

BỘ XÂY DỰNG

BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO

TRƯỜNG ĐẠI HỌC HÀNG HẢI VIỆT NAM



VŨ MINH NGỌC

**NGHIÊN CỨU CẢI TIẾN HÌNH DÁNG TÀU HÀNG
CẤP VR-SB PHÙ HỢP VỚI TUYẾN ĐƯỜNG THỦY
NỘI ĐỊA VIỆT NAM NHẪM GIẢM LỰC CẢN TÀU**

LUẬN ÁN TIẾN SĨ KỸ THUẬT

HẢI PHÒNG - 2026

TRƯỜNG ĐẠI HỌC HÀNG HẢI VIỆT NAM

VŨ MINH NGỌC

NGHIÊN CỨU CẢI TIẾN HÌNH DÁNG TÀU HÀNG
CẤP VR-SB PHÙ HỢP VỚI TUYẾN ĐƯỜNG THỦY
NỘI ĐỊA VIỆT NAM NHẪM GIẢM LỰC CẢN TÀU

LUẬN ÁN TIẾN SĨ KỸ THUẬT

NGÀNH: KỸ THUẬT CƠ KHÍ ĐỘNG LỰC; MÃ SỐ: 9520116

CHUYÊN NGÀNH: KỸ THUẬT TÀU THỦY

Người hướng dẫn khoa học: PGS.TS. Trần Ngọc Tú

LỜI CAM ĐOAN

Tôi xin cam đoan đây là công trình nghiên cứu của riêng tôi và không có bất kỳ sự trùng lặp nào với các công trình khác đã được công bố. Các số liệu, kết luận nêu trong luận án là trung thực, có nguồn gốc rõ ràng. Những kết luận khoa học của luận án chưa từng được công bố ở các công trình khác không liên quan đến luận án này.

Hải Phòng, ngày 06 tháng 01 năm 2026

Nghiên cứu sinh

Vũ Minh Ngọc

LỜI CẢM ƠN

Tôi xin chân thành cảm ơn Trường Đại học Hàng hải Việt Nam đã cho phép và tạo điều kiện cho tôi thực hiện Luận án này.

Tôi xin chân thành cảm ơn Thầy PGS.TS. Trần Ngọc Tú – Giảng viên cao cấp, Trưởng Khoa Đóng tàu, người hướng dẫn khoa học cho tôi đã tận tình hướng dẫn, định hướng nghiên cứu giúp tôi hoàn thành Luận án.

Tôi xin chân thành cảm ơn Khoa Đóng tàu, Viện Đào tạo Sau đại học, Phòng Công tác sinh viên cùng các thầy cô giáo, các nhà khoa học, các đồng nghiệp đã hỗ trợ, giúp đỡ tôi trong suốt quá trình thực hiện Luận án.

Cuối cùng, tôi xin bày tỏ lòng biết ơn đến gia đình, bạn bè, đồng nghiệp đã luôn động viên, khuyến khích, tạo điều kiện thuận lợi để tôi hoàn thành Luận án này.

Hải Phòng, ngày 06 tháng 01 năm 2026

Nghiên cứu sinh



Vũ Minh Ngọc

MỤC LỤC

LỜI CAM ĐOAN.....	i
LỜI CẢM ƠN	ii
MỤC LỤC.....	iii
DANH MỤC CÁC CHỮ VIẾT TẮT	viii
DANH MỤC CÁC KÝ HIỆU.....	ix
DANH MỤC HÌNH VẼ.....	xi
DANH MỤC BẢNG BIỂU	xv
MỞ ĐẦU.....	1
1. Tầm quan trọng của vấn đề nghiên cứu	1
2. Mục đích nghiên cứu	2
3. Đối tượng và phạm vi nghiên cứu	2
4. Phương pháp nghiên cứu.....	3
5. Ý nghĩa khoa học và thực tiễn của luận án.....	3
6. Những điểm mới của luận án	4
7. Cấu trúc của luận án	5
CHƯƠNG 1. TỔNG QUAN.....	8
1.1. Tổng quan về tuyến vận tải thủy nội địa Việt Nam và đội tàu hàng cấp VR-SB	8
1.1.1. Tổng quan về tuyến vận tải thủy nội địa trong nước.....	8
1.1.2. Tổng quan về đội tàu hàng cấp VR-SB	9
1.1.3. Tổng quan về công tác thiết kế tàu hàng cấp VR-SB.....	10
1.1.4. Tổng quan về các quy định của Việt Nam liên quan đến việc sử dụng năng lượng hiệu quả và tiết kiệm.....	11

1.2. Tổng quan về tình hình nghiên cứu trong thiết kế hình dáng thân tàu nhằm giảm lực cản tàu.....	12
1.2.1. Tổng quan về tình hình nghiên cứu trên thế giới	12
1.2.2. Tổng quan về tình hình nghiên cứu ở trong nước	26
1.2.3. Nhận xét đánh giá về các nghiên cứu đi trước	27
1.3. Phân tích lựa chọn hướng nghiên cứu, phương pháp nghiên cứu và giới hạn nghiên cứu	28
1.3.1. Lựa chọn hướng và mục tiêu nghiên cứu	28
1.3.2. Phân tích lựa chọn phương pháp nghiên cứu	29
1.4. Kết luận chương 1	29
CHƯƠNG 2. CƠ SỞ LÝ THUYẾT PHỤC VỤ XÂY DỰNG MÔ HÌNH BÀI TOÁN CẢI TIẾN TUYẾN HÌNH TÀU CẤP VR-SB	31
2.1. Đặc điểm điều kiện khai thác của tàu pha sông biển	31
2.1.1. Cơ sở lý thuyết ảnh hưởng của độ sâu nước đến lực cản tàu	31
2.1.2. Đặc điểm của tuyến đường thủy nội địa Việt Nam	34
2.2. Cơ sở lý thuyết ảnh hưởng của các thông số hình dáng thân tàu đến lực cản tàu	40
2.2.1. Vị trí hoành độ tâm nổi.....	40
2.2.2. Góc vào nước tại đường nước thiết kế	41
2.2.3. Hình dáng mũi tàu	42
2.2.4. Hình dáng đuôi tàu.....	43
2.3. Cơ sở lý thuyết thay đổi hình dáng thân tàu.....	46
2.3.1. Phương pháp Lackenby	46
2.3.2. Phương pháp thay đổi hình dáng mũi tàu.....	49

2.4. Cơ sở lý thuyết phương pháp CFD.....	50
2.4.1. Hệ phương trình Navier-Stokes.....	50
2.4.2. Mô hình dòng rối realizable K-epsilon two layer.....	51
2.4.3. Cơ sở lý thuyết trong kiểm tra đánh giá kết quả mô phỏng	53
2.5. Cơ sở lý thuyết phương pháp Taguchi kết hợp phân tích tương quan xám	57
2.6. Kết luận Chương 2	65
CHƯƠNG 3. XÂY DỰNG MÔ HÌNH VÀ QUY TRÌNH CẢI TIẾN HÌNH DÁNG THÂN TÀU HÀNG CẤP VR-SB.....	67
3.1. Xây dựng mô hình bài toán cải tiến hình dáng thân tàu hàng cấp VR-SB	67
3.1.1. Mô hình bài toán tối ưu tổng quát	67
3.1.2. Mô hình bài toán cải tiến hình dáng thân tàu hàng cấp VR-SB tổng quát	69
3.2. Xây dựng quy trình cải tiến hình dáng thân tàu hàng cấp VR-SB phù hợp với tuyến đường thủy nội địa Việt Nam.....	72
3.2.1. Xác định các thông số đầu vào	72
3.2.2. Lựa chọn biến thiết kế và số mức của biến	74
3.2.3. Lựa chọn dạng ma trận trực giao.....	74
3.2.4. Tạo các phương án tuyến hình tàu.....	76
3.2.5. Mô phỏng tính toán lực cản tàu	76
3.2.6. Phân tích tỷ số tín hiệu/nhiều đối với từng biến và xác định phương án tối ưu	83
3.3. Kết luận Chương 3	83

CHƯƠNG 4. CẢI TIẾN HÌNH DÁNG THÂN TÀU HÀNG TRỌNG TẢI 4600 TẤN MANG CẤP VR-SB.....	84
4.1. Giới thiệu về series tàu hàng trọng tải 4600 tấn mang cấp VR-SB	84
4.1.1. Các thông số chủ yếu của tàu	84
4.1.2. Tuyến đường hoạt động của tàu	85
4.2. Thiết lập các phương án tính	87
4.2.1. Xác định số mức của biến thiết kế.....	87
4.2.2. Xây dựng các phương án tuyến hình tàu	88
4.2.3. Xác định trọng số hàm mục tiêu.....	89
4.2.4. Thiết lập tính toán lực cản tàu bằng phương pháp CFD	90
4.2.5. Xác định sự hội tụ của lưới.....	91
4.2.6. Kiểm tra, đánh giá độ tin cậy của kết quả mô phỏng	92
4.3. Kết quả tính toán và xác định phương án tuyến hình tối ưu	93
4.3.1. Kết quả tính toán.....	93
4.3.2. Phân tích tương quan xám	107
4.3.3. Phân tích phương sai.....	111
4.4. Đánh giá mức giảm lực cản giữa phương án tuyến hình cải tiến và phương án ban đầu	111
4.4.1. So sánh phương án tuyến hình cải tiến và tuyến hình ban đầu	111
4.4.2. Đánh giá mức giảm lực cản tàu	112
4.4.3. Phân tích sự khác nhau về dòng chảy bao quanh thân tàu	112
4.5. Kết luận Chương 4	118
KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ.....	120

DANH MỤC CÁC CÔNG TRÌNH KHOA HỌC CÔNG BỐ KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU CỦA ĐỀ TÀI LUẬN ÁN.....	123
TÀI LIỆU THAM KHẢO.....	125

DANH MỤC CÁC CHỮ VIẾT TẮT

Chữ viết tắt	Tên đầy đủ bằng tiếng Anh	Tên đầy đủ bằng tiếng Việt
IMO	International Maritime Organization	Tổ chức hàng hải thế giới
CFD	Computational Fluid Dynamics	Tính toán động lực học lưu chất
RANSE	Reynolds-Averaged Navier-Stokes Equations	Phương trình Navier-Stokes với số Reynolds trung bình
LES	Large Eddy Simulation	Mô phỏng xoáy lớn
DoF	Degree of Freedom	Bậc tự do
DWT	Deadweight Tonnage	Tải trọng toàn phần
TEU	Twenty-foot Equivalent Unit	Đơn vị tương đương container 20 feet
WoS	Web of Science	Cơ sở dữ liệu trích dẫn khoa học trực tuyến uy tín
ITTC	International Towing Tank Conference	Hiệp hội bể thử quốc tế
VR-SB		Tàu cấp sông – biển của Đăng kiểm Việt Nam
NCS		Nghiên cứu sinh
PGS		Phó Giáo sư
TS		Tiến sĩ
GTVT		Giao thông vận tải
ĐTND		Đường thủy nội địa

DANH MỤC CÁC KÝ HIỆU

<i>Ký hiệu</i>	<i>Đơn vị</i>	<i>Tên ký hiệu</i>
L_{PP}	[m]	Chiều dài hai trụ
L	[m]	Chiều dài tàu
L_{WL}	[m]	Chiều dài đường nước
B	[m]	Chiều rộng tàu tại mớn nước thiết kế
D	[m]	Chiều cao mạn của tàu
T	[m]	Mớn nước của tàu
Δ	[tấn]	Lượng chiếm nước của tàu
∇	[m ³]	Lượng chiếm nước thể tích
C_B	[-]	Hệ số béo thể tích của tàu
C_P	[-]	Hệ số béo lãng trụ
C_{LPR}	[-]	Hệ số chiều dài của mũi quả lê
C_{BB}	[-]	Hệ số chiều rộng của mũi quả lê
C_{ZB}	[-]	Hệ số chiều cao của mũi quả lê
C_{ABT}	[-]	Hệ số diện tích mặt cắt ngang của mũi quả lê
C_{ABL}	[-]	Hệ số diện tích mặt cắt dọc của mũi quả lê
$C_{\nabla PR}$	[-]	Hệ số thể tích của mũi quả lê
ΔC_{PVR}	[-]	Tham số thể tích của mũi quả lê
L_{PR}	[m]	Chiều dài mũi quả lê
B_B	[m]	Chiều rộng mũi quả lê
A_{BT}	[m ²]	Diện tích mặt cắt ngang mũi quả lê
A_{BL}	[m ²]	Diện tích mặt cắt dọc mũi quả lê
∇_{PR}	[m ³]	Thể tích mũi quả lê
LCB	[m]	Hoành độ tâm nổi của tàu
α_E	[độ]	Góc vào nước tại đường nước thiết kế
h_W	[m]	Độ sâu của sông, luồng

A_c	[m ²]	Diện tích mặt cắt ngang của luồng
A_s	[m ²]	Diện tích mặt cắt ngang của sườn giữa
Re	[-]	Số Reynolds của tàu
Fr	[-]	Số Froude của tàu
R_T	[kN]	Lực cản toàn bộ của tàu
R_F	[kN]	Lực cản ma sát của tàu
R_P	[kN]	Lực cản áp suất của tàu
C_F	[-]	Phân bố ứng suất tiếp
C_P	[-]	Phân bố áp suất thủy động

DANH MỤC HÌNH VẼ

Số hình	Tên hình	Trang
1.1	Quy trình thiết kế hình dáng thân tàu	13
1.2	Vị trí hoành độ tâm nổi tối ưu cho tàu phụ thuộc vào C_B cho tàu sử dụng một và hai chong chóng	14
1.3	Vị trí hoành độ tâm nổi tối ưu được xác định dựa trên hệ số béo C_B và hình dáng tuyến hình tàu	15
1.4	Khuyến nghị lựa chọn chiều dài đoạn thân ống, chiều dài phía mũi và đuôi tàu với C_P khác nhau (áp dụng với tàu có $L/B=7.0$)	15
1.5	Các tham số hình học của mũi quả lê	16
1.6	Ảnh hưởng của tham số C_{LPR} mũi quả lê đến $\Delta C_{PV\overline{R}}$ của tàu	16
1.7	Ảnh hưởng của tham số C_{BB} mũi quả lê đến $\Delta C_{PV\overline{R}}$ của tàu	17
1.8	Ảnh hưởng của tham số C_{ABT} mũi quả lê đến $\Delta C_{PV\overline{R}}$ của tàu	17
1.9	Ảnh hưởng của tham số C_{ABL} mũi quả lê đến $\Delta C_{PV\overline{R}}$ của tàu	17
1.10	Ảnh hưởng của tham số C_{VPR} mũi quả lê đến $\Delta C_{PV\overline{R}}$ của tàu	18
1.11	Đối tượng nghiên cứu và khu vực thay đổi hình dáng tàu hàng 4600 tấn	21
1.12	Kết quả nghiên cứu tối ưu hình dáng mũi và đuôi tàu	21
1.13	Sự khác nhau về hình dạng sóng do tàu tạo ra ở phương án ban đầu và phương án tối ưu	21
1.14	Sự khác nhau về profile sóng giữa phương án tối ưu và phương án ban đầu tại vết cắt ($y/L=0.09$)	22
1.15	Sự khác nhau về hình ảnh Phân bố áp suất thủy động giữa phương án ban đầu và phương án	22
1.16	Hình dáng tàu trước và sau tối ưu	24
1.17	Sự khác nhau trong Phân bố áp suất thủy động dọc thân tàu giữa phương án tối ưu và phương án ban đầu	24
1.18	Sự khác nhau về hình dạng sóng do tàu tạo ra giữa phương án tối ưu và phương án ban đầu	24
1.19	Sự khác nhau về profile sóng dọc thân tàu giữa phương án tối ưu và phương án ban đầu	25

1.20	Đối tượng được sử dụng trong nghiên cứu của nhóm tác giả Erik	25
1.21	Sự khác nhau về dòng theo tại đuôi tàu giữa hình dáng đáy tàu dạng chữ V và S ở các độ sâu nước khác nhau	26
2.1	Đường cong lực cản tàu khi chạy trong vùng nước nông, kênh và vùng không hạn chế	32
2.2	Hình dạng sóng Kelvin xuất hiện ở chế độ trước tới hạn	33
2.3	Hình dạng sóng do tàu tạo ra khi chạy ở chế độ tới hạn	33
2.4	Hình dạng sóng do tàu tạo ra khi chạy ở chế độ sau tới hạn	33
2.5	Định nghĩa $\frac{1}{2}$ góc vào nước ($1/2\alpha_E$)	41
2.6	Hình dạng 3 loại mũi quả lê	42
2.7	Các loại hình dáng đuôi tàu	44
2.8	Ảnh hưởng của lực hút chong chóng lên thân tàu	45
2.9	Phần đuôi thân tàu SSPA được thiết kế để sử dụng hai chong chóng	45
2.10	Ví dụ áp dụng phương pháp Lackenby trong điều chỉnh đường cong diện tích đường sườn theo chiều dài tàu	48
2.11	Điểm điều khiển trong việc tạo ra các phương án mũi quả lê	50
2.12	Sơ đồ thiết kế tối ưu theo phương pháp Taguchi kết hợp phân tích tương quan xám	58
2.13	Ảnh hưởng của các biến thiết kế đến bậc tương quan xám	64
3.1	Quy trình các bước cải tiến hình dáng thân tàu hàng cấp VR-SB	73
3.2	Quy trình tính toán lực cản tàu bằng CFD	78
3.3	Kích thước miền tính toán và điều kiện biên	80
3.4	Cấu trúc lưới trong bài toán mô phỏng lực cản tàu khi chạy ở vùng nước sâu và nước nông	80
4.1	Hình dáng series tàu hàng trọng tải 4600 tấn mang cấp VR-SB	85
4.2	Khoảng cách tuyến đường biển từ Cẩm Phả, Quảng Ninh đến nhiệt điện Duyên hải – Trà Vinh	86
4.3	Tổng hợp kết quả của 25 phương án tuyến hình tàu được xây dựng	89
4.4	Phân bố Giá trị Y^+ trên bề mặt vỏ tàu	91

