-0016

## PHÂN TÍCH ĐỘ BỀN KẾT CẤU DU THUYỀN BUỒM HAI THÂN

<b>Manuscript ID</b>	JIST-2022-0016
<b>Full title</b>	Phân Tích Độ Bền Kết Cấu Du Thuyền Buồm Hai Thân
<b>Summary</b>	<p>Thiết kế, phân tích kết cấu tàu hai thân nói chung và tàu buồm hai thân nói riêng luôn được quan tâm, đặc biệt là kết cấu cầu dẫn và liên kết của hai thân với cầu dẫn. Việc áp dụng kỹ thuật phân tích kết cấu thân tàu bằng phương pháp phần tử hữu hạn được cho là có tính khả thi nhất trong giai đoạn hiện nay. Với kích thước tàu không lớn, mô hình phân tích có thể chạy trên các máy tính cá nhân đảm bảo độ tin cậy trong kết quả tính toán, sử dụng phần mềm ANSYS WORKBENCH. Bài báo này tập trung phân tích phần kết cấu hai thân và cầu dẫn trên cơ sở hướng dẫn của Đăng kiểm DnV- GL và trạng thái tải trọng phù hợp với Quy chuẩn quốc gia về Quy phạm phân cấp và đóng phương tiện thủy nội địa sửa đổi lần 2:2018 QCVN 72/2013 BGTVT. Kết quả đạt được giúp kỹ sư thiết kế kết cấu lựa chọn hợp lý về hình dáng tổng thể cũng như các liên kết cục bộ cho tàu buồm hai thân.</p>
<b>Research Topic</b>	Kỹ thuật tàu thủy
<b>Keywords</b>	Phân tích phần tử hữu hạn; tàu buồm hai thân; kết cấu cầu dẫn; trạng thái tải trọng tính toán; thiết kế kết cấu tàu
<b>Authors</b>	- Chiến Đỗ Hùng, Email: chien.do@ut.edu.vn, School: Trường Đại học Giao thông vận tải Thành phố Hồ Chí Minh, Faculty: .
<b>Corresponding author</b>	Chiến Đỗ Hùng, Email: chien.do@ut.edu.vn, School: Trường Đại học Giao thông vận tải Thành phố Hồ Chí Minh, Faculty: .
<b>Funding</b>	NO

# Phân tích độ bền kết cấu du thuyền buồm hai thân

## Structural analysis of catamaran sailing yacht

Đỗ Hùng Chiến

Trường Đại học Giao thông vận tải Thành phố Hồ Chí Minh  
Email liên hệ: chien.do@ut.edu.vn

### Tóm tắt:

Thiết kế, phân tích kết cấu tàu hai thân nói chung và tàu buồm hai thân nói riêng luôn được quan tâm, đặc biệt là kết cấu cầu dẫn và liên kết của hai thân với cầu dẫn. Việc áp dụng kỹ thuật phân tích kết cấu thân tàu bằng phương pháp phần tử hữu hạn được cho là có tính khả thi nhất trong giai đoạn hiện nay. Với kích thước tàu không lớn, mô hình phân tích có thể chạy trên các máy tính cá nhân đảm bảo độ tin cậy trong kết quả tính toán, sử dụng phần mềm ANSYS WORKBENCH. Bài báo này tập trung phân tích phần kết cấu hai thân và cầu dẫn trên cơ sở hướng dẫn của Đăng kiểm DnV- GL và trạng thái tải trọng phù hợp với Quy chuẩn quốc gia về Quy phạm phân cấp và đóng phương tiện thủy nội địa sửa đổi lần 2:2018 QCVN 72/2013 BGTVT. Kết quả đạt được giúp kỹ sư thiết kế kết cấu lựa chọn hợp lý về hình dáng tổng thể cũng như các liên kết cục bộ cho tàu buồm hai thân.

**Từ khóa:** Phân tích phần tử hữu hạn, tàu buồm hai thân, kết cấu cầu dẫn, trạng thái tải trọng tính toán, thiết kế kết cấu tàu.

### Abstract:

In terms of structural design, the analysis of catamaran hull ships in general and catamaran hull sailing yachts in particular is always interested, especially the cross structure and the connection of the two hulls with the cross structure. The application of the hull structure analysis technique by the finite element method is said to be the most feasible in the current period. With the small vessel size, the analytical model can be run on personal computers (PC) to ensure the reliability of the calculation results in ANSYS WORKBENCH. This paper focuses on analyzing the structure of catamaran hulls and the cross structure on the basis of the guidelines of the DnV-GL Register and the load condition in accordance with the National Technical Regulation on Rules of Inland - waterway Ship Classification and Construction 2nd Amendment: 2018 QCVN 72/2013 BGTVT. The obtained results help the structural designer to make a reasonable selection of the overall shape as well as the local connections for the catamaran sailing yachts.

**Keywords:** Finite Element Analysis (FEA), catamaran sailing yachts, cross structures, load condition, structural design.

### 1. Giới thiệu

Lịch sử của du thuyền qua một chặng đường dài, lần đầu tiên xuất hiện vào những năm 1600 khi các thương gia Hà Lan giàu có, đóng và sử dụng các loại thuyền nhỏ, tương đối nhanh được gọi là "jacht", có tính năng đặc biệt để giải trí. Việc đóng và khai thác du thuyền thực sự xuất hiện vào cuối những năm 1800.

