



Tạp chí điện tử
Khoa học và Công nghệ Giao thông
Trang website: <https://jstt.vn/index.php/vn>



Parametric modeling of hull geometry for high-speed planing ship design

Article info

Type of article:

Original research paper

DOI:

<https://doi.org/10.58845/jstt.utt.2026.vn.6.5.102-111>

*Corresponding author:

Email address:

trananhminh@dntu.edu.vn

Received: 25/05/2026

Received in Revised Form:
23/07/2026

Accepted: 10/08/2026

Le Van Toan¹, Dang Xuan Kien¹, Tran Anh Minh^{1,2*}

¹Ho Chi Minh City University of Transport, Ho Chi Minh City, Vietnam

²Faculty of Engineering, Dong Nai Technology University, Dong Nai City, Vietnam

Abstract: This paper presents a parametric geometric modelling approach for planing hulls used in the preliminary design of high-speed ships. In this study, the hull geometry is defined using several key design parameters, including length, beam, draft, and deadrise angle. The deck edge, keel line, and chine line are utilized to automatically create the three-dimensional hull form. Moreover, the ship's hull surface was created by using geometric interpolation, ensuring smoothness and continuity. The developed model is integrated into a computational environment to rapidly generate multiple hull-form alternatives for preliminary design studies. To confirm the design's viability, fundamental geometric and hydrostatic properties, such as displacement and key geometric ratios, are assessed from the generated hull geometry. The results demonstrate that the proposed parametric modelling approach enables efficient generation and exploration of planing hull forms and provides an effective tool to support the preliminary design process of high-speed craft.

Keywords: High-speed craft; Planing hull; Parametric hull modelling; Geometric modelling; Ship design.



Xây dựng mô hình tham số hình học phục vụ thiết kế thân tàu lướt tốc độ cao

Lê Văn Toàn¹, Đặng Xuân Kiên¹, Trần Anh Minh^{1,2*}

¹Trường Đại học Giao thông vận tải Thành phố Hồ Chí Minh

²Khoa Kỹ thuật, Trường Đại học Công nghệ Đồng Nai

Thông tin bài viết

Dạng bài viết:

Bài báo nghiên cứu

DOI:

<https://doi.org/10.58845/jstt.utt.2026.vn.6.5.102-111>

*Tác giả liên hệ:

Địa chỉ Email:

trananhminh@ntu.edu.vn

Ngày nộp bài: 25/05/2026

Ngày nộp bài sửa: 23/07/2026

Ngày chấp nhận: 10/08/2026

Tóm tắt: Bài báo trình bày phương pháp xây dựng mô hình hình học tham số cho thân tàu lướt phục vụ thiết kế tàu cao tốc trong giai đoạn thiết kế sơ bộ. Hình dạng thân tàu được mô tả thông qua các tham số hình học cơ bản như chiều dài, chiều rộng, mớn nước và góc deadrise (góc nghiêng đáy tàu). Trên cơ sở đó, mô hình hình học ba chiều của thân tàu được sinh tự động thông qua các đường đặc trưng gồm đường sống chính, đường gáy đáy-mạn (chine) và đường mép boong. Bề mặt thân tàu được xây dựng bằng phương pháp nội suy hình học nhằm đảm bảo tính liên tục của bề mặt và khả năng điều chỉnh linh hoạt hình dạng thông qua các tham số thiết kế. Mô hình được tích hợp trong môi trường tính toán để tạo nhanh nhiều phương án thân tàu khác nhau phục vụ khảo sát thiết kế. Từ mô hình hình học thu được, các đặc tính hình học và thủy tĩnh cơ bản như thể tích chiếm nước và các tỷ lệ hình học đặc trưng được xác định nhằm đánh giá tính hợp lý của thiết kế. Kết quả cho thấy mô hình cho phép xây dựng nhanh các phương án hình học thân tàu phục vụ giai đoạn thiết kế sơ bộ.

Từ khóa: Tàu cao tốc; Thân tàu lướt; Mô hình hình học tham số; Mô hình hóa hình học; Thiết kế tàu.

1. Giới thiệu

Nhiều nghiên cứu gần đây tập trung vào phân tích đặc tính thủy động lực và ổn định động học của tàu lướt tốc độ cao [1], [2]. Thiết kế hình học thân tàu lướt có ảnh hưởng trực tiếp đến đặc tính thủy động lực và hiệu năng vận hành của tàu cao tốc [3]. Trong giai đoạn thiết kế sơ bộ, việc xây dựng nhanh các phương án hình dạng thân tàu là cần thiết nhằm phục vụ đánh giá ban đầu trước khi thực hiện các phân tích chi tiết hơn. Trong thực tế, hình dạng thân tàu thường được xây dựng bằng các phần mềm thiết kế chuyên dụng hoặc dựa trên các dạng hình học có sẵn [4]. Cách tiếp cận này cho phép mô tả hình học chi tiết, nhưng việc thay đổi tham số thiết kế và khảo sát nhiều phương án

khác nhau còn hạn chế. Mô hình hình học tham số cho phép mô tả hình dạng thân tàu thông qua một tập hợp tham số đầu vào và tạo ra các phương án hình học tương ứng [4]. Tuy nhiên, đối với thân tàu lướt, việc xây dựng mô hình tham số vừa đơn giản để sử dụng trong giai đoạn thiết kế sơ bộ, vừa đảm bảo các đặc trưng hình học cơ bản vẫn còn hạn chế.