4.5	Kết quả mô phỏng tính toán lực cản tàu 4600 tấn ở các phương án khác nhau	96
4.6	Kết quả mô phỏng tính toán thành phần lực cản áp suất tàu 4600 tấn ở các phương án khác nhau	97
4.7	Kết quả mô phỏng tính toán thành phần lực cản ma sát tàu 4600 tấn ở các phương án khác nhau	97
4.8	Đường dòng tại khu vực mũi và đuôi tàu khi chạy ngoài biển	99
4.9	Đường dòng tại khu vực mũi và đuôi tàu khi chạy trong kênh Cẩm Phả	100
4.10	Phân bố áp suất thủy động trên bề mặt vỏ tàu ở các phương án khác nhau	102
4.11	Giá trị C_P tại vị trí $Z=2,5m$	103
4.12	Hình ảnh sóng bề mặt tạo ra khi chuyển động	104
4.13	Profile sóng dọc thân tàu khi chạy ở 2 điều kiện khai thác khác nhau	105
4.14	Phân bố C_F trên bề mặt vỏ tàu ở các phương án khác nhau	106
4.15	Giá trị C_F tại vị trí $Z=2,5m$	107
4.16	Đồ thị quan hệ giữa bậc tương quan xám với số mức của từng biến thiết kế	110
4.17	Tỷ số tín hiệu/nhiều đối với từng biến	110
4.18	Sự khác nhau về sóng bề mặt giữa phương án ban đầu và phương án tối ưu	113
4.19	Sự khác nhau về profile sóng dọc thân tàu giữa phương án ban đầu và phương án tối ưu khi tàu chạy trên biển tại tốc độ 10,0 knots	113
4.20	Sự khác nhau về profile sóng dọc thân tàu giữa phương án ban đầu và phương án tối ưu khi tàu chạy trong luồng Cẩm Phả ở tốc độ 9,0 knots	114
4.21	Sự khác nhau về C_P phương án ban đầu và phương án tối ưu khi tàu chạy ngoài biển ở tốc độ 10,0 knots	114
4.22	Sự khác nhau về giá trị C_P giữa phương án ban đầu và phương án tối ưu khi tàu chạy ngoài biển ở tốc độ 10,0 knots tại vị trí $Z=2,5m$	115
4.23	Sự khác nhau về C_P giữa phương án ban đầu và phương án tối ưu khi tàu chạy trong luồng Cẩm Phả ở tốc độ 9,0 knots	115

4.24	Sự khác nhau về C_P giữa phương án ban đầu và phương án tối ưu khi tàu chạy trong luồng Cẩm Phả ở tốc độ 9,0 knots tại vị trí $Z=2,5m$	116
4.25	Sự khác nhau về C_F trên vỏ tàu giữa phương án ban đầu và phương án tối ưu khi tàu chạy ngoài biển ở tốc độ 10,0 knots	116
4.26	Sự khác nhau về C_F giữa phương án ban đầu và phương án tối ưu khi tàu chạy ngoài biển ở tốc độ 10,0 knots tại vị trí $Z=2,5m$	117
4.27	Sự khác nhau về phân bố C_F trên vỏ tàu giữa phương án ban đầu và phương án tối ưu khi tàu chạy trong luồng Cẩm Phả ở tốc độ 9,0 knots	117
4.28	Sự khác nhau về giá trị C_F giữa phương án ban đầu và phương án tối ưu khi tàu chạy trong luồng Cẩm Phả ở tốc độ 9,0 knots tại vị trí $Z=2,5m$	118

DANH MỤC BẢNG BIỂU

<i>Số bảng</i>	<i>Tên bảng</i>	<i>Trang</i>
1.1	Lượt phương tiện và lượng hàng hóa thông qua cảng bằng phương tiện thủy nội địa mang cấp VR-SB	9
1.2	Quy mô và cơ cấu phương tiện chở hàng mang cấp VR-SB	10
1.3	Bảng ma trận trực giao	23
2.1	Các ngưỡng bắt đầu xuất hiện ảnh hưởng của nước nông và chiều rộng của luồng đến lực cản tàu	32
2.2	Kích thước đường thủy nội địa theo cấp kỹ thuật	36
2.3	Quy hoạch các tuyến vận tải ĐTNĐ chính thời kỳ 2021 – 2030	36
2.4	Quy hoạch các cụm cảng hàng hóa giai đoạn từ 2021-2030	38
2.5	Bảng hướng dẫn lựa chọn $\frac{1}{2}$ góc vào nước tại đường nước thiết kế	42
2.6	Bảng ma trận trực giao theo phương pháp Taguchi	59
3.1	Bảng tính trọng số của hàm mục tiêu thứ i	72
3.2	Các biến thiết kế và số mức	74
3.3	Bảng ma trận trực giao lựa chọn các phương án để tính toán	75
3.4	Loại điều kiện biên được áp dụng trong bài toán tính toán lực cản tàu chạy ở vùng nước sâu và vùng nước nông	79
3.5	Mô hình vật lý được sử dụng trong mô phỏng lực cản vỏ tàu hoạt động trong vùng nước sâu và nước nông	81
4.1	Các thông số kích thước và hình dáng của tàu hàng trọng tải 4600 tấn	84
4.2	Các biến thiết kế và số mức	87
4.3	Bảng ma trận trực giao xác định các phương án để tính toán	88
4.4	Bảng tính trọng số của hàm mục tiêu thứ I trong cải tiến hình dáng tàu hàng trọng tải 4600 tấn	89
4.5	Điều kiện môi trường được thiết lập trong tính toán	90
4.6	Kích thước miền tính toán được thiết lập trong mô phỏng	90
4.7	Kết quả nghiên cứu sự hội tụ của lưới	92

4.8	Kết quả so sánh giữa tính toán và thực nghiệm lực cản tàu JBC và DTMB	93
4.9	Kết quả tính toán lực cản tàu 4600 tấn ứng với 25 phương án xây dựng	95
4.10	Bảng kết quả phân tích tương quan xám	108
4.11	Bảng kết quả tính toán giá trị của bậc tương quan xám cho từng mức của các biến thiết kế	109
4.12	Kết quả tính toán phân tích phương sai	111
4.13	So sánh kết quả tính toán lực cản tàu giữa phương án ban đầu và phương án tối ưu	112

MỞ ĐẦU

1. Tầm quan trọng của vấn đề nghiên cứu

Hiện nay, một trong những vấn đề nổi bật và cấp thiết trong lĩnh vực giao thông vận tải thủy nói chung đang thu hút được sự quan tâm rất lớn từ phía các chủ tàu và các doanh nghiệp vận tải thủy đó là việc giảm mức tiêu hao nhiên liệu cho tàu trong quá trình khai thác, bởi vấn đề này là yếu tố trực tiếp liên quan đến việc nâng cao hiệu quả kinh tế cho tàu trong khai thác và đảm bảo việc thực thi các yêu cầu ngày càng khắt khe của tổ chức Hàng hải quốc tế IMO (đối với tàu biển) về giảm sự phát thải khí CO₂ nhằm bảo vệ môi trường [1]. Đối với các tàu chạy tuyến thủy nội địa và đặc biệt là chạy tuyến pha sông biển mặc dù không thuộc phạm vi quy định trên của IMO, nhưng vẫn cần đáp ứng và tuân thủ các quy định pháp luật, nghị quyết, cũng như các cam kết của Việt Nam về sử dụng năng lượng hiệu quả và tiết kiệm để bảo vệ môi trường. Do đó, việc nghiên cứu các giải pháp nhằm nâng cao hiệu quả sử dụng năng lượng cho tàu không chỉ là yêu cầu mang tính thời sự đối với đội tàu chạy tuyến quốc tế của Việt Nam, mà còn có ý nghĩa quan trọng đối với cả đội tàu pha sông – biển.

Đối với các tàu trong giai đoạn thiết kế, việc giảm tiêu hao nhiên liệu được thực hiện thông qua tối ưu hóa hình dáng thân tàu và hệ thống động lực (bao gồm thiết bị đẩy, máy chính...). Mục tiêu là giảm lực cản, nâng cao hiệu suất của hệ động lực chính, từ đó tiết kiệm nhiên liệu, gia tăng hiệu quả kinh tế và đồng thời giảm thiểu tác động tiêu cực đến môi trường.

Tại Việt Nam, vào tháng 7 năm 2014, sau một thời gian chuẩn bị, Bộ Giao thông Vận tải đã chính thức công bố khai trương ba tuyến vận tải ven biển, đồng thời cho phép phương tiện vận tải pha sông – biển (SB) được hoạt động nối tuyến liên tục Bắc – Nam như tàu biển. Khi mới mở tuyến, số lượng tàu SB chỉ có vài chục chiếc, tuy nhiên đến cuối tháng 12 năm 2021, quy mô đội tàu đã tăng lên gần 1.800 phương tiện, trong đó có 839 tàu chuyên dùng để vận chuyển hàng hóa, phản ánh nhu cầu vận tải hàng hóa liên tục gia tăng. Theo dự đoán, con số này sẽ

còn tiếp tục nhích lên trong thời gian tới, bởi Cục Đăng kiểm Việt Nam hiện đang tiến hành thẩm định nhiều hồ sơ xin thiết kế và đóng mới tàu. Như vậy, có thể nhận thấy đội tàu hàng đạt chuẩn VR-SB ở Việt Nam đang tăng trưởng mạnh mẽ về mặt số lượng. Mặc dù vậy, các phân tích cho thấy công tác thiết kế đối với loại tàu này vẫn tồn tại một số hạn chế, đặc biệt là khâu tối ưu hóa dạng hình thân tàu chưa được chú trọng đầy đủ, khiến mức độ sử dụng năng lượng trên tàu chưa đạt hiệu quả như mong muốn.

Từ thực tiễn phát triển nhanh của đội tàu cấp VR-SB, thực trạng công tác thiết kế trong nước, cùng với các quy định của Việt Nam về sử dụng năng lượng tiết kiệm và hiệu quả trong sản xuất, đời sống nói chung và trong giao thông vận tải thủy nói riêng, nghiên cứu sinh đề xuất thực hiện đề tài: ***“Nghiên cứu cải tiến hình dáng tàu hàng cấp VR-SB phù hợp với tuyến đường thủy nội địa Việt Nam nhằm giảm lực cản tàu”***. Mục tiêu của nghiên cứu là xây dựng mô hình bài toán tối ưu hóa hình dạng thân tàu để giảm sức cản, có xét đến những đặc thù của tuyến thủy nội địa Việt Nam. Mô hình này sẽ được áp dụng để cải tiến thiết kế cho một loạt tàu hàng SB đang được khai thác phổ biến trên các tuyến vận tải này.

2. Mục đích nghiên cứu

Xây dựng mô hình bài toán cải tiến hình dáng thân tàu hàng cấp VR-SB nhằm giảm sức cản tàu trên cơ sở có tính đến đặc điểm của tuyến đường thủy nội địa trong nước. Áp dụng mô hình tính đưa ra vào trong cải tiến hình dáng tàu cho một series tàu hàng cấp VR-SB đang được khai thác phổ biến trên tuyến đường thủy nội địa. Đánh giá mức độ ảnh hưởng của từng thông số tuyến hình tàu đến lực cản tàu.

3. Đối tượng và phạm vi nghiên cứu

- **Đối tượng nghiên cứu:** Là các tàu hàng cấp VR-SB, tuyến đường thủy nội địa. Trong đó Series tàu hàng có trọng tải 4600 tấn sẽ là mẫu tàu được lựa chọn để làm trường hợp nghiên cứu cải tiến hình dáng thân tàu, bởi đây là series tàu đang được sử dụng phổ biến trên tuyến đường thủy nội địa.

- **Phạm vi nghiên cứu** của luận án là cải tiến hình dáng vỏ tàu với mục tiêu giảm lực cản tàu khi chạy trên nước tĩnh không có dòng chảy và ứng với trạng thái tàu chạy ở chế độ toàn tải.

4. Phương pháp nghiên cứu

Để đạt được mục tiêu đề ra, trong đề tài sẽ sử dụng các phương pháp nghiên cứu sau:

+ Phương pháp khảo sát, tổng hợp, phân tích thống kê để có được các thông tin về đặc điểm của tuyến đường thủy nội địa Việt Nam (giới hạn về độ sâu của luồng lạch trên tuyến). Đây là các thông số đầu vào phục vụ cho việc xây dựng mô hình bài toán cải tiến hình dáng thân tàu hàng cấp VR-SB nói chung và Series tàu hàng khô 4600 tấn sẽ được lấy làm đối tượng nghiên cứu cụ thể trong đề tài nói riêng.

+ Các lý thuyết về thủy động lực học trong thiết kế tuyến hình tàu để nhận diện được các yếu tố ảnh hưởng đến lực cản tàu từ đó đưa ra các tham số hình dáng thân tàu cần phải tính đến tính đến trong bài toán thiết kế hình dáng thân tàu hợp lý trên tuyến pha sông biển.

+ Sử dụng phương pháp Taguchi để giảm bớt số lượng các phương án tuyến hình cần tạo ra khi thay đổi các tham số hình dáng thân tàu trong khi vẫn đảm bảo tìm được phương án hình dáng tối ưu dưới góc độ lực cản tàu.

+ Sử dụng phương pháp lý thuyết CFD để mô phỏng tính toán lực cản tàu ứng với các phương án hình dáng khác nhau.

+ Sử dụng phương pháp phân tích tương quan xám để xác định phương án tối ưu cũng như xác định mức độ ảnh hưởng của từng tham số hình dáng thân tàu đến lực cản tàu.

5. Ý nghĩa khoa học và thực tiễn của luận án

➤ *Ý nghĩa khoa học:*

- Đề xuất được mô hình bài toán cải tiến hình dáng thân tàu hàng cấp VR-SB nhằm giảm sức cản tàu trên cơ sở có tính đến đặc điểm của tuyến đường thủy nội địa trong nước.

- Đánh giá được mức độ ảnh hưởng của các thông số hình dáng thân tàu đến lực cản tàu, từ đó cho phép người thiết kế biết cần tác động vào thông số nào để giảm lực cản tàu một cách hiệu quả nhất.

➤ *Ý nghĩa thực tiễn:*

- Việc cải tiến hình dáng tàu hàng cấp VR – SB phù hợp với tuyến đường thủy nội địa Việt Nam nhằm tiết kiệm nhiên liệu sẽ cho phép nâng cao hiệu quả kinh tế đồng thời bảo vệ môi trường đối với đội tàu hàng VR-SB của Việt Nam. Với ví dụ áp dụng cho tàu hàng trọng tải 4600 tấn mang cấp VR-SB phương án tuyến hình cải tiến cho phép giảm lực cản tàu xuống 4,8%, nếu áp dụng vào trong thiết kế các tàu mang cấp VR-SB thì hiệu quả kinh tế cũng như môi trường mang lại sẽ đặc biệt lớn.

- Kết quả nghiên cứu của luận án vừa có giá trị thực tế vừa có ý nghĩa là nguồn tài liệu tham khảo bổ ích cho các kỹ sư thiết kế tàu trong hoạt động nghề nghiệp của mình.

6. Những điểm mới của luận án

Những điểm mới của luận án có giá trị về mặt khoa học và thực tiễn gồm:

- Luận án đã xây dựng được mô hình bài toán cải tiến hình dáng thân tàu hàng cấp VR-SB nhằm giảm sức cản tàu trên cơ sở có tính đến đặc điểm của tuyến đường thủy nội địa trong nước. Mô hình gồm 16 bước được mô tả chi tiết rõ ràng giúp người thiết kế có thể dễ dàng áp dụng nhằm nâng cao hiệu quả công tác thiết kế hình dáng thân tàu hàng cấp VR-SB.

- Luận án đã phân tích, lập luận một cách khoa học về ảnh hưởng của điều kiện khai thác đến lực cản tàu, trên cơ sở đó đề xuất lựa chọn hàm mục tiêu và cách xác định trọng số của các hàm mục tiêu thành phần trong thiết kế tàu hình dáng thân tàu cấp VR-SB. Cụ thể, hàm sức cản đa mục tiêu được biến đổi về hàm

đơn mục tiêu tương ứng với từng điều kiện khai thác cụ thể của tàu. Trọng số hàm mục tiêu được xác định trên cơ sở thời gian tàu hành trình ở từng điều kiện khai thác.

- Phân tích và giải thích được bản chất nguyên nhân dẫn đến sự thay đổi lực cản tàu khi thay đổi các thông số hình dáng thân tàu bằng việc đưa ra các hình ảnh rất trực quan liên quan đến sự khác nhau về dòng chảy bao quanh thân tàu ở các phương án hình dáng khác nhau.

- Đánh giá được mức độ ảnh hưởng của 5 thông số hình dáng tàu gồm $\frac{1}{2}$ góc vào nước ($1/2\alpha_E$), hệ số chiều dài mũi quả lê C_{LPR} , hệ số diện tích mặt cắt ngang mũi quả lê C_{ABT} , hệ số thể tích C_{VPR} của mũi quả lê và vị trí hoành độ tâm nổi (LCB) lần lượt đến lực cản tàu. Trong đó, thông số vị trí hoành độ tâm nổi (LCB) là thông số hình dáng ảnh hưởng lớn nhất đến lực cản tàu, thông số $\frac{1}{2}$ góc vào nước ($1/2\alpha_E$) có ảnh hưởng nhỏ nhất đến lực cản tàu.

- Áp dụng mô hình bài toán cải tiến hình dáng vỏ tàu VR-SB vào trong cải tiến tuyến hình tàu hàng trọng tải 4600 tấn mang cấp VR-SB. Kết quả tuyến hình sau cải tiến có lực cản nhỏ hơn 4,8% so với tuyến hình ban đầu. Kết quả tính toán có độ tin cậy cao vì mô hình tính lực cản tàu bằng CFD đã được NCS kiểm tra độ tin cậy thông qua việc so sánh gián tiếp kết quả tính với kết quả thực nghiệm mà NCS thực hiện trên tàu JBC và tàu DTMB.

7. Cấu trúc của luận án

Để đạt được mục tiêu nghiên cứu đặt ra, luận án có cấu trúc gồm 04 Chương cùng với phần kết luận và kiến nghị. Tên và nội dung cụ thể của từng Chương như sau:

Chương 1. Tổng quan

Nội dung của chương này đi vào giải quyết 03 vấn đề sau:

- Tổng hợp, phân tích các vấn đề liên quan đến tuyến vận tải thủy nội địa Việt Nam và thực trạng công tác thiết kế tàu hàng cấp VR-SB;

- Tổng quan về các nghiên cứu trên thế giới và trong nước liên quan đến thiết kế hình dáng thân tàu nhằm giảm lực cản.

- Trên cơ sở các tổng hợp và phân tích nêu trên, NCS đề xuất mục tiêu nghiên cứu, phương pháp nghiên cứu cũng như đặt ra các bài toán cần phải giải quyết để đạt được mục tiêu nghiên cứu đặt ra.

Chương 2. Cơ sở lý thuyết phục vụ xây dựng bài toán cải tiến tuyến hình tàu cấp VR-SB

Nội dung của chương này đi vào giải quyết 05 vấn đề sau:

- Nghiên cứu ảnh hưởng của điều kiện khai thác và các thông số hình dáng thân tàu đến lực cản tàu;

- Khảo sát, thu thập các số liệu về đặc điểm của tuyến đường thủy nội địa Việt Nam (các giới hạn độ sâu của luồng ra vào các cảng...);

- Nghiên cứu cơ sở lý thuyết về phương pháp thay đổi hình dáng thân tàu dựa trên tuyến hình ban đầu của tàu;

- Tìm hiểu cơ sở lý thuyết của phương pháp CFD trong tính toán lực cản tàu;

- Tìm hiểu cơ sở lý thuyết của phương pháp pháp Taguchi kết hợp phân tích mối tương quan xám trong việc đưa ra các phương án tuyến hình tàu để tính toán và lựa chọn phương án tối ưu.

Chương 3. Xây dựng mô hình và quy trình cải tiến hình dáng thân tàu hàng cấp VR-SB

Nội dung của chương này đi vào giải quyết 02 vấn đề sau:

- Xây dựng mô hình bài toán cải tiến hàng dáng thân tàu hàng cấp VR-SB gồm các bài toán: lựa chọn các tham số hình dáng thân tàu cần thay đổi; thiết lập các điều kiện biên, điều kiện ràng buộc; phương pháp lựa chọn phương án có lực cản nhỏ nhất trên cơ sở có tính đến đặc điểm của tàu khi chạy trên tuyến SB (chạy trong vùng nước nông với độ sâu khác nhau và vùng nước sâu).

