



ULTIMATE STRENGTH ASSESSMENT OF COLLISION DAMAGE CAUSED BY DROPPED OBJECTS ON CONTAINER SHIP

Nguyen Huy Vu¹, Nguyen Van Canh², Pham Van Thuy³, Quang Thang Do^{1*}

¹Department of Naval Architecture and Ocean Engineering, Nha Trang University, Nha Trang, Viet Nam

²Department of Automotive Engineering, Phan Thiet University, Phan Thiet, Vietnam

³Department of Command and Advisory, Naval Academy, Nha Trang, Viet Nam

ARTICLE INFO

TYPE: Research Article

Received: 19/02/2023

Revised: 25/06/2023

Accepted: 30/06/2023

Published online: 15/10/2023

<https://doi.org/10.47869/tcsj.74.8.1>

* *Corresponding author*

Email: thangdq@ntu.edu.vn; Tel: 0903102869

Abstract. Accidents involving container ships as a result of dropped objects are one of the main factors leading to structural damage of the ship. These accidents might happen during lifting operations, such as cargo transfer from supply vessels to container ships or container unloading at port facilities. These accidents are a major cause of serious damage to the vessel's ultimate strength, potentially leading to environmental pollution, increased repair costs, punctured cargo holds, or even posing a threat to human lives. Therefore, it is necessary to understand collision behaviors and post-collision integrity of container ships under dropped object. This study aims to present numerical investigations on the residual longitudinal ultimate strength of container ships under dropped container collision with various impact scenarios. First, the numerical simulation approach was developed using commercial software ABAQUS with accuracy and reliability confirmed by experimental results. Next, parametric studies were carried out on an actual container ship in two critical cases a ship hogging and sagging. Finally, numerical investigations on the effects of parameters such as impact height, and impact angles on the ultimate longitudinal strength of the ship have been provided. The results can be applied to predict the residual longitudinal ultimate strength of actual container ships under dropped container collision.

Keywords: dropped object, container ship, ultimate longitudinal strength, simulation.



ĐÁNH GIÁ ĐỘ BỀN DỌC CỦA TÀU CONTAINER KHI BỊ VA ĐẬP BỞI KIẾN HÀNG RƠI TỰ DO

Nguyễn Huy Vũ¹, Nguyễn Văn Cảnh², Phạm Văn Thụy³, Đỗ Quang Thắng^{1*}

¹Bộ môn Kỹ thuật tàu thủy, Đại học Nha Trang, Số 02 Nguyễn Đình Chiểu, Nha Trang, Khánh Hòa

²Bộ môn Kỹ thuật ô tô, Đại học Phan Thiết, Số 225 Nguyễn Thông, Phan Thiết, Bình Thuận

³Khoa chỉ huy tham mưu, Học viện Hải Quân, Số 30 Trần Phú, Nha Trang, Khánh Hòa

THÔNG TIN BÀI BÁO

CHUYÊN MỤC: Công trình khoa học

Ngày nhận bài: 19/02/2023

Ngày nhận bài sửa: 25/06/2023

Ngày chấp nhận đăng: 30/06/2023

Ngày xuất bản Online: 15/10/2023

<https://doi.org/10.47869/tcsj.74.8.1>

* Tác giả liên hệ

Email: thangdq@ntu.edu.vn; Tel: 0903102869

Tóm tắt. Các tai nạn liên quan đến tàu container do kiện hàng container rơi tự do là một trong những nguyên nhân chính dẫn tới hư hỏng kết cấu tàu. Những tai nạn này có thể xảy ra trong quá trình thực hiện các hoạt động nâng hạ, chẳng hạn như việc chuyển hàng hóa từ tàu cung ứng sang tàu container hoặc việc dỡ container từ các tàu xuống tại các cảng. Các tai nạn này là nguyên nhân gây ra thiệt hại nghiêm trọng đến độ bền của con tàu, có thể gây ô nhiễm môi trường, tốn kém về chi phí sửa chữa, làm thủng các khoang chứa hoặc thậm chí đe dọa đến tính mạng con người. Do đó, việc tìm hiểu các ứng xử va chạm và độ bền sau va chạm của tàu container dưới tác dụng của kiện hàng container rơi tự do là cần thiết. Nghiên cứu này trình bày kết quả mô phỏng số về độ bền dọc của tàu container sau khi bị va đập bởi kiện hàng container với các kịch bản va đập khác nhau. Đầu tiên, phương pháp mô phỏng số được xây dựng trên phần mềm thương mại ABAQUS với độ chính xác và tin cậy được kiểm chứng với kết quả thí nghiệm. Tiếp theo, mô phỏng khảo sát độ bền dọc của tàu container thực tế trong hai trường hợp nguy hiểm nhất là tàu trên đỉnh sóng và tàu trên đáy sóng khi bị tai nạn va đập. Cuối cùng, nghiên cứu ảnh hưởng của các tham số như chiều cao va đập và góc va đập của kiện hàng đến độ bền tới hạn dọc của tàu đã được khảo sát và đánh giá. Các kết quả trình bày trong nghiên cứu này có thể áp dụng để dự đoán độ bền dọc cho các tàu thực tế khi bị tai nạn va đập bởi kiện hàng container rơi tự do.

Từ khóa: kiện hàng container, tàu container, độ bền tới hạn dọc, mô phỏng số.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Trong quá trình hoạt động, bên cạnh các trường hợp tải trọng bình thường, các tàu container cũng phải đối mặt với các tai nạn bất ngờ có liên quan đến va đập, mắc cạn, hỏa hoạn, kể cả các vật thể rơi tự do trên boong. Trường hợp vật rơi trên boong có thể xảy ra khi xuất hiện sự cố của hệ thống cầu trong quá trình bốc dỡ các hàng hóa container trên tàu khi cập cảng hoặc xuất bến [1]. Các tai nạn này là nguyên nhân gây ra thiệt hại nghiêm trọng đến độ bền của con tàu, có thể gây ô nhiễm môi trường, tốn kém về chi phí sửa chữa, làm thủng các khoang chứa hoặc thậm chí đe dọa đến tính mạng con người [2]. Các tai nạn vật rơi tự do sẽ làm phá hủy cục bộ kết cấu tàu, dẫn đến mất an toàn trong lúc vận hành, do đó để đánh giá được mức độ hư hỏng của kết cấu đáy tàu sau va đập, điều cần thiết là phải đánh giá được thực trạng của kết cấu vùng bị va đập và độ bền dư còn lại của nó sau va đập để xây dựng phương án sửa chữa [3].

Một số nhà nghiên cứu đã thực hiện các thí nghiệm uốn trên các dầm có cấu trúc dạng hộp nguyên vẹn để dự đoán độ còn lại của thân tàu. Sugimura và cộng sự [4], đã tiến hành thí nghiệm uốn dọc trên mô hình thân tàu với tỷ lệ 1/5. Mô hình thân tàu bị uốn cong tại 3 điểm đã được Dowling và cộng sự [5] thực hiện vào năm 1976. Năm 1979, bảy thí nghiệm uốn cong thân tàu trên mô hình thuần túy đã được thực hiện bởi Reckling [6]. Tiếp theo, Akhras và các cộng sự [7], Yao và các cộng sự [8], Gordo và Guedes Soares [9], cũng đã tiến hành các thử nghiệm liên quan đến mô men uốn dọc dựa trên mô hình thân tàu thu nhỏ. Bên cạnh đó, có các nghiên cứu về tính toán lý thuyết cho bài toán độ bền dọc của thân tàu chịu tác dụng của mô men uốn [10–12]. Nhìn chung, tất cả các thí nghiệm đã được công bố đều thực hiện trên mô hình hộp có nẹp gia cường nguyên vẹn (chưa bị biến dạng do va đập).