Mặc dù nhiều nghiên cứu đã tập trung phân tích đặc tính thủy động lực học, sức cản và hiệu năng của tàu lướt tốc độ cao [5], các nghiên cứu này chủ yếu sử dụng các mô hình hình học có sẵn để phục vụ mô phỏng và đánh giá. Trong khi đó, việc xây dựng mô hình hình học tham số cho phép sinh nhanh nhiều phương án thân tàu, đồng thời

duy trì các ràng buộc hình học cơ bản phục vụ thiết kế sơ bộ vẫn còn ít được đề cập. Xuất phát từ khoảng trống này, nghiên cứu tập trung xây dựng mô hình hình học tham số dựa trên ba đường sinh đặc trưng, kết hợp hiệu chỉnh lượng chiếm nước và kiểm tra các ràng buộc hình học nhằm hỗ trợ xây dựng nhanh các phương án thân tàu phục vụ thiết kế sơ bộ.

Trong nghiên cứu này, một mô hình hình học tham số của thân tàu lướt được xây dựng dựa trên ba đường sinh hình học gồm đường sống chính, đường chine (đường gáy giữa đáy và mạn tàu) và đường mép boong. Các đường này được biểu diễn theo tọa độ dọc thân tàu và được sử dụng để xây dựng bề mặt ba chiều của thân tàu thông qua nội suy hình học. Mô hình đề xuất có thể được sử dụng như một công cụ hỗ trợ trong giai đoạn thiết kế sơ bộ, đồng thời cung cấp dữ liệu hình học làm đầu vào cho các bước phân tích thủy động lực học và đánh giá hiệu năng tiếp theo bằng mô phỏng động lực học chất lưu (CFD) [6].

2. Xây dựng mô hình hình học tham số của thân tàu lướt

2.1. Mô hình toán học

Thiết kế hình học tham số cho phép mô tả hình dạng thân tàu thông qua một tập hợp hữu hạn các tham số thiết kế thay cho việc xác định trực tiếp bằng số lượng lớn các điểm hình học. Theo Maisonneuve và cộng sự [4], mô hình hình học được xây dựng trên cơ sở các đường hình học đặc trưng, từ đó xác định các mặt cắt thiết kế và tái tạo bề mặt thân tàu. Cách tiếp cận này làm giảm số lượng biến thiết kế cần điều khiển, đồng thời tạo điều kiện thuận lợi cho việc xây dựng và khảo sát nhiều phương án hình học trong giai đoạn thiết kế sơ bộ. Để mô tả và đánh giá đặc trưng hình học của mô hình sau khi xây dựng, nghiên cứu sử dụng các hệ số hình dáng cơ bản trong thiết kế tàu thủy. Các hệ số này được xác định theo Biran như sau [7].

Hệ số đầy thân tàu được xác định theo công thức (1):

$$C_B = \frac{V}{LBT} \quad (1)$$

trong đó V là thể tích chiếm nước, L là chiều dài thiết kế, B là chiều rộng lớn nhất và T là mớn nước thiết kế.

Hệ số mặt cắt giữa tàu được xác định theo công thức (2):

$$C_M = \frac{A_M}{BT} \quad (2)$$

trong đó A_M là diện tích mặt cắt ngang lớn nhất của phần thân chìm.

Hệ số lặn trụ được xác định theo công thức (3):

$$C_P = \frac{V}{A_{ML}} = \frac{C_B}{C_M} \quad (3)$$

Hệ số C_P phản ánh sự phân bố thể tích theo chiều dài thân tàu và là chỉ tiêu quan trọng trong đánh giá đặc điểm hình học của thân tàu lướt.

Hệ số lặn trụ đứng được xác định theo công thức (4):

$$C_{VP} = \frac{V}{A_{WT}} \quad (4)$$

trong đó A_W là diện tích mặt đường nước thiết kế. Các hệ số hình dáng trên là cơ sở để đánh giá đặc trưng hình học và thủy tĩnh của mô hình thân tàu [7]. Bên cạnh các hệ số hình dáng, các tỷ số hình học đặc trưng như L/B , B/T và $L/\nabla^{1/3}$ được sử dụng để đối chiếu với phạm vi hình học của các mẫu thân tàu lướt đáy gáy đã được công bố [8]. Các đại lượng này được dùng làm tiêu chí kiểm tra nhằm bảo đảm mô hình hình học nằm trong miền thiết kế phù hợp trước khi thực hiện các bước hiệu chỉnh và đánh giá tiếp theo.