- Xây dựng quy trình cải tiến hình dáng thân tàu hàng cấp VR-SB gồm các bài toán: Xây dựng lưu đồ thuật toán cải tiến hình dáng thân tàu hàng cấp VR-SB

phù hợp với tuyến đường thủy nội địa Việt Nam; mô tả về trình tự các bước trong sơ đồ thuật toán đưa ra.

Chương 4. Cải tiến hình dáng thân tàu hàng trọng tải 4600 tấn mang cấp VR-SB

Nội dung của chương này đi vào giải quyết 02 vấn đề sau:

- Áp dụng mô hình và quy trình cải tiến hình dáng thân tàu hàng cấp VR-SB vào trong cải tiến hình dáng series thân tàu hàng trọng tải 4600 tấn nhằm kiểm tra độ tin cậy của mô hình đưa ra cũng như đưa ra được các con số định lượng về mức giảm lực cản của tàu sau cải tiến so với tàu ban đầu.

- Phân tích dòng chảy bao quanh thân tàu giữa các phương án hình dáng thân tàu khác nhau nhằm giải thích bản chất vật lý dẫn đến sự thay đổi lực cản tàu để minh chứng cho việc sự khác nhau về lực cản tàu không phải đến từ sai số trong tính toán mô phỏng mà đến từ sự khác nhau về dòng chảy bao quanh tàu ở các phương án khác nhau.

Kết luận và kiến nghị

Phần này trình bày tóm tắt những kết quả đạt được của luận án và đề xuất hướng nghiên cứu tiếp theo.

CHƯƠNG 1. TỔNG QUAN

1.1. Tổng quan về tuyến vận tải thủy nội địa Việt Nam và đội tàu hàng cấp VR-SB

1.1.1. Tổng quan về tuyến vận tải thủy nội địa trong nước

Trong những năm gần đây, kinh tế Việt Nam đã ghi nhận sự tăng trưởng mạnh mẽ trên nhiều lĩnh vực, thể hiện rõ qua khối lượng hàng hóa vận chuyển đến các khu vực kinh tế liên tục gia tăng. Sự bùng nổ này khiến mật độ giao thông tăng nhanh, trong khi mạng lưới đường bộ hầu như chưa được mở rộng hoặc nâng cấp đáng kể. Vận tải đường sắt chỉ đáp ứng dưới 10% tổng lượng hàng hóa đi và đến cảng, nên chưa thể chia sẻ nhiều áp lực cho đường bộ.

Trước những hạn chế đó, tháng 7/2014, Bộ Giao thông Vận tải, sau thời gian chuẩn bị, đã chính thức đưa vào khai thác tuyến vận tải thủy pha sông – biển với các chặng: Quảng Ninh – Quảng Bình, Quảng Bình – Bình Thuận, Bình Thuận – Kiên Giang, đồng thời cho phép phương tiện hoạt động nối tuyến Bắc – Nam như tàu biển. Mục tiêu của chính sách này là giảm chi phí vận tải và tăng khả năng kết nối giữa hệ thống cảng biển với các khu công nghiệp nằm gần cảng sông. Kể từ khi đưa vào hoạt động, tuyến vận tải này đã thu hút sự quan tâm lớn nhờ lợi thế giá cước cạnh tranh (chỉ bằng khoảng 50–70% so với vận tải đường bộ). Lượng hàng hóa vận chuyển qua phương tiện thủy nội địa mang cấp VR-SB tăng đều hằng năm. Năm 2016, sản lượng hàng hóa đạt gần 12 triệu tấn, cao hơn 141% so với năm 2015 (gần 5 triệu tấn). Đến năm 2021, con số này đã vọt lên gần 64 triệu tấn, gấp gần 13 lần so với năm 2015. Số lượt phương tiện ra vào cảng cũng tăng mạnh, từ 5.175 lượt năm 2015 lên 40.571 lượt vào năm 2021 (xem Bảng 1.1).

**Bảng 1.1. Lượt phương tiện và lượng hàng hóa thông qua cảng bằng
phương tiện thủy nội địa mang cấp VR-SB [2]**

STT	Thời gian	Lượt phương tiện	Tăng trưởng	Lượng hàng qua cảng (tấn)	Tăng trưởng
1	Từ tháng 7/2014 đến hết 12/2014	934		898.659	
2	Năm 2015	5.175		4.932.083	
3	Năm 2016	13.291	157%	11.887.212	141%
4	Năm 2017	21.695	63%	18.716.051	57%
5	Năm 2018	28.750	33%	34.956.794	87%
6	Năm 2019	34.917	21%	40.081.028	15%
7	Năm 2020	48.653	39%	39.700.971	-1%
8	Năm 2021	40.571	-17%	64.150.939	62%

1.1.2. Tổng quan về đội tàu hàng cấp VR-SB

Theo số liệu của cục Hàng hải Việt Nam [2], tính đến cuối năm 2021, đội tàu hàng cấp VR-SB của Việt Nam là 839 chiếc với tổng trọng tải là 1,75 triệu tấn (vượt quy hoạch về quy mô trọng tải trong chiến lược phát triển đến năm 2030 là 1,5 triệu tấn). Quy mô và cơ cấu đội tàu cấp VR-SB theo trọng tải được thể hiện trên Bảng 1.2. Về cỡ tàu, số lượng tàu có trọng tải dưới 5000 tấn chiếm đa số với tỷ lệ 93,3% trong cơ cấu đội tàu với 783 chiếc, số lượng tàu có trọng tải từ 5000 tấn đến 10000 tấn đứng thứ 2 với 38 tàu chiếm 4,5%, còn lại số ít là các tàu có trọng tải từ 10000 đến 20000 tấn và trên 20000 tấn. Trên thực tế, với những tàu cấp VR-SB có trọng tải lớn trên 5000 tấn thì rất ít cảng thủy nội địa nào có thể tiếp nhận được chính vì vậy mà số lượng các tàu cấp VR-SB có trọng tải trên 5000 tấn rất ít. Về cơ cấu, tàu hàng khô chiếm đa số với 652 tàu chiếm tỷ 77,7%, tiếp sau đó là tàu hàng lỏng chiếm tỷ lệ 20% với 148 tàu, còn lại là các tàu container, tàu chở khí hóa lỏng và tàu chở xi măng. Như vậy, xét về quy mô đội tàu cấp VR-SB theo trọng tải và loại tàu ta thấy số lượng tàu có trọng tải dưới 5000 tấn và tàu chở hàng khô là chủ yếu trong thành phần của đội tàu cấp VR-SB.

Về đặc điểm của loại tàu hàng cấp VR-SB, trong 839 tàu hàng mang cấp VR-SB có 210 tàu được hạ cấp từ tàu biển xuống chiếm 25%, 279 tàu được nâng cấp từ tàu sông cấp VR-SI và VR-SII chiếm 33,2%, còn lại 350 tàu cấp VR-SB là được đóng mới chiếm tỷ lệ 41,8% [2].

Bảng 1.2. Quy mô và cơ cấu phương tiện chở hàng mang cấp VR-SB

Tiêu chí	Trọng tải tàu				Tổng cộng
	< 5.000 T	Từ 5.000 T- 10.000 T	Từ 10.000 T -20.000 T	≥ 20.000 T	
Tổng trọng tải (tấn)	1.193.011	231.675	126.307	191.841	1.742.834
Số lượng (chiếc)	783	38	9	9	839
<i>Trong đó:</i>					
- Tàu hàng khô					652
- Tàu hàng lỏng					148
- Tàu hàng container					33
- Tàu hàng khí hóa lỏng					04
- Tàu hàng xi măng					02

1.1.3. Tổng quan về công tác thiết kế tàu hàng cấp VR-SB

Hiện nay, công tác thiết kế tàu hàng cấp VR-SB đang hoàn toàn do các công ty thiết kế tàu ở trong nước đảm nhận. Ở đây, có thể kể tên một số công ty lớn trong nước chiếm thị phần lớn trong mảng thiết kế tàu nói chung và tàu hàng cấp VR-SB nói riêng như: Công ty Thiết kế tàu thủy Việt Hàn [3]; Công Ty Cổ Phần Đóng Tàu Việt Nam - Visec [4]; Công ty thiết kế tàu thủy S.O.N [5]; Viện NC và KHCN Hàng hải, Trường Đại học Hàng hải Việt Nam [6]... Theo khảo sát của NCS công tác thiết kế vỏ tàu hàng cấp VR-SB của các đơn vị này còn có một số hạn chế như: Việc thiết kế hình dáng thân tàu tại các đơn vị này chủ yếu dựa trên kinh nghiệm thiết kế; thiết kế tuyến hình tàu dựa trên một số mẫu tuyến hình của tàu biển, hoặc dựa trên một số mẫu tàu pha sông biển của nước ngoài mà chưa tính đến đặc điểm của tuyến đường thủy nội địa Việt Nam; vấn đề tối ưu hóa hình dáng thân tàu phù hợp với tốc độ và tuyến đường khai thác còn chưa được quan

tâm đúng mức, dẫn tới việc sử dụng năng lượng hiệu quả và tiết kiệm trên tàu còn hạn chế từ đó ảnh hưởng đến hiệu quả kinh tế của tàu trong quá trình khai thác.

1.1.4. Tổng quan về các quy định của Việt Nam liên quan đến việc sử dụng năng lượng hiệu quả và tiết kiệm

Cùng với sự phát triển kinh tế – xã hội, nhu cầu tiêu thụ năng lượng ở Việt Nam ngày càng gia tăng. Để đáp ứng xu hướng này và đảm bảo định hướng phát triển bền vững, một trong những giải pháp chiến lược then chốt là tăng cường sử dụng năng lượng một cách hiệu quả và tiết kiệm. Chính vì vậy, Việt Nam trong những năm qua đã ban hành các luật và quyết định liên quan đến vấn đề sử dụng năng lượng hiệu quả và tiết kiệm gồm: Luật số 50/2010/QH12, ngày 17/6/2010 về sử dụng năng lượng tiết kiệm hiệu quả [7]; Nghị định số 21/2011/NĐ-CP ngày 29 tháng 3 năm 2011 của Chính phủ quy định chi tiết và biện pháp thi hành Luật Sử dụng năng lượng tiết kiệm và hiệu quả [8]; Quyết định số 2053/QĐ-TTg ngày 28/10/2016 của Thủ tướng chính phủ về việc ban hành kế hoạch thực hiện thỏa thuận Paris về biến đổi khí hậu [9]; Quyết định số 280/QĐ-TTg ngày 13/3/2019 của Thủ tướng chính phủ về việc sử dụng năng lượng tiết kiệm và hiệu quả giai đoạn 2019-2030 [10]. Theo đó, yêu cầu các chủ phương tiện, thiết bị sử dụng năng lượng cần phải áp dụng các biện pháp quản lý và kỹ thuật nhằm giảm tổn thất, giảm mức tiêu thụ năng lượng mà vẫn đảm bảo nhu cầu, mục tiêu đặt ra đối với quá trình sản xuất và đời sống. Trong lĩnh vực Giao thông vận tải, luật quy định rất rõ đối với các tổ chức, cá nhân hoạt động trong lĩnh vực này cần triển khai các giải pháp để đạt được mục tiêu tiết kiệm nhiên liệu. Đây chính là các căn cứ pháp lý, các quy định bắt buộc đòi hỏi các chủ phương tiện vận tải nói chung và chủ phương tiện vận tải thủy nói riêng cần phải đáp ứng được.

1.2. Tổng quan về tình hình nghiên cứu trong thiết kế hình dáng thân tàu nhằm giảm lực cản tàu

1.2.1. Tổng quan về tình hình nghiên cứu trên thế giới

Qua việc nghiên cứu các tài liệu chuyên ngành về thiết kế hình dáng thân tàu dưới dạng các giáo trình của các nhà xuất bản uy tín trên thế giới như Springer, Elsevier, Wiley, SNAME... và các bài báo quốc tế thuộc danh mục ISI/Scopus. NCS nhận thấy, việc nghiên cứu các giải pháp giảm lực cản tàu trong quá trình thiết kế hình dáng thân tàu đã và đang thu hút sự quan tâm của nhiều nhà nghiên cứu và phần lớn các công trình tập trung vào việc tối ưu hóa hình dáng thân tàu nhằm giảm lực cản, qua đó nâng cao hiệu quả sử dụng năng lượng cho tàu.

➤ *Đối với các tài liệu dưới dạng giáo trình [11-16].*

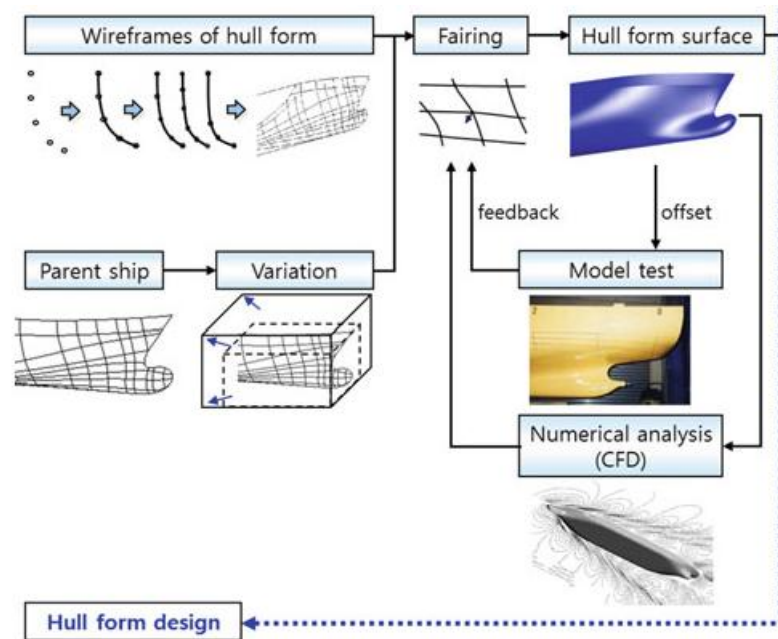
Trên cơ sở, tổng hợp, phân tích, đánh giá các kết quả nghiên cứu của các tác giả được trình bày dưới dạng giáo trình, NCS nhận thấy các tác giả này đã đạt được các kết quả sau:

- Đã đưa ra cơ sở lý thuyết trong thiết kế hình dáng thân tàu;
- Đã đưa ra các con số định tính về ảnh hưởng của các thông số hình dáng thân tàu đến lực cản tàu;
- Đưa ra các khuyến nghị trong việc lựa chọn hình dáng thân tàu hợp lý cho một số loại hình dáng thân tàu cụ thể.

Liên quan đến cơ sở lý thuyết trong thiết kế hình dáng thân tàu, tài liệu [16] đưa ra quy trình thiết kế hình dáng thân tàu dưới góc độ thủy động lực học như trên Hình 1.1. Theo đó, quy trình này gồm có hai cách: Thiết kế mới và thiết kế theo tàu mẫu.

+ *Đối với thiết kế mới*, quy trình các bước gồm: Thiết kế các đường sườn (wireframe) sau đó tiến hành chỉnh trơn và tạo mặt (hullform surface). Sau khi tạo được mô hình 3D cho tàu sẽ tiến hành thử mô hình trong bể thử hoặc sử dụng CFD để tính toán các thông số thủy động của tàu. Kết quả phân tích đường dòng bao quanh thân tàu sẽ là cơ sở dữ liệu để tiến hành điều chỉnh, làm trơn hình dáng

thân tàu. Sau đó quy trình sẽ được lặp lại để cho ra tuyến hình tàu có hình dáng tối ưu nhất về mặt thủy động lực học.



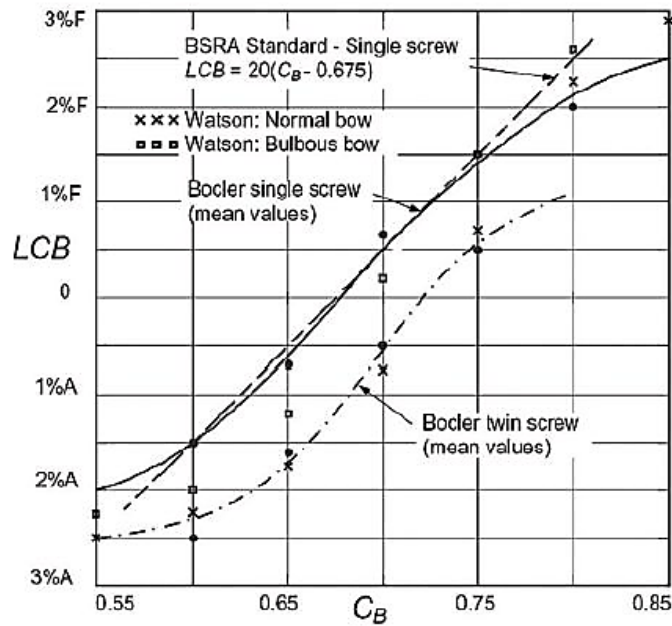
Hình 1.1. Quy trình thiết kế hình dáng thân tàu

+ Đối với thiết kế hình dáng thân tàu theo tàu mẫu, quy trình các bước gồm: Từ tuyến hình tàu mẫu, người thiết kế sẽ tiến hành thay đổi các tham số hình dáng thân tàu, sau đó sẽ tiến hành chỉnh trơn và tạo mặt, tính toán các thông số thủy động của tàu giống như ở phương pháp thiết kế mới nêu ở trên.