Gần đây, Park và cộng sự [13,14] đã thực hiện nghiên cứu về độ bền sau va chạm của mô hình thu nhỏ hình hộp chữ nhật có nẹp gia cường. Đầu tiên các mô hình được thử nghiệm va chạm bởi trọng vật rơi tự do, sau đó các mô hình này được chuyển tới thử nghiệm độ bền uốn để đánh giá độ sụt giảm mô men uốn tới hạn. Các kết quả thử nghiệm này có ý nghĩa quan trọng trong việc làm cơ sở dữ liệu đánh giá độ chính xác và tin cậy của mô hình mô phỏng số. Tuy nhiên, các thí nghiệm này là các mô hình thu nhỏ hình hộp chữ nhật có nẹp gia cường chưa đại diện cho kết cấu tàu container.

Cho đến gần đây vẫn chưa có nghiên cứu nào công bố về độ bền còn lại sau va đập của kết cấu tàu Container sau va chạm. Do đó, việc cung cấp kết quả nghiên cứu về độ bền sau va đập của các kết cấu tàu Container là cần thiết. Trong nghiên cứu này trình bày kết quả đánh giá độ bền dọc tới hạn sau va chạm của tàu container với kích thước thực tế bị va chạm bởi kiện hàng container rơi tự do lên đáy đôi tàu trong hai trường hợp nguy hiểm nhất là tàu trên đỉnh sóng và đáy sóng.

2. GIỚI THIỆU CÁC MÔ HÌNH THÍ NGHIỆM

2.1. Mô tả thí nghiệm

Để đánh giá độ bền dọc giới hạn sau khi va đập của kết cấu thân tàu với va đập cục bộ, bài báo tham khảo kết quả của các thí nghiệm vật lý được thực hiện bởi giáo sư Cho Sang-Rai và các cộng sự tại ULSAN Lab, Đại học Ulsan, Hàn Quốc [13,14]. Mục đích tham khảo kết quả thí nghiệm này nhằm đánh giá độ chính xác và tin cậy của phương pháp mô phỏng số đã xây dựng.

Tính chất vật liệu của mô hình được xác định dựa trên kết quả thử nghiệm kéo theo tiêu chuẩn KS B 0801 [15]. Kết quả thử nghiệm kéo được tổng hợp theo Bảng 1. Điều kiện thí nghiệm gồm khối lượng trọng vật, vị trí va đập và độ cao rơi của trọng vật được tổng hợp như Bảng 2. Thiết lập thí nghiệm rơi va đập được thực hiện trên máy va đập như Hình 1. Sau khi thí nghiệm rơi va đập kết thúc, toàn bộ mô hình được chuyển sang thiết lập thí nghiệm uốn cong bốn điểm để xác định độ bền dư của mô hình sau va đập, xem Hình 2. Để xem xét các trường hợp va chạm thường xảy ra trong thực tế, phần đầu của trọng vật va đập được giả định với hai kiểu: hình lưỡi dao và hình bán cầu.

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, σ_Y (MPa)	Ứng suất tới hạn, σ_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.

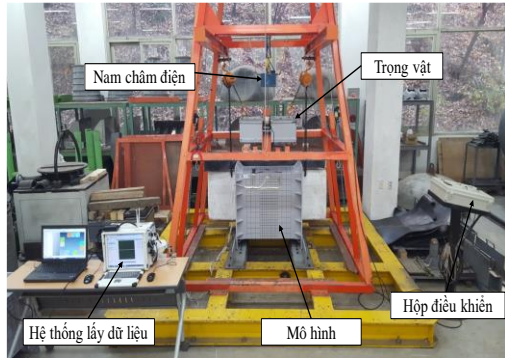
Mô hình	Khối lượng trọng vật	Vị trí va chạm	Độ cao rơi của trọng vật
DB-1	400 kg	Giữa mạn bên trái	1,2 m
DB-2			1,6 m
DB-3		Góc mạn trái	1,2 m
DB-4			1,6 m
DB-5	570 kg	Góc mạn trái (cách vị trí giữa 112 mm)	1,9 m
DB-6			1,6 m
DB-7		Góc mạn trái (cách vị trí giữa 188 mm)	1,9 m
DB-8			1,6 m

3. MÔ PHỎNG SỐ

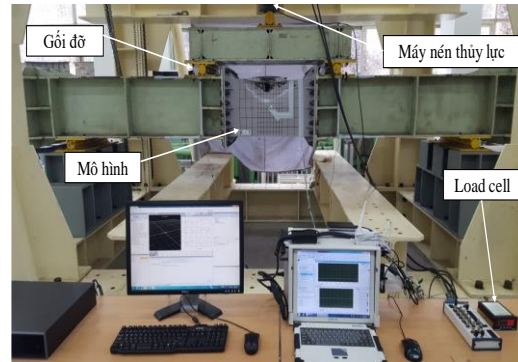
3.1. Thiết lập các thông số cho bài toán mô phỏng

Đối với mô phỏng va đập, các thuộc tính của vật liệu được xác định bằng các công thức được đề xuất bởi tác giả và cộng sự trong tài liệu tham khảo số [16]. 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 công thức này đã được áp dụng thành công và chứng minh được sự chính xác và tin cậy với các kết cấu kiểu cylinder ngoài khơi như giàn khoan [17-20], tàu ngầm [21], chân tuabin gió khi bị va chạm [22]. Cần chú ý rằng đối với bài toán va đập thì ứng xử va đập của vật liệu phụ thuộc lớn vào tốc độ biến dạng. Trong nghiên cứu này, 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 3. Trong bài toán mô phỏng va đập, khi năng lượng va đập 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 tài liệu

tham khảo số [23].

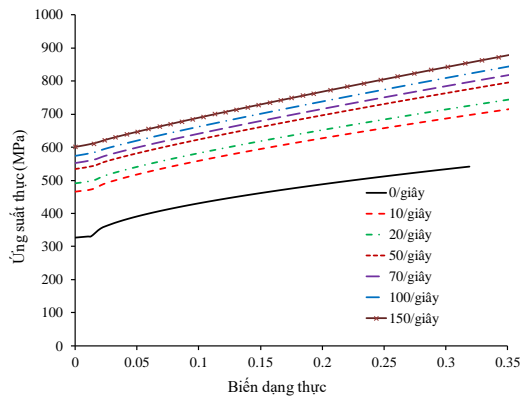


Hình 1. Thiết lập thí nghiệm va chạm [14].

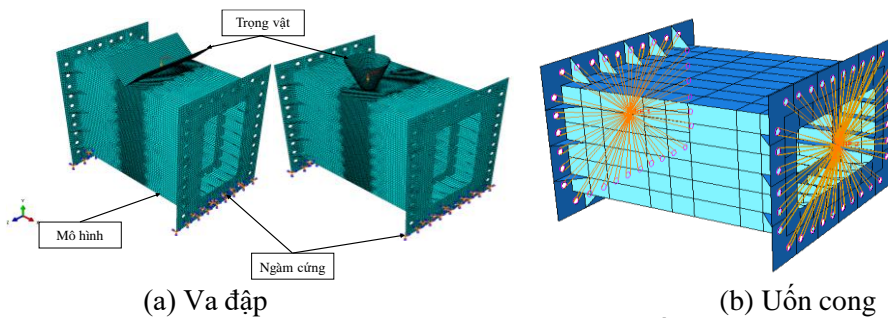


Hình 2. Thiết lập thí nghiệm uốn dọc [13].