Vào những năm 1930, các hợp kim nhôm trở nên sẵn có để làm vật liệu chế tạo các cột buồm và điều này làm cho các cột buồm nhẹ hơn và mảnh mai hơn. Ngoài ra, độ cứng của cột buồm có thể cải thiện kể cả số lượng và cách bố trí của giàn. Từ những năm 1980 trở đi, cột buồm composite đã được giới thiệu. Ban đầu chúng được dựng bằng vật liệu truyền thống hơn polyeste được gia cố bằng sợi thủy tinh. Trong hơn 25

năm, sợi carbon và nhựa epoxy đã được sử dụng để chế tạo cột buồm. Kết hợp với kỹ thuật sản xuất công nghệ cao, điều này đã tạo nên một cuộc cách mạng về việc giảm trọng lượng, tăng độ cứng và hiệu suất của cột buồm. Ngoài ra, các cột buồm và khung giàn đỡ cũng đã được sản xuất, điều mà không thể có trong bất kỳ vật liệu nào khác. Ngay cả khi thuật ngữ "du thuyền" được đặt ra, đặc biệt cho giới chèo thuyền, thì từ này đã được liên kết với khái niệm đi biển vì mục đích vui chơi và được mở rộng để bao gồm cả "thuyền máy". Ngày nay, khi nói về "du thuyền", người ta có thể đề cập đến cả "du thuyền buồm" hoặc "du thuyền có động cơ" và cần chỉ rõ mục đích của hai loại này [1].

Với các loại du thuyền hiện nay, đặc biệt là du thuyền cỡ lớn, Mega yachts, việc tính toán tối ưu kết cấu đã được quan tâm nhiều hơn, các tính toán mong muốn giảm được trọng lượng kết cấu tàu, trong khi các vị trí cần được gia cường cục bộ để đảm bảo tính an toàn, vững chắc cho thân tàu [2]. Gần đây, bên cạnh các mô phỏng tính toán, đã xuất hiện các báo cáo thực nghiệm về mô hình kết cấu tàu hai thân được thực hiện tại các xưởng đóng tàu với mô hình thu nhỏ, kết quả thực nghiệm cho thấy mô phỏng và thực nghiệm có sự sai khác không lớn, có thể triển khai các mô phỏng khi cơ sở nghiên cứu chưa có điều kiện tiến hành thực nghiệm [3].

Bài báo này trình bày các tính toán tải trọng, điều kiện biên và xây dựng mô hình phân tích trên cơ sở hướng dẫn của Đăng kiểm DnV- GL [4], [5] và Đăng kiểm Việt Nam [6], nhằm đáp ứng các yêu cầu của thực tế, phù hợp với tình hình nghiên cứu hiện nay. Từ các phân tích mô hình kết cấu, người thiết kế có thể đưa ra các hướng giải quyết gia cường cục bộ cho thân tàu nhằm tránh rung động, tăng độ ổn định kết cấu, đảm bảo sự yên tâm cho người sử dụng, bởi khách hàng sở hữu các du thuyền đòi hỏi sự tiện nghi cao cấp và an toàn cao nhất.

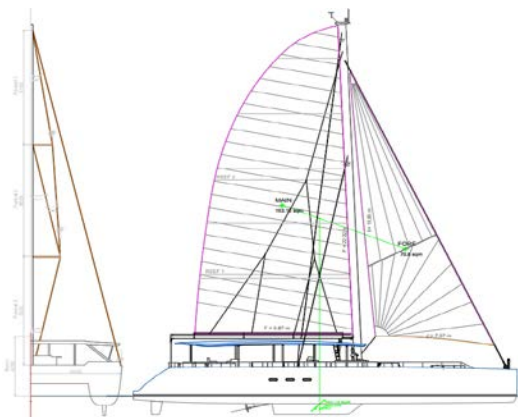
## 2. Mô hình phân tích

### 2.1. Thông số cơ bản của du thuyền buồm

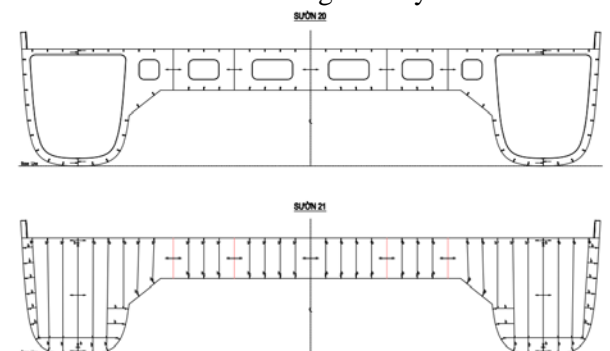
Du thuyền buồm trong thực tế có nhiều chủng loại, kích cỡ khác nhau, bài báo tập trung phân tích mẫu du thuyền buồm vỏ nhôm, hai thân chiều dài lớn nhất 24 m, nằm trong giới hạn của quy định chủng loại kích thước dài đến 24 m, theo bảng 1.

