

## ĐÁNH GIÁ ĐỘ BỀN DỌC CỦA TÀU CONTAINER KHI BỊ TÀU ĐÂM VÀ

Đỗ Quang Thắng<sup>a,\*</sup>, Nguyễn Huy Vũ<sup>a</sup>, Vũ Văn Tuyên<sup>b</sup>

<sup>a</sup>Bộ môn Kỹ thuật Tàu thủy, Đại học Nha Trang, 02 Nguyễn Đình Chiểu, Nha Trang, Khánh Hòa, Việt Nam

<sup>b</sup>Khoa Đóng tàu, Trường Đại học Hàng hải Việt Nam, 484 Lạch Tray, Lê Chân, Hải Phòng, Việt Nam

Nhận ngày 30/7/2022, Sửa xong 24/10/2022, Chấp nhận đăng 31/10/2022

### Tóm tắt

Nghiên cứu này trình bày kết quả mô phỏng số về độ bền dọc của tàu container khi bị đâm va bởi tàu giao thông với các kịch bản đâm va khác nhau. Đầu tiên, phương pháp mô phỏng số được xây dựng trên nền thương mại ABAQUS. Để kiểm nghiệm lại độ chính xác và tin cậy của phương pháp mô phỏng số, các kết quả mô phỏng số được so sánh với kết quả thí nghiệm của mô hình thu nhỏ của các nhà nghiên cứu khác đã công bố. Tiếp theo, các nghiên cứu khảo sát tham số được thực hiện trên tàu container thực tế để đánh giá mức độ sụt giảm độ bền dọc của tàu trong hai trường hợp nguy hiểm như tàu trên đỉnh sóng và tàu trên đáy sóng. Sự ảnh hưởng của các tham số như tốc độ đâm va, trọng lượng tàu đâm va cũng như hình dạng mũi của tàu đâm va tới độ bền tới hạn dọc của tàu đã được khảo sát và đánh giá. Các kết quả được trình bày trong nghiên cứu này có thể áp dụng để dự đoán độ bền dọc sau tai nạn đâm va của các tàu thực tế. Nó cũng có ý nghĩa quan trọng trong giai đoạn tính toán thiết kế ban đầu của kết cấu tàu dưới các trường hợp tai nạn đâm va.

*Từ khóa:* độ bền dọc; tàu container; độ bền tới hạn dọc; mô phỏng số; tàu đâm va.

RESIDUAL LONGITUDINAL STRENGTH ASSESSMENT OF CONTAINER SHIP UNDER SHIP COLLISION

### Abstract

This study presents the numerical simulation results of the residual longitudinal ultimate strength of container ships under traffic vessel collision with different collision scenarios. First, the numerical simulation method is performed by the commercial software ABAQUS. To test the accuracy and reliability of the proposed numerical simulation method, the numerical simulation results are compared with the experimental results published by other researchers. Next, parametric studies were carried out on actual container ships to assess the degree of loss of the ship's longitudinal strength in two dangerous situations such as a ship on sagging or hogging. The effects of parameters such as collision speed, collision weight as well as the ship bow shape collision on the ultimate longitudinal strength of the ship have been investigated and evaluated. The results present in this study can be applied to predict residual longitudinal ultimate strength of ship under collision accidents. It is also useful for the initial design stage of ship structures in case of collision incidents.

*Keywords:* longitudinal strength; container ship; ultimate longitudinal strength; numerical simulation; ship collision.

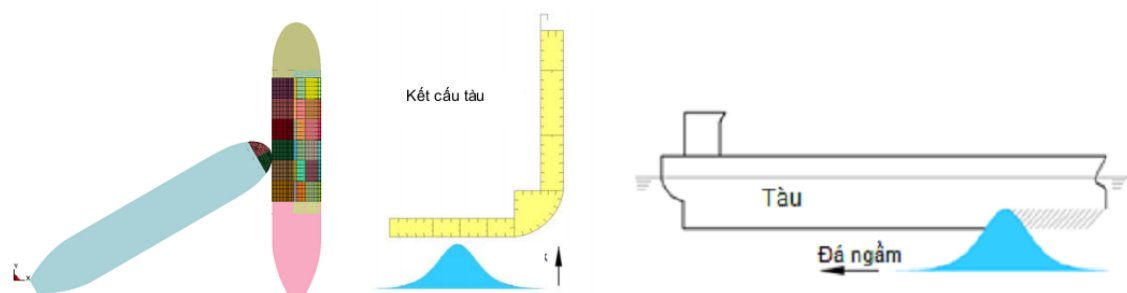
[https://doi.org/10.31814/stce.huce\(nuce\)2022-16\(5V\)-15](https://doi.org/10.31814/stce.huce(nuce)2022-16(5V)-15) © 2022 Trường Đại học Xây dựng Hà Nội (ĐHXDHN)

### 1. Đặt vấn đề

Trong điều kiện vận hành, kết cấu thân tàu chịu các lực tác dụng rất phức tạp như lực kéo, nén, xoắn và uốn dọc do trọng lượng bản thân cùng với tải trọng sóng. Bên cạnh đó, tàu cũng có thể bị hư

\*Tác giả đại diện. Địa chỉ e-mail: [thangdq@ntu.edu.vn](mailto:thangdq@ntu.edu.vn) (Thắng, Đ. Q.)

hại do va chạm với tàu khác, va chạm với các vật thể trôi dạt trên biển, đâm vào đá ngầm hoặc mắc cạn (xem Hình 1). Các vụ va chạm tàu thường gây ra các thiệt hại nghiêm trọng như phá hủy kết cấu thân tàu tại vị trí va chạm, sự cố tràn dầu, chìm tàu, ô nhiễm môi trường, thiệt hại kinh tế và tính mạng con người [1, 2]. Các va chạm sẽ dẫn đến phá hủy cục bộ các kết cấu, gây mất an toàn trong khai thác và nó cần được đánh giá ngay tại thời điểm tai nạn để xác định liệu tàu có đủ an toàn để trở về cảng, đảm bảo an toàn cho thuyền viên và tàu. Việc sửa chữa ngay lập tức các vị trí hư hỏng là rất khó khăn và đôi khi không thể do các yêu cầu kinh tế và kỹ thuật. Do đó, để đánh giá được mức độ hư hỏng của kết cấu thân tàu sau va chạm, điều cần thiết là đánh giá được thực trạng của kết cấu vùng va chạm và độ bền dư của nó sau va chạm để đưa ra phương án sửa chữa.



Hình 1. Các kịch bản va chạm tàu

Để dự đoán độ bền dọc tới hạn của thân tàu, một số nhà nghiên cứu đã tiến hành thí nghiệm uốn trên các cấu trúc dầm hộp còn nguyên vẹn. Sugimura và cs. [3], đã thực hiện thí nghiệm uốn dọc trên mô hình thân tàu với tỷ lệ 1/5. Dowling và cs. [4] đã tiến hành thực nghiệm trên mô hình thân tàu bị uốn cong tại 3 điểm. Reckling [5] đã thực hiện một loạt các thử nghiệm phá hủy trên bảy mô hình thân tàu chịu uốn cong thuần túy. Akhras và cs. [6], Yao và cs. [7], và Gordo và Guedes Soares [8], cũng thực hiện các thử nghiệm trên mô hình thu nhỏ của thân tàu bị chịu mô men uốn dọc. Thêm vào đó, có nhiều nghiên cứu lý thuyết [9–11] về tính toán độ bền tới hạn của thân tàu dưới tác dụng của mô men uốn dọc. Nói chung, tất cả các mô hình thí nghiệm trong các nghiên cứu đã công bố đều là mô hình kết cấu hình hộp có nẹp gia cường nguyên vẹn (chưa bị va chạm). Tuy nhiên, cho đến gần đây vẫn chưa có nghiên cứu nào cung cấp các thí nghiệm về độ bền dư sau va chạm của kết cấu hình hộp có nẹp gia cường. Do đó, việc cung cấp các thí nghiệm độ bền dư sau va chạm cho các kết cấu hình hộp có nẹp gia cường là cần thiết. Kết quả thí nghiệm có thể được sử dụng để xác nhận độ chính xác và tin cậy của phương pháp mô phỏng số. Sau đó, phương pháp mô phỏng số này sẽ được áp dụng để mô phỏng cho các kết cấu thực tế với mặt cắt ngang phức tạp của tàu với các với nhiều điều kiện biên khác nhau để đánh giá độ bền dư của tàu sau tai nạn va chạm, đâm và trên biển.

Trong nghiên cứu này, một loạt các mô phỏng số được thực hiện để đánh giá sự ảnh hưởng của va chạm cục bộ tới độ bền dọc tới hạn của kết cấu hình hộp có nẹp gia cường. Trong mô hình phân tích số, những thành phần ứng suất dư trong quá trình chế tạo như hàn các nẹp gia cường vào vỏ và các biến dạng ban đầu trên bề mặt vỏ đã được mô phỏng một cách chi tiết và cẩn thận. Để xác nhận độ chính xác và tin cậy của phương pháp mô phỏng số, các kết quả mô hình thí nghiệm thực hiện bởi Cho và cs. [12, 13] được sử dụng để so sánh với kết quả mô phỏng số. Các thí nghiệm này được thực hiện trên 10 mô hình thu nhỏ trong đó có 2 mô hình nguyên vẹn và 8 mô hình đã bị va chạm, dưới tác dụng của mô men uốn dọc tại 4 điểm. Độ tin cậy của phương pháp mô phỏng số được trình bày trong nghiên cứu này có thể áp dụng để dự đoán độ bền dư sau tai nạn của các tàu thực tế. Cuối cùng, mô

phòng số khảo sát trên tàu container thực tế bị đâm va bởi tàu khác có hình dạng mũi quả lê. Độ bền dọc của tàu container sau va chạm được nghiên cứu trong hai trường hợp nguy hiểm nhất là tàu trên đỉnh sóng và đáy sóng. Mức độ sụt giảm độ bền dọc của tàu sau đâm va được so sánh với mô hình nguyên vẹn (không bị đâm va).

## 2. Giới thiệu các mô hình thí nghiệm vật lý [12, 13]

### 2.1. Mô tả thí nghiệm

Để đánh giá độ bền dọc giới hạn sau khi va chạm của kết cấu thân tàu với va chạm cục bộ hoặc nứt gãy, bài báo tham khảo kết quả của các thí nghiệm vật lý được thực hiện bởi giáo sư Cho Sang Rai và cs. tại ULSAN Lab, trường Đại học Ulsan, Hàn Quốc từ năm 2015-2017 [12, 13]. 10 mô hình đã được chế tạo để thử nghiệm. Các mô hình này được chia làm hai nhóm. Nhóm 1 - không phá hủy (biến dạng do va chạm không làm cho vỏ và nẹp gia cường của mô hình bị đứt gãy) gồm: IB-1, DB-1, DB-2, DB-3 và DB-4; Nhóm 2-nhóm phá hủy (biến dạng do va chạm làm cho vỏ và nẹp gia cường của mô hình bị đứt gãy) gồm: IB-2, DB-5, DB-6, DB-7 và DB-8. Trong đó, kí hiệu IB là mô hình nguyên vẹn, DB là mô hình bị va chạm.

Mô hình có chiều rộng 720 mm, chiều dài 900 mm và chiều cao 450 mm. Chiều dày tôn là 3 mm tại mặt cắt ngang, chiều dày của phần kéo dài nơi có mã gia cường là 6,0 mm. Phần tôn vỏ mô hình được gia cường bằng 24 nẹp dọc với quy cách 40 mm × 3 mm (Nhóm 1) và 30 mm × 3 mm (Nhóm 2).

Tính chất vật liệu của mô hình được xác định dựa trên kết quả thử nghiệm kéo theo tiêu chuẩn KS B 0801 [14]. Mỗi mẫu thử nghiệm kéo sẽ được cắt dựa trên các tấm tôn gốc để chế tạo mô hình tương ứng. Tổng số mẫu thử kéo được chế tạo là 36 mẫu. Kết quả thử nghiệm kéo được tổng hợp theo Bảng 1. Điều kiện thí nghiệm gồm khối lượng trọng vật, vị trí va chạm và độ cao rơi của trọng vật được tổng hợp như Bảng 2. Chú ý rằng trong quá trình rơi tự do của trọng vật có sự sai lệch so với vị trí mong đợi là  $L/2$  do trọng vật bị xoay trong quá trình rơi. Do đó, cần ghi chính xác giá trị sai lệch này (đo trực tiếp trên mô hình sau khi thí nghiệm va chạm đã thực hiện xong) để phục vụ quá trình nhập dữ liệu cho mô phỏng số như Bảng 2.