Hình 4(a) thể hiện mô hình mô phỏng số cho thí nghiệm va đập. Liên kết giữa đế của mô hình với chân đế của máy va đập là ngàm cứng bằng các bu lông. Vật thể rơi được giả thiết là vật rắn tuyệt đối với phần tử loại R3D4. Để đảm bảo không bị trượt trong quá trình va đập giữa hai bề mặt thì hệ số ma sát giữa trọng vật rơi và đế va đập và vật bị va đập được lấy bằng 0,3. Áp dụng mô hình Rayleigh damping cho quá trình rung động sau va đập [18-23]. Sau khi mô phỏng quá trình va đập kết thúc, tất cả các mô hình được chuyển tiếp qua bài toán mô phỏng độ bền dư sau va đập. Do đó, tất cả các kết quả ứng suất dư sinh ra trong quá trình va đập được xét đến trong bài toán độ bền uốn như Hình 4(b).



Hình 3. Đường cong ứng suất và biến dạng áp dụng cho mô hình số.

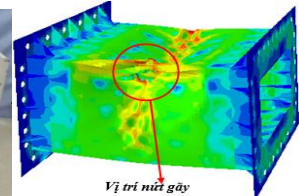
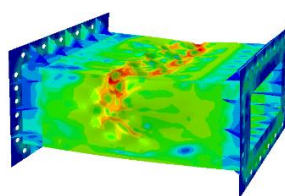


Hình 4. Mô hình mô phỏng số.

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

Hình 5 biểu diễn 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 cho mô hình IB-1. Tương tự như trường hợp tàu bị uốn trên đáy sóng ở thực tế, tại vị trí mặt cắt giữa của mô hình bị phá hủy, phần kết cấu phía nửa trên mô hình chịu ứng suất nén và ngược lại phần kết cấu phía nửa dưới chịu ứng suất kéo. So sánh kết quả giữa phân tích số và thực nghiệm cho mô hình phá hủy DB-7 được biểu diễn ở Hình 6. Nhận thấy rằng, khu vực bị phá hủy của mô hình thí nghiệm và mô phỏng gần như là giống nhau. Hai giá trị kết quả mô men uốn dọc tới hạn của mô hình sau va đập đối với thực nghiệm và mô phỏng lần lượt là 245,2 kN.m và 271,2 kN.m. Sai khác giữa kết quả mô phỏng và kết quả thực nghiệm khoảng 10 % (Giá trị $X_m = 0,904$).

Tất cả các giá trị mô men uốn dọc của mỗi mô hình, cũng như độ sụt giảm về mô men uốn dọc của mô hình trước và sau va đập được thể hiện trên Bảng 3. Các thực nghiệm trong nghiên cứu này có các giá trị độ sụt giảm về mô men uốn dọc của mô hình sau va đập so với mô hình nguyên vẹn là không lớn hơn 15%. Bên cạnh đó, giá trị sai khác trung bình giữa kết quả mô phỏng với kết quả thí nghiệm chỉ xấp xỉ 9%. Ngoài ra, hệ số biến thiên COV có giá trị khá nhỏ chỉ 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 5. So sánh kết quả mô phỏng số và thực nghiệm cho mô hình nguyên vẹn IB-1 [14].

Hình 6. So sánh kết quả mô phỏng số và thực nghiệm cho mô hình phá hủy DB-7.

4. MÔ PHỎNG KHẢO SÁT SỰ ẢNH HƯỞNG CỦA CÁC THAM SỐ TRÊN TÀU CONTAINER

Bảng 3. So sánh kết quả mô phỏng số và kết quả thực nghiệm của các mô hình.

Mô hình	Giá trị mô men uốn lớn nhất (kN.m)		X_m (T. nghiệm/M.phỏng)
	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 (độ lệch chuẩn)		2,19 %

Sau khi đánh giá được độ tin cậy của phương pháp mô phỏng số trên cơ sở so sánh kết quả mô phỏng số với kết quả thực nghiệm, tiếp theo thực hiện các mô phỏng số để khảo sát độ bền dọc dư sau tai nạn do kiện hàng container bị rơi tự do lên đáy tàu của tàu container ngoài thực tế. Cụ thể, các tham số được khảo sát như chiều cao va đập và góc va đập tới độ bền dọc tới hạn của tàu được đánh giá.

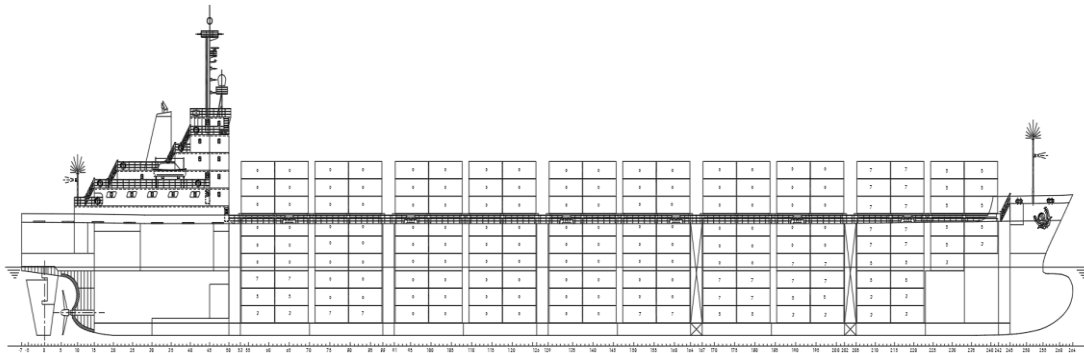
4.1 Các thông số cơ bản của tàu container

Tàu bị va đập được chọn là tàu container, tàu có tải trọng 24750 tấn và có vùng hoạt động là không hạn chế. Các thông số cơ bản được thể hiện như sau:

- Chiều dài lớn nhất: $L_{\max} = 191,2 \text{ (m)}$
- Chiều dài 2 trụ: $L_{pp} = 181,6 \text{ (m)}$
- Chiều dài thiết kế: $L_{DWL} = 185,8 \text{ (m)}$
- Chiều rộng: $B = 27,8 \text{ (m)}$
- Chiều chìm: $T = 9,6 \text{ (m)}$
- Chiều cao mạn: $H = 15,74 \text{ (m)}$

Vật liệu: Thép mác DH32, có $\sigma_Y = 315 \text{ MPa}$, $\sigma_T = 520 \text{ MPa}$

Mô hình mô phỏng bị va đập được thể hiện bằng một đoạn giữa phần thân ống của tàu, nằm trong khoảng sườn từ Fr129 đến Fr164. Vị trí đoạn thân ống này được giới hạn hai đầu bởi kết cấu vách kín nước và có tổng chiều dài 25,9 m. Bố trí chung của tàu container được thể hiện như Hình 7.