2.2. Xây dựng mô hình hình học

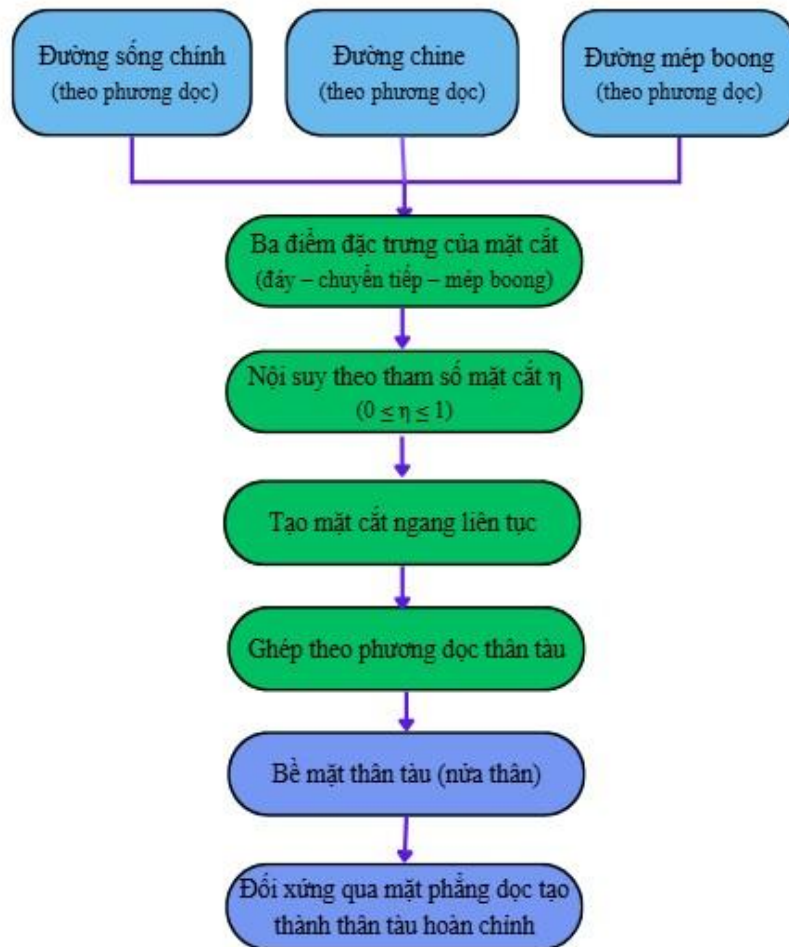
Việc xây dựng mô hình hình học được thực hiện trên cơ sở ba đường sinh đặc trưng gồm đường sống chính, đường chine (đường gáy giữa đáy và mạn tàu) và đường mép boong. Các đường sinh này được lựa chọn vì chúng phản ánh các đặc trưng hình học chủ yếu của thân tàu lướt, đồng thời cho phép mô tả hình dạng thân tàu bằng số lượng hữu hạn các tham số thiết kế. So với việc xác định trực tiếp toàn bộ bề mặt bằng tập hợp lớn các điểm hình học, cách tiếp cận này giúp giảm số lượng biến cần điều khiển và tạo thuận lợi cho việc khảo sát các phương án thiết kế trong giai đoạn thiết kế sơ bộ. Từ ba đường sinh đặc trưng, các mặt cắt

ngang được xác định tại các vị trí dọc theo chiều dài thân tàu. Các mặt cắt này được sử dụng để xây dựng bề mặt hình học của nửa thân tàu, sau đó đối xứng qua mặt phẳng dọc tâm để tạo thành mô hình hình học hoàn chỉnh.

Cách xây dựng này bảo đảm tính liên tục của bề mặt hình học, đồng thời cũng duy trì mối quan hệ hình học giữa các bộ phận chính của thân tàu

khi các tham số thiết kế thay đổi. Trong nghiên cứu này, mô hình tham số không nhằm thay thế các mô hình thủy động lực học, mà chỉ đóng vai trò tạo nhanh các phương án hình học phục vụ thiết kế sơ bộ.

Quy trình xây dựng bề mặt thân tàu từ các đường sinh hình học đặc trưng được trình bày trong Hình 1.



Hình 1. Xây dựng bề mặt thân tàu từ các đường sinh hình học

Các phương án được tạo ra từ cùng một khuôn khổ mô hình hóa giúp bảo đảm tính nhất quán của dữ liệu hình học, đồng thời tạo điều kiện thuận lợi cho việc hiệu chỉnh lượng chiếm nước, kiểm tra các ràng buộc hình học và sử dụng làm dữ liệu đầu vào cho các bước đánh giá thủy động lực học tiếp theo.