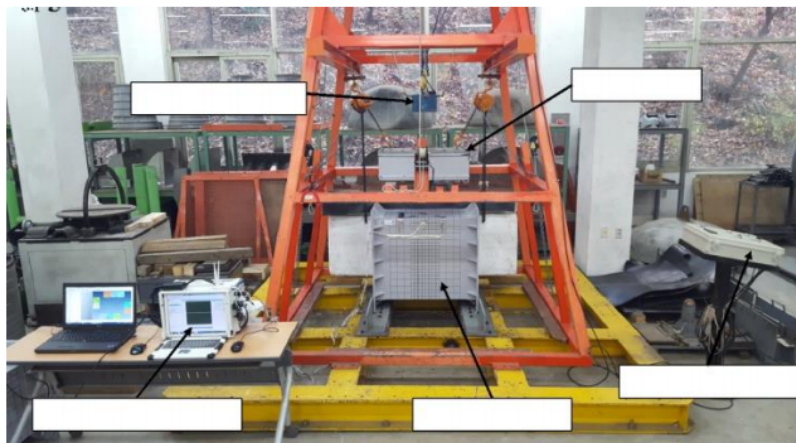
Trước khi thực hiện thí nghiệm đâm va thì các biến dạng ban đầu trên bề mặt vỏ mô hình đã được đo một cách cẩn thận bằng máy 3-D Cimcore. Sau đó, giá trị tọa độ các điểm này sẽ được sử dụng để xây dựng bề mặt vỏ mô hình trên phần mềm Abaqus. Do đó, các biến dạng ban đầu trên bề mặt vỏ mô hình đã được xem xét trong mô hình số. Thiết lập thí nghiệm đâm va được thực hiện trên máy va chạm như Hình 2. Phần bên dưới của mô hình được cố định với chân đế bằng các đinh ốc. Trọng vật được nâng lên bằng nam châm điện, khi nguồn điện cắt thì trọng vật sẽ rơi tự do theo quán tính và tạo biến dạng trên mô hình.

Bảng 1. Tính chất vật liệu của mô hình thí nghiệm

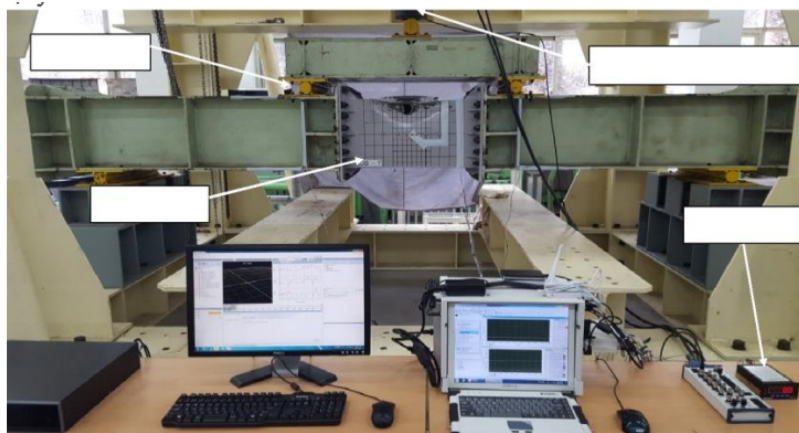
Nhóm mô hình	Chiều dày trung bình đo thực tế, $t$ (mm)	Ứng suất dẻo, $\sigma_Y$ (MPa)	Ứng suất tới hạn, $\sigma_T$ (MPa)
Nhóm 1	2,91	325,7	399,2
	5,88	234,8	353,4
Nhóm 2	2,84	222,9	329,2
	5,74	269,0	408,9

Bảng 2. Điều kiện thí nghiệm cho mỗi mô hình

Mô hình	Khối lượng trọng vật	Vị trí va chạm	Độ cao rơi của trọng vật
DB-1	400 kg	Giữa mạn bên trái	1,2 m
DB-2			1,6 m
DB-3		Góc mạn trái	1,2 m
DB-4			1,6 m
DB-5	570 kg	Góc mạn trái (cách vị trí giữa 112 mm)	1,9 m
DB-6			1,6 m
DB-7		Góc mạn trái (cách vị trí giữa 188 mm)	1,9 m
DB-8			1,6 m



Hình 2. Thiết lập thí nghiệm va chạm [13]



Hình 3. Thiết lập thí nghiệm uốn dọc [12, 13]

Để xem xét các trường hợp va chạm thường xảy ra trong thực tế, phần đầu của trọng vật va chạm được mô hình hóa với hai kiểu: hình lưỡi dao (tàu có mũi hình lưỡi dao) và hình bán cầu (tàu có mũi

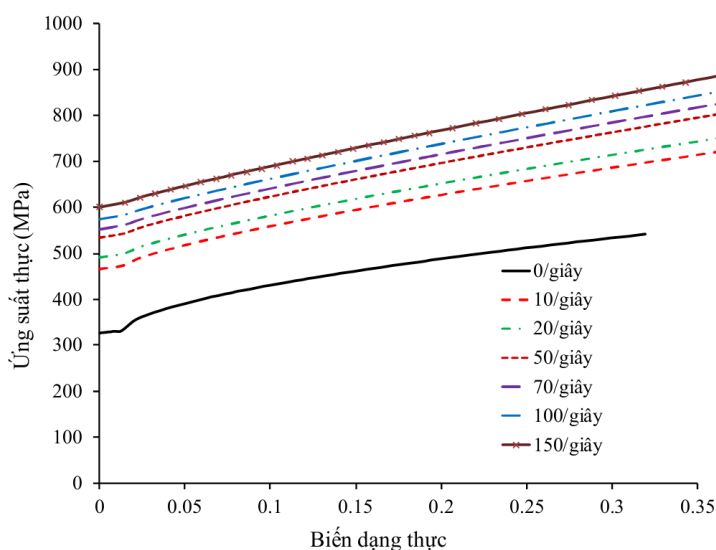


quả lê). Sau khi thí nghiệm đâm va kết thúc, thì tất cả các biến dạng, kích thước và hình dáng do quá trình va chạm được đo lại bằng máy 3-D Cimcore. Sau đó, toàn bộ mô hình được thiết lập sang thí nghiệm uốn cong để xác định độ bền dư của mô hình sau va chạm. Mục đích của thí nghiệm va chạm là tạo ra các phá hủy ban đầu và các ứng suất dư xuất hiện như trong các trường hợp tàu đâm va ngoài thực tế. Sự thiết lập thí nghiệm uốn cong 4 điểm được trình bày như Hình 3. Mục đích của thí nghiệm uốn cong là đánh giá độ bền dư của kết cấu hình hộp có nẹp gia sau va chạm.

### 3. Mô phỏng số

#### 3.1. Thiết lập các thông số cho bài toán mô phỏng

Kết quả đo bằng máy 3-D Cimcore tham khảo từ các mô hình thí nghiệm ở mục 2 được sử dụng để xây dựng lại trên mô hình số trên phần mềm Abaqus sau khi va chạm. Mô phỏng số được thực hiện trên phần mềm Abaqus phiên bản 6.14. Quá trình va chạm được mô phỏng bằng mô đun Dynamic/Explicit, trong khi bài toán độ bền sau va chạm được thực hiện trên mô đun Static Riks. Quá trình xây dựng mô hình và điều kiện biên trong phân tích số được thực hiện giống như quá trình thí nghiệm. Mô hình phần tử tám 4 nút (S4R) được sử dụng cho việc mô hình hóa. Kích thước của phần tử được lựa chọn một cách hợp lý dựa trên bài toán kiểm tra hội tụ mô hình phần tử. Tổng các phần tử trong mô hình là 47,850 phần tử, kích thước lưới bên ngoài vùng va chạm là 10 mm, kích thước lưới trong khu vực va chạm là 5 mm. Các biến dạng ban đầu của tấm vỏ được mô hình hóa dựa trên giá trị đo được trên máy đo Cimcore 3-D. Do đó, bề mặt thực tế của mô hình đã được mô phỏng một cách chi tiết và chính xác trong mô phỏng số.



Hình 4. Đường cong ứng suất và biến dạng áp dụng cho mô hình số

Đối với mô phỏng va chạm, các thuộc tính của vật liệu được xác định bằng các công thức (1)–(9), các công thức này được đề xuất bởi tác giả và cộng sự trong tài liệu tham khảo [15–20] được áp dụng. Các công thức này được xây dựng trên cơ sở thuật toán hồi quy bằng cách sử dụng kết quả của 7500 mẫu kéo bao gồm cả tải trọng tĩnh và động với các loại thép khác nhau như: SS41, AH36, HSLA, HY-80, HY-100, ... Các giá trị của ứng suất chảy, giới hạn bền, biến dạng tới hạn động và độ bền kéo giới hạn được thể hiện theo giá trị của tốc độ biến dạng  $\dot{\epsilon}$ : Cần chú ý rằng đối với bài toán va chạm

thì ứng xử va chạm của vật liệu phụ thuộc lớn vào tốc độ biến dạng. Để quan tâm đến sự ảnh hưởng của tốc độ biến dạng trong quá trình va chạm, tốc độ biến dạng được thực hiện trong phạm vi từ 10/s, 20/s, 50/s, 70/s, 100/s tới 150/s, xem Hình 4. Trong bài toán mô phỏng va chạm, khi năng lượng va chạm tăng lên đạt đến một giá trị nhất định thì có hiện tượng nứt gãy xảy ra. Trong nghiên cứu này sử dụng mô hình phá hủy kiểu Hosford-Coulomb, xem phương trình (10)–(?). Mô hình này đã được kiểm chứng là có độ chính xác và tin cậy khi mô phỏng quá trình phá hủy đối với kết cấu công trình biển trong đó có tàu thủy. Chi tiết quá trình xây dựng và áp dụng mô hình phá hủy Hosford-Coulomb được cung cấp trong tài liệu tham khảo [21, 22].

$$\sigma_{tr} = E \varepsilon_{tr} \quad \text{với } 0 < \varepsilon_{tr} \leq \varepsilon_{Y,tr} \quad (1)$$

$$\sigma_{tr} = \sigma_{Y,tr} + (\sigma_{HS,tr} - \sigma_{Y,tr}) \frac{\varepsilon_{tr} - \varepsilon_{Y,tr}}{\varepsilon_{HS,tr} - \varepsilon_{Y,tr}} \quad \text{với } \varepsilon_{Y,tr} < \varepsilon_{tr} \leq \varepsilon_{HS,tr} \quad (2)$$

$$\sigma_{tr} = \sigma_{HS,tr} + K (\varepsilon_{tr} - \varepsilon_{HS,tr})^n \quad \text{với } \varepsilon_{HS,tr} < \varepsilon_{tr} \quad (3)$$

trong đó:

$$n = \frac{\sigma_{T,tr}}{\sigma_{T,tr} - \sigma_{HS,tr}} (\varepsilon_{T,tr} - \varepsilon_{HS,tr}) \quad (4)$$

$$K = \frac{\sigma_{T,tr} - \sigma_{HS,tr}}{(\varepsilon_{T,tr} - \varepsilon_{HS,tr})^n} \quad (5)$$

$$\frac{\sigma_{YD}}{\sigma_Y} = 1 + 0,3 \left( \frac{E}{1000\sigma_Y} \right)^{0,5} (\dot{\varepsilon})^{0,25} \quad (6)$$

$$\frac{\sigma_{YD}}{\sigma_Y} = 1 + \left[ 0,16 \left( \frac{\sigma_T}{\sigma_{YD}} \right)^{3,325} (\dot{\varepsilon})^{1/15} \right]^{0,35} \quad (7)$$

$$\frac{\varepsilon_{HSD}}{\varepsilon_{HSS}} = 1 + 0,1 \left( \frac{E}{1000\sigma_Y} \right)^{1,73} (\dot{\varepsilon})^{0,33} \quad (8)$$

$$\frac{\varepsilon_{TD}}{\varepsilon_T} = 1 - 0,117 \left[ \left( \frac{E}{1000\sigma_Y} \right)^{2,352} \left( \frac{\sigma_T}{\sigma_Y} \right)^{0,588} \right] \quad (9)$$

$$\bar{\sigma}_{HF} + c(\sigma_1 + \sigma_3) = b \quad (10)$$

$$\bar{\sigma}_{HF} = \left\{ \frac{1}{2} ((\sigma_1 - \sigma_2)^a + (\sigma_1 - \sigma_3)^a + (\sigma_2 - \sigma_3)^a) \right\}^{(1/a)} \quad (11)$$

$$\bar{\sigma}_f[\eta, \bar{\theta}] = \frac{b}{\left\{ \frac{1}{2} ((f_1 - f_2)^a + (f_1 - f_3)^a + (f_2 - f_3)^a) \right\}^{(1/a)} + c(2\eta + f_1 + f_3)} \quad (12)$$

trong đó:

$$f_1[\bar{\theta}] = \frac{2}{3} \cos \left[ \frac{\pi}{6} (1 - \bar{\theta}) \right] \quad (13)$$

