

# Đánh giá ảnh hưởng của biến dạng ban đầu đến độ bền tới hạn của kết cấu thân tàu

## Assessment the influences of initial imperfections on the hull girder ultimate strength of ships

Vũ Văn Tuyên\*, Đỗ Quang Quận

Trường Đại học Hàng hải Việt Nam

\*Email liên hệ: tuyenvv.dt@vamaru.edu.vn

### Tóm tắt:

Trong quá trình đóng tàu, nhiều phương pháp gia công, lắp ráp, đấu lắp và hàn được sử dụng để hình thành các phân đoạn, tổng đoạn và thân tàu. Những yếu tố này làm xuất hiện các biến dạng, ứng suất dư trên kết cấu thân tàu với mức độ, phạm vi khác nhau. Việc đánh giá ảnh hưởng của các khuyết tật này đến độ bền tới hạn thân tàu mang ý nghĩa lớn nhằm đánh giá khả năng đi biển, từ đó đưa ra các khuyến cáo để khắc phục và đảm bảo cho tàu đủ độ bền, đủ điều kiện khai thác. Để xác định mô men uốn tới hạn, phương pháp lặp được sử dụng, cải tiến để đưa các thông số của biến dạng và ứng suất dư vào trong các phần tử kết cấu. Tàu dầu kết cấu đáy đôi, mạn kép, trọng tải 313.000 tấn được sử dụng để tính giá trị của mô men uốn tới hạn cho hai trường hợp tàu trên đỉnh sóng và trên đáy sóng. Các kết quả về mô men uốn tới hạn cho hai trường hợp trên dưới tác động của biến dạng ban đầu được đưa ra và đánh giá. Một số kết luận cũng đã được rút ra trong bài báo này.

**Từ khóa:** Biến dạng; Ứng suất dư; Độ bền tới hạn thân tàu; Mô men uốn tới hạn; Kết cấu thân tàu.

### Abstract:

In the process of shipbuilding, many methods of processing, assembling, erection, and welding are applied to build the panels, blocks and ship hull. The above-mentioned factors cause the appearance of deformations and residual stresses on the hull structure with different levels and ranges. The assessment of the influence of these imperfections on the hull girder ultimate strength is a matter of great significance in order to assess the seaworthiness, thereby making recommendations to overcome and ensure the ship's safety and operation's satisfaction. To determine the hull girder ultimate bending moment, an iterative method is used and improved to cover the deformation and residual stress parameters into the structural components. The double hull very large crude-oil tanker, 313,000 tons of deadweight, is used to calculate the value of the ultimate bending moment for two conditions of ship such as hogging and sagging. The results of the ultimate bending moment for the above two conditions under the influence of the imperfections are given and evaluated. Several conclusions have also been drawn in this paper.

**Keywords:** Deformation; Residual stress; Hull girder ultimate strength; Ultimate bending moment; Hull structures.

### 1. Giới thiệu

Tàu thủy là một công trình kiến trúc đồ sộ và hoàn chỉnh, được cấu thành từ nhiều phần tạo thành các không gian với mục đích khác nhau như phần thân vỏ, khu vực buồng máy, khu vực thượng tầng, không gian trên mặt boong, ... Vật liệu của kết cấu thân tàu (chủ yếu là kim loại và

hợp kim) vẫn còn khả năng làm việc khi nằm ngoài miền đàn hồi. Vì vậy, việc đánh giá độ bền kết cấu thân tàu đang chuyển dần sang đánh giá độ bền tới hạn, từ đó có thể biết được khả năng đi biển của tàu. Việc nghiên cứu độ bền tới hạn kết cấu thân tàu cũng như đánh giá một số yếu tố bất định tồn tại trên kết cấu như biến dạng, ứng

suất dư, ăn mòn, nứt, vết lõm/lỗ, ... đã được đề cập trong nhiều nghiên cứu.

Tại Việt Nam, một số nghiên cứu đã đề cập đến những khuyết tật và hư hỏng trên kết cấu thân tàu, các phương pháp xác định mô men uốn tới hạn và đánh giá ảnh hưởng của các yếu tố trên đến độ bền kết cấu thân tàu. Cụ thể, phương pháp phân bố ứng suất đã được giới thiệu để xác định mô men uốn dọc tới hạn của tàu hàng rời 170.000 tấn, các kết quả tính toán về mô men uốn tới hạn đã được so sánh và đánh giá để khẳng định phương pháp và mô hình tính toán [1]. Phương pháp xác định mô men uốn tới hạn này cũng đã được sử dụng để đánh giá ảnh hưởng của các yếu tố bất định, bao gồm: biến dạng, ứng suất dư, ăn mòn đến độ bền tới hạn kết cấu thân tàu của tàu chở hàng rời 170.000 tấn. Kết quả của nghiên cứu là sự suy giảm của mô men uốn tới hạn dưới tác động của sự kết hợp các yếu tố bất định kể trên xuất hiện trên kết cấu thân tàu [2]. Ảnh hưởng của khuyết tật ban đầu bao gồm biến dạng và ứng suất dư đến độ bền tới hạn của tấm có nếp gia cường chịu nén dọc được đánh giá thông qua các phân tích phần tử hữu hạn phi tuyến [3].