2.3. Hiệu chỉnh và đánh giá mô hình hình học

Để bảo đảm lượng chiếm nước của mô hình phù hợp với giá trị thiết kế, mớn nước được hiệu chỉnh theo quan hệ trong công thức (5):

$$T_n = T \frac{\nabla_{\text{target}}}{\nabla} \quad (5)$$

trong đó T_n là mớn nước sau hiệu chỉnh, T là mớn nước ban đầu, ∇_{target} là lượng chiếm nước mục tiêu và ∇ là lượng chiếm nước tính toán từ mô hình. Quá trình hiệu chỉnh được thực hiện lặp cho đến khi lượng chiếm nước của mô hình đạt giá trị thiết kế. Sau khi hiệu chỉnh, mô hình được đánh giá thông qua các tỷ số và thông số hình học đặc trưng. Các tiêu chí này được lựa chọn trên cơ sở chuỗi mẫu hệ thống Naples (NSS) [8] nhằm kiểm

tra mức độ phù hợp của mô hình với đặc trưng hình học của thân tàu lướt đáy gầy. Các tiêu chí sử dụng trong nghiên cứu được trình bày trong Bảng

1. Các tiêu chí trong Bảng 1 được sử dụng để đánh giá mức độ phù hợp của mô hình hình học trước khi thực hiện các bước khảo sát tiếp theo.

Bảng 1. Tiêu chí đánh giá mô hình hình học

Tiêu chí đánh giá	Ký hiệu	Thông số của NSS
Đánh giá hình dạng tổng thể	L/B	3.24–4.83
Đánh giá tỷ lệ chiếm nước	$L/\nabla^{1/3}$	5.86–7.49
Đánh giá đáy đuôi	β_T	13.2°
Đánh giá đáy giữa thân	$\beta_{0.5}$	22.3°
Đánh giá đáy mũi	$\beta_{0.75}$	38.5°

Nguồn: De Luca và Pensa [8]

3. Kết quả và thảo luận

3.1. Kết quả xây dựng mô hình hình học

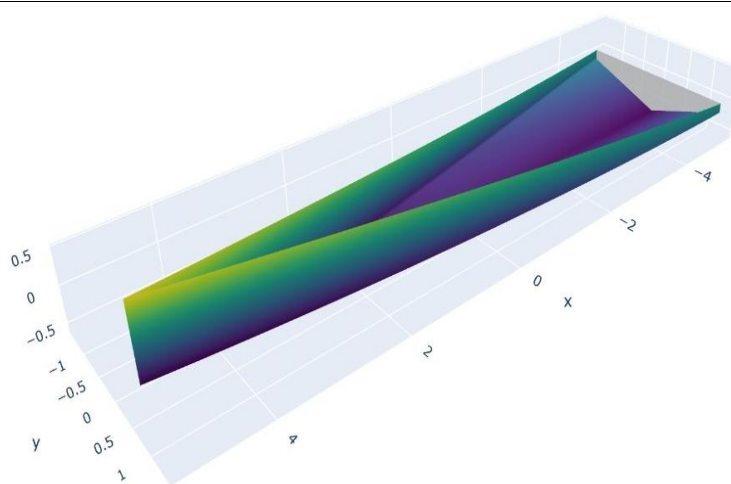
Để đánh giá khả năng xây dựng hình học của mô hình tham số đề xuất, một bộ tham số thiết kế được lựa chọn làm dữ liệu đầu vào cho chương trình tính toán. Bộ tham số này đại diện cho một phương án thân tàu lướt cỡ nhỏ trong giai đoạn thiết kế sơ bộ và được sử dụng thống nhất trong toàn bộ quá trình khảo sát. Các tham số đầu vào của mô hình được trình bày trong Bảng 2. Các

tham số n_x và n_y được sử dụng để xác định mật độ chia lưới hình học trong quá trình sinh bề mặt ba chiều.

Từ bộ tham số thiết kế trong Bảng 2, chương trình tự động xây dựng mô hình hình học ba chiều của thân tàu lướt. Kết quả mô hình hóa được trình bày trong Hình 2. Mô hình hình học thu được phản ánh đầy đủ các đặc trưng hình học của thân tàu và bảo đảm tính liên tục của bề mặt trong toàn bộ miền thiết kế.

Bảng 2. Bộ tham số thiết kế ban đầu

Tham số	Ký hiệu	Giá trị	Đơn vị
Chiều dài thân tàu	L	10	m
Chiều rộng lớn nhất	B	2.4	m
Mớn nước thiết kế	T	0.45	m
Góc deadrise tại đuôi	β_0	16	độ
Lượng chiếm nước mục tiêu	∇_{target}	6.0	m^3
Số điểm chia lưới theo chiều dọc	n_x	60	-
Số điểm chia lưới theo chiều ngang	n_y	40	-