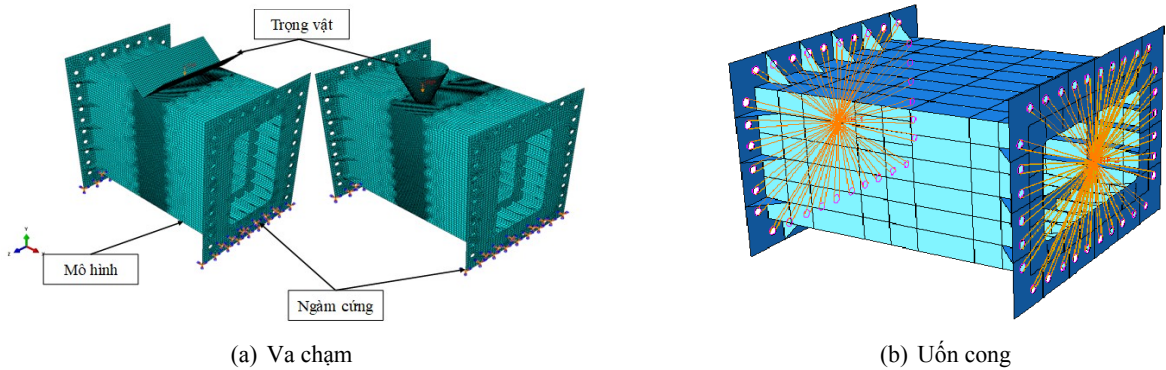
$$f_2[\bar{\theta}] = \frac{2}{3} \cos \left[ \frac{\pi}{6} (3 + \bar{\theta}) \right] \quad (14)$$

$$f_3[\bar{\theta}] = -\frac{2}{3} \cos \left[ \frac{\pi}{6} (1 + \bar{\theta}) \right] \quad (15)$$

$$\bar{\varepsilon}_f^{pr}[\eta, \bar{\theta}] = b(1 + c)^{\frac{1}{n}} g[\eta, \bar{\theta}] \quad (16)$$

$$g[\eta, \bar{\theta}] = \left\{ \left\{ \frac{1}{2} [(f_1 - f_2)^a + (f_1 - f_3)^a + (f_2 - f_3)^a] \right\}^{(1/a)} + c(2\eta + f_1 + f_3)^{1/af} \right\} \quad (17)$$

Mô hình mô phỏng số cho thí nghiệm va chạm được thể hiện trên Hình 5(a). Phần đế của mô hình được ngàm cứng với chân đế của máy va chạm bằng các bu lông. Trọng vật được mô hình với giả thiết là vật rắn tuyệt đối với phần tử loại R3D4. Hệ số ma sát giữa tiếp xúc của trọng vật và bề mặt mô hình là 0,3. Để giảm quá trình rung động sau va chạm thì mô hình Rayleigh damping được áp dụng [15] với giá trị  $\alpha$  được xác định dựa trên tần số giao động riêng tự nhiên nhỏ nhất của mô hình. Sau khi mô phỏng quá trình va chạm kết thúc, tất cả các mô hình được chuyển tiếp qua bài toán mô phỏng độ bền dư sau va chạm. Do đó, tất cả các ứng suất dư sinh ra trong quá trình va chạm được quan tâm trong bài toán uốn dọc như Hình 5(b).



Hình 5. Mô hình mô phỏng số

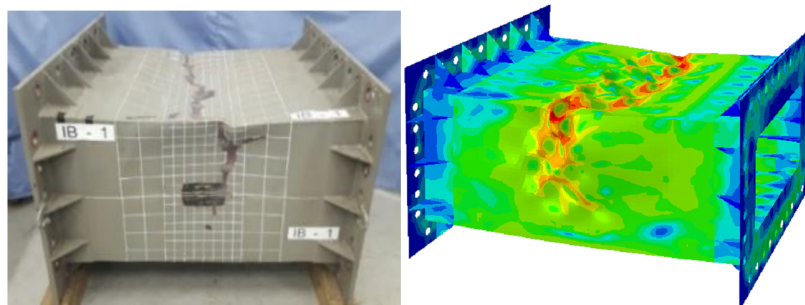
### 3.2. Kết quả mô phỏng số cho mô hình thí nghiệm

So sánh kết quả phân tích độ bền dọc tới hạn của phần thân tàu bằng phần mềm thương mại ABAQUS với kết quả thực nghiệm được biểu diễn ở Hình 6 cho mô hình IB-1. Cũng giống như trường hợp thực tế khi tàu ở trên đáy sóng, mô hình bị phá hủy tại mặt cắt ngang giữa tàu với ứng suất nén cho phần kết cấu phía nửa trên mô hình và ứng suất kéo cho các kết cấu phía nửa dưới mô hình. Giá trị mô men uốn lớn nhất của thí nghiệm và mô phỏng lần lượt là 397,2 kN.m và 435,2 kN.m cho mô hình IB-1. Sự khác nhau giữa kết quả mô phỏng và kết quả thí nghiệm khoảng 8,7% ( $X_m = 0,913$ ,  $X_m$  là tỷ số giữa kết quả mô phỏng số và kết quả thí nghiệm).

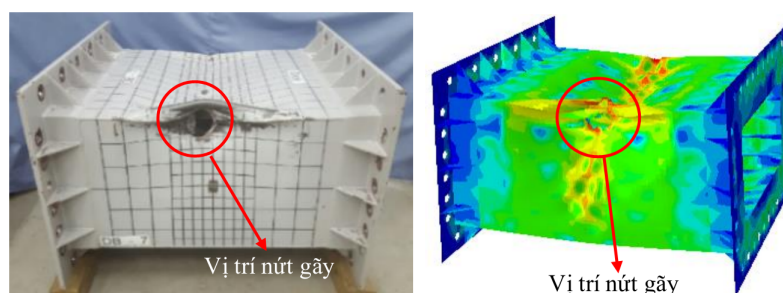
Hình 7 biểu diễn kết quả so sánh giữa phân tích số và thực nghiệm cho mô hình phá hủy DB-7. Có thể nhận thấy rằng, hình dạng phá hủy của hai mô hình thực nghiệm và mô phỏng gần như là giống nhau. Mô men chống uốn dọc tới hạn còn lại của mô hình sau va chạm của thí nghiệm và mô phỏng lần lượt là 245,2 kN.m và 271,2 kN.m. Sai số giữa kết quả mô phỏng và kết quả thí nghiệm khoảng 10% ( $X_m = 0,904$ ).

Giá trị mô men uốn dọc cho mỗi mô hình được tổng hợp tại Bảng 3. Mức độ giảm về mô men uốn dọc của mô hình trước va chạm và sau va chạm cũng được thể hiện trên Bảng 3. Dựa trên kết quả của Bảng 3 có thể thấy rằng sự ảnh hưởng của các va chạm cục bộ lên độ bền dọc giới hạn của mô hình là không đáng kể. Giá trị giảm về mô men uốn dọc của mô hình bị va chạm khi so sánh với mô hình nguyên vẹn không lớn hơn 15% cho các thí nghiệm trong nghiên cứu này. Bên cạnh đó, sự sai khác trung bình của kết quả mô phỏng khi so sánh với kết quả thực nghiệm khoảng dưới 9%. Giá trị của

hệ số biến thiên COV là khá nhỏ với 2,19%. Do đó, có thể kết luận rằng mô hình mô phỏng số đã xây dựng có độ chính xác tốt và có thể áp dụng làm cơ sở để dự đoán độ bền dư sau tai nạn của các tàu thực tế.



Hình 6. So sánh kết quả phân tích số và thực nghiệm cho mô hình nguyên vẹn IB-1 [13]



Hình 7. So sánh kết quả phân tích số và thực nghiệm cho mô hình phá hủy DB-7 [13]

Bảng 3. So sánh kết quả phân tích số và kết quả thí nghiệm cho các mô hình

Mô hình	Giá trị mô men uốn lớn nhất (kN.m)		$X_m$ (T.nghiệm/M.phòng)
	Thí nghiệm	Mô phỏng số	
IB-1	397,2	435,2	0,913
DB-1	390,8 (1,6%)	419,3 (3,7%)	0,932
DB-2	368,5 (7,2%)	412,7 (5,2%)	0,893
DB-3	353,1 (11,1%)	401,6 (7,7%)	0,879
DB-4	346,0 (12,9%)	389,7 (10,5%)	0,888
IB-2	283,0	304,2	0,930
DB-5	240,8 (14,9%)	261,1 (14,2%)	0,922
DB-6	256,8 (9,3%)	273,9 (10,0%)	0,938
DB-7	245,2 (13,4%)	271,2 (10,8%)	0,904
DB-8	267,6 (5,4%)	295,2 (3,0%)	0,907
	Giá trị trung bình		0,911
	COV (hệ số biến thiên)		2,19%

#### 4. Mô phỏng khảo sát ảnh hưởng của các tham số trên tàu container

Sau khi đã đánh giá được độ chính xác và tin cậy của phương pháp mô phỏng số trên cơ sở so sánh kết quả mô phỏng số với kết quả thí nghiệm, trong phần này các mô phỏng số khảo sát độ bền dọc sau tai nạn của tàu container được thực hiện. Sự ảnh hưởng của các tham số như tốc độ đâm va, trọng lượng tàu đâm va cũng như hình dạng mũi của tàu đâm va tới độ bền tới hạn dọc của tàu container được đánh giá.

##### 4.1. Các thông số cơ bản của tàu container

Tàu được chọn để mô phỏng đâm va là tàu container, tàu hoạt động chạy ở vùng không hạn chế có tải trọng 15000 tấn, xem Hình 8. Các kích thước cơ bản của tàu bao gồm:

- Chiều dài thiết kế:  $L = 147$  (m)
- Chiều rộng thiết kế:  $B = 26$  (m)
- Chiều chìm:  $T = 8,1$  (m)
- Chiều cao mạn:  $H = 14$  (m)
- Tốc độ tàu:  $v = 17,5$  (h/h)
- Lượng chiếm nước:  $D = 23481$  (tấn)

Tàu hoạt động vùng không hạn chế và có chiều dài lớn hơn 90 m nên tàu được đóng theo VCVN 21:2015/BGTVT – Quy chuẩn kỹ thuật quốc gia về phân cấp và đóng tàu biển vỏ thép. Vật liệu sử dụng để đóng tàu: Thép DH32 nhập khẩu tại Nhật Bản có  $\sigma_Y = 315$  MPa,  $\sigma_T = 520$  MPa.

Hệ thống kết cấu:

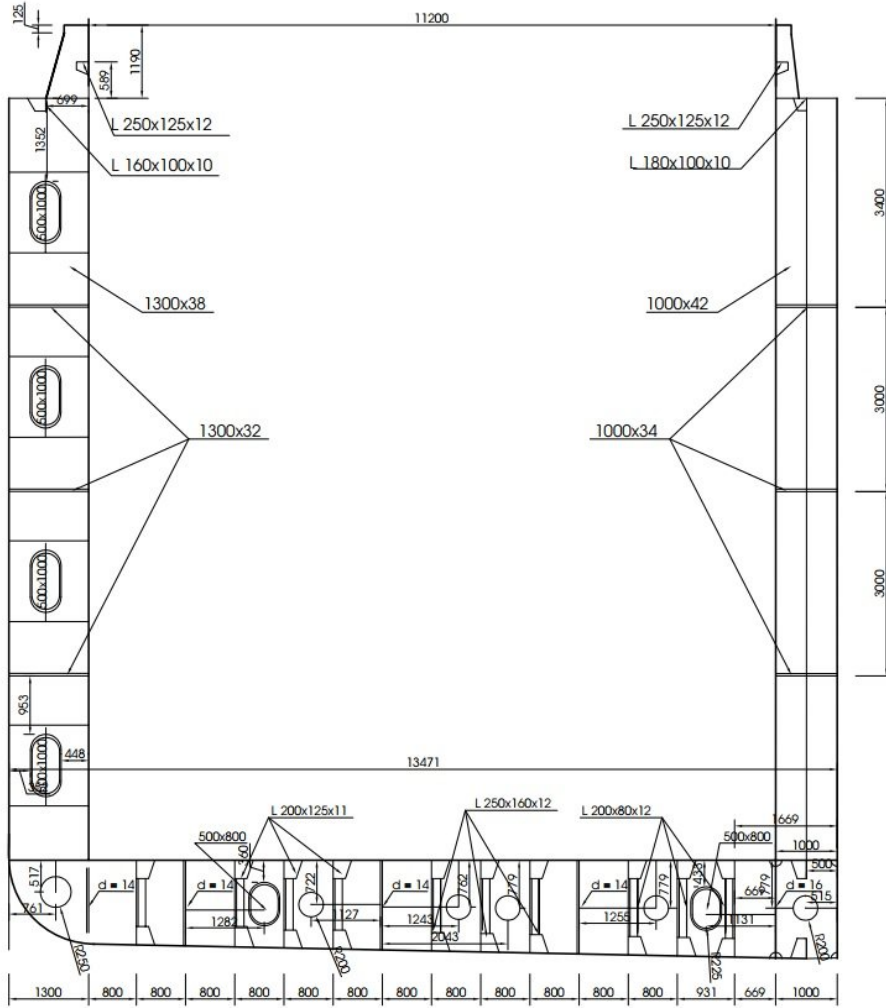
- Dàn đáy và dàn boong kết cấu hệ thống dọc.
- Dàn mạn kết cấu hệ thống ngang.