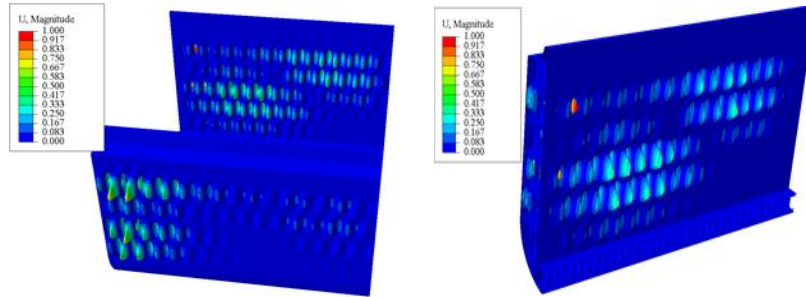


Hình 7. Bố trí chung của tàu container (đối tượng bị va đập).

4.2 Xây dựng mô hình mô phỏng số

Đối với tàu nguyên vẹn (intact ship), khi đánh giá độ bền dọc tới hạn thì cần xem xét tới ảnh hưởng của ứng suất dư và biến dạng ban đầu. Theo DNV-GL [16] giá trị biến dạng ban đầu không được vượt quá $0,5t$ (t là chiều dày tôn vỏ). Đối với tàu khảo sát trong nghiên cứu này, độ lớn của biến dạng ban đầu không lớn hơn 6,0 mm. Biến dạng ban đầu được tích hợp bằng cách thực hiện mô phỏng “Linear buckle” kết quả được thể hiện như Hình 8. Chú ý rằng độ lớn của biến dạng ban đầu chỉ được áp dụng cho mô hình nguyên vẹn. Đối với mô hình bị va đập thì có thể bỏ qua bởi vì độ lớn của biến dạng do quá trình va đập lớn hơn rất nhiều so với độ lớn của biến dạng ban đầu. Hình 9 đường cong thể hiện sự ảnh hưởng của giá trị biến dạng ban đầu đến mô men uốn dọc tới hạn của tàu.

Phần tử lưới được lựa chọn là kiểu S4R. Kích thước lưới tối ưu được lựa chọn trên cơ sở thực hiện khảo sát hội tụ lưới, xem Hình 10. Trong nghiên cứu này, kích thước lưới mịn là $70 \times 70 \text{ mm}$ tại vùng va chạm, kích thước lưới thô là $210 \times 210 \text{ mm}$ ngoài vùng va chạm. Tổng số phần tử của mô hình là 313000 phần tử.



Hình 8. Chuyển vị tương đối biến dạng ban đầu các kết cấu cục bộ của mô hình.

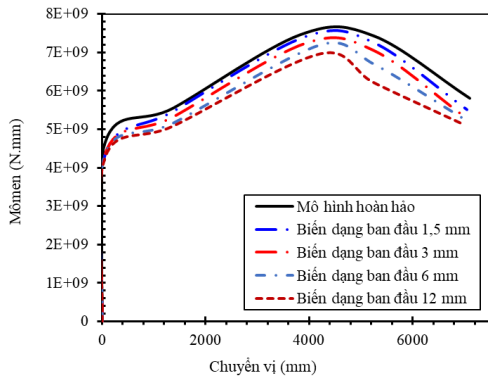
Mô phỏng số và đập được thực hiện trên mô đun Dynamic Explicit, trong khi bài toán độ bền sau va đập được thực hiện trên mô đun Static/Riks của Abaqus 6.17. Thuật toán Coupling được áp dụng để ràng buộc điều kiện biên tại hai điểm tham chiếu RP1 và RP2. Đặt giá trị mô men uốn có cùng độ lớn nhưng ngược chiều nhau tại hai điểm này tương ứng cho hai trường hợp tàu bị uốn trên đỉnh sóng và đáy sóng. Mô hình mô phỏng thiết lập như Hình 11 và 12.

4.3. Ảnh hưởng của chiều cao va đập

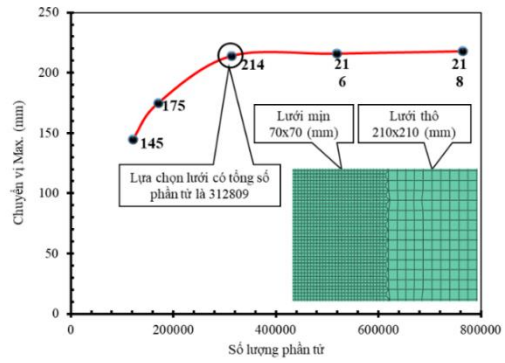
Chiều cao rơi tự do của kiện hàng container được khảo sát với các trường các hợp sau: 5 m, 15 m, 25 m, 30 m và 35 m tính từ mặt sàn của đáy đôi tàu. Vị trí va đập được khảo sát tại khu vực giữa đáy tàu. Khối lượng của kiện hàng container theo tiêu chuẩn là 45 tấn.

Kết quả biến dạng khi tàu bị va đập bởi kiện hàng container tại độ cao 5 m và 35 m được thể hiện trên Hình 13. Có thể nhận thấy rằng, độ sâu biến dạng và diện tích bị biến dạng tại độ cao của rơi tự do 35 m lớn hơn nhiều so với độ cao 5 m. Điều này dễ dàng giải thích trên cơ sở công thức (18)-(19). Bởi vì vận tốc va chạm tỷ lệ thuận với độ cao va đập, và động năng va chạm cũng tỷ lệ thuận với tốc độ va đập.

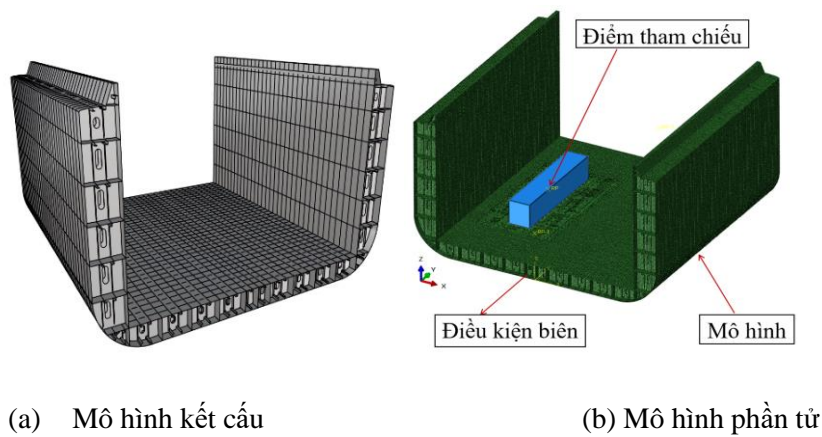
Đường cong lực va đập – chuyển vị khi kiện hàng rơi ở các độ cao khác nhau được thể hiện trong Hình 14. Như đã đề cập, với độ cao va đập tăng dần thì độ lớn của chuyển vị cũng tăng theo. Trong nghiên cứu này, chuyển vị vĩnh viễn lớn nhất tại trung điểm cạnh tiếp xúc giữa kiện hàng container và tôn đáy tàu là 152,3 mm tại độ cao va đập 35 m. Cần chú ý rằng trong quá trình va đập thì chuyển vị có thể đạt tới 322,56 mm (xem Hình 14a). Tuy nhiên, sau khi kết cấu kiện hàng container đã dừng va đập thì vật liệu sẽ đàn hồi (spring-back) để đạt chuyển vị vĩnh viễn. Trong thực tế, độ cao va đập có thể còn cao hơn vì hầu hết các tàu container khi cập cảng để bốc dỡ hàng, các cần cầu được di chuyển ở bên ngoài tàu vào (không được bố trí sẵn trên boong tàu) và phải nâng kiện hàng container lên cao hơn nhiều so với độ cao của mạn tàu và độ cao của container xếp cao nhất. Trong nghiên cứu này, độ cao của mạn tàu là 15,74 m và độ cao của container xếp cao nhất so với đáy tàu là khoảng 25 m.