Liên quan đến các khuyến nghị trong việc lựa chọn các thông số hình dáng thân tàu, các tác giả đã đưa ra các khuyến nghị trong việc lựa chọn hợp lý hình dáng thân tàu nhằm giảm lực cản sóng và lực cản hình dáng cho tàu bao gồm các khuyến nghị như: Lựa chọn hợp lý vị trí hoành độ tâm nổi theo chiều dài tàu, hệ số béo lặn trụ, hệ số béo thể tích, góc vào nước, hình dáng đường nước, hình dáng đường sườn; Lựa chọn hợp lý các thông số hình học của mũi quả lê; tối ưu hóa toàn bộ tuyến hình tàu. Theo các tài liệu khác nhau, giải pháp tối ưu hóa hình dáng thân tàu được đánh giá là có thể giảm được từ 2 đến 10% mức phát thải CO₂ và đây là giải pháp được nhiều các nhà thiết kế tàu áp dụng bởi tính khả thi của chúng khi áp dụng vào thực tế [12]. Ví dụ, tài liệu [14] đưa ra khuyến nghị như sau trong việc xác định vị trí hoành độ tâm nổi (LCB) tối ưu áp dụng với tàu hàng

rời và tàu dầu, theo biểu thức (1.1). Tài liệu khuyến nghị lựa chọn vị trí LCB theo biểu thức (1.2) và (1.3) phụ thuộc vào hệ số béo thể tích (C_B) của tàu. Tài liệu [11] và [15] đưa ra các khuyến nghị lựa chọn LCB phụ thuộc vào C_B và loại hình dáng thân tàu (xem Hình 1.2 và Hình 1.3).

$$LCB / L = -0,135 + 0,194C_P \quad (1.1)$$



Hình 1.2. Vị trí hoành độ tâm nổi tối ưu cho tàu phụ thuộc vào C_B cho tàu sử dụng một và hai chong chóng [11]

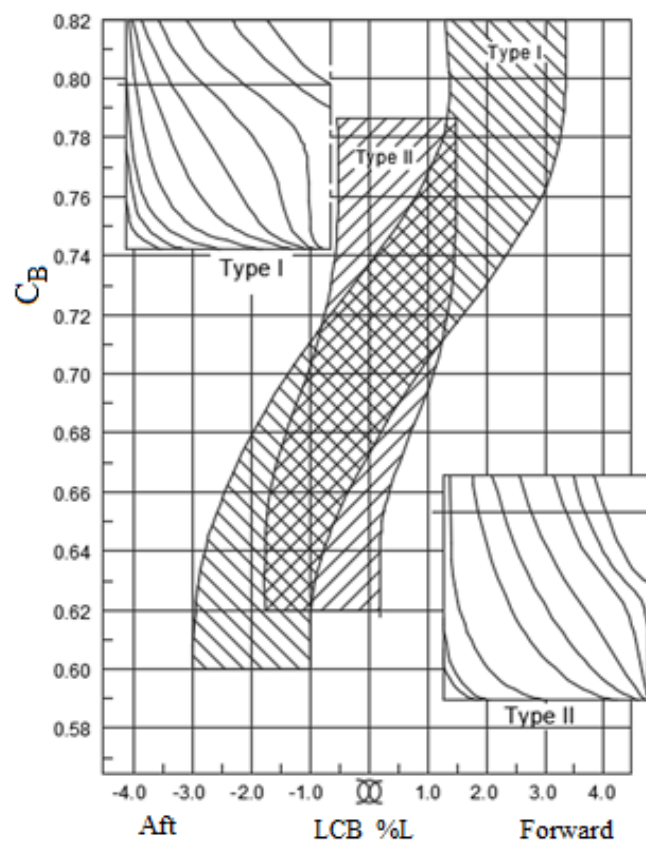
Đối với tàu có $C_B > 0,65$, LCB tối ưu được xác định theo biểu thức thức:

$$\frac{LCB}{L} = 0,022 \left[\sin \left(\frac{\pi}{2} \frac{C_B - 0,65}{0,15} \right) \pm 0,5 \right] \quad (1.2)$$

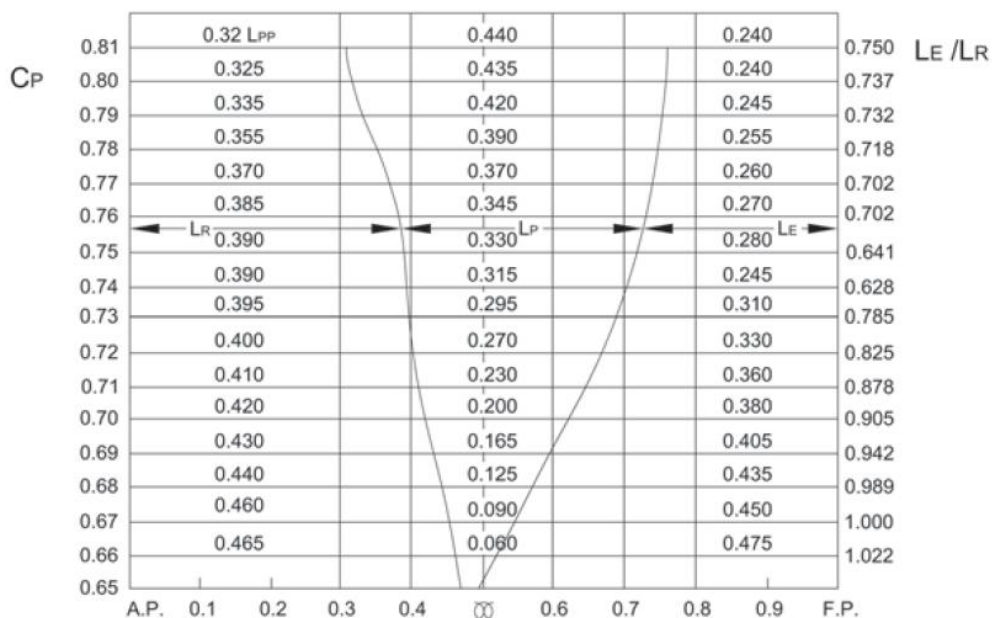
Đối với tàu có $C_B < 0,65$, LCB tối ưu được xác định theo công thức:

$$\frac{LCB}{L} = -0,011 \left[\sin \left(\frac{\pi}{2} \frac{0,65 - C_B}{0,15} \right) \pm 1,0 \right] \quad (1.3)$$

Đối với việc lựa chọn chiều dài đoạn thân ống, chiều dài phía mũi và đuôi tàu, tác giả Lindblad [11] đưa ra khuyến nghị dưới dạng định lượng như sau áp dụng đối với tàu có tỷ số $L/B=7,0$.

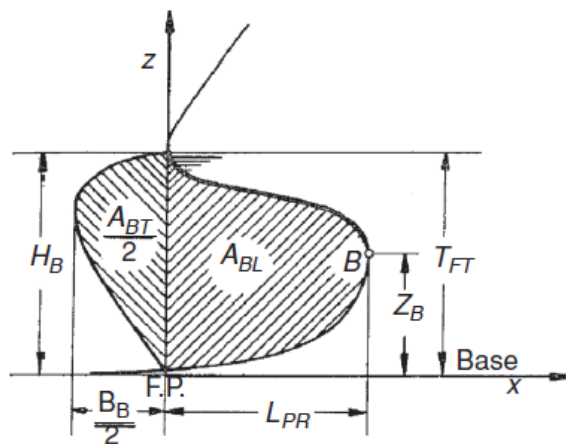


Hình 1.3. Vị trí hoành độ tâm nổi tối ưu được xác định dựa trên hệ số béo C_B và hình dáng tuyến hình tàu [15]

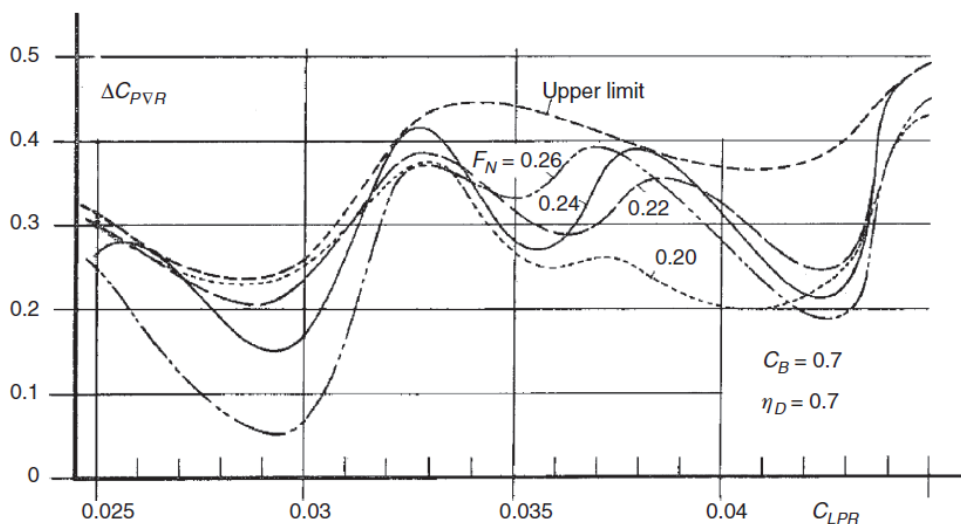


Hình 1.4. Khuyến nghị lựa chọn chiều dài đoạn thân ống, chiều dài phía mũi và đuôi tàu với C_P khác nhau (áp dụng với tàu có $L/B=7,0$)

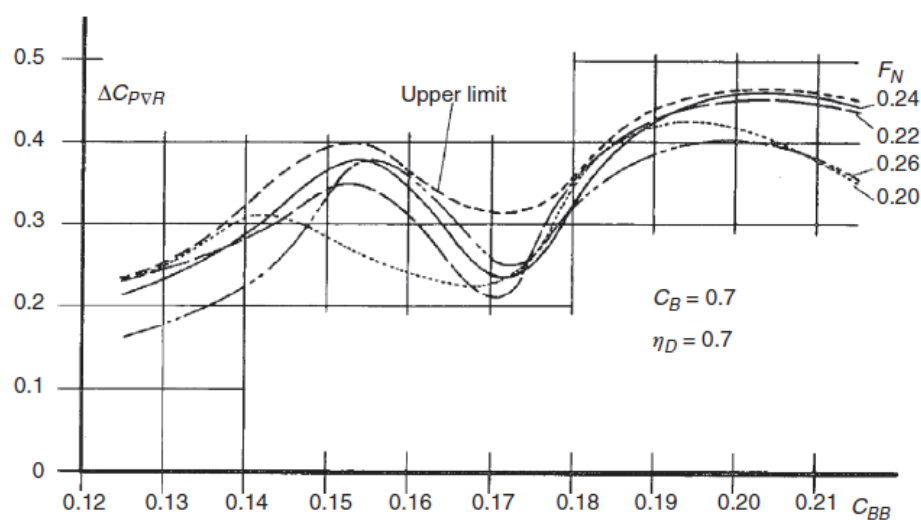
Tác giả Kracht [15] trên cơ sở nghiên cứu thực nghiệm một cách có hệ thống ảnh hưởng của các tham số hình học mũi quả lê đến hệ số giảm công suất dư ΔC_{PVR} (residual power reduction coefficient) tính bằng phần trăm công suất giảm của tàu có và không có mũi quả lê. Căn cứ trên số liệu thử nghiệm ở hai bể thử tàu tại Đức với tàu có hệ số béo thể tích $C_B=0,71$, Kracht đã đưa ra được một cách có hệ thống mức độ ảnh hưởng của các tham số hình học mũi quả lê đến hệ số giảm công suất dư của tàu giữa tàu có và không có mũi quả lê như trên từ hình 1.6 đến hình 1.10.



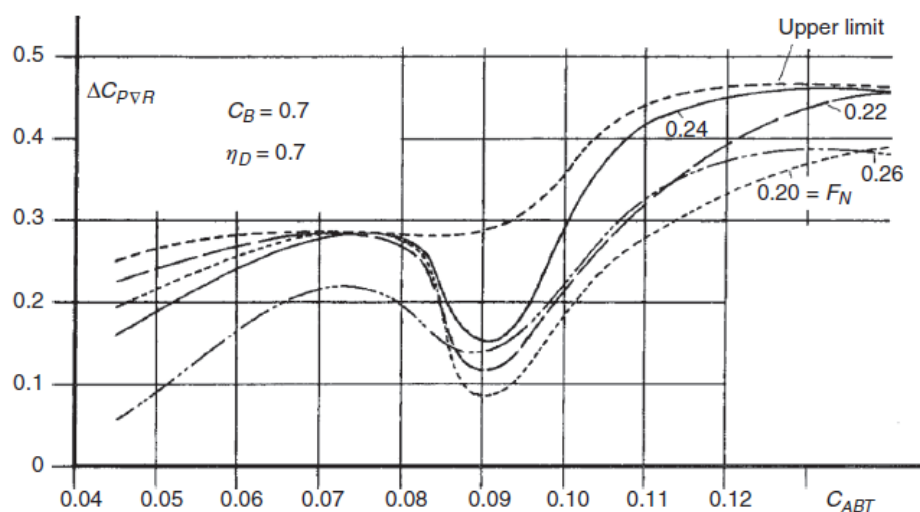
Hình 1.5. Các tham số hình học của mũi quả lê



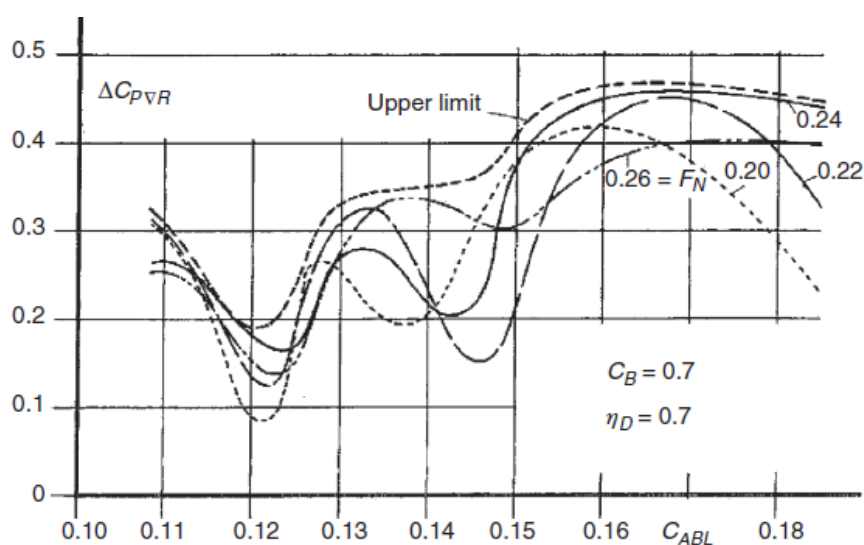
Hình 1.6. Ảnh hưởng của tham số C_{LPR} mũi quả lê đến ΔC_{PVR} của tàu



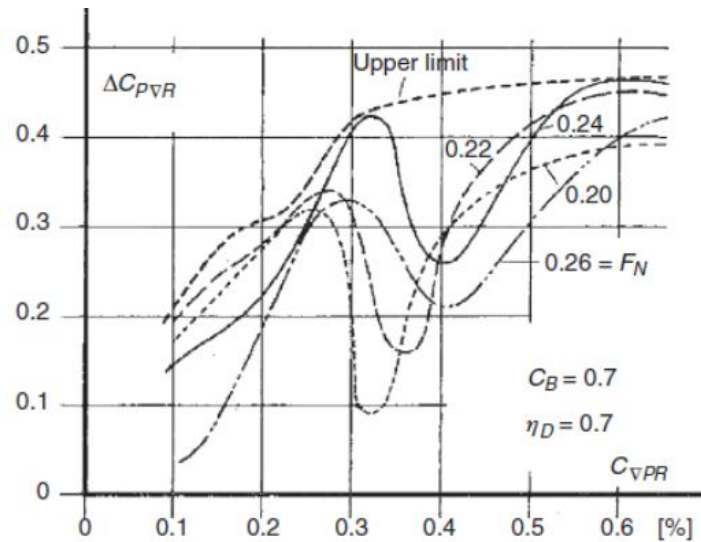
Hình 1.7. Ảnh hưởng của tham số C_{BB} mũi quả lê đến ΔC_{PVR} của tàu



Hình 1.8. Ảnh hưởng của tham số C_{ABT} mũi quả lê đến ΔC_{PVR} của tàu



Hình 1.9. Ảnh hưởng của tham số C_{ABL} mũi quả lê đến ΔC_{PVR} của tàu



Hình 1.10. Ảnh hưởng của tham số C_{VPR} mũi quả lê đến ΔC_{PVR} của tàu

Các ký hiệu C_{LPR} , C_{BB} , C_{ZB} , C_{ABT} , C_{ABL} , ΔC_{PVR} trên các Hình từ 1.6 đến 1.10, được hiểu như sau: $C_{LPR} = L_{PR}/L_{PP}$, $C_{BB} = B_B/B$, $C_{ZB} = Z_B/T_{FP}$ – lần lượt là hệ số chiều dài, chiều rộng và chiều cao của mũi quả lê; A_{BT}/A_X , C_{ABT} , và $\Delta C_{PVR} = V_{PR}/\nabla$ – lần lượt là hệ số diện tích mặt cắt ngang của mũi quả lê tại đường vuông góc mũi; diện tích mặt cắt dọc và tham số thể tích của mũi quả lê. Ở đây L_{PP} , T_{FP} , B , A_X , ∇ – lần lượt là chiều dài hai đường vuông góc, chiều chìm tại đường vuông góc mũi, chiều rộng, diện tích sườn giữa và lượng chiếm nước của tàu.; L_{PR} , C_{BB} , A_{BT} , A_{BL} , V_{PR} – lần lượt là chiều dài, chiều rộng, diện tích mặt cắt ngang, diện tích mặt cắt dọc, thể tích của mũi quả lê.

Từ kết quả thực nghiệm ảnh hưởng của các tham số hình học mũi quả lê đến, ΔC_{PVR} ta thấy rằng, hệ số giảm công suất dư của tàu phụ thuộc vào giá trị của tham số mũi quả lê cũng như tốc độ tương đối (số Froude) của tàu. Ví dụ, tại $Fr = 0,26$, ΔC_{PVR} đạt giá trị lớn nhất bằng 0.38 tại $C_{LPR} = L_{PR}/L_{PP} = 0,033$ (xem Hình 1.6). Tại $\Delta C_{PVR} = 0,38$, giá trị tham số chiều rộng hợp lý nhất $C_{BB} = B_B/B = 0,155$ (xem Hình 1.7), Các giá trị hợp lý đối với C_{ABT} , C_{ABL} và ΔC_{PVR} được xác định tương tự.

Từ các kết quả nghiên cứu kể trên của các tác giả được trình bày dưới dạng giáo trình, ta thấy rằng các kết quả nghiên cứu này còn tồn tại một số điểm sau:

- Các kết quả nghiên cứu hiện có phần lớn được trình bày chủ yếu là dưới dạng định tính. Chẳng hạn như các khuyến nghị liên quan đến việc xác định LCB tối ưu chỉ áp dụng cho từng loại tuyến hình tàu cụ thể cũng như mà chưa làm rõ mức độ ảnh hưởng của LCB đến lực cản tàu dưới dạng các số liệu định lượng; dải giá trị LCB tối ưu khá rộng dẫn tới khó khăn cho việc lựa chọn giá trị tối ưu nhất). Các giá trị khuyến nghị này có đúng với loại tuyến hình khác hay không thì cần phải nghiên cứu tiếp.

- Chưa có tài liệu nào đề cập đến thiết kế hình dáng thân tàu chạy tuyến pha sông biển cũng như chưa có các hướng dẫn lựa chọn tỷ số kích thước, hình dáng thân tàu cho tất cả các loại tàu có hình dáng khác nhau (ví dụ chưa đề cập đến việc xác định giá trị hoành độ tâm nổi tối ưu cho tàu chạy tuyến Pha sông biển khi có sự hạn chế về chiều sâu của nước (liệu hoành độ tâm nổi tối ưu có khác so với hoành độ tâm nổi tối ưu cho tàu khi chạy trong vùng nước sâu).