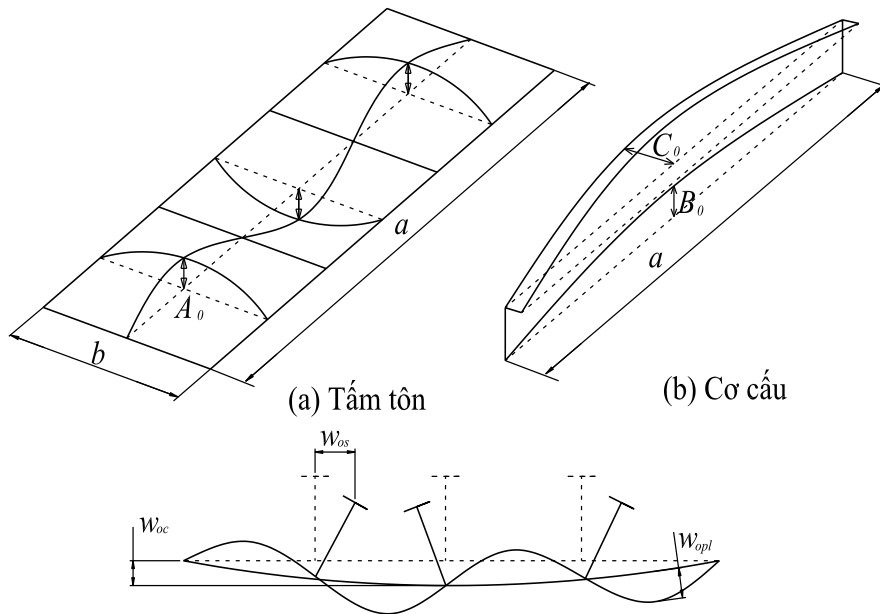
Trên thế giới, nhiều tác giả, nhà khoa học đã công bố các nghiên cứu về ảnh hưởng của khuyết tật ban đầu đến độ bền của kết cấu thân tàu. Cụ thể, các đánh giá ảnh hưởng của biến dạng ban đầu và ứng suất dư đến độ bền dọc tới hạn của tàu chiến trong hai trạng thái tải trọng (tĩnh và động - gây ra do hiện tượng slamming hoặc các va chạm) [4]. Hai yếu tố của khuyết tật ban đầu cũng đã được sử dụng để đánh giá độ bền dọc và ngang tới hạn của kết cấu hình hộp có hình dạng tàu. Nghiên cứu này đã sử dụng phương pháp đánh giá hư hỏng dần dần của phần tử kết cấu - phương pháp Smith để xác định mô men uốn tới hạn [5]. Một số nghiên cứu khác đã nghiên cứu

mô hình kết cấu của Dow để đánh giá ảnh hưởng của sự kết hợp giữa biến dạng ban đầu và ứng suất dư đến độ bền thân tàu [6], [7]. Các khuyết tật ban đầu cũng được sử dụng để đánh giá trạng thái tới hạn của thân tàu dựa trên phương pháp tự đề xuất. Phương pháp tính mô men uốn tới hạn được phát triển dựa trên phương pháp phần tử hữu hạn phi tuyến [8]. Vấn đề ảnh hưởng của biến dạng ban đầu xuất hiện trên tôn của vùng thượng tầng đến độ bền thân tàu khách du lịch nhiều tầng boong cũng được nghiên cứu [9].

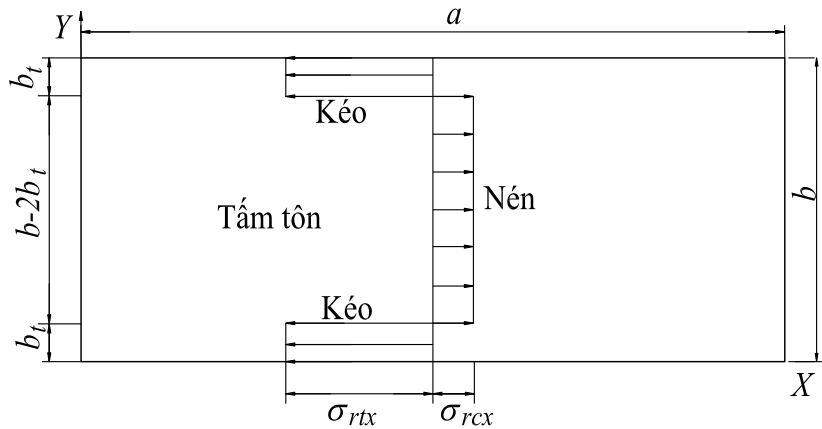
Có nhiều phương pháp để xác định mô men uốn tới hạn kết cấu thân tàu, các phương pháp này có thể phân loại thành ba nhóm, bao gồm: Phương pháp gần đúng, phương pháp phân bố ứng suất và phương pháp phân tích tiến trình hư hỏng của kết cấu (phương pháp lặp) [10]. Để đánh giá chính xác khả năng làm việc của kết cấu, phương pháp lặp là phù hợp. Trong bài báo này, tác giả sẽ giới thiệu phương pháp lặp được đề xuất bởi Hiệp hội Đăng kiểm Quốc tế (IACS) [11], [12] và đề xuất giải pháp để đưa các thông số của biến dạng và ứng suất dư vào các phần tử kết cấu nằm trong mặt cắt ngang thân tàu.

## 2. Khuyết tật ban đầu trên kết cấu tàu thủy

Biến dạng xuất hiện trên kết cấu thân tàu vỏ thép là hệ quả của các quá trình gia công, lắp ráp và hàn các kết cấu này với nhau hình thành thân tàu, việc bóc xếp vận chuyển cũng như do quá trình nhiệt luyện thép. Các biến dạng được chia thành ba nhóm bao gồm: Biến dạng của tấm tôn nằm giữa các cơ cấu ( $w_{opl}$ ), biến dạng của các cơ cấu ( $w_{oc}$ ) và độ lệch của cơ cấu so với vị trí ban đầu ( $w_{os}$ ) (hình 1). Các nghiên cứu thực tế đã tổng kết và phân mức độ biến dạng thành ba mức: Mức nhỏ, mức vừa và mức lớn với các giá trị biến dạng lớn nhất được thể hiện trong bảng 1 [2].