Hình 9. Đường cong mômen – chuyển vị khi thay độ lớn biến dạng ban đầu (Uốn trên đỉnh sóng).



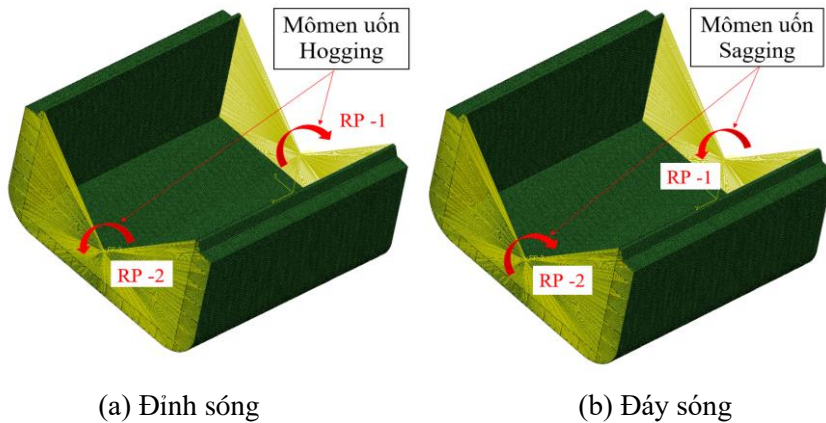
Hình 10. Đường cong kiểm tra sự hội tụ lưới.



(a) Mô hình kết cấu

(b) Mô hình phần tử

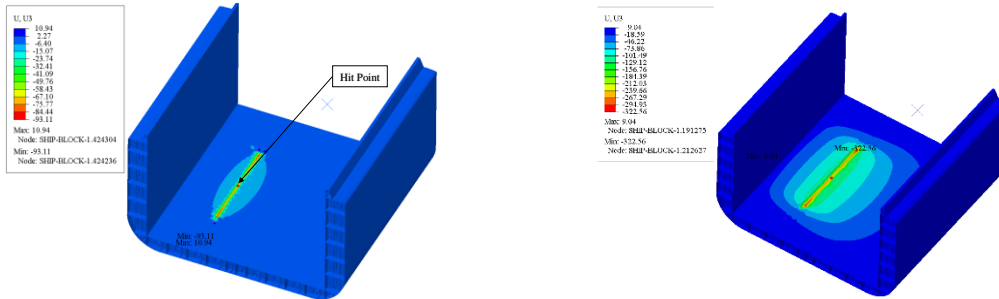
Hình 11. Mô hình phần tử cho bài toán va đập.



(a) Đỉnh sóng

(b) Đáy sóng

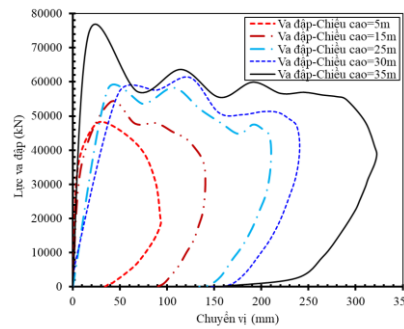
Hình 12. Mô hình phần tử để phân tích bài toán độ bền dọc.



(a) Va đập $h = 5\text{ m}$

(b) Va đập $h = 35\text{ m}$

Hình 13. Kết quả chuyển vị khi thay đổi chiều cao rơi va đập.



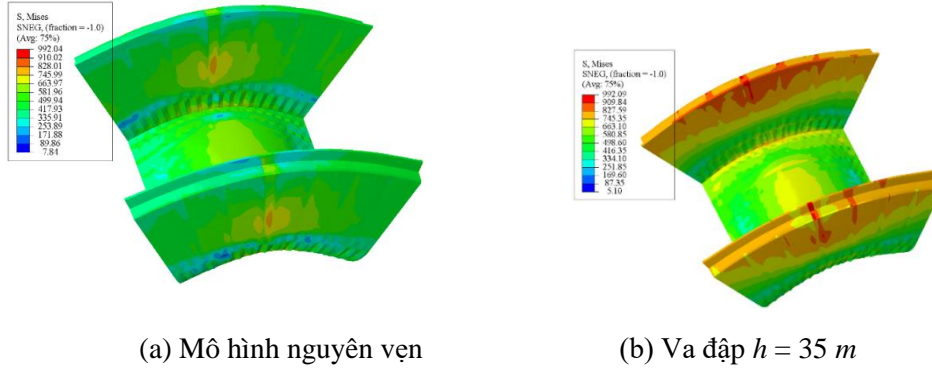
Hình 14. Đường cong lực – chuyển vị khi tăng chiều cao rơi va đập.

$$v = \sqrt{2gh} \quad (18)$$

$$E_k = \frac{1}{2}mv^2 \quad (19)$$

Kết quả so sánh biến dạng của tàu nguyên vẹn và tàu bị va đập trong trường hợp tàu trên đỉnh sóng (hogging) được trình bày trong Hình 15. Có thể nhận thấy rằng, tàu bị va đập có sự phân bố ứng suất von Mises lớn hơn nhiều so với tàu nguyên vẹn. Ứng suất dư xuất hiện khi tàu bị va đập là nguyên nhân chính dẫn tới tự tăng nhanh về độ lớn của ứng suất von Mises, đặc biệt là khu vực đáy tàu. Đây cũng là nguyên nhân làm giảm độ bền uốn dọc của tàu bị va đập khi so sánh với tàu nguyên vẹn, xem Hình 16. Các giá trị độ bền uốn của tàu khi trên đỉnh sóng hầu như bị giảm dần khi tăng chiều cao va đập. Cụ thể, khi tăng dần chiều cao va đập từ 5 m lên 15 m, 25 m và 30 m thì giá trị mômen uốn bị giảm dần từ 5,0%, 21%, 23% và hơn 25% khi so sánh với tàu nguyên vẹn. Trường hợp giá trị mômen uốn bị giảm lớn nhất xấp xỉ 28,41% tại vị trí độ cao 35 m. Chi tiết kết quả mô phỏng ứng xử và chạm và độ bền sau va chạm của tàu container được tổng hợp trong Bảng 4.