**Bảng 1.** Thông số cơ bản của du thuyền buồm tính toán.

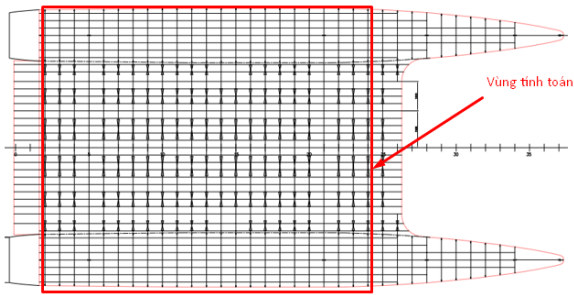
STT	Thông số	Giá trị
1	Chiều dài lớn nhất $L_{max}$ (m)	24,00
2	Chiều rộng $B$ (m)	11,40
3	Chiều cao mạn $D$ (m)	2,29
4	Chiều chìm $d$ (m)	0,71
5	Lượng chiếm nước $W$ (tấn)	32,00
6	Công suất máy $Ne$ (HP)	110,00
7	Cấp tàu	VR SB



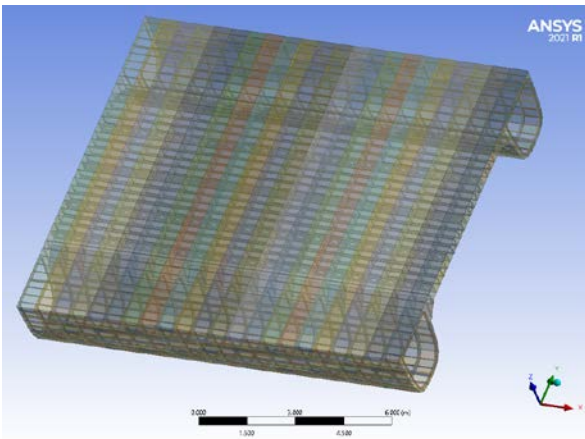
**Hình 1.** Bố trí chung du thuyền buồm.



**Hình 2.** Mặt cắt ngang điển hình của tàu.



Hình 3. Kết cấu boong và vùng cầu dẫn.



Hình 4. Mô hình kết cấu 3D vùng cầu dẫn.

Trên cơ sở hướng dẫn Cn 30.8 của Đăng kiểm DnV về phân tích độ bền kết cấu cho tàu hai thân cỡ nhỏ, tiến hành xây dựng mô hình kết cấu vùng cầu dẫn hai thân (từ sườn 2 đến sườn 24) như hình 4.

## 2.2. Thông số vật liệu chế tạo du thuyền buồm

Thuyền buồm cũng như các dạng tàu thuyền khác, có thể được chế tạo từ các loại vật liệu như thép, nhôm, gỗ, composite FRP (Fiberglass Reinforced Plastic), nhựa PPC (PolyPropylen Copolymer). Bài báo trình bày mẫu du thuyền buồm hai thân, vỏ nhôm 5803P có các thông số cơ bản của vật liệu thể hiện trong bảng 2.

Bảng 2. Thông số vật liệu nhôm 5083P.

STT	Thông số	Giá trị
1	Mô đun đàn hồi $E$ (MPa)	69040
2	Hệ số Poat xông $\nu$	0,33
3	Giới hạn chảy $R_{eH}$ (MPa)	228,0

## 2.3. Thông số kết cấu cơ bản

Kết cấu cơ bản của tàu theo hình thức hỗn hợp, gồm kết cấu nẹp dọc và sườn ngang xe kẽ, nhằm đảm bảo tính chống uốn và xoắn ngang thân tàu, theo hình 2. Trong đó, khoảng cách các sườn ngang 600 mm, khoảng cách các dầm dọc gia cường cho tấm 300 mm, vùng lựa chọn tính toán được thể hiện trên hình 3. Thông số cơ bản của kết cấu được mô phỏng tính toán theo bảng 3.

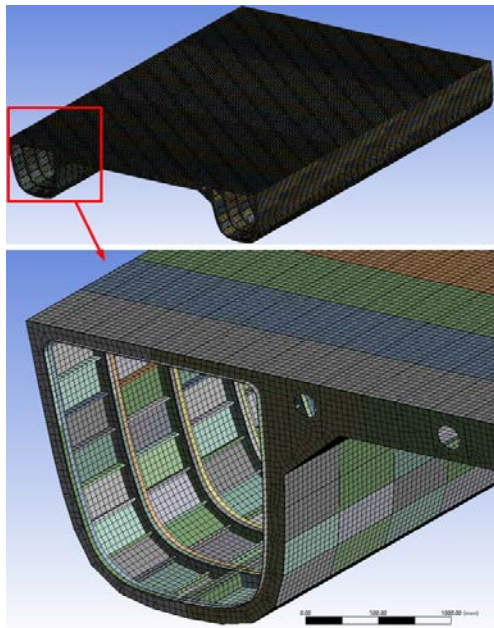
Bảng 3. Thông số quy cách kết cấu cơ bản.