**Hình 1.** Các dạng biến dạng ban đầu.



**Hình 2.** Ứng suất dư trên kết cấu thân tàu.

**Bảng 1.** Giá trị lớn nhất của các biến dạng ban đầu.

Mức độ	$A_0/\text{mm}$	$B_0/\text{mm}$	$C_0/\text{mm}$
Nhỏ	$0,025\beta^2 t$	$a/1000$	$a/1000$
Vừa	$0,1\beta^2 t$	$a/1000$	$a/1000$
Lớn	$0,3\beta^2 t$	$a/1000$	$a/1000$

**Bảng 2.** Ứng suất dư trên kết cấu thân tàu.

Mức độ	$\sigma_{rcx}/\text{MPa}$	$\sigma_{rtx}/\text{MPa}$
Nhỏ	$-0,05\sigma_y$	$\sigma_y$
Vừa	$-0,15\sigma_y$	$\sigma_y$
Lớn	$-0,3\sigma_y$	$\sigma_y$

Trong đó:  $a$  là chiều dài tấm tôn;  $b$  là chiều rộng tấm tôn;  $t$  là chiều dày tấm tôn;  $A_0$  là độ võng ban đầu lớn nhất của tấm,  $B_0$  là biến dạng lớn nhất của cơ cấu,  $C_0$  là độ lệch lớn nhất của cơ cấu so với

vị trí ban đầu;  $b_t$  là chiều rộng vùng ứng suất dư chịu kéo;  $\sigma_{rcx}$  là ứng suất dư của vùng chịu nén;  $\sigma_{rtx}$  là ứng suất dư của vùng chịu kéo;  $\sigma_y$  là ứng suất chảy dẻo của vật liệu;  $E$  là mô đun đàn hồi của vật liệu;  $\beta$  là tỉ lệ độ mảnh của tấm,  $\beta = (b/t)\sqrt{\sigma_y/E}$ .

Ứng suất dư tồn tại xung quanh đường hàn nối các chi tiết kết cấu là do nhiệt lượng sinh ra trong quá trình hàn, do sự không đồng chất của vật liệu cũng như các yếu tố tác động khi làm nguội. Trên thực tế, ứng suất dư bao gồm: Ứng suất dư trên tấm tôn nằm giữa các cơ cấu, ứng suất dư trên bản thành của cơ cấu và sự mềm hóa trong vùng ảnh hưởng nhiệt (hình 2). Các ứng suất dư này cũng được phân thành ba mức độ khác nhau như trong bảng 2 [2].

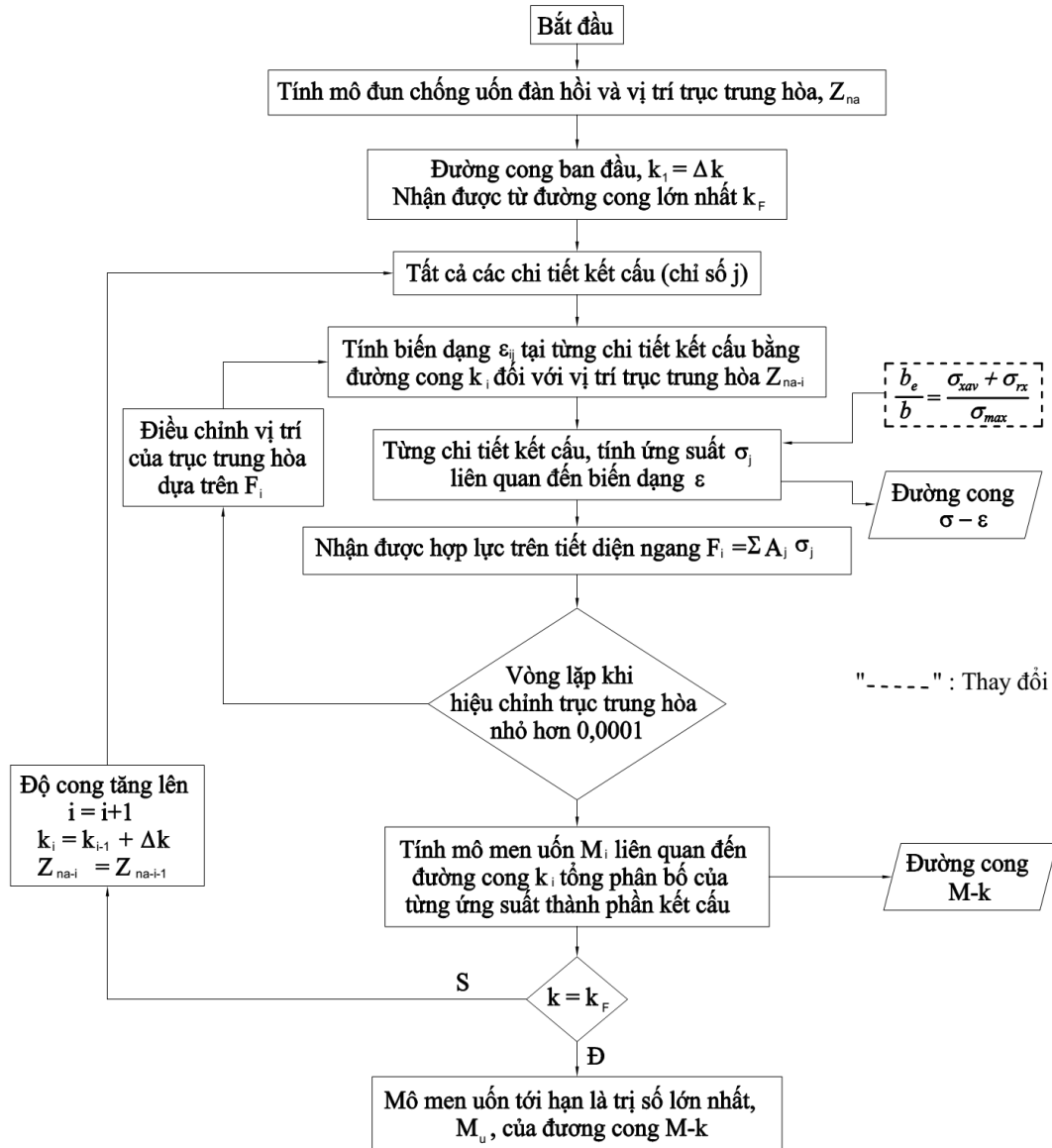
### 3. Phương pháp xác định mô men uốn tới hạn