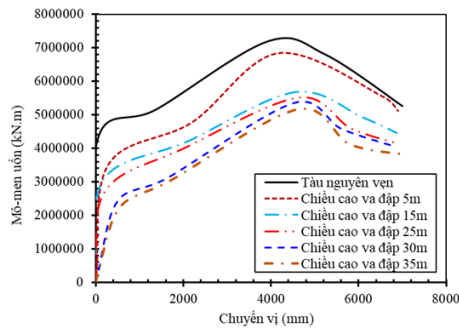
Đối với trường hợp tàu bị uốn trên đáy sóng, mức độ sụt giảm độ bền uốn của tàu sau va đập khi so sánh với tàu nguyên vẹn là lớn hơn nhiều so với trường hợp tàu trên đỉnh sóng. Nguyên nhân là khi tàu bị uốn trên đáy sóng thì các kết cấu khu vực đáy tàu là kết cấu chính chống lại mô men uốn. Tuy nhiên, các kết cấu này đã bị biến dạng hoặc hư hỏng một phần do va chạm. Do đó, khả năng chống uốn cũng bị giảm theo, xem Hình 17 và 18. Chi tiết mức độ sụt giảm độ bền uốn sau va đập với các độ cao va đập khác nhau được thể hiện trong Bảng 5.



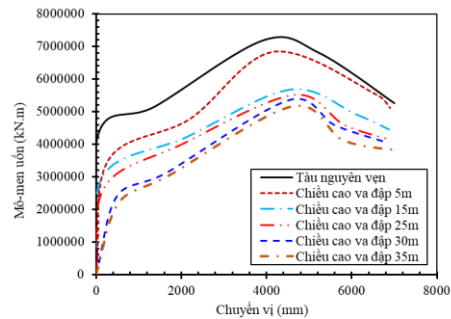
(a) Mô hình nguyên vẹn (b) Va đập $h = 35\text{ m}$
 Hình 15. Kết quả ứng suất von Mises trong trường hợp tàu bị uốn trên đỉnh sóng.

Bảng 4. Kết quả mô phỏng số tại các chiều cao va đập khác nhau khi tàu bị uốn trên đỉnh sóng.

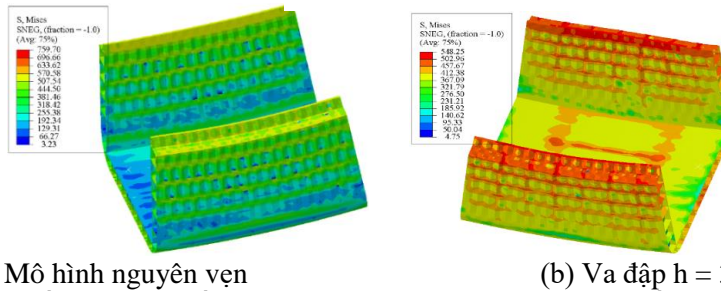
Chiều cao va đập (m)	Độ sâu biến dạng lớn nhất (mm)	Mô men uốn tối hạn (kN.m)
Tàu nguyên vẹn – trên đỉnh sóng	-	7,20E+006
Chiều cao va đập 5 m	30,5	6,83E+006 (-5,01%)
Chiều cao va đập 15 m	88,8	5,66E+006 (-21,26%)
Chiều cao va đập 25 m	134,1	5,62E+006 (-23,29%)
Chiều cao va đập 30 m	145,6	5,35E+006 (-25,57%)
Chiều cao va đập 35 m	152,3	5,15E+006 (-28,41%)



Hình 16. Đường cong mômen uốn và chuyển vị với các chiều cao va đập khác nhau khi tàu bị uốn trên đỉnh sóng.



Hình 17. Đường cong mômen uốn và chuyển vị với các chiều cao va đập khác nhau khi tàu bị uốn trên đáy sóng.



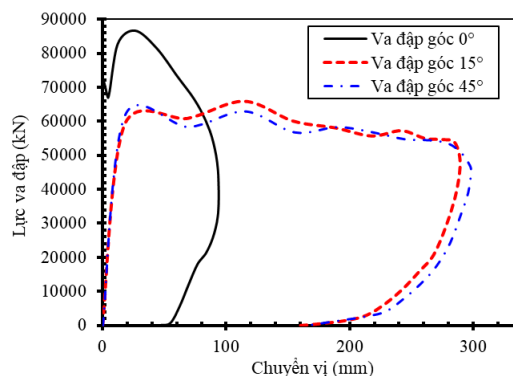
(a) Mô hình nguyên vẹn (b) Va đập $h = 35\text{ m}$
 Hình 18. Kết quả ứng suất von Mises trong trường hợp tàu bị uốn trên đáy sóng.

Bảng 5. Kết quả mô phỏng số tại các chiều cao va đập khác nhau khi tàu bị uốn trên đáy sóng.

Chiều cao va đập (m)	Chuyển vị (mm)	Mô men uốn tới hạn (kN.m)
Tàu nguyên vẹn – trên đáy sóng	-	6,23E+006
Chiều cao va đập 5 m	30,5	4,89E+006 (-21,43%)
Chiều cao va đập 15 m	88,8	4,75E+006 (-23,68%)
Chiều cao va đập 25 m	134,1	4,55E+006 (-26,92%)
Chiều cao va đập 30 m	145,6	4,48E+006 (-28,12%)
Chiều cao va đập 35 m	152,3	4,31E+006 (-30,89%)

4.4. Ảnh hưởng của góc va đập

Trên thực tế, tai nạn do cầu làm rơi các kiện hàng container trong quá trình làm việc diễn ra rất phức tạp và góc xoay va đập của kiện hàng cũng khác nhau. Trong quá trình rơi tự do của các kiện hàng container thì các kiện hàng có thể bị xoay hoặc nghiêng khi tiếp xúc với bề mặt sàn đáy tàu. Do đó, độ lớn và diện tích của biến dạng do va chạm của bề mặt sàn đáy tàu tùy thuộc vào góc tiếp xúc giữa kiện hàng và bề mặt đáy tàu. Trong nghiên cứu này, ảnh hưởng của các góc va đập khác nhau tới độ bền dọc của tàu container được khảo sát bao gồm: 1 - Xoay kiện hàng góc 0° (song song phương chiều dài của kiện hàng), 2 - Xoay kiện hàng góc 15° , 3 - Xoay kiện hàng góc 45° , 4 – va chạm tại góc nhọn của kiện hàng. Tất cả các trường hợp đều được xét tại độ cao rơi 40 m, khối lượng của kiện hàng là 45 tấn và tại vị trí cách mạn bên 1/4 chiều ngang tàu.

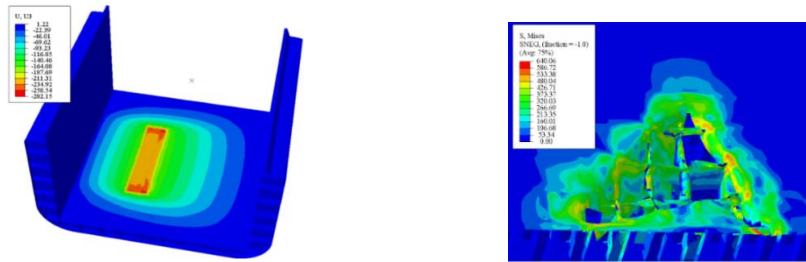


Hình 19. Đường cong lực – chuyển vị khi thay đổi góc va đập của kiện hàng.