Hình 8. Tàu container 15000 tấn đang được vận hành trong thực tế

Mô hình được mô phỏng đâm va là đoạn thân ống thuộc phần thân nằm giữa tàu. Kết cấu trong đoạn này gồm có: Sườn khòe và sườn thường, tôn đáy dưới, tôn đáy trên, tôn mạn ngoài, tôn mạn trong, tôn vách, tôn boong và tôn hông, sống chính, sống phụ, nẹp dọc đáy trên, nẹp dọc đáy dưới, nẹp dọc mạn, nẹp dọc boong, nẹp gia cường cho tấm đà ngang đáy, thành miệng hầm hàng. Mặt cắt ngang của tàu container 15000 tấn tại sườn khòe như Hình 9.





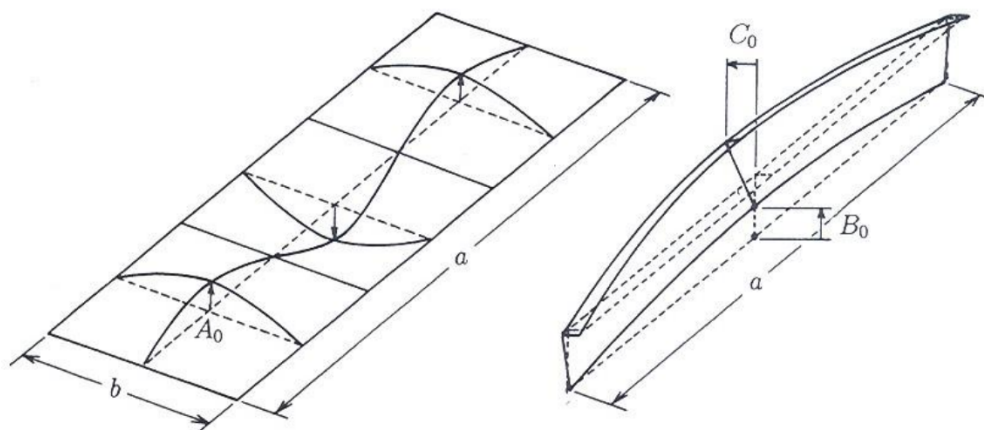
Hình 9. Mặt cắt ngang của tàu container 15000 tấn tại sườn khỏe

#### 4.2. Xây dựng mô hình mô phỏng số

Đối với bài toán độ bền dọc của tàu nguyên vẹn, ứng suất dư và biến dạng ban đầu được tích hợp trong quá trình mô hình hóa. Biến dạng ban đầu được thực hiện theo mô hình “sin” như phương trình (18) [23]. Ứng suất dư được tính toán theo mô hình được đề xuất bởi Hughes [24] như phương trình (19)–(22). Chi tiết quá trình xây dựng và áp dụng các mô hình biến dạng ban đầu và ứng suất dư được trình bày trong tài liệu tham khảo [23, 24]. Trong nghiên cứu này, sau khi tính toán được các giá trị của ứng suất dư và biến dạng ban đầu thì tất cả các giá trị này được gán trực tiếp vào các phần tử trong quá trình mô hình hóa, xem Hình 10.

Bài toán va chạm được thiết lập như Hình 11. Kích thước lưới tối ưu được chọn là 100 mm × 100 mm tại vùng va chạm và 300 mm × 300 mm. Như vậy tổng số phần tử được chia là 256718 phần tử. Tàu va chạm trong trường hợp này được giả sử là 10000 tấn và có phần mũi hình quả lê, tốc độ va chạm 6 m/s. Vị trí va chạm được thiết lập ở các vị trí giữa khoang.

$$w_i = A_o \sin \frac{m\pi x}{a} \sin \frac{\pi y}{b} \quad (18)$$



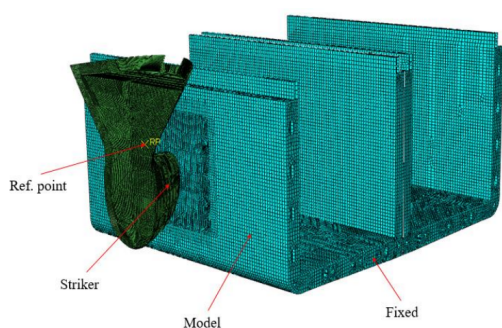
Hình 10. Quy luật phân bố biến dạng ban đầu [23]

$$\sigma_r = \frac{2\eta}{\frac{s}{t} - 2\eta} \sigma_Y \quad (19)$$

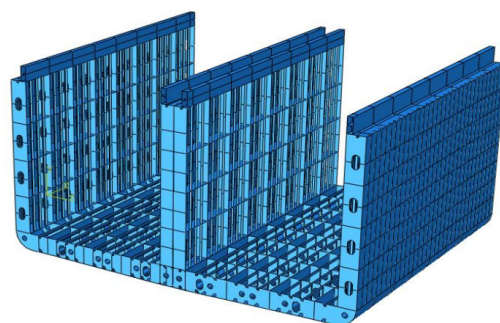
$$\eta = \frac{1}{t_p} \left[ \frac{t_w}{2} + 0,26 \frac{\Delta Q}{t_w + 2t_p} \right] \quad (20)$$

$$\Delta Q = 78,8 \times l^2 \quad (21)$$

$$l = \begin{cases} 0,7 \times t_w \text{ (mm)} & \text{khi } 0,7 \times t_w < 7,0 \text{ mm} \\ 7,0 \text{ (mm)} & \text{khi } 0,7 \times t_w \geq 7,0 \text{ mm} \end{cases} \quad (22)$$



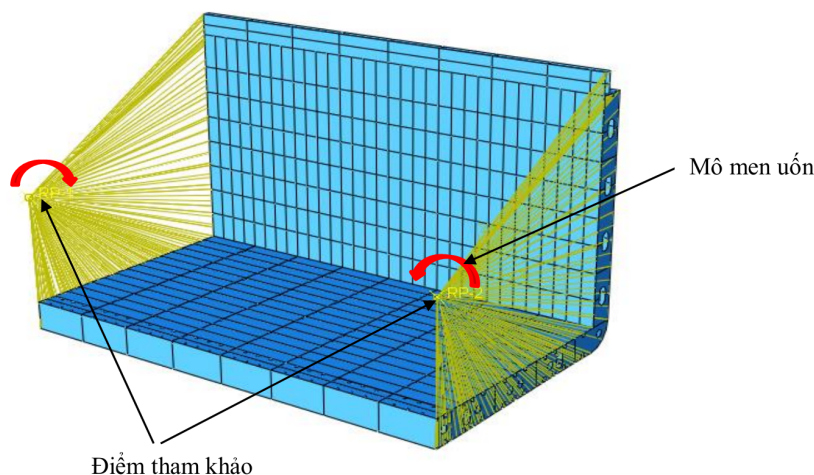
(a) Mô hình phần tử



(b) Mô hình kết cấu

Hình 11. Mô hình phần tử để phân tích bài toán va chạm

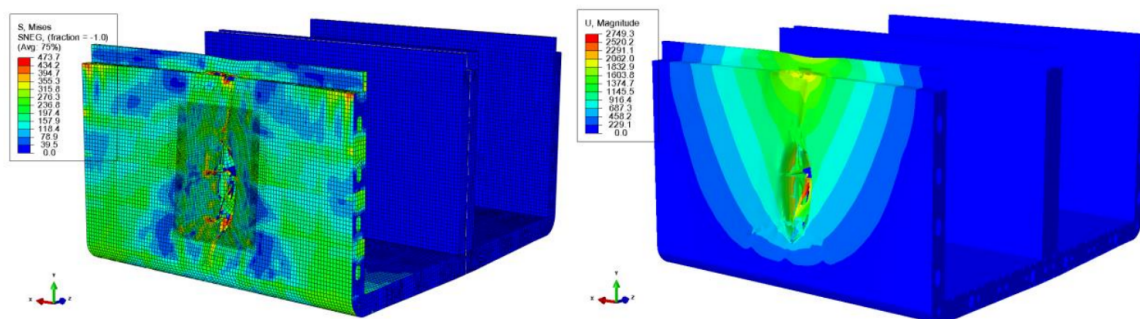
Đối với mô phỏng số đánh giá độ bền sau va chạm, mô đun Static/Riks trong phần mềm thương mại Abaqus 6.14 được áp dụng. Thuật toán này chuyên dùng để tìm độ bền tới hạn của kết cấu. Thiết lập mô hình mô phỏng được thể hiện trên Hình 12. Các phần tử ở điều kiện biên được ràng buộc bởi điểm hai điểm tham khảo RP-1 và RP-2 trên cơ sở thuật toán coupling. Tại hai điểm tham khảo này được đặt tương ứng với hai mô men uốn có cùng độ lớn và ngược chiều nhau.



Hình 12. Mô hình phần tử để phân tích bài toán độ bền dọc

### 4.3. Kết quả và thảo luận

Kết quả mô phỏng số biến dạng do quá trình đâm va của tàu container được thể hiện trên Hình 13. Có thể thấy rằng với năng lượng va chạm của tàu mũi quả lê với tốc độ 6 m/s đã làm khu vực va chạm tại tôn mạn đôi đã bị thủng hoàn toàn và các nẹp gia cường mạn cũng bị nứt gãy. Hình dạng vị trí va chạm có hình dạng giống với phần tiếp xúc giữa mũi quả lê và tôn vỏ tàu. Đáng chú ý, kết cấu trên boong và thành miệng hầm hàng cũng bị gãy khúc do bị va đập với phần trên của mũi quả lê.

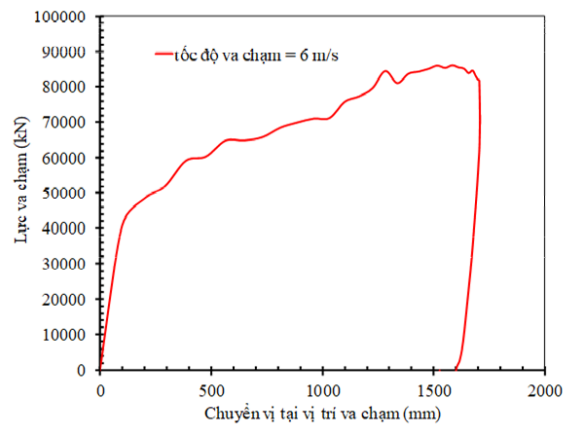


Hình 13. Kết quả mô phỏng đâm va tàu container

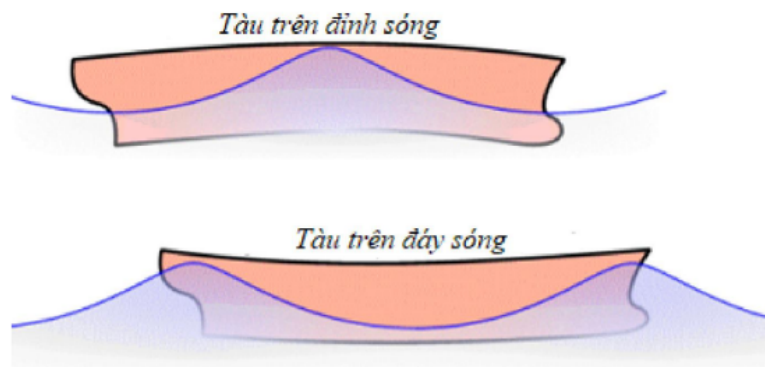
Để hiểu rõ hơn về ứng xử va chạm giữa tàu container và tàu giao thông có mũi quả lê, đồ thị đường cong lực va chạm và chuyển vị tại vị trí “hit point” được sử dụng, xem Hình ???. Tốc độ biến dạng cũng tỉ lệ tuyến tính với vận tốc va chạm  $v$ . Trong nghiên cứu này, lực va chạm lớn nhất  $F_{\max} = 85000$  KN, độ sâu biến dạng lớn nhất  $d_{\max} = 1600$  mm.