➤ **Đối với các tài liệu dưới dạng các bài báo được đăng trên các tạp chí quốc tế có uy tín thuộc danh mục ISI/Scopus [17-32]**

Trên cơ sở, tổng hợp, phân tích, đánh giá các kết quả nghiên cứu được trình bày dưới dạng các bài báo khoa học đăng trên các tạp chí Quốc tế có uy tín thuộc danh mục ISI/Scopus, NCS nhận thấy các công trình nghiên cứu này đã đạt được các kết quả, cũng như có các đặc trưng sau:

- Về kết quả nghiên cứu đạt được: Trong các bài báo khoa học đã việc cải tiến và tối ưu hóa các thông số hình dạng thân tàu nhằm giảm lực cản thường được tiến hành trên một mẫu tàu cụ thể, từ đó thu được những số liệu định lượng cho thấy mức giảm lực cản so với thiết kế ban đầu. Ngoài ra, phần lớn các nghiên cứu này còn giải thích được bản chất vật lý dẫn đến sự khác nhau về lực cản tàu giữa phương án hình dáng tối ưu và phương án ban đầu thông qua việc phân tích sự khác nhau về dòng chảy bao quanh thân tàu để khẳng định sự khác nhau về lực cản tàu không phải do sai số trong tính toán mà là do sự khác nhau về ứng suất tiếp, áp suất thủy động trên bề mặt thân tàu và hình dạng sóng sinh ra khi tàu

chuyển động.

- Về phương pháp sử dụng trong thiết kế và cải tiến hình dáng thân tàu: Đối với việc thiết kế và cải tiến hình dáng thân tàu, các tác giả sử dụng các phương pháp như: phương pháp mô hình tham số, phương pháp Lackenby, phương pháp thiết kế dựa trên mô phỏng (simulation-base design), phương pháp biến dạng bề mặt [16, 17, 28, 33] để thay đổi hình dáng thân tàu.

- Về phương pháp xác định phương án tối ưu: Các tác giả sử dụng các phương pháp như: Thuật toán di truyền [23], phương pháp tối ưu đồng bộ (Synchronous Optimization) [18], thuật toán tối ưu bầy đàn (Particle Swarm Optimization) [19]; phương pháp hàm bề mặt đáp ứng (Response surface method) [26], phương pháp thiết kế thực nghiệm Taguchi [26, 27, 31].

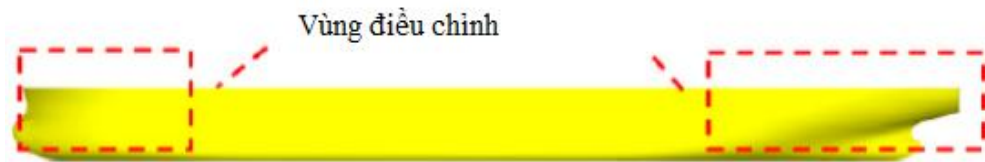
- Về phương pháp được sử dụng để tính toán lực cản tàu: Phần lớn các nghiên cứu đều sử dụng phương pháp CFD để tính toán bởi phương pháp này cho kết quả tin cậy so với kết quả thực nghiệm trong bể thử, ngoài ra phương pháp này có thể cho phép chúng ta phân tích được đường dòng bao quanh thân tàu để phục vụ cho việc phân tích lựa chọn phương án tối ưu cũng như giải thích được bản chất dẫn tới sự khác nhau về lực cản tàu giữa các phương án dựa trên việc phân tích đường dòng bao quanh thân tàu. Ở đây, các tác giả đều sử dụng các phần mềm CFD thương mại như Ansys Fluent, Star-CCM+... để tính toán.

- Về giới hạn nghiên cứu: Các nghiên cứu về tối ưu hóa hình dáng thân tàu hàng đều giới hạn ở việc tối ưu hình dáng thân tàu trên nước tĩnh.

Dưới đây, NCS sẽ tiến hành phân tích một số nghiên cứu điển hình để làm rõ cho các nhận xét nêu trên:

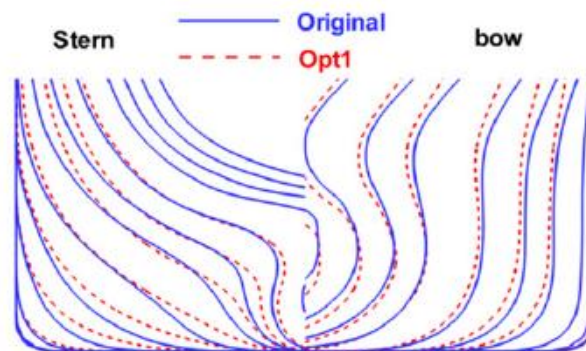
- Nghiên cứu của của tác giả Sheng-Zhong Li và các cộng sự công bố trên tạp chí Journal of ship research (tạp chí SCIE nổi tiếng trong nghiên cứu về tàu thủy) [19]. Ở nghiên cứu này, nhóm tác giả tiến hành nghiên cứu tối ưu hóa hình dáng mũi và đuôi tàu hàng 4600 tấn trên nước tĩnh nhằm giảm lực cản tàu. Phương pháp nghiên cứu được nhóm tác giả sử dụng trong bài báo là phương pháp thiết

kế dựa trên mô phỏng, thuật toán tối ưu bầy đàn và phương pháp CFD để thay đổi hình dáng mũi và đuôi tàu, tính toán lực cản và tìm kiếm phương án tối ưu. Kết quả nghiên cứu đã làm rõ, hình dáng mũi và đuôi tối ưu của tàu phụ thuộc vào số Froude của tàu, phương án mũi và đuôi tàu tối ưu cho phép giảm lực cản tàu từ 4,89% đến 6,55% so với phương án hình dáng ban đầu. Độ tin cậy của kết quả tính toán được các tác giả chứng minh bằng cách so sánh sự khác biệt của trường dòng chảy quanh thân tàu giữa thiết kế ban đầu và phương án tối ưu. Sự phân tích tập trung vào hình thái sóng do tàu tạo ra, sự Phân bố áp suất thủy động trên bề mặt, cùng cấu trúc dòng chảy phía sau thân tàu (xem Hình từ 1.11 đến 1.15).

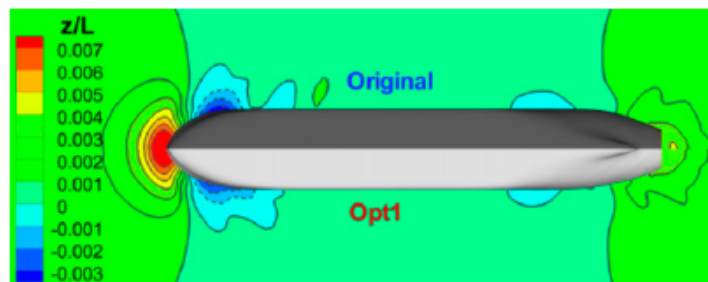


Hình

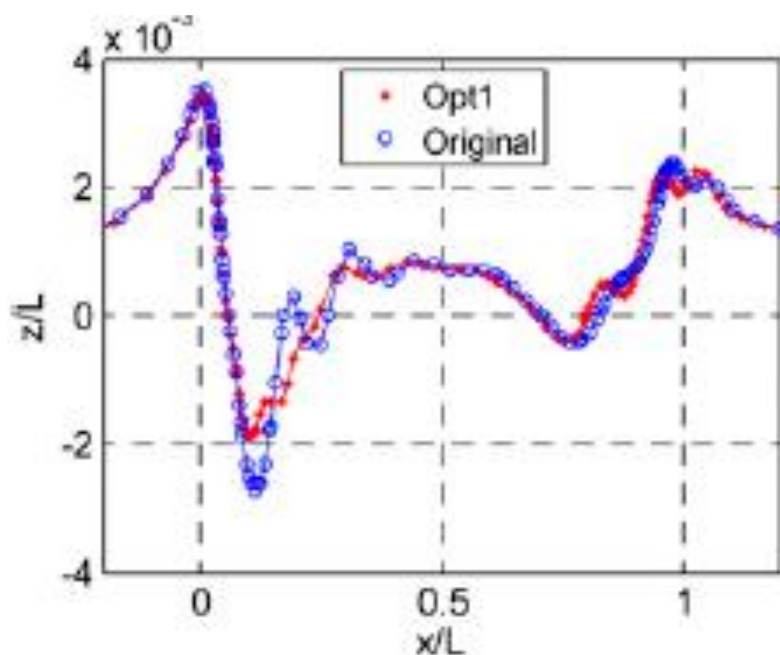
1.11. Đối tượng nghiên cứu và khu vực thay đổi hình dáng tàu hàng 4600 tấn



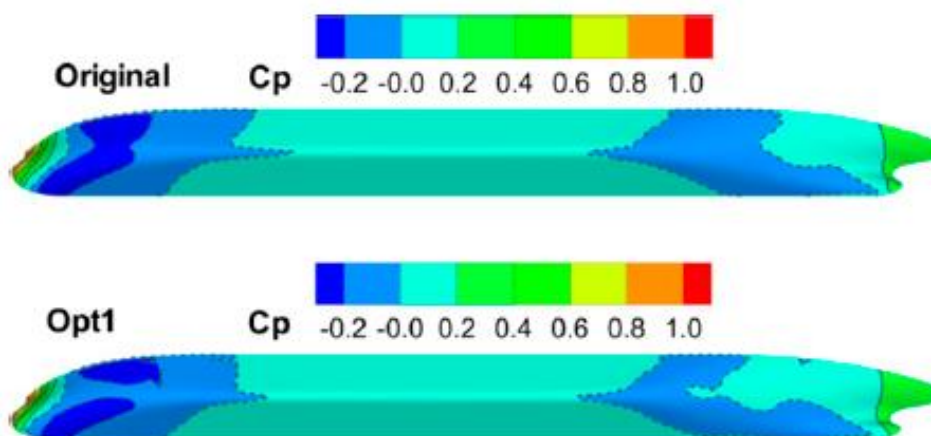
Hình 1.12. Kết quả nghiên cứu tối ưu hình dáng mũi và đuôi tàu



Hình 1.13. Sự khác nhau về hình dạng sóng do tàu tạo ra ở phương án ban đầu và phương án tối ưu



Hình 1.14. Sự khác nhau về profile sóng giữa phương án tối ưu và phương án ban đầu tại vết cắt ($y/L=0,09$)



Hình 1.15. Sự khác nhau về hình ảnh phân bố áp suất thủy động giữa phương án ban đầu và phương án

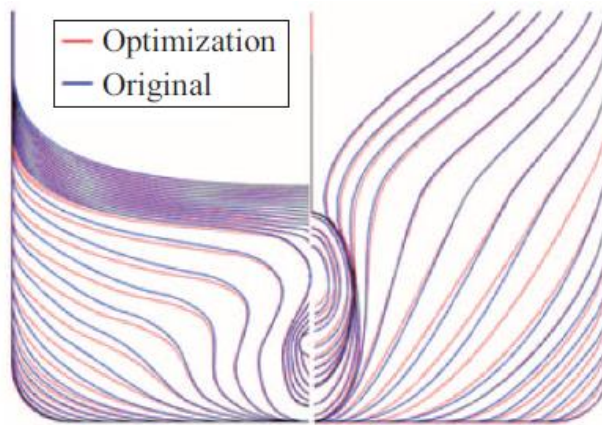
- Nhóm tác giả Lee và các cộng sự [26] đã tiến hành nghiên cứu tối ưu hóa hình dáng thân tàu container 4300TEU trên nước tĩnh. Trong nghiên cứu này, họ đã tiến hành thay đổi 11 thông số hình dáng tàu (5 thông số hình dáng mũi, 04 thông số hình dáng đuôi và 2 thông số hình dáng thân tàu LCB và C_p). Ở đây, để giảm số phương án tuyến hình cần tạo (tổ hợp của sự thay đổi 11 thông số với mỗi thông số là 2 phương án thay đổi sẽ là $11^2=121$ phương án), trong khi vẫn đảm bảo tìm được phương án tối ưu, nhóm tác giả sử dụng phương pháp Taguchi với

ma trận trực giao (hay còn gọi là phương pháp thiết kế thực nghiệm) để giảm số lượng phương án cần tính từ 121 xuống còn 12 phương án hình dáng khác nhau như trên Bảng 1.3.

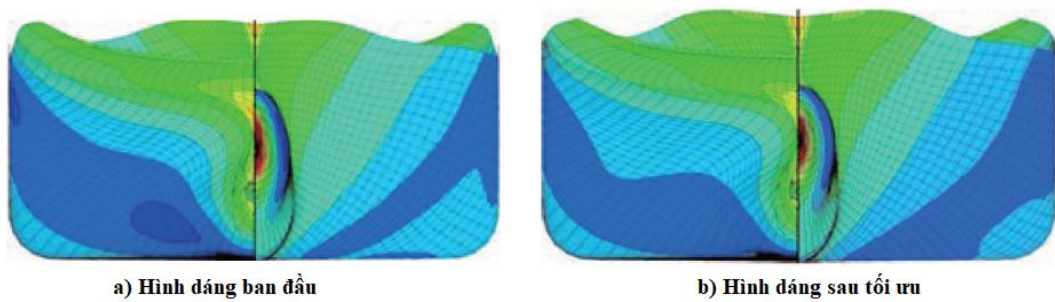
Sau khi tính toán được lực cản tàu ở 12 phương án bằng phương pháp CFD, nhóm tác giả sử dụng phương pháp bề mặt đáp ứng để xác định phương án tối ưu. Kết quả nghiên cứu cho ra phương án hình dáng tối ưu cho phép giảm khoảng 22% công suất có ích so với thiết kế ban đầu. Sự khác biệt về lực cản và hệ số dòng theo giữa hai phương án được lý giải thông qua phân tích sự khác nhau về đường dòng bao quanh thân tàu (tham khảo Hình 1.16, 1.17, 1.18).

Bảng 1.3. Bảng ma trận trực giao

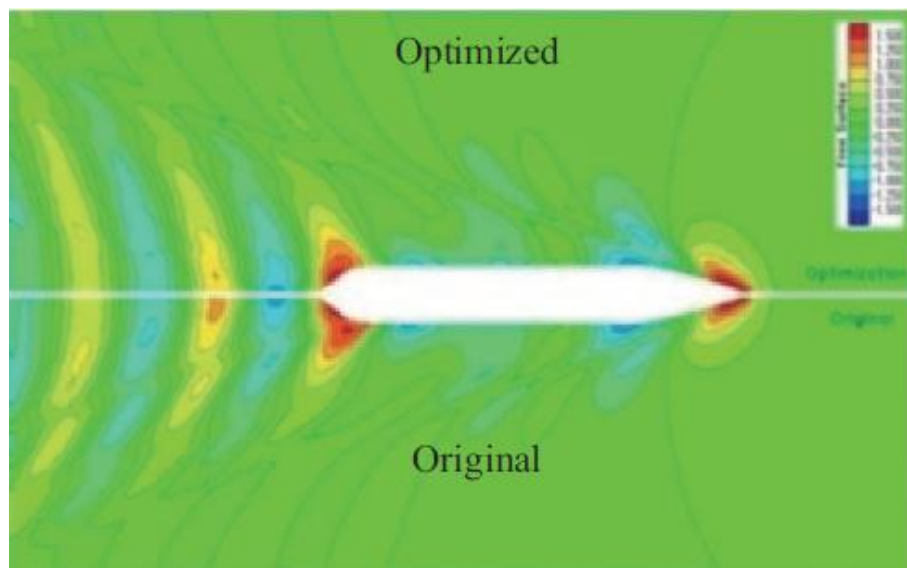
Số lượng phương án cần tính	Số lượng tham số thay đổi										
1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
3	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2
4	1	1	2	2	2	1	1	1	2	2	2
5	1	2	2	1	2	2	1	2	1	2	1
6	1	2	2	2	1	2	2	1	2	1	1
7	2	1	2	2	1	1	2	2	1	2	1
8	2	1	2	1	2	2	2	1	1	1	2
9	2	1	1	2	2	2	1	2	2	1	1
10	2	2	2	1	1	1	1	2	2	1	2
11	2	2	1	2	1	2	1	1	1	2	2
12	2	2	1	1	2	1	2	1	2	2	1



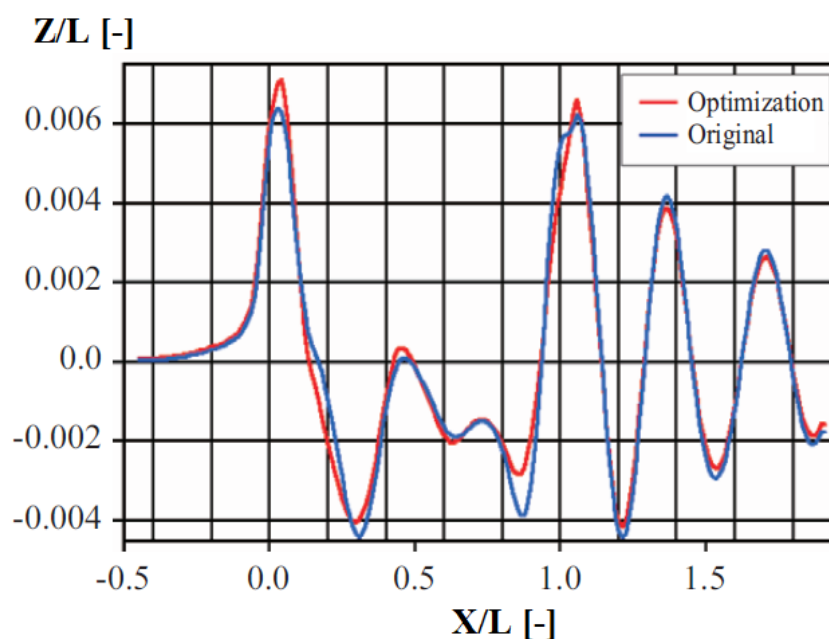
Hình 1.16. Hình dáng tàu trước và sau tối ưu



Hình 1.17. Sự khác nhau trong phân bố áp suất thủy động dọc thân tàu giữa phương án tối ưu và phương án ban đầu

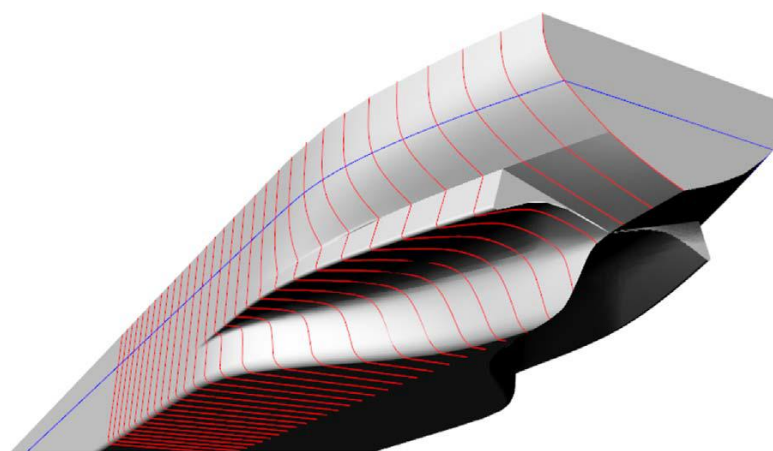


Hình 1.18. Sự khác nhau về hình dạng sóng do tàu tạo ra giữa phương án tối ưu và phương án ban đầu

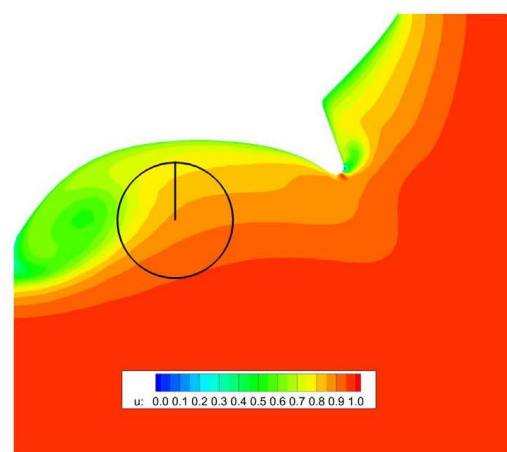


Hình 1.19. Sự khác nhau về profile sóng dọc thân tàu giữa phương án tối ưu và phương án ban đầu

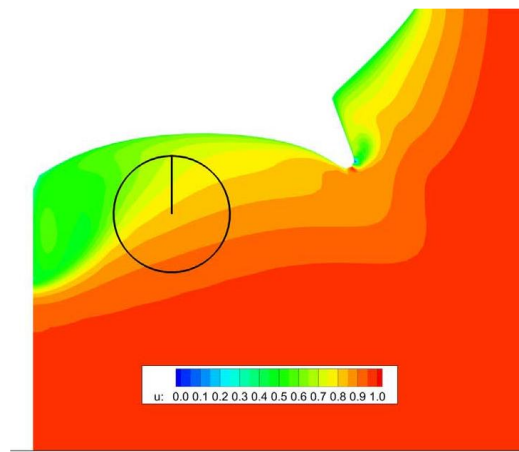
Trong lĩnh vực tối ưu hóa hình dáng thân tàu hoạt động trên sông, Erik cùng các cộng sự đã thực hiện nghiên cứu nhằm cải tiến hình dáng phần đuôi tàu khi vận hành ở vùng nước nông trong điều kiện tĩnh [32]. Nghiên cứu này tập trung phân tích ảnh hưởng của bốn thông số hình học của đuôi tàu tại các mực nước khác nhau, đồng thời tiến hành tối ưu hóa các thông số đó. Để xác định cấu hình tối ưu, nhóm tác giả đã sử dụng kết hợp phương pháp mô phỏng số CFD và thuật toán di truyền.