Hình 2. Mô hình ba chiều của thân tàu lướt

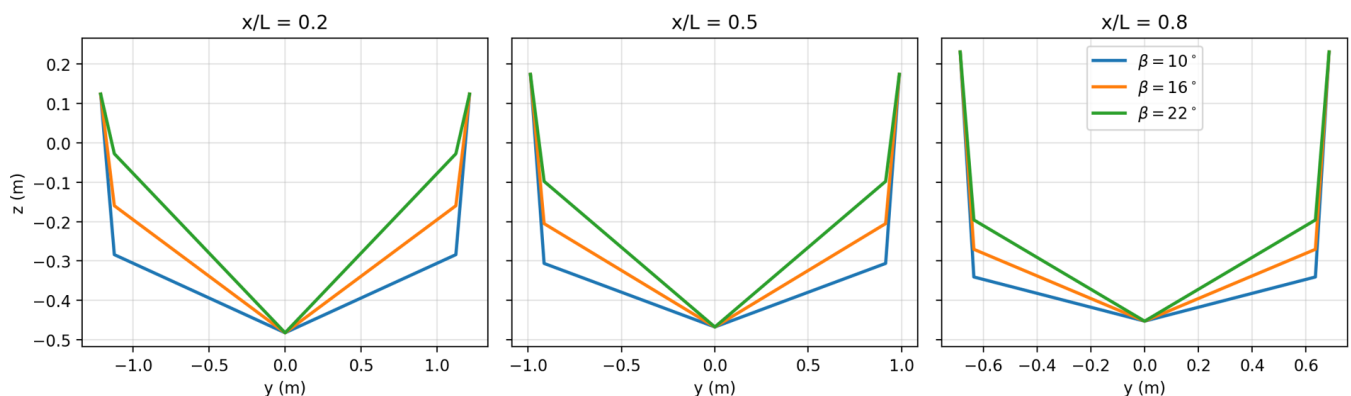
Hình 2 cho thấy mô hình tham số có khả năng sinh tự động bề mặt ba chiều của thân tàu từ cùng một bộ tham số thiết kế. Khi các tham số đầu vào thay đổi, toàn bộ hình học được cập nhật đồng bộ mà vẫn duy trì tính liên tục của bề mặt. Kết quả này cho thấy phương pháp đề xuất đáp ứng yêu cầu xây dựng nhanh nhiều phương án hình học phục vụ thiết kế sơ bộ. Từ mô hình hình học thu được, các đặc trưng hình học và thủy tĩnh cơ bản như lượng chiếm nước, các hệ số hình dáng và các tỷ số hình học đặc trưng được xác định tự động. Các đại lượng này là cơ sở để kiểm tra tính hợp lý của mô hình theo các tiêu chí đã trình bày trong Mục 2.3 trước khi thực hiện khảo sát ảnh hưởng của các tham số thiết kế.

3.2. Ảnh hưởng của góc nghiêng đáy tàu (góc deadrise)

Để đánh giá khả năng đáp ứng của mô hình

tham số đối với sự thay đổi hình học, góc deadrise được lựa chọn làm tham số khảo sát đầu tiên. Trong quá trình khảo sát, các tham số còn lại được giữ không đổi nhằm làm rõ ảnh hưởng riêng của góc deadrise đến hình dạng thân tàu. Hình 3 trình bày ảnh hưởng của góc deadrise đến hình dạng mặt cắt ngang thân tàu tại ba vị trí dọc thân tàu. Khi góc deadrise tăng từ 10° lên 22° , mặt cắt ngang chuyển dần từ dạng đáy nông sang dạng chữ V sâu hơn, trong khi các tham số hình học còn lại được giữ không đổi. Xu hướng này cho thấy mô hình tham số có khả năng cập nhật hình dạng mặt cắt theo sự thay đổi của góc deadrise, đáp ứng yêu cầu khảo sát nhanh các phương án hình học trong giai đoạn thiết kế sơ bộ. Để minh họa ảnh hưởng của sự thay đổi mặt cắt đến hình dạng tổng thể, các mô hình ba chiều tương ứng với ba giá trị β được trình bày trong Hình 4.

Ảnh hưởng của góc deadrise đến mặt cắt ngang thân tàu lướt



Hình 3. Ảnh hưởng của góc deadrise đến hình dạng mặt cắt ngang thân tàu lướt

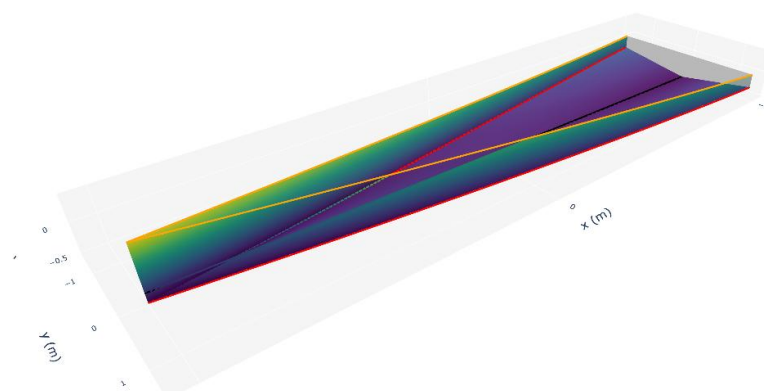
Bảng 3. Ảnh hưởng của góc deadrise β

STT	β ($^\circ$)	B (m)	Nhận xét
1	10	2.8	Chữ V nông
2	16	2.8	Chữ V trung bình
3	22	2.8	Chữ V sâu