Trong nghiên cứu này, độ bền dọc tới hạn của tàu container được khảo sát tại hai trường hợp nguy hiểm nhất là tàu trên đỉnh sóng (hogging) và tàu trên đáy sóng (sagging). Trong cả hai trường hợp thì tại vị trí giữa tàu là vị trí chịu mô men uốn và nén lớn nhất, xem Hình 15. Kết quả mô phỏng số độ bền dọc tới hạn khi tàu bị uốn trên đỉnh sóng và đáy sóng được thể hiện trên Hình 16 và 17. Trong đó, Hình 16(a) và 17(a) là biến dạng của mô hình nguyên vẹn (không bị va chạm), Hình 16(b) và 17(b) là biến dạng của mô hình bị va chạm. Rõ ràng là thông qua biểu đồ màu sắc của ứng suất von Mises

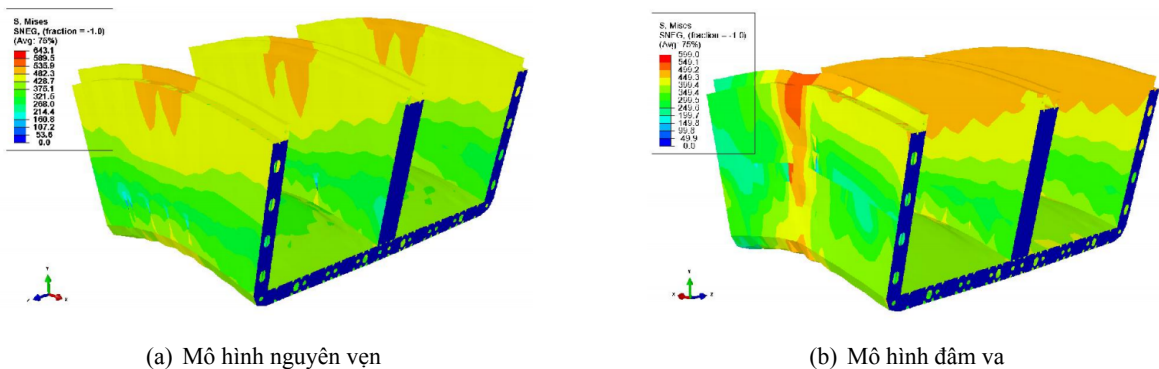
có thể thấy rằng, biến dạng của tàu bị va chạm sẽ nghiêm trọng hơn. Đặc biệt là trường hợp khi tàu bị uốn trên đáy sóng sẽ nghiêm trọng hơn rất nhiều so với trường hợp tàu bị uốn trên đỉnh sóng.



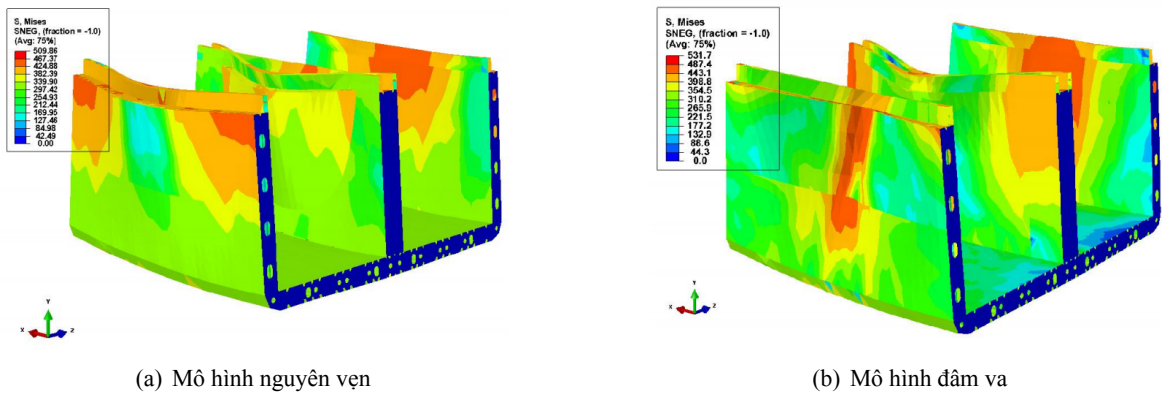
Hình 14. Đường cong lực va chạm – chuyển vị



Hình 15. Sơ đồ tàu bị uốn trên đỉnh sóng và đáy sóng

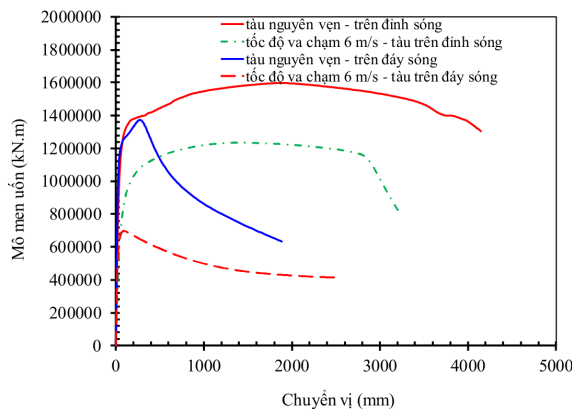


Hình 16. Kết quả ứng suất von Mises – hogging (Trên đỉnh sóng)



Hình 17. Kết quả ứng suất von Mises – sagging (Trên đáy sóng)

Mức độ sụt giảm độ bền dọc giới hạn của mỗi trường hợp được thể hiện trên Hình 18. Mức độ sụt giảm độ bền dọc tới hạn sau va chạm của tàu container trong trường hợp tàu trên đỉnh sóng là 22,69% khi so sánh với tàu nguyên vẹn. Trong khi đó, trong trường hợp tàu trên đáy sóng mức độ sụt giảm độ bền dọc tới hạn là 49,22% khi so sánh với tàu nguyên vẹn. Có thể thấy rằng mức độ sụt giảm độ bền dọc của tàu container sau va chạm khi tàu nằm trên đáy sóng cao hơn gấp đôi khi tàu nằm trên đỉnh sóng. Chi tiết kết quả mô phỏng số trường hợp tốc độ đâm va 6 m/s khi tàu trên đỉnh sóng và đáy sóng được trình bày trong Bảng 4.



Hình 18. Đường cong mô men uốn - chuyển vị khi tàu trên đỉnh sóng và đáy sóng

Bảng 4. Kết quả mô phỏng trường hợp tốc độ đâm va 6 m/s trên đỉnh sóng và đáy sóng

Tốc độ đâm va (m/s)	Chuyển vị (mm)	Mô men uốn tới hạn (kN.m)
Tàu nguyên vẹn – trên đỉnh sóng	-	1596128
Tốc độ đâm va 6 m/s – trên đỉnh sóng	1709	1233907 (-22,69%)
Tàu nguyên vẹn – trên đáy sóng	-	1373992
Tốc độ đâm va 6 m/s – trên đáy sóng	1709	697716 (-49,22%)

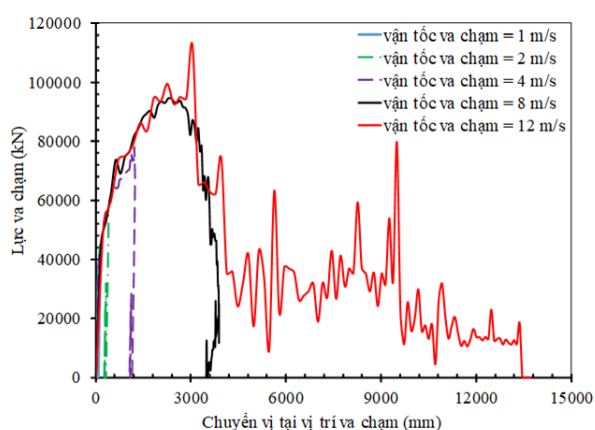


## 5. Mô phỏng khảo sát ảnh hưởng của các tham số va chạm đến độ bền dọc tới hạn của tàu container

### 5.1. Ảnh hưởng của tốc độ va chạm

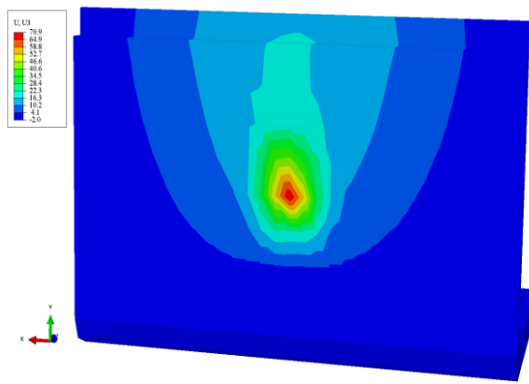
Trong phần này, ảnh hưởng của vận tốc va chạm được nghiên cứu bằng cách tăng vận tốc va chạm ban đầu với 1,0 m/s, 2,0 m/s, 4,0 m/s, 8,0 m/s và 12,0 m/s. Khối lượng tàu đâm va là 10,000 tấn. Rõ ràng là năng lượng va chạm tỷ lệ thuận với bình phương vận tốc va chạm  $v$ . Hơn nữa, tốc độ biến dạng cũng tỉ lệ tuyến tính với vận tốc va chạm  $v$ . Khi vận tốc va chạm tăng dần đều thì chuyển vị cũng tăng theo. Để giảm bớt thời gian cho việc chạy mô phỏng cả phân đoạn, trong mô phỏng khảo sát chỉ mô phỏng một nửa của phân đoạn và thay thế nửa phân đoạn còn lại bằng điều kiện biên tương ứng.

Mối quan hệ giữa đường cong lực - chuyển vị cho các tốc độ đâm va khác nhau được thể hiện tại Hình 19. Với các tốc độ đâm va khác nhau sẽ cho thấy sự chuyển vị khác nhau tương ứng với mức độ biến dạng và phá hủy kết cấu của từng trường hợp. Đặc biệt chuyển vị sẽ tăng với bước nhảy lớn khi tốc độ va chạm từ 8 m/s trở đi. Nguyên nhân dẫn đến bước nhảy lớn về biến dạng là do các nẹp gia cường, tôn vỏ mạn ngoài đã bị nứt gãy hoặc thậm chí tách rời khỏi mạn đôi. Vì vậy, tại thời điểm đó các kết cấu này sẽ không tham gia vào độ bền tổng thể của kết cấu tàu. Đáng chú ý, khi tốc độ va chạm tăng lên 12 m/s, với lực đâm va rất lớn đã làm phá hủy hoàn toàn kết cấu mạn đôi tàu tại vị trí đâm va. Chi tiết mức độ biến dạng cục bộ tại vị trí đâm va với các tốc độ khác nhau được thể hiện trên Hình 20.

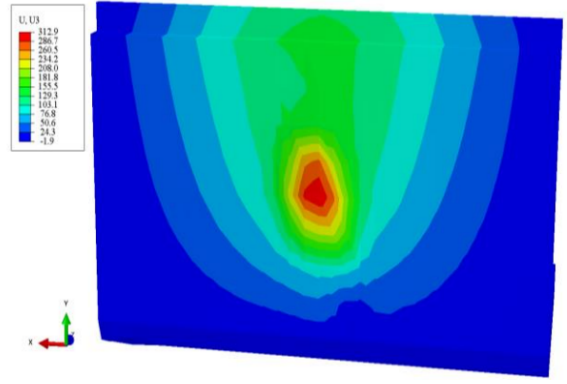


Hình 19. Đường cong lực – chuyển vị với các tốc độ va chạm khác nhau

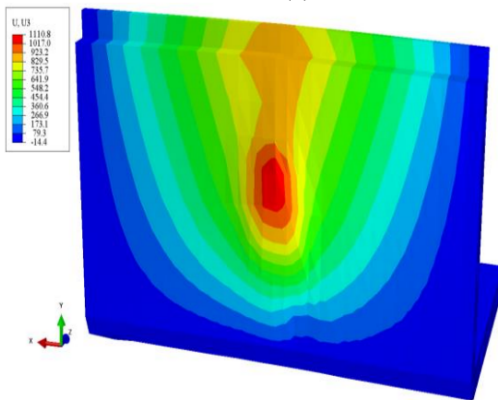
Sự giảm độ bền dọc tới hạn với các vận tốc khác nhau khi so sánh với mô hình nguyên vẹn trong trường hợp tàu nằm trên đỉnh sóng được thể hiện trong Hình 21. Rõ ràng là sự giảm độ bền dọc tới hạn phụ thuộc rất lớn vào tốc độ va chạm, tốc độ va chạm càng tăng thì độ bền dọc tới hạn của tàu container càng giảm. Trong các trường hợp ở nghiên cứu này thì mức độ giảm độ bền tới hạn lớn nhất được ghi nhận là 93,76% khi so với mô hình nguyên vẹn. Chi tiết mức độ giảm độ bền tới hạn được tổng hợp trong Bảng 5. Chi tiết mức độ biến dạng khi tàu bị uốn dọc sau đâm va với các tốc độ khác nhau khi tàu trên đỉnh sóng được thể hiện trên Hình 22. Khi tàu nằm trên đỉnh sóng (hogging), thân tàu như được đặt trên một gối cố định ở mặt cắt giữa tàu. Do đó, phần kết cấu đáy đôi sẽ bị võng lên do chịu uốn. Thân tàu lúc này sẽ chia làm hai vùng: vùng kết cấu phía đáy chịu ứng suất nén và vùng kết cấu phía miêng hãm hàng chịu ứng suất kéo. Tất cả sự thay đổi giữa vùng nén và vùng kéo đều xoay quanh vị trí miền trung hòa.