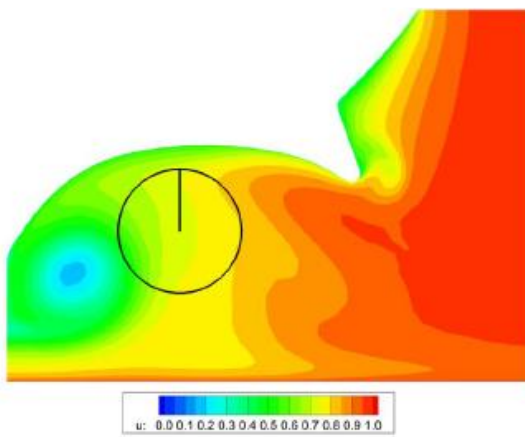
Hình 1.20. Đối tượng được sử dụng trong nghiên cứu của nhóm tác giả Erik



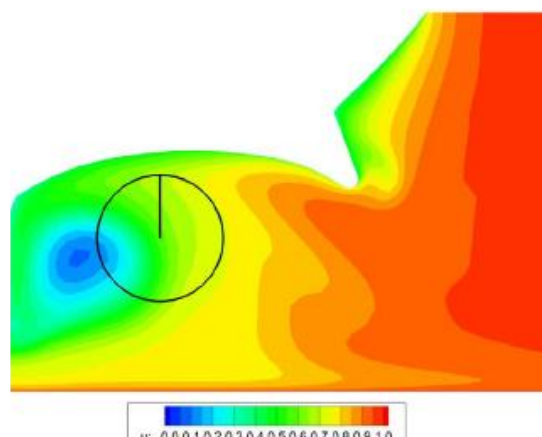
a) Hình dáng đáy chữ S, $h/T=3,0$



b) Hình dáng đáy chữ V, $h/T=3,0$



a) Hình dáng đáy chữ S, $h/T=1,2$



b) Hình dáng đáy chữ V, $h/T=1,2$

Hình 1.21. Sự khác nhau về dòng theo tại đuôi tàu giữa hình dáng đáy tàu dạng chữ V và S ở các độ sâu nước khác nhau

1.2.2. Tổng quan về tình hình nghiên cứu ở trong nước

Trên cơ sở tìm hiểu các tài liệu giáo trình đang được sử dụng giảng dạy tại Khoa Đóng tàu, Trường Đại học Hàng hải Việt Nam [34, 35] và các bài báo khoa học được đăng tải trên các tạp chí chuyên ngành ở trong nước (tạp chí Khoa học và Công nghệ Hàng hải, tạp chí Giao thông vận tải, tạp chí khoa học Công nghệ giao thông vận tải [36, 37]) liên quan đến thiết kế tuyến hình tàu. NCS nhận thấy trong các tài liệu dưới dạng giáo trình, các tác giả đã đưa ra các gợi ý dưới dạng định tính trong việc lựa chọn hợp lý tỷ số kích thước và các thông số hình dáng thân tàu. Tuy nhiên, chưa có các gợi ý trong việc thiết kế tuyến hình tàu mang cấp VR-SB nói riêng và tàu mang cấp chạy

tuyến thủy nội địa nói chung. Số lượng các nghiên cứu dưới dạng bài báo khoa học ứng dụng CFD để phân tích ảnh hưởng của các thông số hình học thân tàu đến lực cản vẫn còn hạn chế. Trong số đó, có thể kể đến công trình của Trần Ngọc Tú và các cộng sự về tác động của hoành độ tâm nổi (LCB) đối với lực cản của tàu hàng rời 22.000 DWT, được công bố trên Tạp chí Khoa học và Công nghệ Hàng hải [38]. Nghiên cứu này tập trung khảo sát duy nhất tham số LCB nhằm xác định vị trí tối ưu xét theo tiêu chí lực cản, đồng thời phân tích cơ sở vật lý của sự chênh lệch lực cản giữa các phương án thông qua so sánh hình dạng sóng tạo ra, cũng như Phân bố áp suất thủy động trên bề mặt thân tàu.

Các công trình nghiên cứu đánh giá ảnh hưởng của các thông số hình học thân tàu đến lực cản thân tàu bằng CFD dưới dạng các bài báo còn khá khiêm tốn. Ở đây có nghiên cứu của nhóm tác giả Trần Ngọc Tú, Lê Thanh Bình và Nguyễn Thị Thu Quỳnh về ảnh hưởng của Hoành độ tâm nổi đến lực cản tàu hàng rời 22000 DWT bằng phương pháp CFD đăng trên tạp chí Khoa học và Công nghệ Hàng hải [38]. Trong nghiên cứu này, nhóm tác giả chỉ nghiên cứu ảnh hưởng của LCB đến lực cản tàu, từ đó xác định được vị trí hoành độ tâm nổi tối ưu dưới góc độ lực cản tàu, giải thích được bản chất vật lý dẫn tới sự khác nhau về lực cản tàu thông qua việc chỉ ra sự khác nhau về hình dáng sóng do tàu tạo ra, Phân bố áp suất thủy động trên bề mặt thân tàu giữa các phương án hình dáng thân tàu khác nhau.

1.2.3. Nhận xét đánh giá về các nghiên cứu đi trước

Các nghiên cứu về thiết kế hình dáng thân tàu nhằm giảm lực cản tàu do các tác giả khác nhau trên thế giới và Việt Nam thực hiện đã được NCS tổng hợp, phân tích, đánh giá ở trên là cơ sở phương pháp luận cũng như nguồn tài liệu để phục vụ cho các nghiên cứu tiếp theo liên quan đến vấn đề này. Trên cơ sở tổng hợp, phân tích các kết quả nghiên cứu này, chúng ta có thể đưa ra một số nhận xét sau:

- Đối với các tài liệu dưới dạng các giáo trình, sách chuyên khảo đã đưa ra các khuyến nghị trong việc lựa chọn hoành độ tâm nổi, hình dáng mũi quả lê, hình dáng

đường nước, đường sườn...hợp lý dưới góc độ giảm lực cản tàu. Tuy nhiên, các khuyến nghị lựa chọn thường nằm trong một dải khá rộng gây khó khăn cho người thiết kế trong việc lựa chọn giá trị phù hợp dưới góc độ giảm lực cản tàu. Ngoài ra, các khuyến nghị liên quan đến việc lựa chọn các thông số hình dáng thân tàu không có tính phổ quát cho tất cả các loại tàu mà ứng với mỗi loại tàu khác nhau sẽ có giá trị phù hợp khác nhau và mức độ ảnh hưởng (một cách định lượng) của chúng đến sự thay đổi lực cản tàu thì không được đưa ra.

- Đối với các công trình khoa học dưới dạng các bài báo khoa học, việc nghiên cứu về ảnh hưởng của hình dáng thân tàu đến lực cản tàu được thực hiện cho một tàu cụ thể và đã đưa ra được các kết quả nghiên cứu mang tính định lượng cũng như đề xuất được hình dáng mới cho tàu so với tàu cũ dưới góc độ giảm lực cản tàu. Phương pháp nghiên cứu được các tác giả sử dụng ở đây gồm 03 phương pháp: phương pháp thiết kế hình dáng thân tàu (phương pháp tham số, phương pháp biến dạng tự do...), phương pháp số CFD để tính toán lực cản tàu và phương pháp tối ưu để xác định phương án tối ưu (Thuật toán di truyền, phương pháp tối ưu đồng bộ (Synchronous Optimization), thuật toán tối ưu bầy đàn (Particle Swarm Optimization); phương pháp bề mặt đáp ứng (Response surface method), phương pháp thiết kế thực nghiệm Taguchi.

- Các nghiên cứu liên quan đến việc thiết kế hình dáng thân tàu chạy tuyến pha sông biển rất ít, đặc biệt là các nghiên cứu ở trong nước.

1.3. Phân tích lựa chọn hướng nghiên cứu, phương pháp nghiên cứu và giới hạn nghiên cứu

1.3.1. Lựa chọn hướng và mục tiêu nghiên cứu

Căn cứ trên nhu cầu phát triển đội tàu cấp VR-SB cũng như thực trạng công tác thiết kế đội tàu này ở trong nước cộng với quy mô và cấu trúc của đội tàu mang cấp VR-SB của Việt Nam, NCS xin đề xuất hướng và mục tiêu nghiên cứu trong luận án như sau:

Mục đích nghiên cứu của luận án: Xây dựng mô hình bài toán cải tiến hình dáng thân tàu hàng cấp VR-SB nhằm giảm sức cản tàu trên cơ sở có tính đến đặc điểm của tuyến đường thủy nội địa trong nước. Áp dụng mô hình tính đưa ra vào trong cải tiến hình dáng tàu cho một series tàu hàng có trọng tải 4600 tấn mang cấp VR-SB đang được khai thác phổ biến trên tuyến đường thủy nội địa Việt Nam.

1.3.2. Phân tích lựa chọn phương pháp nghiên cứu

Để đạt được mục tiêu nghiên cứu đặt ra, luận án sẽ sử dụng các phương pháp nghiên cứu gồm: Phương pháp khảo sát, tổng hợp, phân tích thống kê; lý thuyết về thủy động lực học tàu thủy; phương pháp số CFD; phương pháp Taguchi kết hợp phân tích tương quan xám.

Cơ sở để NCS lựa chọn Taguchi để giảm bớt số lượng các phương án tuyến hình cần tạo ra khi thay đổi các tham số hình dáng thân tàu trong khi vẫn đảm bảo tìm được phương án hình dáng tối ưu dưới góc độ lực cản tàu. Đối với việc lựa chọn phương pháp phân tích tương quan xám là dùng để giải quyết bài toán đa mục tiêu và dùng để đánh giá mức độ ảnh hưởng của từng thông số tuyến hình tàu đến lực cản. Vấn đề này sẽ được NCS trình bày chi tiết ở chương 2 của luận án.

1.4. Kết luận chương 1

Chương tổng quan đã giải quyết được các vấn đề sau:

- Đã trình bày được tổng quan về tuyến vận tải thủy nội địa của Việt Nam. Trong đó đã đưa ra được các con số định lượng về mức tăng trưởng số lượng hàng hóa qua hình thức vận tải qua các năm. Từ đó, khẳng định tầm quan trọng của tuyến vận tải thủy nội địa Việt Nam trong phát triển kinh tế-xã hội của đất nước.
- Đã trình bày được quy mô đội tàu hàng cấp VR-SB theo trọng tải, loại tàu và đặc điểm của loại tàu này. Theo đó loại tàu chiếm tỷ trọng nhiều nhất trong đội tàu hàng cấp VR-SB là các tàu hàng khô có trọng tải dưới 5000 tấn. Đây là cơ sở để NCS lựa chọn đối tượng nghiên cứu trong đề tài.

- Đã trình bày được một số tồn tại trong công tác thiết kế hình dáng thân tàu cấp VR-SB tại một số đơn vị Thiết kế tàu ở trong nước.

- Đã nêu bật được sự cần thiết trong việc sử dụng các giải pháp kỹ thuật nhằm sử dụng năng lượng hiệu quả tiết kiệm trên tàu thông qua việc tổng hợp, phân tích các điều luật của Quốc hội, nghị quyết của chính phủ liên quan đến yêu cầu sử dụng năng lượng tiết kiệm và hiệu quả.

- Đã tổng hợp, phân tích, thông kê được các nghiên cứu điển hình trên thế giới và trong nước liên quan đến vấn đề nghiên cứu.

- Đã phân tích nêu bật được những kết quả đạt được của các nghiên cứu đi trước cũng như các tồn tại hạn chế của các nghiên cứu này.

- Trên cơ sở các phân tích nêu trên, Chương tổng quan đã đề xuất hướng và phương pháp nghiên cứu trong luận án.

CHƯƠNG 2. CƠ SỞ LÝ THUYẾT PHỤC VỤ XÂY DỰNG MÔ HÌNH BÀI TOÁN CẢI TIẾN TUYẾN HÌNH TÀU CẤP VR-SB

2.1. Đặc điểm điều kiện khai thác của tàu pha sông biển

2.1.1. Cơ sở lý thuyết ảnh hưởng của độ sâu nước đến lực cản tàu

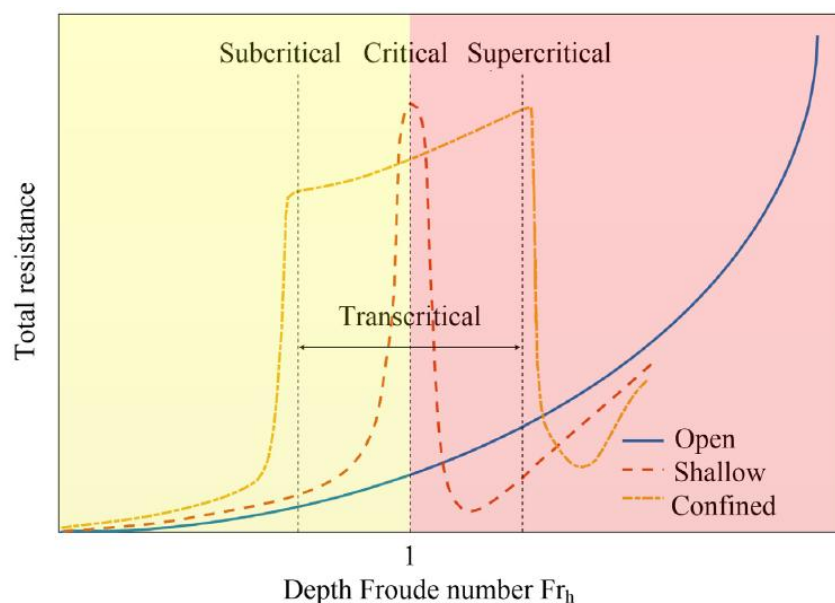
Theo định nghĩa của QCVN 72: 2013/BGTVT [39] các tàu mang cấp VR-SB sẽ được phép hoạt động trên tuyến thủy nội địa (các sông, kênh, khu vực ven biển cách bờ hoặc nơi trú ẩn không quá 12 hải lý...). Với đặc điểm hoạt động này, khi tàu chạy trên sông và trong các kênh có sự giới hạn về độ sâu và chiều rộng của kênh, dòng chảy xung quanh tàu sẽ bị thay đổi so với khi chạy trong khu vực không có sự hạn chế về độ sâu và chiều rộng của luồng. Cụ thể, sẽ xảy ra các hiện tượng: tốc độ dòng chảy tại đáy tàu sẽ tăng lên, khi đó theo định luật Bernoulli áp suất trên bề mặt đáy tàu sẽ giảm; hình dạng và chiều cao sóng do tàu tạo ra khi chuyển động sẽ tăng lên; chiều chìm động của tàu tăng lên, các yếu tố này làm tăng lực cản tàu so với khi tàu chạy trong vùng nước không có sự hạn chế về độ sâu và chiều rộng của kênh [12, 40]. Sự thay đổi lực cản tàu khi chạy trong khu vực có sự giới hạn về độ sâu và chiều rộng của kênh phụ thuộc vào các yếu tố sau: số Froude của tàu theo độ sâu nước $Fr_h = V / \sqrt{gh_w}$; tỷ số h_w/T - ảnh hưởng của độ sâu; tỷ số B_c/B_s - ảnh hưởng của chiều rộng luồng; tỷ số A_c/A_s - ảnh hưởng của diện tích mặt cắt ngang của luồng. Ở đây, V - là tốc độ tàu, g - là gia tốc trọng trường; h_w và T lần lượt là độ sâu của sông, luồng và chiều chìm của tàu; B_c và B_s - lần lượt là chiều rộng của kênh và chiều rộng của tàu; A_c và A_s - lần lượt là diện tích mặt cắt ngang của luồng và của sườn giữa tàu. Các ngưỡng bắt đầu xuất hiện ảnh hưởng của nước nông và chiều rộng của luồng được trình bày trên Bảng 2.1. Khi tỷ số $h_w/T < 1,5$ sẽ được gọi là nước nông.

Khi tàu chạy trong vùng nước nông, sẽ xuất hiện ba chế độ dòng chảy, chúng được xác định thông qua số Froude của tàu theo độ sâu nước gồm: chế độ trước tới hạn $Fr_h < 1$, chế độ tới hạn $Fr_h = 1$ và chế độ sau tới hạn $Fr_h > 1$. Các hiện tượng (hình dáng sóng do tàu tạo ra, lực cản tàu...) xảy ra ở 3 chế độ này là khác nhau

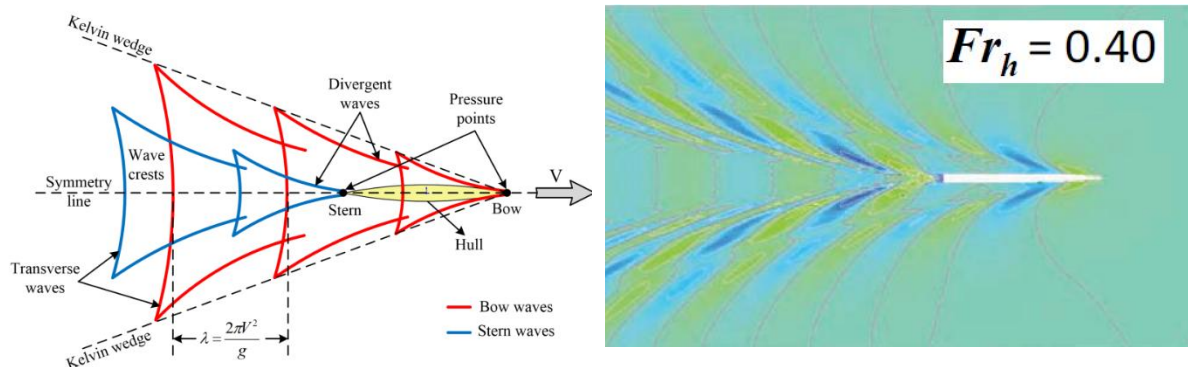
(xem Hình 2.1). Ở chế độ trước tới hạn, sự hình thành sóng trên nước nông và nước sâu là giống nhau và chúng ta có thể quan sát được hình dạng sóng Kelvin truyền thống (xem Hình 2.2). Khi tốc độ tàu đạt tới tốc độ tới hạn, góc sóng sẽ đạt đến 78° so với phương chuyển động của tàu (xem Hình 2.3), sóng phân kỳ bị triệt tiêu, ở vùng mũi và đuôi tàu hình thành hai sóng có cường độ lớn. Các sóng này trở nên đơn lẻ. Khi vượt qua chế độ tới hạn sang chế độ sau tới hạn, hệ thống sóng ngang của tàu sẽ biến mất và chỉ còn lại sóng phân kỳ (xem Hình 2.4). Khi tàu chạy trong kênh, góc sóng so với phương chuyển động của tàu giống so với khi chạy trong vùng nước nông, tuy nhiên sóng sẽ bị phản xạ bởi bờ.