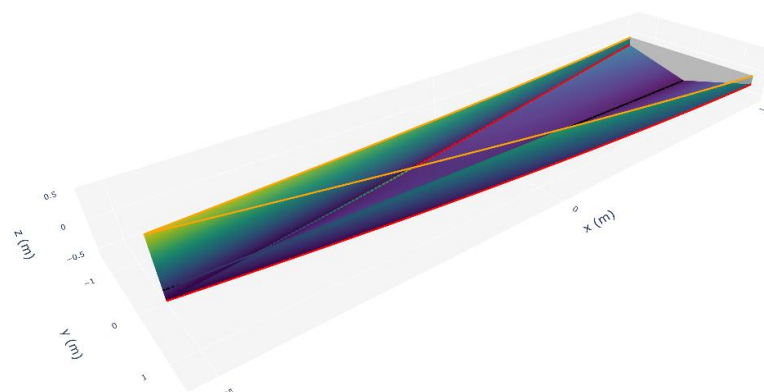
Bảng 3 trình bày ảnh hưởng của góc deadrise β đến đặc điểm hình học đáy thân tàu lướt. Khi góc deadrise tăng từ 10° lên 22° , hình dạng đáy tàu chuyển dần từ dạng đáy phẳng sang dạng chữ V sâu hơn. Các kết quả này cũng phù hợp với phân tích ảnh hưởng của các điều kiện hình học đối với thân tàu lướt được Kazemi và cộng sự báo cáo

trong [9]. Hình 4 cho thấy khi góc deadrise tăng, hình dạng tổng thể của thân tàu được cập nhật đồng bộ theo toàn bộ chiều dài.

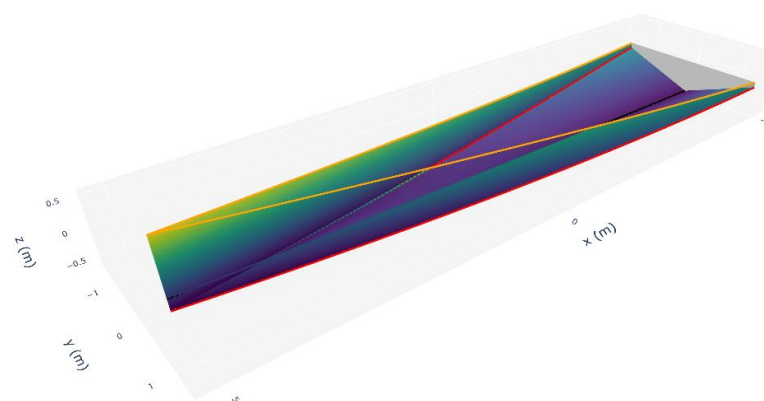
Mặc dù sự thay đổi trên mô hình ba chiều không rõ rệt như trên mặt cắt ngang, mô hình tham số vẫn phản ánh đúng xu hướng biến đổi hình học khi thay đổi tham số thiết kế.



(a)



(b)



(c)

Hình 4. Ảnh hưởng của góc deadrise đến hình dạng thân tàu lướt
(a) $\beta = 10^\circ$, (b) $\beta = 16^\circ$, (c) $\beta = 22^\circ$.

3.3. Ảnh hưởng của chiều rộng B

Chiều rộng thân tàu là tham số quyết định kích thước tổng thể của mô hình hình học.

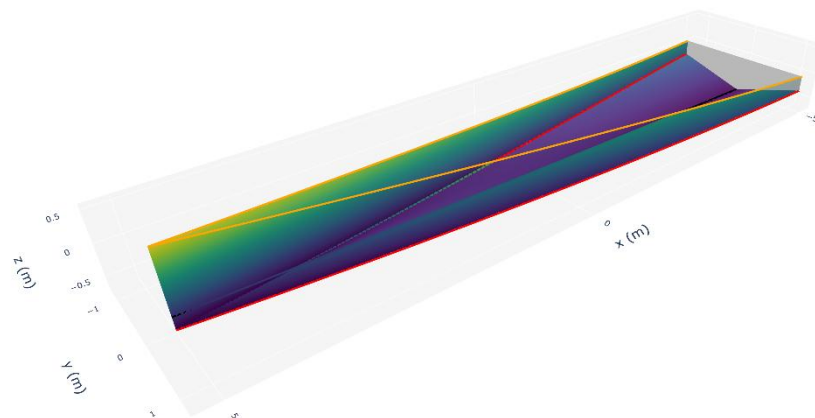
Trong nghiên cứu này, chiều rộng được khảo sát với các giá trị $B=2.4\text{m}$, 3.0m và 3.6m , trong khi các tham số còn lại được giữ không đổi nhằm đánh

giá khả năng cập nhật hình học của mô hình tham số.