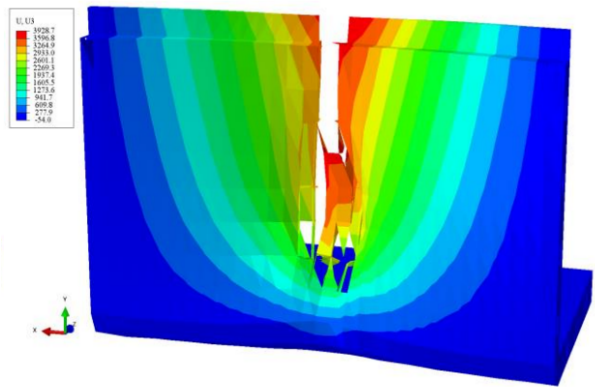
(a) 1 m/s



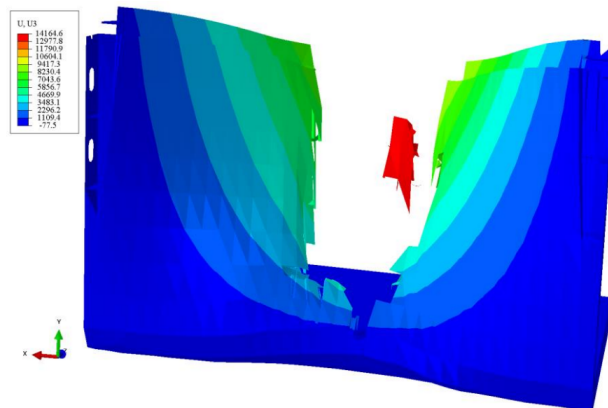
(b) 2 m/s



(c) 4 m/s

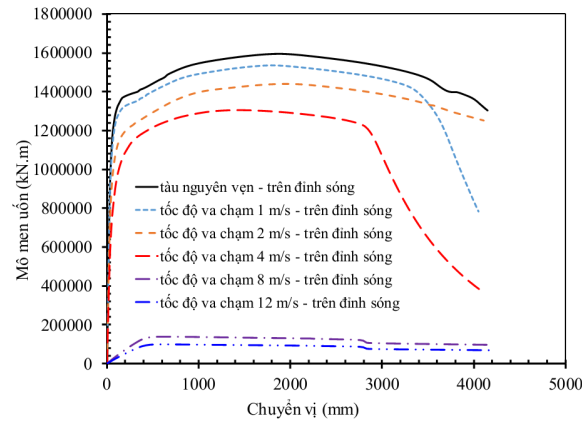


(d) 8 m/s



(e) 12 m/s

Hình 20. Kết quả chuyển vị khi thay đổi tốc độ đâm va

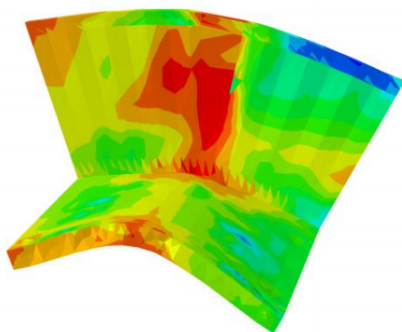
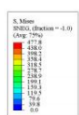


Hình 21. Đường cong mô men – chuyển vị với các tốc độ đâm va khác nhau khi tàu trên đỉnh sóng

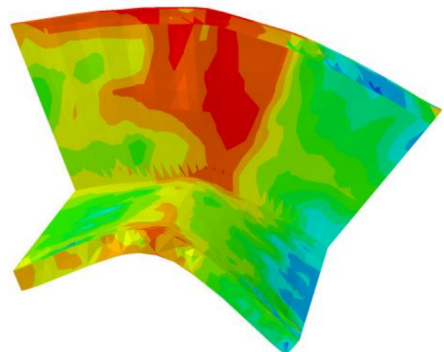
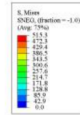
Bảng 5. Kết quả mô phỏng ở các trường hợp tốc độ đâm va khác nhau trên đỉnh sóng

Tốc độ đâm va (m/s)	Chuyển vị (độ sâu biến dạng), (mm)	Mô men uốn tới hạn (kN.m)
Tàu nguyên vẹn – trên đỉnh sóng	-	1596128
Tốc độ đâm va 1 m/s	70,9	1537326 (-3,68%)
Tốc độ đâm va 2 m/s	312,9	1441511 (-9,69%)
Tốc độ đâm va 4 m/s	1110,8	1306489 (-18,15%)
Tốc độ đâm va 8 m/s	3928,7	139501 (-91,26%)
Tốc độ đâm va 12 m/s	14164,6	99644 (-93,76%)

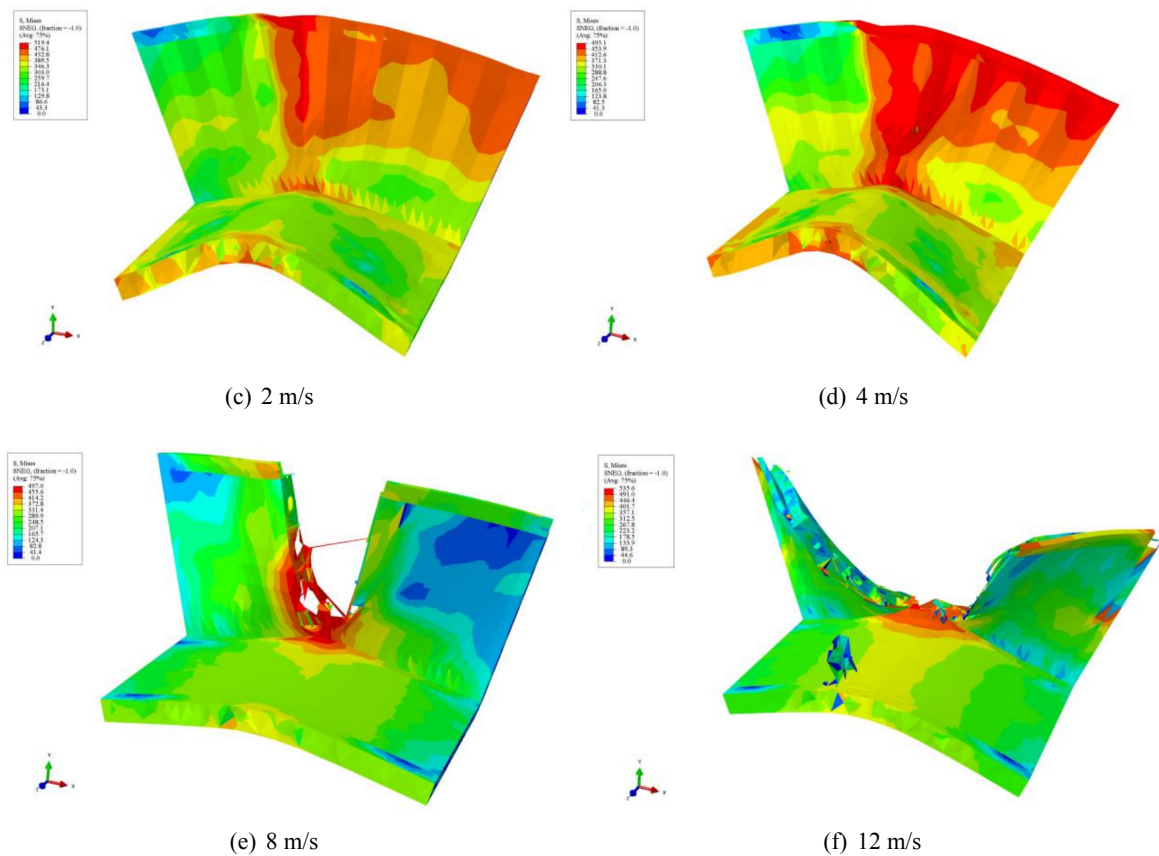
Độ bền uốn của kết cấu tàu container đáy sóng cũng giảm dần khi tăng tốc độ đâm va, kết quả được thể hiện một cách cụ thể qua ở Hình 23. Mức độ giảm độ bền tới hạn lớn nhất được ghi nhận là 93,0% khi so với mô hình nguyên vẹn. Chi tiết mức độ giảm độ bền tới hạn được tổng hợp trong Bảng 6. Có thể nhận thấy rằng, mức độ giảm độ bền dọc tới hạn sau va chạm trong hai trường hợp tàu trên đỉnh sóng và đáy sóng là tương tự nhau với độ lớn khoảng 93%. Chi tiết mức độ biến dạng khi tàu bị uốn dọc sau đâm va với các tốc độ khác nhau được thể hiện trên Hình 24. Khác với trường



(a) Mô hình nguyên vẹn



(b) 1 m/s

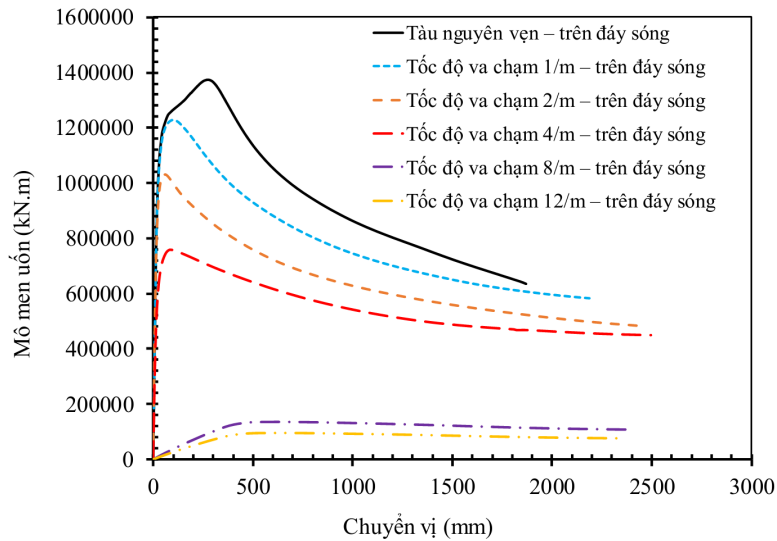


Hình 22. Kết quả ứng suất von Mises – hogging (tàu trên đỉnh sóng) khi tăng tốc độ đâm va

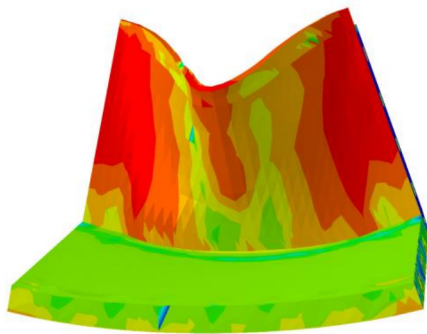
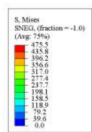
hợp tàu bị uốn trên đỉnh sóng, khi tàu nằm trên đáy sóng (sagging), thân tàu như được đặt trên hai gối cố định ở mặt cắt giữa tàu. Vì vậy, phần kết cấu miệng hầm hàng sẽ bị chịu nén và võng xuống dưới. Có thể dễ dàng nhận ra điều này khi quan sát Hình 24(e) và (f), khi khoảng cách của hai mép vị trí đâm va ở vùng phá hủy được nén lại gần nhau hơn. Hiện tượng này trái ngược với trường hợp tàu trên đỉnh sóng, khi khoảng cách của hai mép vị trí đâm va ở vùng phá hủy được tách ra xa nhau hơn, xem Hình 22(e) và (f).