#### 3.1. Phương pháp xác định mô men uốn tới hạn của thân tàu

Phương pháp lặp được sử dụng để xác định mô men uốn tới hạn. Theo phương pháp này, mô men uốn được tính toán theo từng bước của quy trình lặp bằng tổng hợp lực phân bố của tất cả các phần

tử kết cấu trên mặt cắt ngang kết cấu thân tàu, xem công thức (1). Để xác định mô men uốn tới hạn, ta phải xác định đường cong mô men - độ cong (đường cong M-k). Hình 3 thể hiện sơ đồ thuật toán cũng như quy trình đánh giá đường cong M-k [1, tr.470].

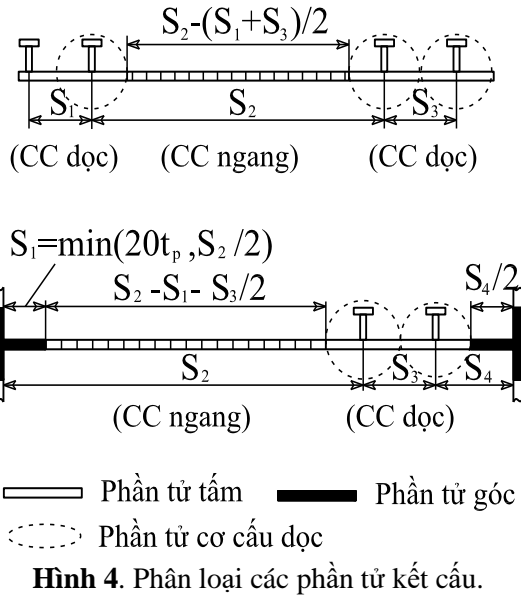
$$M_i = 0,1 \sum \left| \sigma_j A_j (z_j - z_{NA-j}) \right| \quad \text{kNm} \quad (1)$$



Hình 3. Sơ đồ thuật toán và quy trình đánh giá đường cong M-k.

Để tính toán mô men uốn, phải tính ứng suất pháp ( $\sigma_j$ ), diện tích tiết diện ( $A_j$ ) và cao độ của từng phần tử kết cấu tính từ mặt phẳng cơ bản đáy ( $z_j$ ). Do đó, toàn bộ mặt cắt ngang kết cấu thân tàu được chia thành ba nhóm phần tử kết cấu: Cơ cấu dọc có mép kèm, tám góc và tám tôn được gia cường bởi cơ cấu ngang (hình 4) [11, tr. 472]. Khi

mô men uốn tác dụng lên tiết diện mặt cắt ngang làm cho các phần tử kết cấu bị biến dạng trục ( $\epsilon$ ), ứng suất pháp ( $\sigma$ ) trên mỗi phần tử kết cấu biến dạng được xác định thông qua đường cong  $\sigma-\epsilon$  của mỗi phần tử. Bảng 3 trình bày trạng thái phá hủy và mối quan hệ  $\sigma-\epsilon$  của các phần tử kết cấu trên mặt cắt ngang của tàu [11, tr.473-477].



Bảng 3. Trạng thái phá hủy và mối quan hệ  $\sigma$ - $\varepsilon$  của các phần tử kết cấu.

Phần tử	Trạng thái hư hỏng	Mối quan hệ $\sigma$ - $\varepsilon$	Công thức
Tấm tôn được gia cường bởi cơ cấu ngang	Phá hỏng do biến dạng dẻo	$\sigma = \phi R_{eH}$	(2)
	Mất ổn định dọc trực cơ cấu dọc	$\sigma_{CR1} = \phi \sigma_{C1} \frac{A_s + 10b_E t_p}{A_s + 10st_p}$	(3)
	Mất ổn định do xoắn	$\sigma_{CR2} = \phi \frac{A_s \sigma_{C2} + 10st_p \sigma_{CP}}{A_s + 10st_p}$	(4)
Cơ cấu dọc có mép kèm	Mất ổn định cục bộ bản thành thép góc	$\sigma_{CR3} = \phi R_{eH} \frac{10^3 b_E t_p + h_{we} t_w + b_f t_f}{10^3 st_p + h_w t_w + b_f t_f}$	(5)
	Mất ổn định cục bộ tại bản thành của thép dẹt	$\sigma_{CR4} = \phi \frac{10st_p \sigma_{CP} + A_s \sigma_{C4}}{A_s + 10st_p}$	(6)
Tấm góc	Mất ổn định của tấm	$\sigma_{CR5} = \min \left\{ R_{eH} \left[ \frac{s}{l} \left( \frac{2,25}{\beta_E} - \frac{1,25}{\beta_E^2} \right)^{\phi R_{eH}} + 0,1 \left( 1 - \frac{s}{l} \right) \left( 1 + \frac{1}{\beta_E^2} \right)^2 \right] \right\}$	(7)

Trong đó:  $\phi$  là hàm số mép;  $R_{eH}$  là giới hạn chảy nhỏ nhất của vật liệu;  $\sigma_{C1}$ ,  $\sigma_{C2}$ ,  $\sigma_{C4}$  là các ứng suất tiêu chuẩn;  $\sigma_{CP}$  là ứng suất ổn định của tấm mép kèm;  $A_s$  là diện tích tiết diện ngang của phần tử kết cấu;  $\beta_E$  là hệ số;  $s$  là chiều rộng tấm mép

kèm;  $l$  là nhịp của phần tử kết cấu;  $b_E$  là chiều rộng hữu dụng của tấm mép kèm;  $t_p$  là chiều dày tấm tôn mép kèm;  $h_{we}$  là chiều cao hữu dụng của bản thành;  $t_w$  là chiều dày bản thành;  $b_f$  là chiều rộng bản cánh;  $t_f$  là chiều dày bản cánh.