STT	Thông số	Quy cách
1	Chiều dày tấm vỏ, tấm boong, tấm vách, cầu dẫn $t$ (mm)	5,00
2	Dầm dọc boong	FB 50x5
3	Dầm dọc đáy, nẹp vách ngang	HP 60x5
4	Sóng dọc boong	T50x5/100x4
5	Sóng dọc đáy, sườn ngang	T80x5/150x4

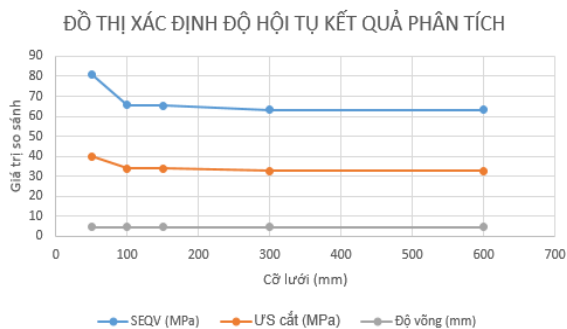
## 2.4. Mô hình chia lưới tính toán

Tiến hành chia lưới phần tử để xác định khả năng hội tụ của kết quả tính toán với các cỡ lưới 600, 300, 150, 100 và 50 mm, dựa trên các khuyến cáo của Đăng kiểm DnV và mô hình hình học cụ thể của tàu. Căn cứ vào khoảng cách các kết cấu ngang 600 mm, các dầm dọc kết cấu là 300 mm, chiều cao bản thành kết cấu sóng dọc đáy 150 mm, sóng boong 100 mm và chiều cao bản thành dầm dọc boong 50 mm là cơ sở để chia lưới. Kết cấu của tàu gồm các tấm, nẹp và sườn sử dụng nhôm định hình, trong thực tế các chi tiết định hình này được chế tạo từ nhôm tấm cắt ra. Do vậy, để đảm bảo tính liên tục kết cấu và thống nhất mô hình phân tích, phần tử tấm 04 nút, 04 cạnh SHELL 181 được sử dụng mô phỏng cả kết cấu tấm và nẹp gia cường trong tính toán của bài báo này. Quá trình tính toán được thực hiện trên máy trạm HP Z800 với 2 CPU Xeon X5650 2,67 GHz, 12 nhân, 24 luồng, RAM 96 GB. Trong hình 6, SEQV - ứng suất tương đương von-Mises

(MPa); U<sub>S</sub> cắt – giá trị ứng suất cắt lớn nhất gây vặn xoắn thân tàu (MPa); độ võng - giá trị độ võng tổng lớn nhất xuất hiện trên thân tàu (mm).



**Hình 5.** Mô hình chia lưới - cỡ lưới 50x50.

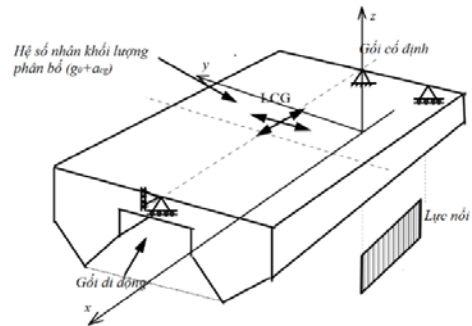


**Hình 6.** Đồ thị xác định độ hội tụ của kết quả.

Với 05 cỡ lưới tính toán, áp dụng cho các trường hợp tính toán độ bền kết cấu chung toàn tàu và kết cấu cục bộ, giá trị cỡ lưới 100, 150, 300 và 600 cho kết quả gần nhau, trong khi kết quả của cỡ lưới 50 lại có phần cao hơn. Điều này hoàn toàn phù hợp với khuyến cáo của Đăng kiểm DnV về tiêu chuẩn lưới, để tính toán độ bền chung sử dụng cỡ lưới 600x600 mm và phân tích độ bền cục bộ tại các điểm tập trung ứng suất sử dụng cỡ lưới 50x50 là phù hợp. Cỡ lưới 600x600 cho thời gian tính toán nhanh nhất (37.8 giây), song vẫn đáp ứng được kết quả ứng suất, biến dạng của mô hình. Trong khi đó để phân tích độ bền cục bộ cho kết cấu, thời gian tính toán lâu nhất (15 phút) cho mỗi trạng thái tính toán.

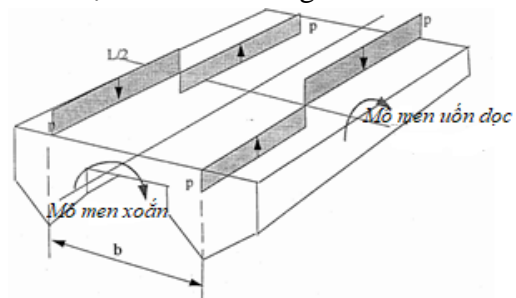
## 2.5. Điều kiện biên và tải trọng tính toán

Mặt cắt sau tại vách ngang sườn 5 và mặt cắt trước tại vách ngang sườn 21, các khu vực này không mô phỏng chi tiết kết cấu vách và thay vào đó là các gối tựa tự do  $UX = UZ = 0$ , không chế quay quanh trục  $Oy$  với  $ROTY = 0$ , hình 7. Tại mặt phẳng dọc tâm đặt điều kiện biên đối xứng  $UY = 0$ .



**Hình 7.** Điều kiện biên tính toán [5].

Tải trọng tác dụng khi tính toán cho trường hợp thân tàu chịu uốn xoắn đồng thời.



**Hình 8.** Tải trọng tác dụng gây xoắn [5].

Các trạng thái tải trọng tính toán kết cấu du thuyền buồm hai thân được trình bày theo bảng 4 dưới đây.