Bảng 6. Kết quả mô phỏng ở các trường hợp tốc độ đâm va khác nhau trên đáy sóng

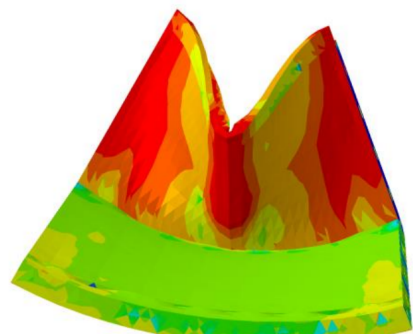
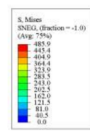
Tốc độ đâm va (m/s)	Chuyển vị (mm)	Mô men uốn tới hạn (kN.m)
Tàu nguyên vẹn – trên đáy sóng	-	1373992
Tốc độ đâm va 1 m/s	70,9	1205893 (-12,23%)
Tốc độ đâm va 2 m/s	312,9	1029848 (-25,05%)
Tốc độ đâm va 4 m/s	1110,8	757864 (-44,84%)
Tốc độ đâm va 8 m/s	3928,7	134136 (-90,24%)
Tốc độ đâm va 12 m/s	14164,6	95811 (-93,03%)



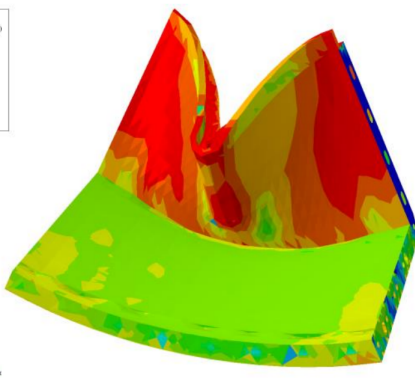
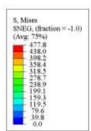
Hình 23. Đường cong mô men – chuyển vị với các tốc độ đâm va khác nhau khi tàu trên đáy sóng



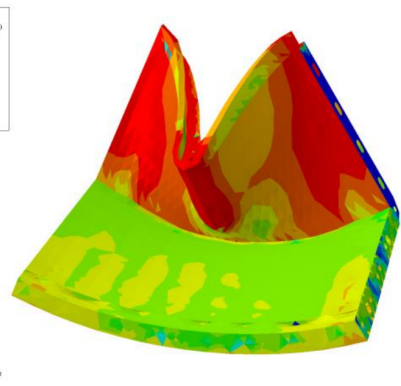
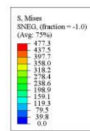
(a) Mô hình nguyên vẹn



(b) 1 m/s

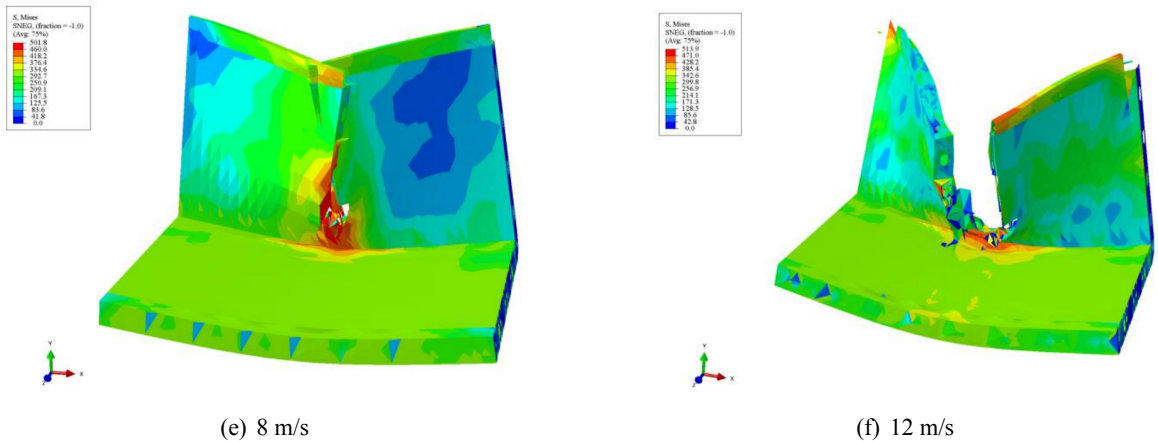


(c) 2 m/s



(d) 4 m/s

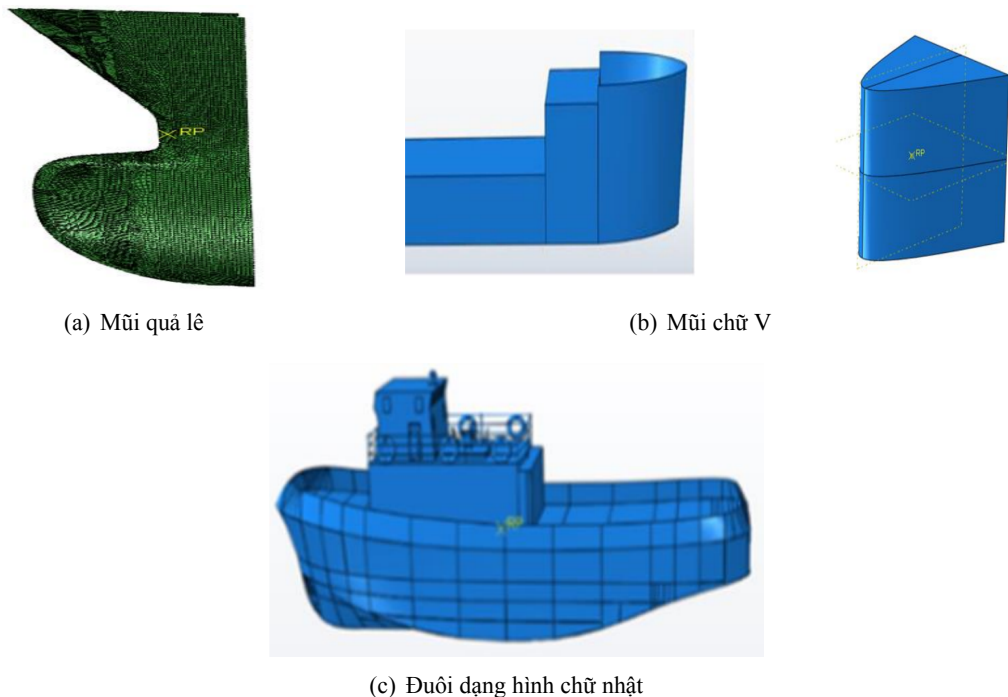




Hình 24. Kết quả ứng suất von Mises – sagging (Trên đáy sóng) khi tăng tốc độ đâm va

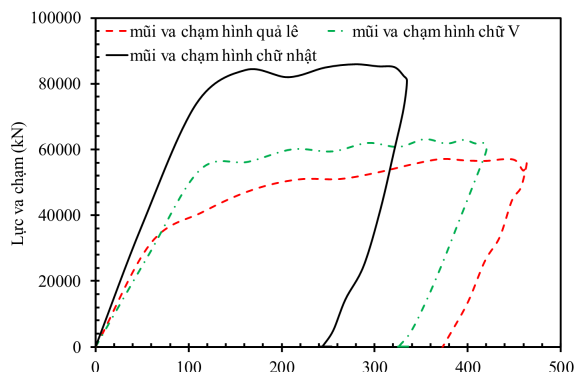
### 5.2. Ảnh hưởng của các kiểu hình dạng mũi tàu va chạm

Trong thực tế, các kết cấu tàu container thường bị đâm va theo nhiều kịch bản khác nhau, ví dụ tàu có thể va chạm với mũi tàu quả lê (hemisphere indenter), hoặc va chạm với mũi tàu hình chữ V hoặc có thể va chạm với mạn tàu hình chữ nhật. Trong nghiên cứu này, ba loại tàu 5000 tấn với hình dạng khác nhau đã được áp dụng. Ba loại kết cấu điển hình cho các loại tàu này có hình dạng lần lượt là: loại mũi quả lê, loại mũi hình lưỡi dao và loại hình chữ nhật, xem Hình 25.

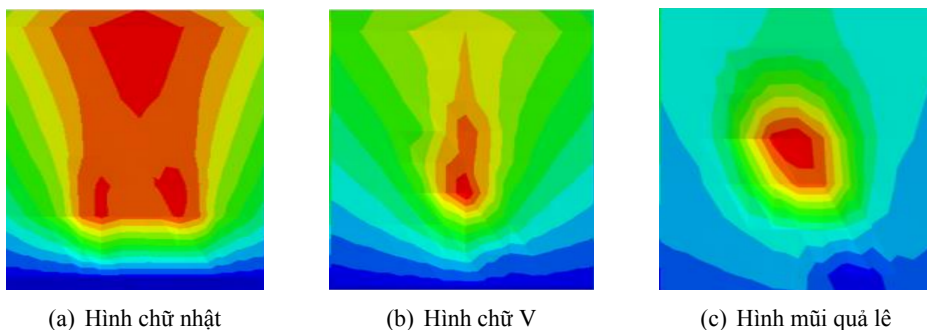


Hình 25. Hình dạng mũi tàu đâm va

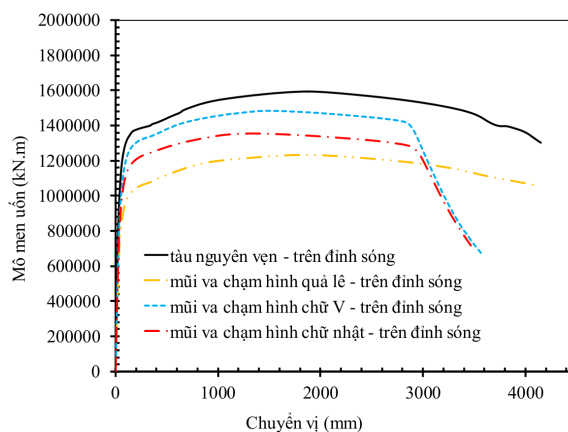
Có thể thấy rằng độ sâu biến dạng của mũi tàu hình quả lê là lớn nhất khi so sánh với mũi hình chữ V và mũi hình chữ nhật, xem Hình 26. Nguyên nhân là do diện tích tiếp xúc khi va chạm của mũi quả lê là nhỏ nhất. Tuy nhiên, với hình dạng va chạm kiểu chữ nhật thì diện tích tiếp xúc khi va chạm là lớn nhất và vùng chịu ảnh hưởng là lớn nhất, xem Hình 27.



Hình 26. Đường cong của lực – chuyển vị khi thay đổi hình dạng vật đâm va



Hình 27. Kết quả mô phỏng với các hình dạng của vật thể đâm va khác nhau

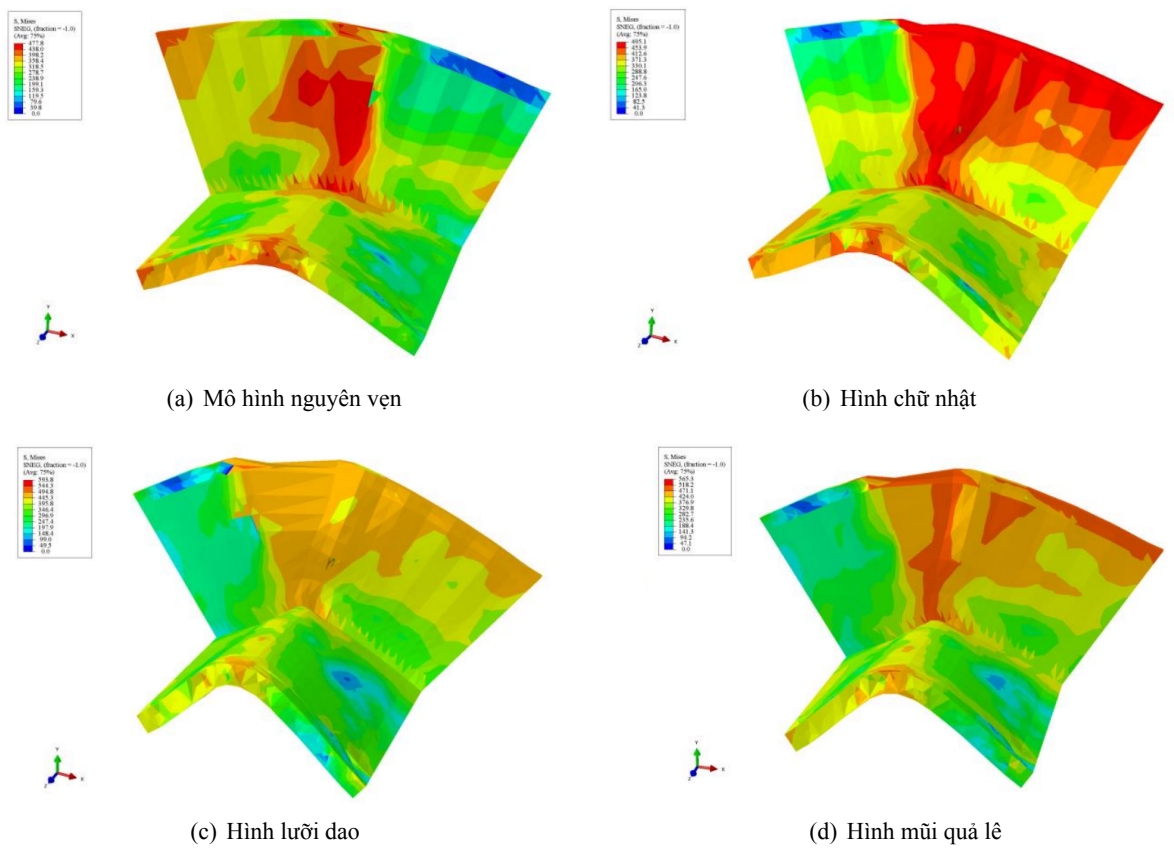


Hình 28. Đường cong mô men – chuyển vị khi thay đổi hình dạng đâm va và khi tàu nằm trên đỉnh sóng

Có thể thấy rằng độ bền dọc tới hạn sau va chạm khi tàu trên đỉnh sóng của mỗi trường hợp phụ thuộc nhiều vào hình dạng mũi đâm va, xem Hình 28. Trường hợp nghiêm trọng nhất là khi đâm va bởi mũi tàu hình quả lê. Trong trường hợp này, mức độ giảm độ bền giới hạn khi so sánh với mô hình nguyên vẹn là 22,65%. Khi tải trọng được đặt bởi kiểu mũi hình chữ V và kiểu hình chữ nhật, mức độ giảm độ bền tới hạn khi so sánh với độ bền giới hạn của mô hình nguyên vẹn (không bị va chạm) lần lượt là 7,01% và 15,12%. Như vậy vật thể va chạm có hình dạng mũi tàu chữ V có ảnh hưởng ít nhất đến độ bền so với các hình dạng mũi khác. Chi tiết kết quả mô phỏng số khi tàu nằm trên đỉnh sóng được thể hiện trong Bảng 7. Kết quả ứng suất von Mises khi tàu trên đỉnh sóng với các hình dạng mũi đâm va khác nhau được thể hiện trong Hình 29.