Bảng 2.1. Các ngưỡng bắt đầu xuất hiện ảnh hưởng của nước nông và chiều rộng của luồng đến lực cản tàu [40]

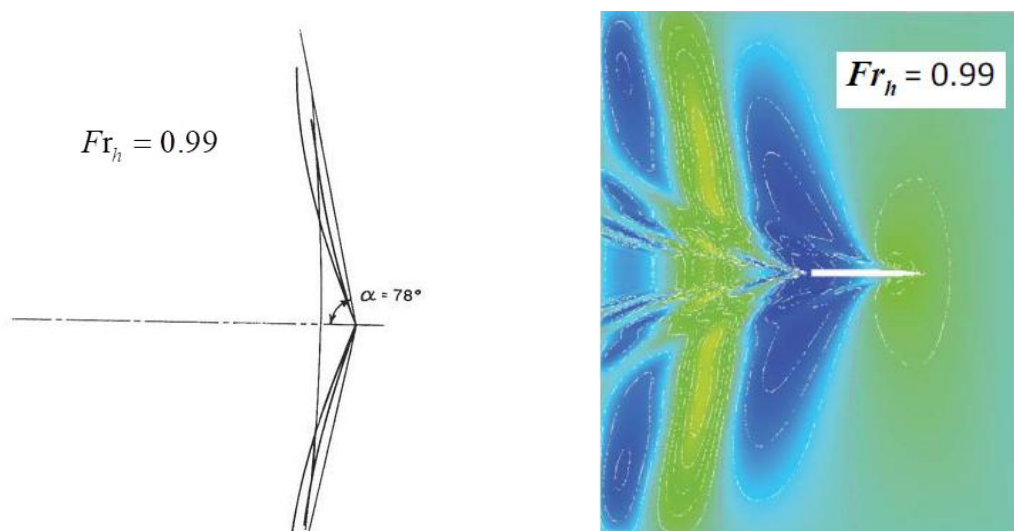
Các tham số	Bắt đầu có sự ảnh hưởng	Ngưỡng quan trọng cần tính tới	Ảnh hưởng lớn
A_c/A_s	50	7-8	4
h_w/T	15	3-4	1,5 (nước nông)
B_c/B_s	50-200	10-15	4



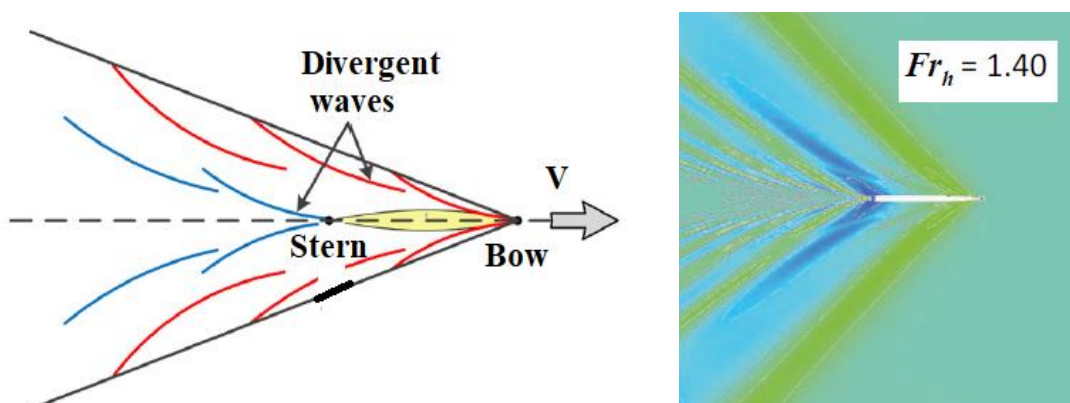
Hình 2.1. Đường cong lực cản tàu khi chạy trong vùng nước nông, kênh và vùng không hạn chế [40]



Hình 2.2. Hình dạng sóng Kelvin xuất hiện ở chế độ trước tới hạn



Hình 2.3. Hình dạng sóng do tàu tạo ra khi chạy ở chế độ tới hạn



Hình 2.4. Hình dạng sóng do tàu tạo ra khi chạy ở chế độ sau tới hạn

Từ các phân tích nêu trên có thể thấy, nước nông và kênh sẽ ảnh hưởng đến dòng chảy quanh tàu khi chuyển động. Từ đó dẫn đến, phương án hình dáng tối ưu của tàu khi chạy trong vùng nước sâu có thể không tối ưu khi chạy trong vùng

nước nông và trong kênh. Do vậy, trong thiết kế hình dáng thân tàu chạy trong vùng nước hạn chế về độ sâu và chiều rộng, cần phải tính đến ảnh hưởng của độ sâu và chiều rộng của luồng đến lực cản tàu để tìm ra phương án hình dáng tối ưu. Để minh chứng cho nhận định trên có thể kể đến nghiên cứu của nhóm tác giả Erik Rotteveel [32]. Trong nghiên cứu của mình đã tiến hành nghiên cứu tối ưu hóa hình dáng đuôi tàu hoạt động trong vùng nước nông. Kết quả nghiên cứu chỉ ra rằng, khi tàu chạy trong vùng nước nông, để giảm công suất máy thì hình dáng đuôi chữ V tốt hơn so với chữ S. Trong khi, tàu chạy ở vùng nước sâu thì ngược lại. Bên cạnh đó, trong tối ưu hóa hình dáng thân tàu cần phải tính đến độ sâu của nước nếu tỷ số $h_w/T < 1,5$.

2.1.2. Đặc điểm của tuyến đường thủy nội địa Việt Nam

Về hệ thống sông ngòi Việt Nam, theo dữ liệu từ Cục Đường thủy nội địa Việt Nam [41], Việt Nam có tất cả 2.360 sông dài từ 10km trở lên, trong đó có 106 sông chính và 2.254 phụ lưu. Dọc bờ biển, trung bình 30km chiều dài có 1 cửa sông, riêng vùng bờ tây Vịnh Bắc Bộ (từ Móng Cái - Hải Vân), chỉ 20km chiều dài đường bờ đã có 1 cửa sông chia cắt và theo thống kê có 112 cửa sông ra biển. Tuy nhiên, các dòng chảy sông ngòi lại phân bố không đều. Trong đó khu vực Đông Bắc Việt Nam, Đồng bằng sông Hồng và Đồng bằng sông Cửu Long có mật độ dòng chảy cao hơn cả.

Việt Nam có 9 hệ thống sông lớn trải từ Bắc vào Nam gồm [41]:

1. Hệ thống sông Hồng.
2. Hệ thống sông Thái Bình.
3. Hệ thống sông Bằng Giang - Kỳ Cùng.
4. Hệ thống sông Mã.
5. Hệ thống sông Lam.
6. Hệ thống sông Thu Bồn - Vu Gia.
7. Hệ thống sông Ba (sông Đà Rằng).

8. Hệ thống sông Đồng Nai.

9. Hệ thống sông Mê Kông (sông Cửu Long).

Về quy hoạch các tuyến đường vận tải đường thủy nội địa chính ở Việt Nam, theo Quy hoạch phát triển kết cấu hạ tầng Đường thủy nội địa thời kỳ 2021-2030, tầm nhìn đến năm 2050 [41], Quy hoạch toàn quốc có 09 hành lang vận tải thủy nội địa với 55 tuyến vận tải chính, được hình thành trên 140 sông, kênh với tổng chiều dài 7.300 km gồm: miền Bắc có 18 tuyến chính, trên 49 sông, kênh với tổng chiều dài 3.028 km; miền Trung có 11 tuyến chính, trên 28 sông, kênh với tổng chiều dài 1.229 km; miền Nam có 26 tuyến chính, trên 63 sông, kênh với tổng chiều dài 3.043 km.

Trong các tuyến vận tải chính này, tùy thuộc vào độ sâu của sông và của kênh nó được chia ra thành các cấp kỹ thuật đường thủy nội địa gồm: cấp đặc biệt, cấp I, II, III, IV, V và VI dựa trên các tiêu chí như được thể hiện trên Bảng 2.2.

Căn cứ vào cấp kỹ thuật đường thủy nội địa đang được sử dụng phổ biến trên tuyến đường thủy nội địa mang cấp VR-SB là dưới 5000 tấn trọng tải (chiếm 93,3% đội tàu pha sông biển), do vậy trong phần khảo sát này NCS chỉ tìm hiểu các tuyến vận tải đường thủy nội địa (ĐTNĐ) có thể khai thác được tàu dưới 5000 tấn trọng tải. Đó chính là các tuyến vận tải nằm ở cấp quy hoạch cấp đặc biệt và cấp I và cấp 2 (các sông có chiều sâu nhỏ nhất lớn hơn 3,2m), còn cấp 3 nơi có giới hạn độ sâu từ 2,8 đến 3,2m chỉ phù hợp đối với các tàu có trọng tải nhỏ trên tuyến đường sông. Trên Bảng 2.3 trình bày quy hoạch các tuyến vận tải ĐTNĐ từ cấp II trở lên trong giai đoạn 2021-2033 của Bộ giao thông Vận tải (thống kê đối với các tuyến có chiều dài tuyến trên 50 km). Trên Bảng 2.3 ta thấy, miền Bắc có 11 tuyến vận tải ĐTNĐ được quy hoạch từ cấp 2 trở lên, Miền Trung không có tuyến ĐTNĐ có chiều dài toàn tuyến trên 50km, Miền Nam 9 tuyến vận tải ĐTNĐ được quy hoạch từ cấp 2 trở lên.

Bảng 2.2. Kích thước đường thủy nội địa theo cấp kỹ thuật

Cấp	Kích thước đường thủy					Kích thước âu nhỏ nhất			Cầu		Chiều cao tính không		Chiều sâu đặt dây cáp/ đường ống
	Sông		Kênh		Bán kính cong	Chiều dài	Chiều rộng	Độ sâu ngưỡng	Khẩu độ khoang thông thuyền		Cầu	Đường dây điện	
									Kênh	Sông			
Đặc biệt	Tùy thuộc vào tàu thiết kế					Tùy thuộc vào tàu thiết kế			Tùy thuộc vào tàu thiết kế				
Miền Bắc, miền Trung													
I	>4,0	>90	>4,5	>75	>600	145,0	12,5	3,8	>70	>85	11	12+ΔH	2,0
II	>3,2	>50	>3,5	>40	>500	145,0	12,5	3,4	>40	>50	9,5	12+ΔH	2,0
III	>2,8	>40	>3,0	>30	>350	120,0	10,5	3,3	>30	>40	7	12+ΔH	1,5
IV	>2,3	>30	>2,5	>25	>150	85,0	10,0	2,2	>25	>30	6(5)	7+ΔH	1,5
V	>1,8	>20	>2,0	>15	>100	26,0	6,0	1,8	>15	>20	4(3,5)	7+ΔH	1,5
VI	>1,0	>12	>1,0	>10	>60	13,0	4,0	1,3	>10	>10	3(2,5)	7+ΔH	1,5
Miền Nam													
I	>4,0	>125	>4,5	>80	>550	100,0	12,5	3,8	>75	>120	11	12+ΔH	2,0
II	>3,5	>65	>3,5	>50	>500	100,0	12,5	3,5	>50	>60	9,5	12+ΔH	2,0
III	>2,8	>50	>3,0	>35	>350	95,0	10,5	3,4	>30	>50	7(6)	12+ΔH	1,5
IV	>2,6	>35	>2,8	>25	>100	75,0	9,5	2,7	>25	>30	6(5)	7+ΔH	1,5
V	>2,1	>25	>2,2	>15	>80	18,0	5,5	1,9	>15	>25	4(3,5)	7+ΔH	1,5
VI	>1,3	>14	>1,3	>10	>70	12,0	4,0	1,3	>10	>13	3(2,5)	7+ΔH	1,5

Bảng 2.3. Quy hoạch các tuyến vận tải ĐTNĐ chính thời kỳ 2021 – 2030

[41]

TT	Tuyến vận tải thủy	Chiều dài (km)	Cấp quy hoạch
I	MIỀN BẮC		
1	Tuyến Quảng Ninh - Hải Phòng - Việt Trì (sông Đuống)	205,6	II
2	Tuyến Quảng Ninh - Ninh Bình (sông Luộc)	264	II
3	Tuyến Hà Nội - Lạch Giang	196	I
4	Tuyến cửa Đáy - Ninh Bình	72	Đặc biệt
5	Tuyến Quảng Ninh - Ninh Bình (qua cửa Lạch Giang)	178,5	Đặc biệt
10	Tuyến từ cảng Hải Phòng qua kênh Cái Tráp đến Vạn Gia	199,5	Đặc biệt
11	Tuyến từ Hà Nội đến Cảng Việt Trì	74,0	II
II	MIỀN TRUNG		

TT	Tuyến vận tải thủy	Chiều dài (km)	Cấp quy hoạch
III	MIỀN NAM		
1	Tuyến cửa Tiểu - biên giới Campuchia (sông Tiền)	251	Đặc biệt
2	Tuyến cửa Định An - biên giới Campuchia (sông Hậu)	211	Đặc biệt
3	Tuyến Thành phố Hồ Chí Minh - Cà Mau (qua kênh Xà No)	341	II
4	Tuyến Vũng Tàu - Thị Vải - Thành phố Hồ Chí Minh - Mỹ Tho - Cần Thơ	286,5	II
5	Tuyến Thành phố Hồ Chí Minh - Bến Kéo - Biên giới Campuchia (sông Vàm Cỏ Đông)	206,7	II
6	Tuyến sông Hàm Luông (từ ngã ba sông Tiền đến cửa Hàm Luông)	90	Đặc biệt
7	Tuyến sông Cổ Chiên từ cửa Cổ Chiên đến ngã ba sông Tiền	109	Đặc biệt
8	Tuyến cửa Gành Hào đến ngã ba kênh Lương Thế Trân	49,3	II
9	Tuyến qua cửa Rạch Giá (từ cửa Cái Lớn đến ngã ba sông Cái Tur - kênh Tắt Cây Trâm)	56	II

Về quy hoạch hệ thống cảng Việt Nam, theo Quy hoạch phát triển cảng hàng hóa thủy nội địa Việt Nam thời kỳ 2021-2030, tầm nhìn đến năm 2050 [41]. Hệ thống cảng hàng hoá sẽ gồm 54 cụm cảng với tổng công suất khoảng 361 triệu tấn/năm, trong đó: miền Bắc có 25 cụm cảng, trong đó có 13 cụm cảng cho phép đón được các tàu có trọng tải từ 3000 tấn; miền Trung có 08 cụm cảng, trong đó có 1 cụm cảng Thanh Hóa đón được các tàu có trọng tải từ 3000 tấn; miền Nam có 21 cụm cảng, trong đó có 15 cụm cảng cho phép đón được các tàu có trọng tải từ 3000 tấn. Mỗi cụm cảng hàng hoá gồm các cảng thủy nội địa chính và cảng thủy nội địa vệ tinh. Cỡ tàu quy hoạch cảng thủy nội địa là cỡ tàu đồng bộ theo cấp kỹ thuật quy hoạch tuyến luồng đường thủy. Trên Bảng 2.4 trình bày Quy hoạch các cụm cảng

hàng hóa giai đoạn từ 2021-2030 cho phép đón được các tàu cỡ 3000 tấn trọng tải trở lên.