**Bảng 4.** Trạng thái tải trọng phân tích kết cấu.

Trạng thái	Mô tả
LC1	Tàu trên nước tĩnh
LC2	Tàu trên đỉnh sóng
LC3	Tàu trên đáy sóng
LC4	Tàu ngang sóng
LC5	Tải lệch gây xoắn
LC6	Uốn xoắn đồng thời

Tải trọng tính toán trên tàu hai thân gồm: Tải trọng boong, áp lực nước thủy tĩnh theo chiều chìm  $d$  và áp lực thủy động theo chiều cao sóng  $h_w$ , áp lực gió tác dụng lên buồm và cột buồm cũng như mạn tàu, tải do dòng chảy, tải trọng trang thiết bị và thuyền viên, khách trên tàu... Bên cạnh đó, tàu hai thân với đặc thù chịu tải trọng ngang và vặn xoắn kết cấu khi hai bên thân tàu chịu ảnh hưởng của sóng ngang và sóng chéo, tải nước tác dụng lên gàn cầu dẫn gây ra hiện tượng lắc dọc, dẫn tới khả năng bị say sóng cao.

Đối với tải trọng boong với du thuyền buồm, hiện nay tại Việt Nam chưa có quy định nào cụ thể về loại tải trọng này do phương tiện đóng mới trong nước chưa phổ biến. Do đó, trên cơ sở phân tích các loại tải trọng do Đăng kiểm Việt Nam phù hợp với cấp SB [6]. Thêm vào đó các quy định áp dụng cho tàu buồm khi tải của buồm lên boong thông thường sẽ lớn hơn tải của boong thời tiết, phần này người thiết kế kết cấu cần sử dụng thêm quy phạm của DnV về tàu buồm đến 24 m [4], [5].

Các loại tải trọng khác được tính đến trong bài báo gồm: Áp lực nước thủy tĩnh (LC1); áp lực thủy động cộng thêm khi tàu trên đỉnh sóng (LC2), trên đáy sóng (LC3), sóng tác dụng ngang tàu (LC4), sóng dọc gây xoắn vênh (LC5), tải gây uốn xoắn đồng thời (LC6), bảng 4.

### 3. Tính toán tải trọng tác dụng lên tàu

#### 3.1. Tính toán tải trọng boong

Theo QCVN 72:2013/BGTVT, tải trọng boong được lấy như sau:  $h = 0,5$  m, đối với boong bên.

Do đó áp suất tác dụng lên mặt boong  $p_D$  được xác định:

$$P_D = \gamma \cdot g_0 \cdot h \quad (1)$$

Ở đây  $\gamma = 1,025 \text{ t/m}^3$  – tỷ trọng của nước biển  
 $g_0 = 9,81 \text{ m/s}^2$  – gia tốc trọng trường.

Theo DnV 2.3.1 (hướng dẫn No 30.8):

$$p_D = \gamma H(g_0 + 0,5a_v) \quad (2)$$

Trong đó:  $\gamma H = 0,35 \text{ t/m}^2$  – tải trọng boong cho vùng sinh hoạt;  $a_v = 5 \text{ m/s}^2$  - gia tốc chuyển động thẳng đứng của tàu.

Theo DnV Sailing Yachts, tải trọng boong được xác định như sau:

$$p_D = 2,7 \cdot C_D \sqrt{\frac{L}{T_H + Z_{WL}}} \quad (3)$$

Trong đó:  $Z_{WL} = 1,59$  m, chiều cao boong so với đường nước thiết kế;  $C_D = 1$ , hệ số tính toán cho vùng  $0,25 \leq x/L \leq 0,7$ ;  $T_H = 0,71$  m, chiều chìm thiết kế;  $L = 22,96$  m, chiều dài tính toán của tàu.

Nhận thấy tải trọng boong tính toán cho tàu hai thân thông thường giữa công thức (1),  $p_D = 5,03 \text{ kN/m}^2$  và  $p_D = 4,31 \text{ kN/m}^2$  theo công thức (2), không có sự sai khác nhiều. Khi so sánh các kết quả này với công thức (3), giá trị  $p_D = 8,54 \text{ kN/m}^2$ , áp dụng chỉ du thuyền buồm, tải trọng boong đã tính đến tải trọng cộng thêm gió tác dụng vào buồm cũng như cột buồm, đây là sự khác biệt trong tính toán thuyền buồm. Do đó, để đảm bảo tính an toàn cho phương tiện du thuyền buồm, người thiết kế kết cấu cần lựa chọn tải trọng tác dụng ở mức độ nguy hiểm nhất, trong bài báo này, tải trọng boong được đưa vào tính toán theo kết quả của công thức (3).

#### 3.2. Tải trọng gió tác dụng

Tải trọng gió tác dụng lên mạn tàu được xác định theo bảng 7/2.2-1 theo QCVN 72:2013/BGTVT [6],  $p = 4455 \text{ Pa}$ , với các thông số sau:

$B/d = 16,06$  - tỷ số chiều rộng so với chiều chìm tàu;  $Zg/B = 0,15$  – tỷ số trọng tâm tàu so với chiều rộng tàu;  $Z = 12,63$  m – chiều cao tâm diện tích hứng gió.

#### 3.3. Tải trọng thủy tĩnh và thủy động

Tải trọng thủy tĩnh được sử dụng khi tính toán áp suất thủy tĩnh tác dụng lên vỏ tàu theo chiều chìm tính toán  $d = 0,71$  m.