### 3.2. Phương pháp đánh giá ảnh hưởng của biến dạng ban đầu đến mô men uốn tới hạn

Để đưa các thông số của biến dạng và ứng suất dư vào trong các phần tử kết cấu đặc biệt là phần tử kết cấu có mép kèm (kết cấu có liên kết hàn giữa cơ cấu với tôn), chiều rộng của mép kèm ( $b$ ) sẽ được thay thế bởi chiều rộng hữu dụng của mép kèm ( $b_e$ ) thông qua công thức sau [13]:

$$\frac{b_e}{b} = \frac{\sigma_{xav} + \sigma_{rx}}{\sigma_{max}} \quad (8)$$

Trong đó:  $\sigma_{xav}$  giá trị trung bình của ứng suất nén dọc trục;  $\sigma_{rx}$  là ứng suất dư trên tấm tôn.

Khi ứng suất nén dọc trục lớn nhất ( $\sigma_{max}$ ) bằng với ứng suất chảy dẻo của vật liệu ( $\sigma_{yp}$ ) tại vị trí  $y = b_t$  hoặc  $y = b - b_t$  (hình 2) thì ứng suất nén ( $\sigma_{xav}$ ) sẽ đạt ứng suất tới hạn ( $\sigma_{xU}$ ).

$$\sigma_{max} = \sigma_{xav} + \sigma_{rx} - \frac{m^2 \pi^2 E}{8a^2} (w_{pl}^2 - w_{opt}^2) \cos\left(\frac{2\pi b_t}{b}\right) \quad (9)$$

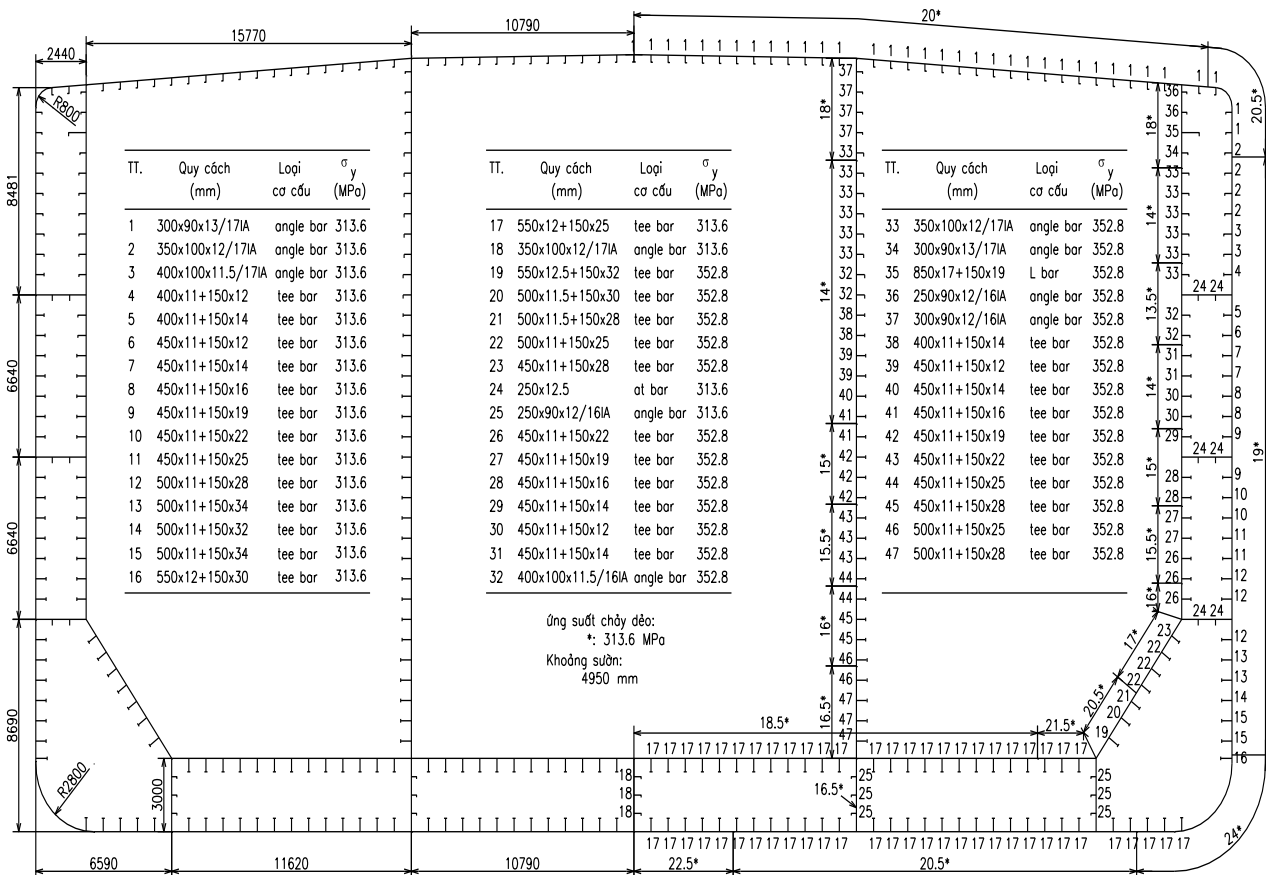
$$\frac{2b_t}{b} = \frac{\sigma_{rcx}}{\sigma_{rcx} - \sigma_{rx}} \quad (10)$$

Trong đó:  $m$  là số trạng thái của sóng biến dạng của tấm;  $w_{pl}$  là biến dạng của tấm.