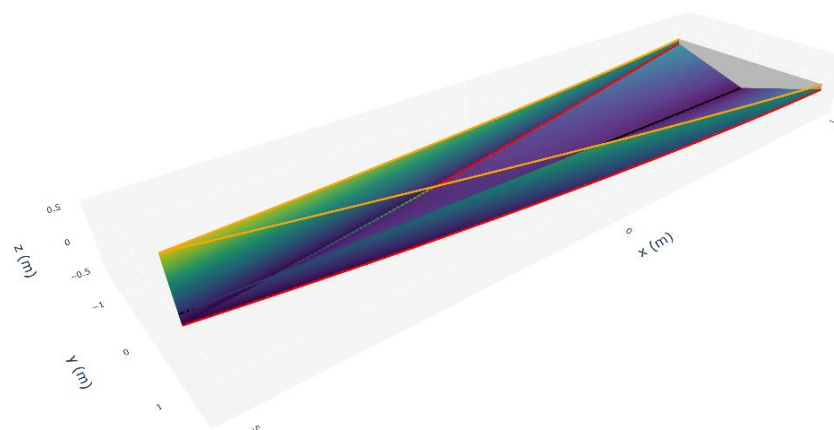
Hình 5 cho thấy khi chiều rộng thân tàu tăng, bề rộng mặt cắt ngang tăng tương ứng trong khi hình dạng đáy vẫn được duy trì. Sự thay đổi này làm tăng kích thước tổng thể của thân tàu nhưng

không làm thay đổi quy luật biến thiên của các đường sinh hình học. Kết quả cho thấy mô hình tham số có khả năng cập nhật đồng bộ hình học

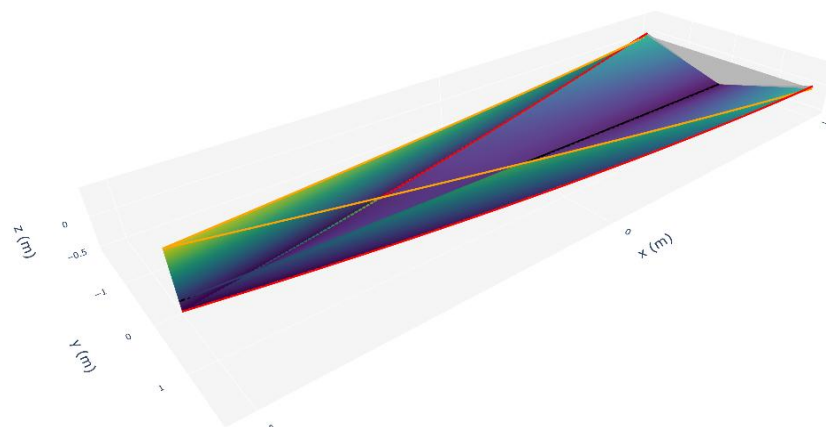
khi thay đổi chiều rộng thiết kế, đáp ứng yêu cầu khảo sát nhanh nhiều phương án hình học trong giai đoạn thiết kế sơ bộ.



(a)



(b)



(c)

Hình 5. Ảnh hưởng của chiều rộng thân tàu đến hình dạng thân tàu lướt

(a) $B = 2.4$ m, (b) $B = 3.0$ m, (c) $B = 3.6$ m.

Bảng 4 cho thấy khi chiều rộng thân tàu tăng, tỷ lệ L/B giảm, phản ánh sự thay đổi từ thân thon sang thân rộng hơn. Trong khi đó, lượng chiếm

nước mục tiêu và góc deadrise được giữ không đổi để bảo đảm chỉ khảo sát ảnh hưởng của tham số chiều rộng. Kết quả khảo sát cho thấy các tham số

hình học ảnh hưởng khác nhau đến hình dạng thân tàu. Trong khi góc deadrise chủ yếu chi phối hình dạng mặt cắt ngang, chiều rộng thân tàu quyết định kích thước tổng thể của mô hình. Xu hướng biến đổi hình học theo góc deadrise phù hợp với các kết quả đã được công bố [10]. Kết quả này cho thấy

mô hình tham số có khả năng khảo sát ảnh hưởng của các tham số thiết kế, đồng thời cung cấp dữ liệu hình học phục vụ phân tích thủy động lực học, tối ưu hóa thiết kế và mở rộng nghiên cứu đối với các biến thể hình học phức tạp của thân tàu lướt [11], [12].

Bảng 4. Ảnh hưởng của chiều rộng thân tàu B

STT	B (m)	β (°)	∇ (m ³)	L/B	Nhận xét
1	2.4	18	6.0	4.2	Thân hẹp
2	3.0	18	6.0	3.3	Thân trung bình
3	3.6	18	6.0	2.8	Thân rộng

4. Kết luận

Bài báo đã xây dựng mô hình hình học tham số cho thân tàu lướt phục vụ giai đoạn thiết kế sơ bộ trên nền tảng Python. Mô hình sử dụng ba đường sinh đặc trưng để tự động tạo bề mặt ba chiều của thân tàu, đồng thời tích hợp hiệu chỉnh lượng chiếm nước và kiểm tra các ràng buộc hình học nhằm bảo đảm tính hợp lý của phương án thiết kế. Kết quả cho thấy mô hình có khả năng cập nhật ổn định hình dạng thân tàu khi thay đổi các tham số thiết kế và hỗ trợ xây dựng nhanh các phương án hình học trong giai đoạn thiết kế sơ bộ. Mô hình đề xuất có thể được sử dụng làm dữ liệu đầu vào cho các phân tích CFD, đánh giá hiệu năng và tối ưu hóa thiết kế [13], đồng thời hỗ trợ giai đoạn thiết kế khái niệm và phát triển phương án hình học ban đầu của tàu lướt [14].