Tải trọng thủy động được đưa vào bổ sung khi chiều cao sóng  $h_w = 2,5$  m áp dụng theo quy định

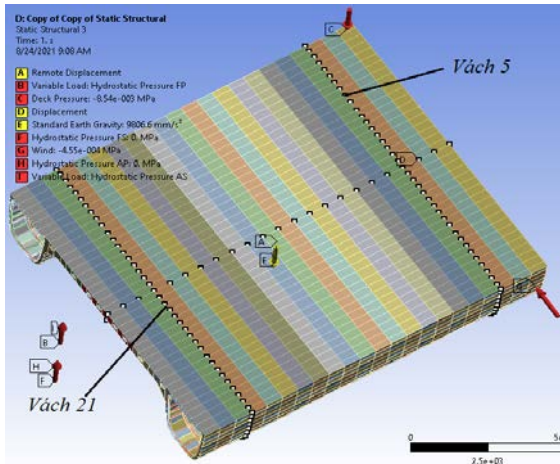
vùng hoạt động SB [6], chiều cao cột áp tính toán khi tàu trên đỉnh sóng theo công thức (4):

$$h = d + h_w/2 \quad (4)$$

Chiều cao cột áp tính toán khi tàu trên đáy sóng theo công thức (5):

$$h = d - h_w/2 \quad (5)$$

Tải trọng bản thân kết cấu cũng được đưa vào tính toán này.



Hình 9. Điều kiện biên và tải trọng tác dụng lên thân tàu trong mô hình phân tích.

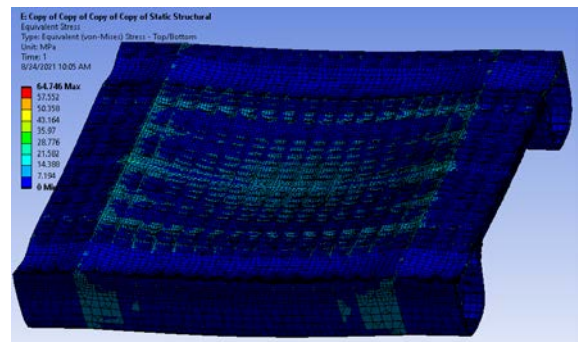
#### 4. Kết quả tính toán và thảo luận

Tiến hành tính toán trên cơ sở 06 trạng thái LC1 – LC6, theo bảng 5 dưới đây.

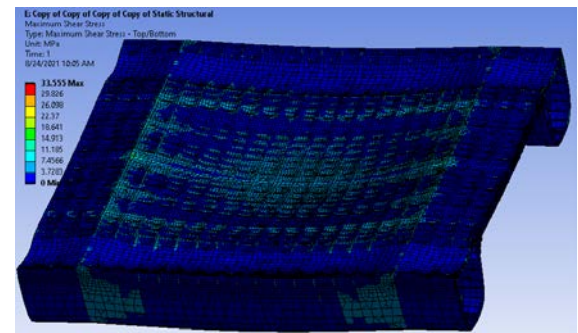
Bảng 5. Kết quả tính toán ứng suất và độ võng chung thân tàu theo 6 trạng thái.

Trạng thái	SEQV (MPa)	U'S cắt (MPa)	Độ võng (mm)
LC1	63,40	32,85	4,47
LC2	57,34	29,64	3,97
LC3	61,67	31,88	4,40
LC4	64,54	33,45	4,53
LC5	64,51	33,36	4,54
LC6	64,74	33,56	4,55

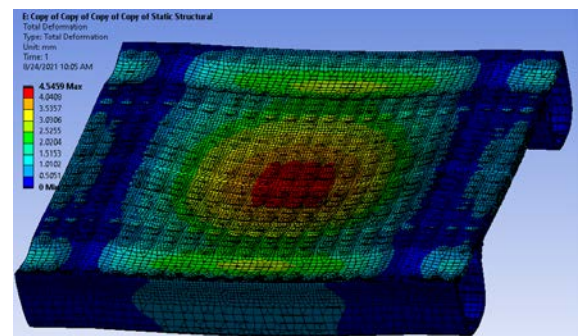
Kết quả tính toán ở trên cho thấy, giá trị ứng suất và chuyển vị lớn nhất khi tàu chịu uốn, xoắn đồng thời, tương ứng với LC6 hình 10 - 12, giá trị nhỏ nhất tương ứng với LC2. Các trạng thái gây ứng suất uốn và xoắn lớn cần quan tâm có thể kể tới trạng thái tàu chạy ngang sóng LC4, khi tàu chạy chéo sóng LC5, là các trạng thái gây bất lợi cho tàu. Các giá trị này thể hiện độ bền chung cho tàu, khi phân tích độ bền cục bộ tại các vị trí chuyển tiếp, ứng suất này sẽ tăng cao hơn 30%, bảng 6.



Hình 10. Ứng suất SEQV tại LC6.



Hình 11. Ứng suất cắt tại LC6.



Hình 12. Chuyển vị lớn nhất tại LC6.

Kết quả khi phân tích độ bền cục bộ được thể hiện trong bảng 6, như sau:

**Bảng 6.** Kết quả tính toán ứng suất và độ võng cục bộ thân tàu theo 06 trạng thái.

Trạng thái	SEQV (MPa)	U'S cắt (MPa)	Độ võng (mm)	Dự trữ bền SEQV
LC1	81,27	46,12	4,61	187,0%
LC2	76,03	43,12	4,14	199,9%
LC3	79,35	45,03	4,54	191,6%
LC4	81,95	46,52	4,68	185,5%
LC5	82,14	46,61	4,68	185,0%
LC6	82,14	46,61	4,69	185,0%

Để cải thiện giá trị ứng suất và chuyển vị trong điều kiện chịu tải trọng phức tạp, đặc biệt là đối với du thuyền buồm, đòi hỏi độ an toàn cũng như khả năng chịu vận kết cấu tốt, giải pháp bổ sung thêm vách ngang tại sườn 13 sẽ giải quyết được vấn đề nêu ở đây.