### 4. Đánh giá tác động của biến dạng ban đầu đến mô men uốn tới hạn

#### 4.1. Thông số tàu

Tàu được chọn là tàu chở dầu có kết cấu đáy đôi, mạn kép. Trong không gian vùng chứa hàng, tàu có hai vách dọc, vật liệu tàu là dạng thép tấm và thép định hình. Đây là một trong sáu tàu được cơ quan ISSC công bố và được dùng trong các nghiên cứu như tàu mẫu. Tàu có trọng tải 313.000 tấn, chiều dài giữa hai đường vuông góc là 315 m, chiều rộng thiết kế là 58 m, chiều cao mạn là 30,3 m [14]. Hình 5 thể hiện kết cấu mặt cắt ngang giữa tàu với các quy cách, khoảng cách, kích thước, vật liệu của các kết cấu có trong mặt cắt ngang [14].



Hình 5. Mặt cắt ngang tàu chở dầu trọng tải 313.000 tấn.

Do mặt cắt ngang thân tàu vùng khoang hàng có tính chất đối xứng nên việc tính toán mô men uốn

tới hạn sử dụng một nửa mặt cắt ngang. Một nửa mặt cắt ngang của tàu được chia thành 214 phần

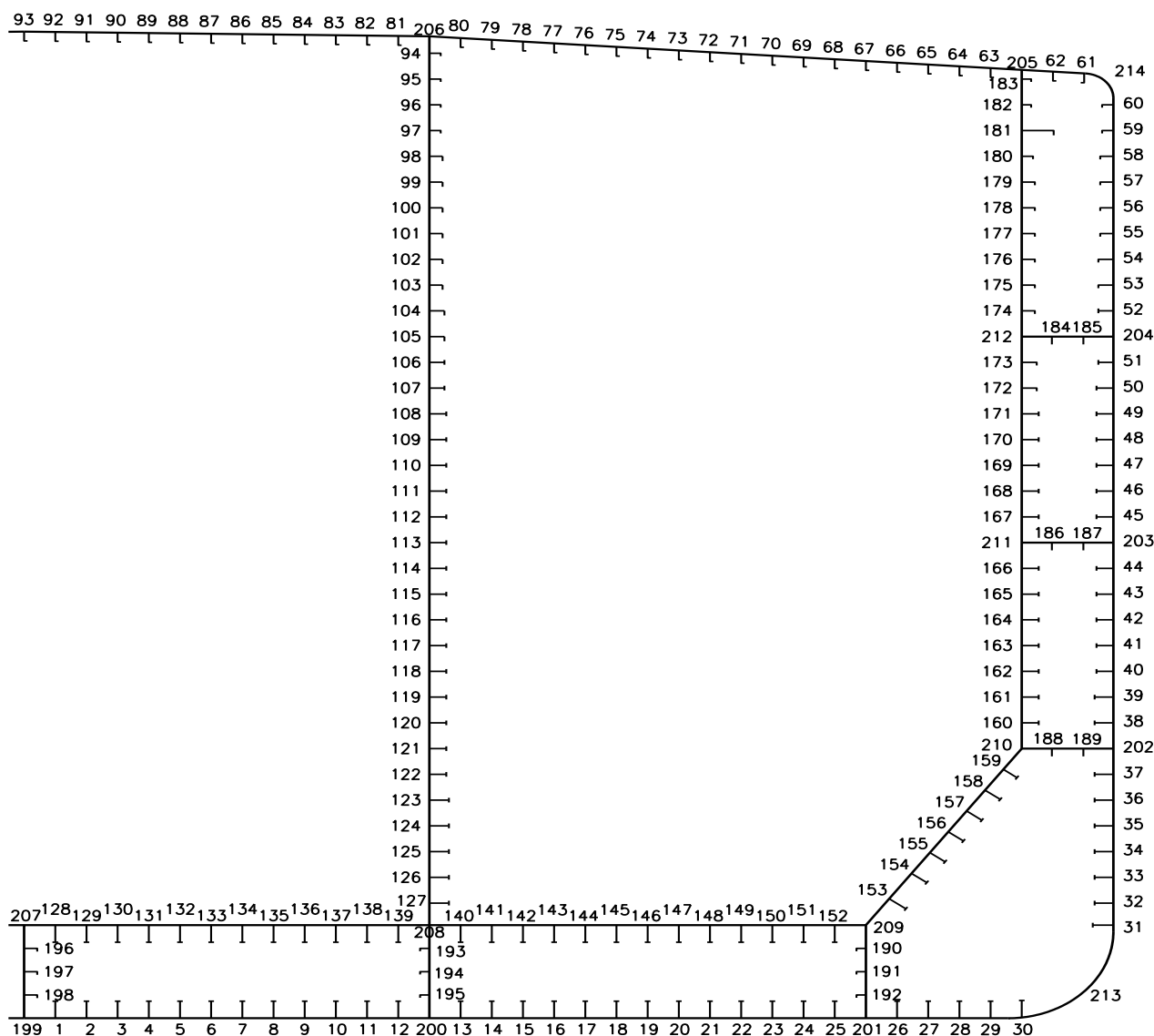
từ kết cấu thuộc ba nhóm: Phần tử cơ cấu dọc có mép kèm (198 phần tử), phần tử tấm góc (14 phần tử) và phần tử tấm tôn được gia cường bởi cơ cấu ngang (02 phần tử) (hình 6).

#### 4.2. Mô men uốn tới hạn của tàu dưới tác dụng của biến dạng ban đầu

Kết quả mô men uốn tới hạn của tàu trong trường hợp kết cấu tàu nguyên vẹn được thể hiện cho hai trạng thái: Tàu trên đỉnh sóng và tàu trên đáy sóng (bảng 4).