Đường cong lực và chuyển vị khi thay đổi góc va đập của kiện hàng được thể hiện trên Hình 19. Trong các trường hợp thì trường hợp góc xoay 0° là độ sâu biến dạng là nhỏ nhất do diện tích tiếp xúc giữa hai bề mặt va đập là lớn nhất. Đối với trường hợp góc xoay và 15° thì độ sâu biến dạng là gần như nhau. Đặc biệt, trường hợp vị trí va chạm là góc nhọn của kiện hàng thì hiện tượng nứt gãy đã xảy ra, vì diện tích tiếp xúc nhỏ nên đã gây ra thủng mặt sàn đáy tàu, xem Hình 20. Tương tự như vậy, mức độ sụt giảm độ bền uốn tới hạn của tàu cũng phụ thuộc vào góc va đập của kiện hàng, xem Hình 21. Kết quả ứng suất von Mises khi tàu trên đỉnh sóng được thể hiện trên Hình 22. Mức độ sụt giảm độ bền lớn nhất là trường hợp góc va đập là góc nhọn của kiện hàng với 26,4 % khi so sánh với tàu nguyên vẹn. Chi tiết tổng hợp giá trị độ sâu

biến dạng và mức độ sụt giảm độ bền uốn tới hạn được thể hiện trong Bảng 6.

Tương tự như trường hợp tàu bị uốn trên đỉnh sóng, khi tàu bị uốn trên đáy sóng tất cả các giá trị mômen uốn đều giảm dần khi tăng góc va đập kiện hàng. Trường hợp giảm độ bền uốn giới hạn lớn nhất là 30,75% khi góc va đập là góc nhọn của kiện hàng, xem Hình 23. Phân bố ứng suất von Mises cho hai trường hợp góc va đập 0^0 và góc va đập là góc nhọn của kiện hàng được thể hiện trên Hình 24. Chi tiết tổng hợp giá trị độ sâu biến dạng và mức độ sụt giảm độ bền uốn tới hạn khi tàu trên đáy sóng được thể hiện trong Bảng 7.

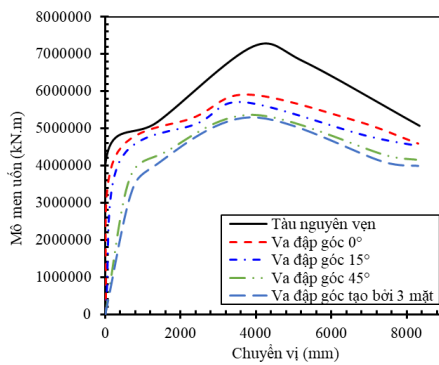


(a) Va đập góc xoay 0^0 (b) Va đập tại góc nhọn của kiện hàng

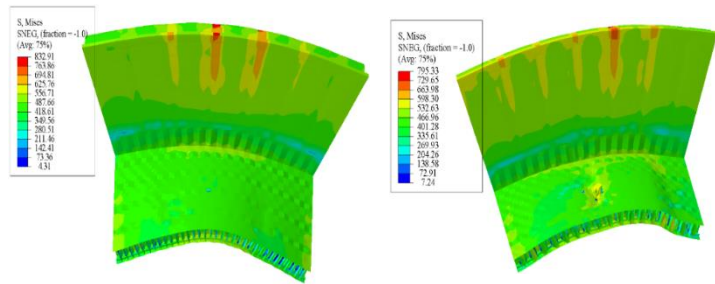
Hình 20. Kết quả chuyển vị khi thay đổi góc va đập của kiện hàng.

Bảng 6. Kết quả mô phỏng số tại các góc va đập khác nhau khi tàu bị uốn trên đỉnh sóng.

Góc va đập (0)	Chuyển vị (mm)	Mô men uốn tới hạn (kN.m)
Tàu nguyên vẹn – trên đỉnh sóng	-	7,20E+006
Góc xoay 0^0	46,7	5,91E+006 (-17,87%)
Góc xoay 15^0	150,3	5,70E+006 (-20,82%)
Góc xoay 45^0	165,5	5,36E+006 (-25,55%)
Góc nhọn của kiện hàng	194	5,30E+006 (-26,40%)

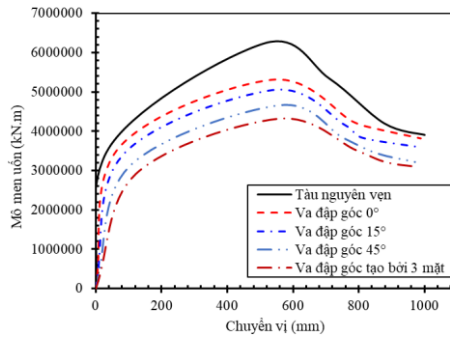


Hình 21. Đường cong mômen – chuyển vị khi thay đổi góc va đập kiện hàng khi tàu bị uốn trên đỉnh sóng.

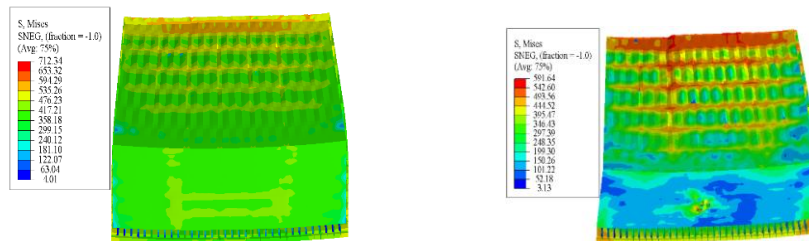


(a) Góc xoay 0^0 (b) Góc nhọn của kiện hàng

Hình 22. Kết quả ứng suất von Mises khi tàu trên đỉnh sóng.



Hình 23. Đường cong mômen – chuyển vị khi thay đổi góc va đập khi tàu bị uốn trên đáy sóng.



(a) Góc xoay 0° (b) Tại vị trí góc nhọn của kiện hàng
Hình 24. Kết quả ứng suất von Mises khi tàu trên đáy sóng.

Bảng 7. Kết quả mô phỏng số tại các góc va đập khác nhau khi tàu bị uốn trên đáy sóng.

Góc va đập (°)	Chuyển vị (mm)	Mô men uốn tới hạn (kN.m)
Tàu nguyên vẹn – trên đáy sóng	-	6,23E+006
Góc xoay 0°	46,7	5,31E+006 (-14,77%)
Góc xoay 15°	150,3	5,05E+006 (-18,95%)
Góc xoay 45°	165,5	4,65E+006 (-25,35%)
Góc nhọn của kiện hàng	194	4,31E+006 (-30,75%)

4. KẾT LUẬN

Mục đích chính của nghiên cứu này là ứng dụng phương pháp mô phỏng số để đánh giá độ bền uốn tới hạn của tàu container khi bị va đập bởi kiện hàng rơi tự do lên đáy tàu. Dựa trên kết quả của nghiên cứu một số kết luận được rút ra như sau:

- Phương pháp mô phỏng số được xây dựng và phát triển trong nghiên cứu này có độ tin cậy cao khi so sánh với kết quả của thử nghiệm, độ sai khác trung bình dưới 10%, độ lệch chuẩn là 2,19%. Do đó, nó có thể được áp dụng để dự đoán ứng xử va chạm và độ bền sau va chạm của các kết cấu tàu ngoài thực tế để phát triển các thiết kế và các công thức hướng dẫn trong quy phạm.

- Trong nghiên cứu khảo sát chỉ ra rằng mức độ biến dạng cục bộ của đáy tàu phụ thuộc lớn vào độ cao va đập của kiện hàng container. Trong nghiên cứu này, độ sâu biến dạng lớn nhất là 152,3 mm, và mức độ sụt giảm độ bền lớn nhất là 30,89 % khi tàu bị uốn trên đáy sóng.