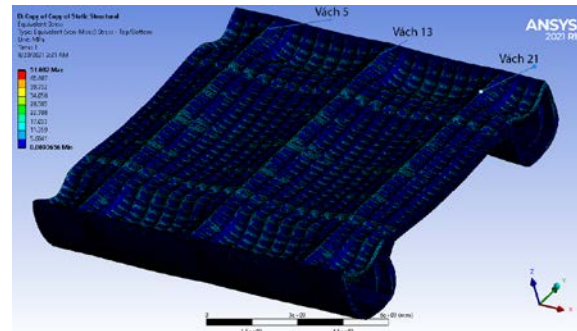
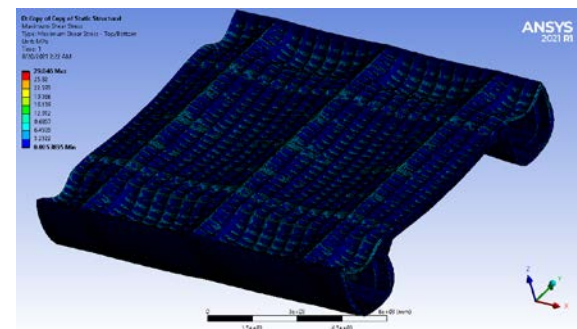
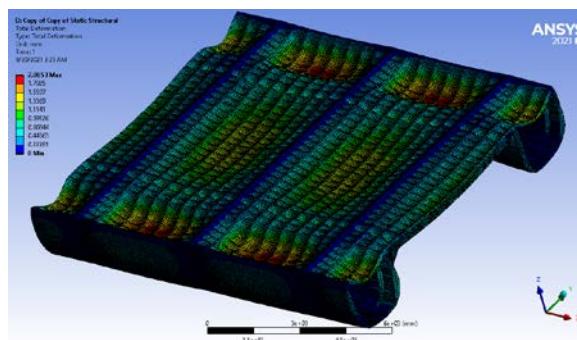
Kết quả ở bảng 5 và bảng 6 được kiểm tra qua các tiêu chuẩn bền ứng suất tương đương von-Mises (ứng suất SEQV) kèm điều kiện bền cắt  $[\tau] = 0,5 \cdot [\sigma]$  và điều kiện chuyển vị theo quy định của IACS [7]. Trong bảng 7 dưới đây.

**Bảng 7.** Ứng suất uốn, ứng suất cắt và chuyển vị cho phép.

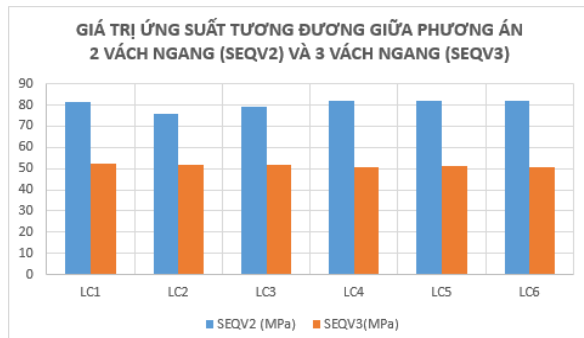
STT	Thông số	Giá trị
1	Ứng suất uốn cho phép (MPa): $[\sigma] = R_{eH} / 1,5$	152,0
2	Ứng suất cắt cho phép (MPa): $[\tau] = 0,5 \cdot [\sigma]$	76,0
3	Chuyển vị toàn tàu cho phép (mm): $[\delta] = L / 1000$	24,0

Giá trị ứng suất SEQV lớn nhất cho LC6 đạt 51,08 MPa tương ứng với độ dự trữ bền 297,6%, giảm 37,8% so với 82,14 MPa tương ứng với dự trữ bền 185,0% khi chưa bổ sung vách 13. Giá trị ứng suất cắt cũng giảm từ 46,61 MPa xuống 29,05 MPa và chuyển vị giảm từ 4,69 xuống còn

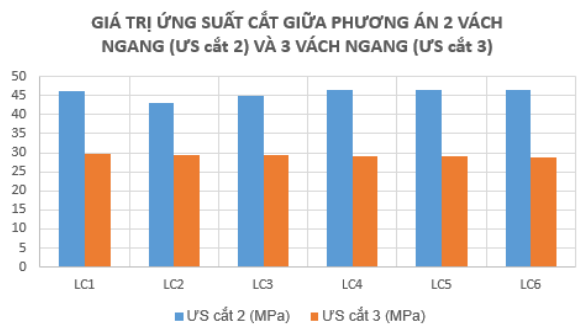
2,01 mm tương ứng 49,75%. Các giá trị này đều nằm trong giới hạn cho phép theo quy định.