**Bảng 4.** Mô men uốn tới hạn của thân tàu trong trường hợp kết cấu nguyên vẹn.

TT	Trạng thái	Ký hiệu	Đơn vị	Mô men uốn tới hạn
1	Tàu trên đỉnh sóng	$M_{uh0}$	GN.m	19,568
2	Tàu trên đáy sóng	$M_{us0}$	GN.m	-23,831



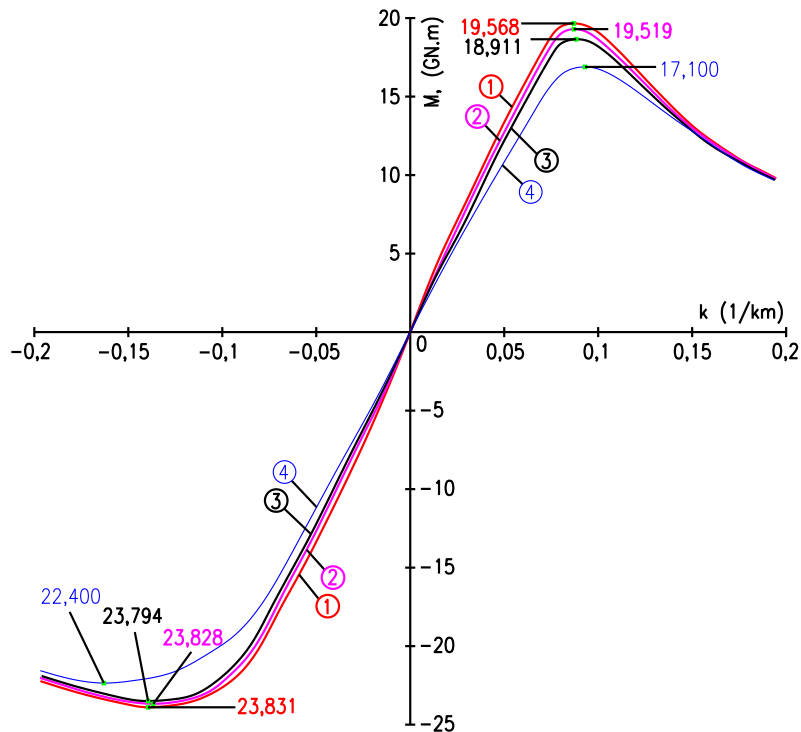
**Hình 6.** Phân chia phần tử kết cấu trên mặt cắt ngang.

Dưới tác động của biến dạng và ứng suất dư xuất hiện trên kết cấu thân tàu với các mức độ khác nhau, mô men uốn tới hạn của kết cấu thân tàu có

sự sụt giảm đáng kể. Bảng 5 và hình 7 thể hiện kết quả mô men uốn cho hai trường hợp tàu trên đỉnh sóng và đáy sóng.

**Bảng 5.** Mô men uốn tới hạn của thân tàu dưới tác động của biến dạng ban đầu.

Mức độ của biến dạng ban đầu		Mô men uốn tới hạn	
Biến dạng	Ứng suất dư	Tàu trên đỉnh sóng	Tàu trên đáy sóng
		$M_{uh}/M_{uh0}$	$M_{us}/M_{us0}$
Nhỏ	0	0,997	0,9999
	Nhỏ	<b>0,998</b>	<b>0,9999</b>
	Vừa	0,998	0,9999
	Lớn	0,998	0,9999
Vừa	0	0,963	0,9983
	Nhỏ	0,964	0,9983
	Vừa	<b>0,966</b>	<b>0,9985</b>
	Lớn	0,972	0,9988
Lớn	0	0,844	0,9141
	Nhỏ	0,846	0,9151
	Vừa	0,854	0,9226
	Lớn	<b>0,874</b>	<b>0,9400</b>



**Hình 7.** Đường cong mô men - Độ cong (M-k).

1 - Trạng thái nguyên vẹn, 2 - Mức độ biến dạng nhỏ, 3 - Mức độ biến dạng vừa, 4 - Mức độ biến dạng lớn.

Theo kết quả tính toán giá trị mô men uốn tới hạn của tàu như bảng 5 và hình 7, biến dạng ban đầu ảnh hưởng đến độ suy giảm của mô men uốn tới hạn trường hợp tàu trên đỉnh sóng lớn hơn trường hợp tàu trên đáy sóng. Trong cả hai trường hợp tàu trên đỉnh

sóng và trên đáy sóng, mô men uốn tới hạn dưới tác động của biến dạng ban đầu mức nhỏ giảm không đáng kể (khoảng 0,1-0,25%). Trong khi đó, mức giảm của mô men uốn tới hạn dưới tác động của biến dạng

ban đầu mức lớn là đáng kể (12,6% trường hợp tàu trên đỉnh sóng, 6% trường hợp tàu trên đáy sóng).

## 5. Kết luận

Bài báo đã giới thiệu phương pháp lập để xác định mô men uốn tới hạn thân tàu, các dạng và mức độ của biến dạng ban đầu bao gồm biến dạng trên kết cấu và ứng suất dư, biện pháp để đưa thông số của biến dạng ban đầu vào từng phần tử kết cấu. Tàu dầu kết cấu đáy đôi, mạn kép trọng tải 313.000 tấn được sử dụng để tính toán giá trị mô men uốn tới hạn cho hai trường hợp tàu trên đỉnh sóng và trên đáy sóng, một số kết luận được rút ra như sau:

Biến dạng ban đầu trên kết cấu thân tàu làm giảm mô men uốn tới hạn của tàu trường hợp tàu trên đỉnh sóng là lớn hơn trong trường hợp tàu trên đáy sóng.