Tuyên bố về việc sử dụng AI tạo sinh

Trong quá trình chuẩn bị bài báo, các tác giả đã không sử dụng công cụ AI để tạo ra nội dung cho bài báo.

Tài liệu tham khảo

- [1] J. Suneela, P. Krishnankutty, V.A. Subramanian. (2021). Hydrodynamic Performance of Planing Craft with Interceptor-flap Hybrid Combination. *Journal of Ocean Engineering and Marine Energy*, 7(4), 421–438. <https://doi.org/10.1007/s40722-021-00211-0>
- [2] A. González-Cantos, M.J. Lopez, A. Ollero. (2020). Analysis of Unstable Behavior of Planing Craft Speed Using the Qualitative Theory of Dynamical Systems. *Nonlinear Dynamics*, 102(4), 2363–2383. <https://doi.org/10.1007/s11071-020-06083-7>
- [3] R. Tayeb, S.E. Belhenniche, M. Belkadi, M.A. Rizk, O.K. Kinaci, P. Liu. (2025). Optimizing Geometric Parameters of Planing Vessels for Enhanced Hydrodynamic Performance. *Journal of Marine Science and Application*, 24(5), 970–983. <https://doi.org/10.1007/s11804-025-00632-5>
- [4] J.J. Maisonneuve, S. Harries, J. Marzi, H. C. Raven, U. Viviani, H. Piippo. (2003). Towards Optimal Design of Ship Hull Shapes. In *Proceedings of the 8th International Marine Design Conference (IMDC'03)*. Athens, Greece, pp. 31–42.
- [5] U.C. Karabulut, B. Barlas. (2025). A Novel Approach to Full-Scale Ship Resistance Predictions: Experimental and Numerical Study of a High-Speed Planing Hull. *Journal of Marine Science and Technology*, 30(4), 939–963. <https://doi.org/10.1007/s00773-025-01096-6>
- [6] H. Kazemi, M.M. Doustdar, A. Najafi, H. Nowruzi, M.J. Ameri. (2021). Hydrodynamic Performance Prediction of Stepped Planing Craft Using CFD and ANNs. *Journal of Marine Science and Application*, 20(1), 67–84. <https://doi.org/10.1007/s11804-020-00182-y>
- [7] A.B. Biran. (2003). *Ship Hydrostatics and Stability*. Butterworth-Heinemann.
- [8] F. De Luca, C. Pensa. (2017). *The Naples*

- warped hard chine hulls systematic series. *Ocean Engineering*, 139, 205–236. <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2017.04.038>
- [9] H. Kazemi, M. Salari, H. Nowruzi, A. Najafi. (2019). Hydrodynamics Analysis of Stepped Planing Hull under Different Physical and Geometrical Conditions. *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*, 41(9), 360. <https://doi.org/10.1007/s40430-019-1866-9>
- [10] A. Ebrahimi, A. Najafi, A. Nadery, A. Moghaddas. (2024). Investigating the Effect of Underlying Angle, Width, and Number of Spray Rails on the Performance of Planing Hull and Their Optimization Using the Taguchi Method. *Journal of Ocean Engineering and Marine Energy*, 10(4), 987–1009. <https://doi.org/10.1007/s40722-024-00338-w>
- [11] S.M. Sajedi, P. Ghadimi. (2022). Experimental and Numerical Assessment of the Effect of Transverse, Pointed Aft, and Re-entrant Vee Steps as well as Ventilation on Hydrodynamic Performance of Mono-hull Planing Crafts in Calm Water. *Iranian Journal of Science and Technology, Transactions of Mechanical Engineering*. 46(3), 715–731 <https://doi.org/10.1007/s40997-022-00519-8>
- [12] A.M. Javad, A.D.A. Hossein, N. Amin, K. Hamid. (2025). Effect of Angle Change in the Aft-Wise Transverse Step on the Hydrodynamic Performance of Planing Hulls. *Journal of Marine Science and Application*, 24(4), 718–728. <https://doi.org/10.1007/s11804-025-00642-3>
- [13] D. Savitsky. (1964). Hydrodynamic Design of Planing Hulls. *Marine Technology*, 1(4), 71–95. <https://doi.org/10.5957/mt1.1964.1.4.71>
- [14] M.A. Lutfi, A.R. Prabowo, E.M. Muslimy, T. Muttaqie, N. Muhayat, H. Diatmaja, Q.T. Do, S. J. Baek, A. Bahatmaka. (2024). Leisure Boat Concept Design: Study on the Influence of Hull Form and Dimension to Increase Hydrodynamic Performance. *International Journal of Mechanical Engineering and Robotics Research*, 13(1), 139–161. <https://doi.org/10.18178/ijmerr.13.1.139-161>