- Góc va chạm có ảnh hưởng lớn tới mức độ sụt giảm độ bền uốn tới hạn của tàu container. Trường hợp góc va chạm tại vị trí góc nhọn của kiện hàng có mức độ sụt giảm độ bền lớn nhất với 30,75% khi tàu trên đáy sóng. Đặc biệt, với trường hợp này thì hiện tượng nứt gãy bề mặt

sàn tôn đáy tàu đã xảy ra.

○ 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 container ngoài thực tế. Trên cơ sở, dự đoán được thiệt hại có thể xảy ra trong tai nạn va đập để từ đó có những giải pháp trong việc thiết kế nhằm tối ưu hóa độ bền kết cấu của tàu, đảm bảo cho tàu được an toàn trong các tai nạn đâm va. Đáng chú ý rằng, theo tổ chức an toàn hàng hải quốc tế IMO [25], đối với các trường hợp tai nạn bất ngờ mà gây ra mức độ giảm độ bền uốn dọc tới hạn lớn hơn 20% thì cần bắt buộc dừng tàu để sửa chữa.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. O. Ozguc, The assessment of impact damage caused by dropped objects on floating offshore structures, *Engineering for the Maritime Environment*, 235 (2021) 491–510. <https://doi.org/10.1177/1475090220972586>
- [2]. Det Norske Veritas, Design Against Accidental Loads, Recommended Practice DNV-RP-C204, (2010) 7–52.
- [3]. Đỗ Quang Thắng, Nguyễn Huy Vũ, Vũ Văn Tuyển, Đánh giá độ bền dọc của tàu Container khi bị tàu đâm va. *Tạp chí Khoa học Công nghệ Xây dựng*, 16 (2022) 181–205. [https://doi.org/10.31814/stce.huce\(nuce\)2022-16\(5V\)-15](https://doi.org/10.31814/stce.huce(nuce)2022-16(5V)-15)
- [4]. T. Sugimura, M. Nozaki, T. Suzuki, Destructive experiment of ship hull model under longitudinal bending, *Japan Science Technology Information Aggregator Electronic*, 119 (1966) 209–220. <https://doi.org/10.2534/jjasnaoe1952.1966.209>
- [5]. P. J. Dowling, F. M. Moolani, P. A. Frieze, The effect of shear lag on the ultimate strength of box girders, *Proc. Int. Congr. Steel Plated Struct. London*, (1976) 108–147.
- [6]. K. A. Reckling, Behaviour of box girders under bending and shear, in: *Proceedings of 7th International Ship and Offshore Structures Congress*, (1979) 46–49.
- [7]. G. Akhras, S. Gibson, S. Yang, R. Morchat, Ultimate strength of a box girder simulating the hull of a ship, *Canadian Journal of Civil Engineering*, 25 (1998) 829–843. <https://doi.org/10.1139/198-017>
- [8]. Y. Yao, T. Fujikubo, M. Yanagihara, D. Fujii, I. Matsui, R. Furui, N. Kuwamura, Buckling collapse strength of ship carrier under longitudinal bending (1st Report) collapse test on 1/10-scale hull girder model under pure bending, *Journal of the Japan Society of Naval Architects and Ocean Engineers*, 4 (2002), 255–264. <https://doi.org/10.2534/jjasnaoe1968.2002.255>
- [9]. J. M. Gordo, C. G. Soares, Tests on ultimate strength of hull box girders made of high tensile steel, *Marine Structure*, 22 (2009) 770–790. <https://doi.org/10.1016/j.marstruc.2009.07.002>
- [10]. T. Vu Van, P. Yang, T. Doan Van, Effect of uncertain factors on the hull girder ultimate vertical bending moment of bulk carriers, *Ocean Engineering*, 148 (2018) 161–168. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2017.11.031>
- [11]. IACS, Common structural rules for bulk carriers and oil tankers, International Association of Classification Societies, 2017.
- [12]. J. K. Paik, A. E. Mansour, A simple formulation for predicting the ultimate strength of ships, *Marine Science and Tech*, 1 (1995) 52–62. <https://doi.org/10.1007/BF01240013>
- [13]. S. R. Cho, S. H. Park, M. T. Cho, H. K. Shin, Residual longitudinal strength of damaged box girder structures, *Proc. OMAE*, 37 (2018) 325–334. <https://doi.org/10.1115/OMAE2018-77379>
- [14]. S. H. Park, S. H. Yoon, T. Muttaqie, Q. T. Do, S. R. Cho, Effect of local denting- and

- fracturedamage on the residual longitudinal strength of box girders, *Marine Science and Engineering*, 11 (2023) 1-27. <https://doi.org/10.3390/jmse11010076>
- [15]. Korean Standard, Test pieces for tensile test for metallic materials, 2008.
- [16]. Q. T. Do, T. Muttaqie, H. K. Shin, S. R. Cho, Dynamic lateral mass impact on steel stringer-stiffened cylinders, *International Journal of Impact Engineering*, 116 (2018) 105–126. <https://doi.org/10.1016/j.ijimpeng.2018.02.007>
- [17]. Q. T. Do, V. N. Huynh, D. T. Tran, Numerical studies on residual strength of dented tension leg platforms under compressive load, *Journal of Science and Technology in Civil Engineering - NUCE*, 14 (2020) 96–109. [https://doi.org/10.31814/stce.nuce2020-14\(3\)-08](https://doi.org/10.31814/stce.nuce2020-14(3)-08)
- [18] Đỗ Quang Thắng, Lê Xuân Chí, Nguyễn Văn Quân, 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*, 15 (2021) 79–97. [https://doi.org/10.31814/stce.nuce2021-15\(2V\)-07](https://doi.org/10.31814/stce.nuce2021-15(2V)-07)
- [19]. Q. T. Do, V. V. Huynh, S. R. Cho, M. T. Vu, Q. V. Vu, D. K. Thai, Residual ultimate strength formulations of locally damaged steel stiffened cylinders under combined loads, *Ocean Engineering*, 225 (2021) 108-802. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2021.108802>
- [20]. Đỗ Quang Thắng, Nguyễn Văn Quân, 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 (2021) 620-635. <https://doi.org/10.47869/tcsj.72.5.9>
- [21]. Q. T. Do, V. V. Huynh, Vu, M.T. Vu, V. V. Tuyen, P. T. Nhut, T. H. Tra, Q.V. Vu, S. R. Cho, A new formulation for predicting the collision damage of steel stiffened cylinders subjected to dynamic lateral mass impact, *Applied Sciences*, 10 (2020) 38-56. <https://doi.org/10.3390/app10113856>
- [22]. Q. T. Do, Cho. S.-R., V. D. Nguyen, Experimental and numerical investigations on the fracture response of tubular T-joints under dynamic mass impact, *Modern Mechanics and Applications*, 1 (2022) 416-430. https://doi.org/10.1007/978-981-16-3239-6_32
- [23]. Q. T. Do, T. Muttaqie, P. T. Nhut, M.T. Vu, N.D. Khoa, A. R. Prabowo, Residual ultimate strength assessment of submarine pressure hull under dynamic ship collision, *Ocean Engineering*, 266 (2022) 1-25. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2022.112951>
- [24]. ISSC, Ultimate hull girder strength. Report of special task committee VI.2. Proceedings of 14th ISSC, Nagasaki, Japan, 2020.
- [25]. IMO, International Maritime Organization, GISIS: Marine Casualties and Incidents, 2015.