Mô men uốn tới hạn dưới tác dụng của biến dạng ban đầu mức độ nhỏ là không đáng kể nhưng khi biến dạng ban đầu mức độ lớn làm giảm mạnh mô men uốn tới hạn của tàu. Điều này có thể khiến thân tàu không đủ bền, không đủ điều kiện khai thác.

Dựa vào sự sụt giảm về mô men uốn tới hạn để đánh giá mức độ và giá trị cho phép về biến dạng và ứng suất dư, từ đó kiến nghị với các tổ chức đăng kiểm, chủ tàu, nhà máy đóng tàu đưa ra các tiêu chuẩn đóng mới cho phù hợp.

Kết quả nghiên cứu làm căn cứ nghiên cứu sâu hơn về tác động của biến dạng ban đầu đến độ bền cục bộ của kết cấu, sự tác động đến độ bền tới hạn hoặc bền cục bộ khi kết hợp nhiều yếu tố hư hỏng trên kết cấu như: biến dạng, ứng suất dư, ăn mòn, vết nứt, vết lõm, ...

Kết quả nghiên cứu có thể làm căn cứ để đánh giá độ tin cậy, rủi ro của kết cấu tàu thủy đặc biệt là tàu chở dầu có kết cấu đáy đôi, mạn kép, từ đó đưa ra kiến nghị về việc xử lý các biến dạng ban đầu về ngưỡng cho phép.

## Lời cảm ơn

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Trường Đại học Hàng hải Việt Nam trong đề tài mã số: DT22-23.31.

## Tài liệu tham khảo

- [1] V. V. Tuyên, N. T. T. Quỳnh; “Tính toán mô men uốn dọc tới hạn của kết cấu thân tàu bằng phương pháp phân bổ ứng suất”. Tạp chí Khoa học Công nghệ Hàng hải. 2019; 57(1/2019):59-62. Available: <http://kncn.vimaru.edu.vn/noi-dung/so-57-012019>.
- [2] V. V. Tuyên, L. V. Hạnh, Đ. Q. Thắng; “Phương pháp đánh giá ảnh hưởng của các yếu tố bất định lên độ bền tới hạn của tàu”. Tạp chí Khoa học Công nghệ Hàng hải. 2020; 61(1/2020):28-32. Available: <http://kncn.vimaru.edu.vn/noi-dung/so-61-012020>
- [3] Đ. V. Tuyên; “Ảnh hưởng của khuyết tật ban đầu đến độ bền tới hạn của tấm thép có nẹp gia cường chịu nén dọc”. Tạp chí Khoa học Công nghệ Hàng Hải. 2021; 68(11/2021):28-33. Available: <http://www.kncn.vimaru.edu.vn/noi-dung/so-68-112021>.
- [4] R. S. Dow, R. C. Hugill, J. D. Clark, C. S. Smith; “Evaluation of ultimate ship hull strength”. The Society of Naval Architects and Marine Engineers (SNAME). 1981; pp. 133-148. Available: <http://www.shipstructure.org/pdf/81symp11.pdf>. Accessed on: 29/8/2022
- [5] L. Gannon, Y. Liu, N. Pegg, M. J. Smith; “Effect of welding-induced residual stress and distortion on ship hull girder ultimate strength”. Marine Structures. 2012; 28(1):25-49. DOI:10.1016/j.marstruc.2012.03.004.
- [6] A. M. Hansen; “Strength of midship sections”. Marine Structures. 1996; 9(3):471-494. DOI:10.1016/0951-8339(95)00040-2
- [7] J. K. Paik, A. K. Thayamballi; “Ultimate strength of aging ships”; in Proc. Institution of Mechanical Engineers, Part M: Journal of Engineering for the Maritime Environment. 2002; 216(1):57-77. DOI:10.1243/147509002320382149.
- [8] B. G. Gao, Y. C. Deng, S. Q. Yang; “A method based on non-linear FEM for ultimate limit state assessment of ship hull girders”; in Proc.

- International Conference on Quality, Reliability, Risk, Maintenance, and Safety Engineering (QR2MSE); 15-18 July 2013; Chengdu, Sichuan, China. IEEE; 2013; pp.524-528.
- [9] I. Lillemäe, H. Remes, J. Romanoff; “Influence of initial distortion of 3 mm thin superstructure decks on hull girder response for fatigue assessment”. *Marine Structures*. 2014; 37:203-218. DOI: 10.1016/j.marstruc.2014.04.001.
- [10] V. T. Vu, P. Yang; “Tool for Predicting the Ultimate Bending Moment of Ship and Ship-Shaped Hull Girders”. *Journal of Shanghai Jiao Tong University (Science)*. 2018; 23(4):515-526. DOI: 10.1007/s12204-018-1973-2.
- [11] Cục đăng kiểm Việt Nam; “Phần 2A-T Kết cấu thân tàu và trang thiết bị tàu chở dầu vỏ kép có chiều dài từ 150 m trở lên”; Quy phạm phân cấp và đóng tàu biển vỏ thép; QCVN 21:2010/BGTVT. Hà Nội, Việt Nam: Bộ Giao thông vận tải; 2010, tr. 468, 470, 472-477.
- [12] IACS; “Common structural rules for bulk carriers and oil tankers”. London, United Kingdom, 2017. Available: <https://iacs.org.uk/publications/common-structural-rules/csr-for-bulk-carriers-and-oil-tankers/>. Accessed on: 1/7/2022.
- [13] S. Vhanmane, B. Bhattacharya; “Estimation of ultimate hull girder strength with initial imperfections”. *Ships and Offshore Structures*. 2008. 3(3):149-158. DOI: 10.1080/17445300802204389.
- [14] ISSC; “Report of specialist committee III.1 Ultimate strength”; in Proc. 18th International Ship and Offshore Structures Congress; 9-13 September 2012; Rostock, Germany. 2012.