**Hình 13.** Ứng suất SEQV khi bổ sung vách 13.**Hình 14.** Ứng suất cắt khi bổ sung vách 13.**Hình 15.** Chuyển vị khi bổ sung vách 13

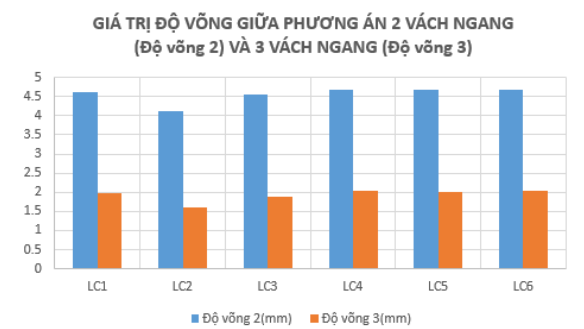
Kết quả so sánh phương án 02 vách ngang và khi bổ sung thêm vách ngang được thể hiện trong đồ thị hình 16-18. Có thể thấy rằng, độ bền đã được cải thiện đáng kể, bên cạnh đó, tại vùng giữa tàu thường bố trí cột buồm nên chân cột là vách ngang 13 trở thành lựa chọn hợp lý. Có thể thấy góp phần giảm đáng kể hiện tượng mất ổn định cho cột buồm. So sánh chuyển vị hình 12 và hình 15, chuyển vị đã phân bố đều hơn và giá trị lớn nhất của độ võng giảm từ 50 đến 60%, tham chiếu thêm hình 18.



**Hình 16.** So sánh ứng suất tương đương.



**Hình 17.** So sánh giá trị ứng suất cắt.



**Hình 18.** So sánh độ võng kết cấu.

Tóm lại, các tính toán phân tích trên đây có thể thấy rằng việc ảnh hưởng của kết cấu ngang là quan trọng trong kết cấu du thuyền buồm. Trong đó, vách ngang ngoài đóng vai trò phân khoang chống chìm, hơn nữa còn có chức năng đặc biệt quan trọng trong việc tăng cường độ bền ngang, độ bền cục bộ. Với giải pháp thêm 01 vách ngang, độ bền tăng 37,8% , độ cứng tăng 49,75%, là kết quả tốt cho việc áp dụng mô hình mô phỏng khi chưa thể tiến hành các thực nghiệm tốn kém.

### 5. Kết luận

Bài báo này trình bày mô phỏng tính toán, phân tích mô hình kết cấu theo hướng dẫn của DnV-GL và Đăng kiểm Việt Nam phù hợp với tải trọng

áp dụng cho du thuyền buồm, kết quả đạt được như sau:

- Kích cỡ lưới tính toán cho bài toán bền chung có thể sử dụng loại lưới vuông 600x600 mm, khi tính bền cục bộ sử dụng lưới 50x50 là phù hợp;
- Tải trọng áp dụng cho du thuyền buồm cần có sự quan tâm đặc biệt tới tải trọng boong, hiện nay Đăng kiểm Việt Nam chưa có quy định này, nên việc tham khảo quy phạm của Đăng kiểm DnV-GL là cần thiết, sao cho vẫn phù hợp với điều kiện môi trường sóng gió của vùng biển Việt Nam;
- Trong 06 trạng thái tính toán, trạng thái gây bất lợi cho tàu là khi tàu chạy ngang sóng, chéo sóng và tải gây uốn xoắn đồng thời;
- Giải pháp bổ sung vách ngang tại giữa tàu cải thiện 37,8% độ bền và 49,75% độ cứng là đáng kể, do đó có thể xem xét khi áp dụng vào thực tế thiết kế kết cấu du thuyền buồm.

### Tài liệu tham khảo

[1] D. Boote et al.; “Committee V.8 YACHT DESIGN”. In 18th International Ship and Offshore Structure Congress (ISSC 12). German: Schiffbautechnische Gesellschaft; 2012; pp.331-396. DOI: 10.13140/RG.2.1.3985.7366.

[2] D. Motta, J. -D. Caprace, P. Rio, D. Boote; “Optimization of Hull Structures for a 60 meters MegaYacht”. In Proc. 11th International Conference on Fast Sea Transportation (FAST 2011); 26-29 September, 2011; Honolulu, Hawaii, USA. USA: American Society of Naval Engineers; 2011; pp.1-7.

[3] S. Xu et al.; “Experimental and numerical analysis of ultimate strength of inland catamaran subjected to vertical bending moment”. Ocean Engineering. 2019; 188: 106320. DOI: 10.1016/j.oceaneng.2019.106320.

[4] DNV GL; “Chapter 3: Yachts”, in Rules For Classification. Edition October 2016, amended January 2018. 2018; pp.1-39.

- [5] Strength analysis of hull structures in high speed and light craft, Classification notes no. 30.8, DNV. 1996; pp.1-25.
- [6] Bộ Giao thông vận tải; “Thông tư 39/2018/TT-BGTVT ngày 21/06/2018 của Bộ Giao thông vận tải ban hành Quy chuẩn kỹ thuật quốc gia về quy phạm phân cấp và đóng phương tiện thủy nội địa - Sửa đổi lần 2:2018 QCVN 72:2013/BGTVT. Ban hành: 21/06/2018, có hiệu lực: 31/01/2019.
- [7] Shipbuilding and Repair Quality Standard 1996; No.47; Rev.5, 2010; pp.1-59.

**Ngày nhận bài: 01/10/2021**

**Ngày chuyển phản biện: 05/10/2021**

**Ngày hoàn thành sửa bài: 26/10/2021**

**Ngày chấp nhận đăng: 02/11/2021**