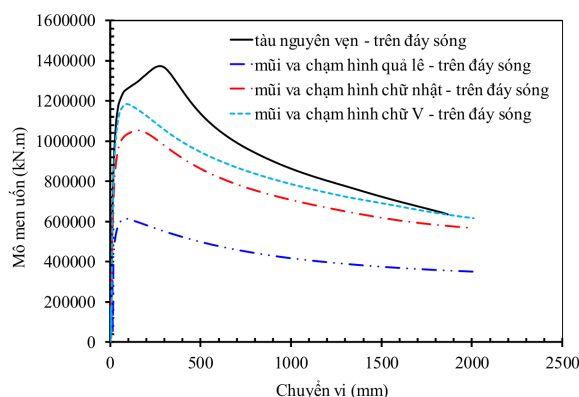
Bảng 7. Kết quả mô phỏng số trường hợp trên đỉnh sóng khi thay đổi hình dạng đâm va

Vật thể đâm va	Chuyển vị (mm)	Mô men uốn tới hạn (kN.m)
Tàu nguyên vẹn – trên đỉnh sóng	-	1596128
Mũi va chạm kiểu hình chữ nhật	337,3	1354869 (-15,12%)
Mũi va chạm kiểu hình chữ V	418,2	1484312 (-7,01%)
Mũi va chạm kiểu quả lê	463,6	1234541 (-22,65%)



Hình 29. Kết quả ứng suất von Mises – trường hợp tàu trên đỉnh sóng với các hình dạng đâm va

Tương tự trường hợp tàu trên đỉnh sóng, độ bền dọc tới hạn sau va chạm khi tàu đáy sóng của mỗi trường hợp phụ thuộc nhiều vào hình dạng mũi đâm va, xem Hình 30. Trường hợp nghiêm trọng nhất là khi đâm va bởi mũi tàu hình quả lê với mức độ giảm độ bền giới hạn khi so sánh với mô hình nguyên vẹn là 31,72%. Khi tải trọng được đặt bởi kiểu mũi hình chữ V và kiểu hình chữ nhật, mức độ giảm độ bền tới hạn khi so sánh với độ bền giới hạn của mô hình nguyên vẹn (không bị va chạm) lần lượt là 13,7% và 23,36%. Chi tiết kết quả mô phỏng số khi tàu nằm trên đỉnh sóng được thể hiện trong Bảng 8. Có thể thấy rằng trong mọi trường hợp thì tàu trên đáy sóng nguy hiểm hơn khi tàu trên đỉnh sóng.



Hình 30. Đường cong mô men – chuyển vị khi thay đổi hình dạng đâm va và khi tàu nằm trên đáy sóng

Bảng 8. Kết quả mô phỏng số trường hợp trên đáy sóng khi thay đổi hình dạng đâm va

Vật thể đâm va	Chuyển vị (mm)	Mô men uốn tới hạn (kN.m)
Tàu nguyên vẹn – trên đáy sóng	-	1373992
Mũi và chạm kiểu hình chữ nhật	337,3	1053046 (-23,36%)
Mũi và chạm kiểu hình chữ V	418,2	1185752 (-13,7%)
Mũi và chạm kiểu quả lê	463,6	938145 (-31,72%)

## 6. Kết luận

Trên cơ sở kết quả thí nghiệm và mô phỏng số với 10 mô hình có thể kết luận rằng:

- Mô hình tính đã lựa chọn là tin cậy, các giá trị đầu vào của mẫu thực nghiệm được thể hiện khá đầy đủ trên mẫu mô phỏng. Kết quả mô phỏng có độ chính xác khá cao với độ sai khác dưới 9% so với thí nghiệm. Các kết quả được trình bày trong nghiên cứu này có thể là cơ sở để dự đoán độ bền dư sau tai nạn của các tàu thực tế.

- Trong nghiên cứu này, mức độ sụt giảm độ bền dọc tới hạn sau va chạm của tàu container trong trường hợp tàu trên đỉnh sóng là 22,69% khi so sánh với tàu nguyên vẹn. Trong khi đó, trong trường hợp tàu trên đáy sóng mức độ sụt giảm độ bền dọc tới hạn là 49,22% khi so sánh với tàu nguyên vẹn. Có thể thấy rằng mức độ sụt giảm độ bền dọc của tàu container sau va chạm khi tàu nằm trên đáy sóng cao hơn gấp đôi khi tàu nằm trên đỉnh sóng.

- Khi xem xét đến ảnh hưởng của tốc độ va chạm, có thể thấy rằng năng lượng va chạm tỷ lệ thuận với bình phương vận tốc va chạm  $v$  và tốc độ biến dạng cũng tỉ lệ tuyến tính với vận tốc va chạm  $v$ . Khi vận tốc va chạm tăng dần đều thì chuyển vị cũng tăng theo. Thêm vào đó, sự giảm độ bền dọc tới hạn phụ thuộc rất lớn vào tốc độ va chạm, tốc độ va chạm càng tăng thì độ bền dọc tới hạn của tàu container càng giảm. Trong các trường hợp ở nghiên cứu này thì mức độ giảm độ bền tới hạn lớn nhất khi tàu trên đỉnh sóng và đáy sóng được ghi nhận lần lượt là 93,76% và 93,03% khi so với mô hình nguyên vẹn.

- Khi xem xét đến ảnh hưởng của hình dạng của mũi tàu đâm va, trường hợp nghiêm trọng nhất là khi đâm va bởi mũi tàu hình quả lê khi tàu trên đỉnh sóng và đáy sóng lần lượt là 22,65% và 31,72%. Khi tải trọng được đặt bởi kiểu mũi hình chữ V và kiểu hình chữ nhật, mức độ giảm độ bền tới hạn khi so sánh với độ bền giới hạn của mô hình nguyên vẹn là dưới 24%. Trong đó, khi tàu va chạm có hình dạng mũi quả lê thì ít nguy hiểm hơn so với tàu va chạm cổ mũi hình chữ nhật.

Đề xuất các nghiên cứu tiếp theo cần xây dựng các công thức dự đoán độ sâu biến dạng khi bị đâm va và độ bền dọc sau va chạm cho tàu container. Bên cạnh đó, tối ưu kết cấu tàu container cũng cần được nghiên cứu để giảm ảnh hưởng của các tai nạn va chạm đến độ bền dọc tới hạn của tàu.

## Lời cảm ơn

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Quỹ Phát triển khoa học và công nghệ Quốc gia (NAFOSTED) theo đề tài mã số 107.01-2019.333.

## Tài liệu tham khảo

- [1] DNV (2007). *Accident statistics for fixed offshore units on the UK Continental Shelf 1980-2005: Research Report RR566*. HSE Books.
- [2] Do, Q. T. (2018). *Collision response of offshore cylindrical structures and their residual strengths*. PhD thesis, University of Ulsan, Korea.
- [3] Sugimura, T., Nozaki, M., Suzuki, T. (1966). [Destructive experiment of ship hull model under longitudinal bending](#). *Journal of Zosen Kiokai*, 1966(119):209–220.
- [4] Dowling, P. J., Moolani, F. M., Frieze, P. A. (1976). The effect of shear lag on the ultimate strength of box girders. *proceedings of International Congress on Steel Plated Structures*, London, 108–147.
- [5] Reckling, K. A. (1979). Behaviour of box girders under bending and shear. *Proceedings of 7th International Ship and Offshore Structures Congress (ISSC)*, Paris, 46–49.
- [6] Akhras, G., Gibson, S., Yang, S., Morchat, R. (1998). [Ultimate strength of a box girder simulating the hull of a ship](#). *Canadian Journal of Civil Engineering*, 25(5):829–843.
- [7] Yao, T., Fujikubo, M., Yanagihara, D., Fujii, I., Matsui, R., Furui, N., Kuwamura, Y. (2002). Buckling Collapse Strength of Chip Carrier under Longitudinal Bending (1st Report) Collapse test on 1/10-scale hull girder model under pure bending. *Journal of the Society of Naval Architects of Japan*, 2002(191): 255–264.
- [8] Gordo, J. M., Soares, C. G. (2009). [Tests on ultimate strength of hull box girders made of high tensile steel](#). *Marine Structures*, 22(4):770–790.
- [9] Van, T. V., Yang, P., Van, T. D. (2018). [Effect of uncertain factors on the hull girder ultimate vertical bending moment of bulk carriers](#). *Ocean Engineering*, 148:161–168.
- [10] IACS (2017). *Common structural rules for bulk carriers and oil tankers*. International Association of Classification Societies.
- [11] Paik, J. K., Mansour, A. E. (1995). [A simple formulation for predicting the ultimate strength of ships](#). *Journal of Marine Science and Technology*, 1(1):52–62.
- [12] Cho, S.-R., Yoon, S.-H., Park, S. H., Song, S. U. (2016). Collision damage and residual strength of box girder structures. *Proceedings of the ICCGS*, 325–332.



- [13] Park, S. H., Yoon, S.-H., Muttaqie, T., Do, Q. T., Cho, S.-R. (2022). Effect of local denting- and fracture-damage on the residual longitudinal strength of box girders. *Journal of Marine Science and Engineering*, 2:52–62.
- [14] Korean Standard (2008). *Test pieces for tensile test for metallic materials*. KS B 0801.
- [15] Do, Q. T., Muttaqie, T., Shin, H. K., Cho, S.-R. (2018). [Dynamic lateral mass impact on steel stringer-stiffened cylinders](#). *International Journal of Impact Engineering*, 116:105–126.
- [16] Do, Q. T., Huynh, V. N., Tran, D. T. (2020). [Numerical studies on residual strength of dented tension leg platforms under compressive load](#). *Journal of Science and Technology in Civil Engineering (STCE) - HUCE*, 14(3):96–109.
- [17] Thắng, Đ. Q., Chí, L. X., Quân, N. V. (2021). [Nghiên cứu độ bền của kết cấu chân giàn khoan biển cố định bằng thép khi bị tàu đâm va](#). *Tạp chí Khoa học Công nghệ Xây dựng (KHCN XD) - ĐHXD*, 15(2V): 79–97.
- [18] Do, Q. T., Huynh, V. V., Cho, S.-R., Vu, M. T., Vu, Q.-V., Thai, D.-K. (2021). [Residual ultimate strength formulations of locally damaged steel stiffened cylinders under combined loads](#). *Ocean Engineering*, 225: 108802.
- [19] Quang, T. Đ., Văn, Q. N. (2021). [Nghiên cứu xây dựng công thức dự đoán độ bền tới hạn kết cấu chân đế giàn khoan ngoài khơi kiểu bán chìm khi bị đâm va bởi các tàu dịch vụ](#). *Tạp chí Khoa học Giao thông vận tải*, 72(5):620–635.
- [20] Do, Q. T., Huynh, V. V., Vu, M. T., Tuyen, V. V., Pham-Thanh, N., Tra, T. H., Vu, Q.-V., Cho, S.-R. (2020). [A New Formulation for Predicting the Collision Damage of Steel Stiffened Cylinders Subjected to Dynamic Lateral Mass Impact](#). *Applied Sciences*, 10(11):3856.
- [21] Do, Q. T., Cho, S.-R., Nguyen, V. D. (2021). [Experimental and Numerical Investigations on the Fracture Response of Tubular T-joints Under Dynamic Mass Impact](#). *Lecture Notes in Mechanical Engineering*, Springer Singapore, 416–430.
- [22] Cerik, B. C., Lee, K., Park, S.-J., Choung, J. (2019). [Simulation of ship collision and grounding damage using Hosford-Coulomb fracture model for shell elements](#). *Ocean Engineering*, 173:415–432.
- [23] ISSC (2020). Ultimate hull girder strength. Report of special task committee VI.2. *Proceedings of 14th ISSC*, Nagasaki, Japan, 2:91–321.
- [24] Hughes, O. F. (1983). *Ship Structural Design: A Rationally-Based, Computer-Aided, Optimization Approach*. John Wiley & Sons.