Bảng 2.4. Quy hoạch các cụm cảng hàng hóa giai đoạn từ 2021-2030

TT	Tên cảng	Tỉnh, thành phố	Sông, kênh chính	Cỡ tàu (Tấn)
A	MIỀN BẮC			
I	Vùng đồng bằng Sông Hồng			
1	Cụm cảng trung tâm Hà Nội	Hà Nội	Sông Hồng	3.000
2	Cụm cảng Bắc Hà Nội	Hà Nội	Sông Hồng, Công	3.000
3	Cụm cảng Nam Hà Nội	Hà Nội	Sông Hồng, Đáy	3.000
4	Cụm cảng Đông Hà Nội	Hà Nội	Sông Đuống	3.000
5	Cụm cảng Tây Hà Nội	Hà Nội	Sông Hồng, Đà	3.000
6	Cụm cảng Hải Phòng	Hải Phòng	Sông Hàn, Cấm, Phi Liệt, Đá Bạch, Lạch Tray, Văn Úc	5.000
7	Cụm cảng Ninh Bình	Ninh Bình	Sông Đáy, Hoàng Long, Yên Mô, Vạc	3.000
8	Cụm cảng Bắc Ninh	Bắc Ninh	Sông Đuống, Cầu	3.000
9	Cụm cảng Hải Dương	Hải Dương	Sông Thái Bình, Kinh Thầy, Kinh Môn, Mạo Khê	3.000
10	Cụm cảng Vĩnh Phúc	Vĩnh Phúc	Sông Hồng, Lô	3.000
11	Cụm cảng Hà Nam	Hà Nam	Sông Hồng, Đáy	3.000
12	Cụm cảng Nam Định	Nam Định	Sông Hồng, Đào Nam Định, Đáy, Ninh Cơ	3.000

15	Cụm cảng Quảng Ninh	Quảng Ninh	Sông Chanh, tuyến ven vịnh Hạ Long, vịnh Bái Tử Long, sông Móng Cái	5.000
B	MIỀN TRUNG			
1	Cụm cảng Thanh Hóa	Thanh Hóa	Sông Mã, Lèn, Bạng	3.000
C	MIỀN NAM			
I	Vùng Đông Nam Bộ			
1	Cụm cảng trung tâm TP Hồ Chí Minh	TP HCM	Sông Sài Gòn, Đồng Nai	3.000
2	Cụm cảng Bắc TP Hồ Chí Minh	TP HCM	Sông Sài Gòn, Đồng Nai	3.000
3	Cụm cảng Tây Nam TP Hồ Chí Minh	TP HCM	Sông Chợ Đệm Bến Lức – Kênh Tẻ	3.000
4	Cụm cảng Đông TP Hồ Chí Minh	TP HCM	Sông Sài Gòn, Đồng Nai, Chợ Đệm Bến Lức - kênh Tẻ	5.000
5	Cụm cảng Bình Dương	Bình Dương	Sông Sài Gòn, Đồng Nai	3.000
6	Cụm cảng Đồng Nai	Đồng Nai	Sông Đồng Nai	5.000
7	Cụm cảng Bà Rịa Vũng Tàu	Bà Rịa Vũng Tàu	Sông Thị Vải (sông nhánh)	5.000
II	Vùng đồng bằng sông Cửu Long			
1	Cụm cảng Long An	Long An	Sông Vàm Cỏ Đông, Cần Giuộc, Vàm Cỏ Tây	7.000
2	Cụm cảng Đồng Tháp	Đồng Tháp	Sông Tiền, sông Hậu, kênh Lấp Vò	3.000
3	Cụm cảng Tiền Giang	Tiền Giang	Sông Tiền	5.000

4	Cụm cảng Vĩnh Long	Vĩnh Long	Sông Tiền, Cổ Chiên	3.000
5	Cụm cảng Bến Tre	Bến Tre	Sông Tiền, Cổ Chiên, Hàm Luông, Cửa Đại	5.000
6	Cụm cảng Trà Vinh	Trà Vinh	Sông Cổ Chiên	3.000
7	Cụm cảng Cần Thơ	Cần Thơ	Sông Hậu, rạch Cần Thơ	5.000
8	Cụm cảng An Giang	An Giang	Sông Hậu	7.000

2.2. Cơ sở lý thuyết ảnh hưởng của các thông số hình dáng thân tàu đến lực cản tàu

Để cải tiến, tối ưu hóa hình dáng thân tàu khi cho trước các kích thước chủ yếu của tàu (chiều dài, chiều rộng, chiều chìm, hệ số béo thể tích, lượng chiếm nước), người thiết kế cần phải tiến hành phân tích ảnh hưởng của các thông số hình dáng thân tàu đến lực cản tàu, trên cơ sở đó người thiết kế sẽ phát triển được hình dáng thân tàu hợp lý có lực cản tàu nhỏ nhất. Đã có rất nhiều các nghiên cứu dưới dạng định tính cũng như định lượng về ảnh hưởng của các thông số hình dáng thân tàu đến lực cản tàu mà NCS đã nêu trong chương tổng quan ở trên. Trong đó, các thông số hình dáng thân tàu chính có ảnh hưởng lớn đến lực cản tàu, đã được các tác giả chỉ ra đó là [11, 12, 14, 15, 17, 19-22, 42]:

- Vị trí hoành độ tâm nổi (LCB);
- $\frac{1}{2}$ góc vào nước tại đường nước thiết kế ($1/2\alpha_E$);
- Hình dáng mũi tàu;
- Hình dáng đuôi tàu.

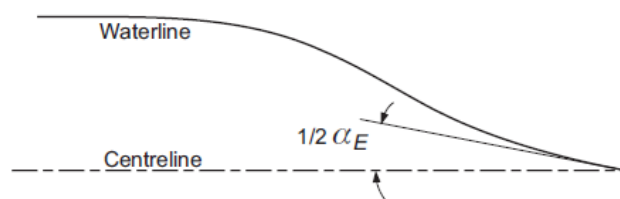
2.2.1. Vị trí hoành độ tâm nổi

Vị trí hoành độ tâm nổi theo chiều dài tàu (LCB) đặc trưng cho sự phân bố lượng chiếm nước theo chiều dài tàu. LCB kết hợp với hệ số béo dọc chung thân tàu và chiều dài tương đối của tàu sẽ ảnh hưởng trực tiếp đến cường độ sóng phản phía mũi và đuôi tàu khi chuyển động. Khi LCB dịch chuyển quá nhiều về mũi

tàu so với mặt phẳng sườn giữa sẽ làm tăng cường độ sóng phía mũi tàu. Ở chiều ngược lại, nếu LCB nằm quá gần phía đuôi tàu so với mặt phẳng sườn giữa sẽ dẫn đến nguy cơ tách lớp biên và tạo ra các dòng xoáy ở phía trước chong chóng, từ đó sẽ ảnh hưởng tiêu cực đến hiệu suất của thiết bị đẩy sau thân tàu [11]. Chính vì vậy, việc xác định vị trí LCB tối ưu nhằm giảm cường độ sóng phía mũi tàu, giảm nguy cơ tách lớp biên và dòng xoáy phía trước chong chóng là rất quan trọng trong bài toán giảm lực cản tàu và tăng hiệu suất của thiết bị đẩy sau thân tàu. Đại lượng LCB có ảnh hưởng rất lớn đến lực cản tàu [22], do vậy việc lựa chọn vị trí LCB tối ưu là rất quan trọng nhằm giảm lực cản tàu. Trong các tài liệu [11, 12, 14, 15] các tác giả đã đưa ra khuyến nghị lựa chọn vị trí LCB tối ưu phụ thuộc vào loại tuyến hình tàu, hệ số béo thể tích và tốc độ tàu. Nghĩa là giá trị LCB tối ưu sẽ khác nhau cho từng trường hợp hình dáng thân tàu cụ thể. Tuy nhiên, các hướng dẫn lựa chọn vị trí LCB tối ưu chỉ áp dụng được đối với các tàu biển có hệ số béo nhỏ hơn 0,850. Các hướng dẫn đối với tàu pha sông biển và tàu sông là không có.

2.2.2. Góc vào nước tại đường nước thiết kế

Theo Molland [15], $\frac{1}{2}$ góc vào nước tại đường nước thiết kế ($1/2\alpha_E$) có ảnh hưởng đến: lực cản tàu ở các điều kiện tải khác nhau và ảnh hưởng đến tính quay trở cũng như tính đi biển của tàu. Vì vậy, việc lựa chọn hợp lý góc vào nước tại đường nước thiết kế sẽ giúp cải thiện đặc tính thủy động của thân tàu nói chung và giảm lực cản tàu nói riêng. Hiện tại các hướng dẫn trong việc lựa chọn $1/2\alpha_E$ mới chỉ dừng lại ở các tàu không có mũi quả lê và chỉ là dưới dạng khuyến nghị [14] (xem Bảng 2.5).



Hình 2.5. Định nghĩa $\frac{1}{2}$ góc vào nước ($1/2\alpha_E$)

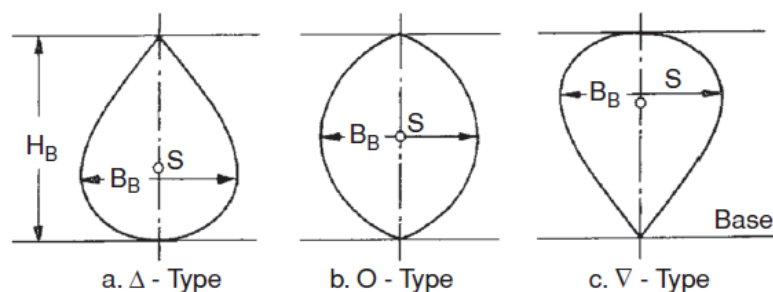
Bảng 2.5. Bảng hướng dẫn lựa chọn $\frac{1}{2}$ góc vào nước tại đường nước thiết kế

C_P	0,55	0,60	0,65	0,70	0,75	0,80	0,85
$1/2\alpha_E$	8°	9°	$9-10^\circ$	$10-14^\circ$	$21-23^\circ$	33°	37°

2.2.3. Hình dáng mũi tàu

Hình dáng mũi tàu có ảnh hưởng khá lớn đến lực cản tàu, đến hiệu quả quay trở và ổn định hướng đi của tàu, do vậy đây là yêu cầu đặt ra trong thiết kế hình dáng mũi tàu [15]. Ngày nay, loại hình dáng mũi tàu phổ biến nhất trên các tàu hàng chạy biển cũng như các tàu hàng chạy tuyến thủy nội địa là mũi quả lê. Loại mũi này có tác dụng làm thay đổi sự phân bố đường dòng quanh mũi tàu, tạo ra hệ thống sóng giao thoa với hệ thống sóng được tạo ra bởi tàu khi chuyển động, đồng thời nó còn có tác dụng cải thiện dòng chảy quanh mũi tàu [23], từ đó làm giảm lực cản tàu. Đối với các tàu béo, chạy chậm, ưu điểm chính của mũi quả lê sẽ không phải nằm ở việc giảm thành phần lực cản sóng mà nằm ở chỗ nó làm cho dòng chảy ở phía dưới mũi quả lê được đều và trơn (smooth) từ đó có thể giúp chống lại hoặc làm chậm lại việc tách lớp biên ở khu vực này từ đó làm giảm lực cản hình dáng.

Hình dạng mũi quả lê theo Kracht [43] có thể được chia ra thành 3 loại khác nhau gồm: Loại mũi quả lê hình Delta Δ ; loại mũi quả lê hình O và loại mũi quả lê hình Nabla ∇ (xem Hình 2.6).



Hình 2.6. Hình dạng 3 loại mũi quả lê

+ Loại mũi quả lê hình delta Δ phù hợp đối với các tàu có sự thay đổi chiều chìm lớn và có đường sườn dạng chữ U ở vùng mũi tàu. Ảnh hưởng có lợi của mũi quả lê này sẽ giảm xuống khi chiều chìm tăng và ngược lại. Ngoài ra, sử dụng loại mũi quả lê này sẽ làm tăng nguy cơ xảy ra hiện tượng slamming phía mũi tàu khi chiều chìm giảm.

+ Loại mũi quả lê hình Nabla ∇ phù hợp đối với tàu có đường sườn dạng chữ V ở vùng mũi tàu. Hình dạng mũi quả lê này được đánh giá là nâng cao được hiệu quả ổn định hướng đi của tàu.

+ Loại mũi quả lê hình O phù hợp với cả tàu có đường sườn dạng chữ U và V ở vùng mũi tàu. Hình dáng mũi quả lê này có nguy cơ xảy ra hiện tượng slamming nhỏ hơn so với mũi quả lê hình delta Δ .

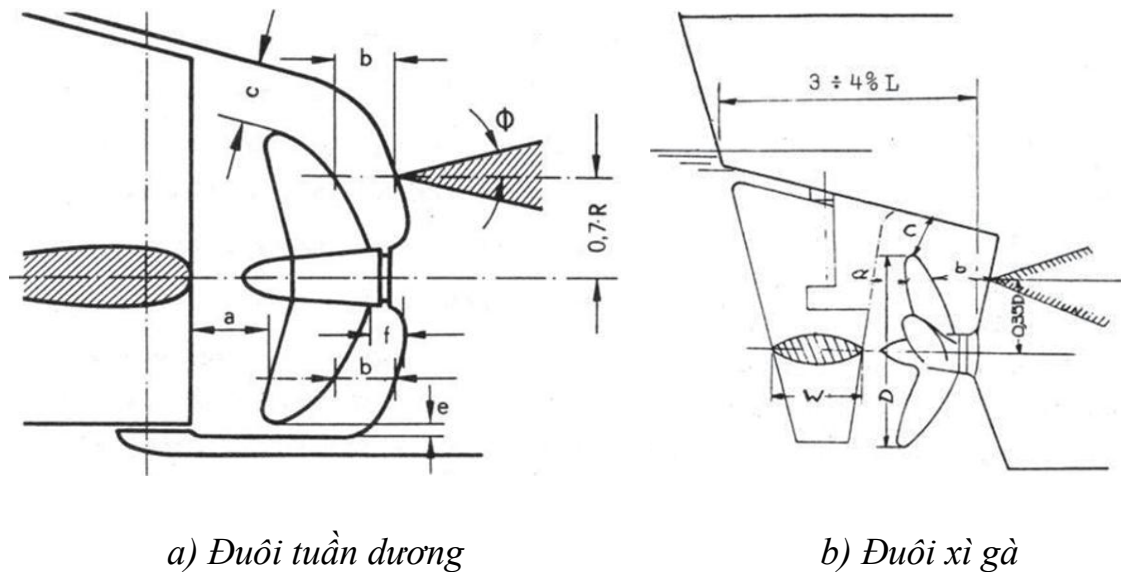
- Trong tất cả các trường hợp, mũi quả lê cần đảm bảo điều kiện không được nhô lên khỏi mặt nước quá điểm B (xem Hình 1.5) khi tàu chạy ở chế độ ballast.

- Để mô tả hình dáng mũi quả lê, Kracht [44] sử dụng 06 tham số gồm chiều dài L_{PR} , chiều rộng B_B và chiều cao của mũi quả lê Z_B ; diện tích mặt cắt ngang A_{BT} tại đường vuông góc mũi, diện tích mặt cắt dọc A_{BL} và thể tích mũi quả lê ∇_{PR} . Mức độ ảnh hưởng của 6 tham số hình học mũi quả lê đến hệ số giảm công suất dư đã được Kracht mô tả chi tiết trong tài liệu [44] mà luận án đã đề cập đến trong Chương 1. Theo đó trong 6 tham số mũi quả lê thì 03 tham số gồm: hệ số chiều dài C_{LPR} , hệ số diện tích mặt cắt ngang C_{ABT} và hệ số thể tích $C_{\nabla PR}$ của mũi quả lê là các hệ số quan trọng có ảnh hưởng lớn nhất đến các thông số thủy động lực học của tàu nói chung và lực cản tàu nói riêng. Ngoài ra, 03 hệ số này còn có quan hệ với 03 hệ số còn lại. Do vậy, trong nghiên cứu này, để tối ưu hóa hình dáng mũi quả lê, NCS chỉ lựa chọn 03 tham số quan trọng nhất trên để tối ưu.

2.2.4. Hình dáng đuôi tàu

Hình dáng đuôi tàu ảnh hưởng đến sự tách lớp biên từ đó ảnh hưởng đến lực cản và dòng theo phía sau tàu từ đó ảnh hưởng đến hiệu suất của thiết bị đẩy làm

việc sau thân tàu, chấn động tàu. Ngoài ra, hình dáng đuôi tàu còn ảnh hưởng đến phương án bố trí thiết bị đẩy và bánh lái phía sau tàu [15].



Hình 2.7. Các loại hình dáng đuôi tàu

Hiện tại, có hai loại hình dáng đuôi tàu phổ biến đang áp dụng trên các tàu hàng gồm đuôi tuần dương và đuôi xì gà (xem Hình 2.7). Một trong những ưu điểm của đuôi xì gà so với đuôi tuần dương đó là làm cho dòng chảy đến chong chóng được đồng đều hơn.

Đối với việc thiết kế hình dáng đuôi tàu, tác giả người Đức H. Schneekluth [14], đã đưa ra một số lời khuyên trong thiết kế hình dáng đuôi tàu mà người thiết kế cần đặc biệt quan tâm gồm:

- + Giảm đến mức tối đa việc tách lớp biên tại đuôi tàu;
- + Giảm đến mức tối đa tương tác của chong chóng lên thân tàu (hệ số lực hút);
- + Đảm bảo đủ khe hở giữa chong chóng và thân tàu.

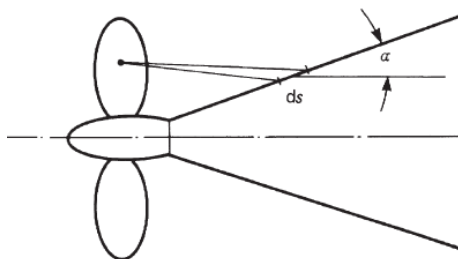
Đối với việc tách lớp biên: việc tách lớp biên tại đuôi tàu là hàm số phụ thuộc vào hình dáng thân tàu và ảnh hưởng của chong chóng phía sau tàu. Đối với tàu sử dụng một chong chóng thì lực hút của chong chóng có lợi đến việc hạn chế tách lớp biên của tàu. Việc tách lớp biên chịu ảnh hưởng bởi bán kính cong của

vỏ ngoài theo hướng dòng chảy và độ nghiêng của dòng chảy so với phương chuyển động của tàu.

Đối với ảnh hưởng của lực hút chong chóng: Để giảm được hệ số lực hút thì các đường trong khu vực mà dòng chảy đến chong chóng cần phải được thiết kế sao cho lực hút nhỏ. Ở đây, chong chóng sẽ lấy lại một phần năng lượng bị tổn thất do việc tách lớp biên. Ở đây, tích phân sau cần phải có giá trị nhỏ nhất có thể để giảm ảnh hưởng của lực hút (xem công thức 2.1). Để đảm bảo được điều này, ta cần phải giữ cho đường nước phía trước chong chóng thon nhất có thể.

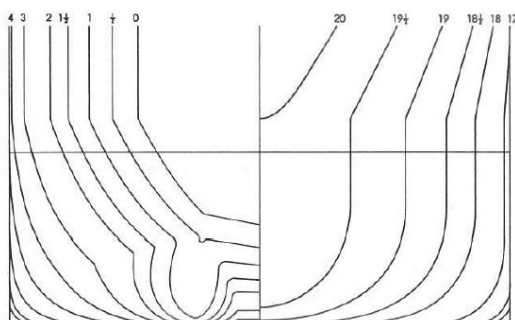
$$\frac{\sin \alpha}{a^x} dS \rightarrow \min \quad (2.1)$$

ở đây: dS – là phần bề mặt thân tàu gần chong chóng; α – là góc của phần bề mặt thân tàu so với trục dọc của tàu; a – là khoảng cách giữa bề mặt thân tàu với chong chóng, $x \approx 2$.



Hình 2.8. Ảnh hưởng của lực hút chong chóng lên thân tàu

Một cách khác có thể làm giảm lực hút chong chóng đó là tăng khoảng cách khe hở giữa vòm đuôi với mép cánh chong chóng.



Hình 2.9. Phần đuôi thân tàu SSPA được thiết kế để sử dụng hai chong chóng [12]

Đối với các tàu có hệ số béo lớn $C_B > 0,800$, người ta thường thiết kế phần đuôi sử dụng hai chong chóng (twin skeg). Giải pháp thiết kế này cho phép giảm được công suất máy đến 10% so với sử dụng một chong chóng [12], ngoài ra giải pháp này đặc biệt có lợi thế khi tàu chạy trong vùng nước nông.

2.3. Cơ sở lý thuyết thay đổi hình dáng thân tàu

Trong thiết kế tuyến hình tàu, thông thường người thiết kế sẽ lựa chọn một mẫu tuyến hình có trước, trên cơ sở tuyến hình mẫu này sẽ tiến hành điều chỉnh các thông số hình dáng thân tàu thiết kế để có được một tuyến hình mới có thông số thủy động lực học tốt trong khi vẫn giữ được các tính năng khác của tàu, từ đó tiết kiệm được thời gian thiết kế. Với kích thước chủ yếu của tàu cho trước, người thiết kế sẽ sử dụng phương pháp thay đổi nhỏ hình dáng thân tàu. Nghĩa là sẽ thay đổi các thông số như phân bố lượng chiếm nước theo chiều dài tàu (thay đổi hoành độ tâm nổi), các thông số hình học của mũi quả lê, chiều dài đuôi transom... Để thay đổi hoành độ tâm nổi của tàu, người ta thường sử dụng phương pháp Lackenby [16], việc thay đổi hình dáng mũi và đuôi tàu, thường sử dụng phương pháp đường và mặt NURBS (Non-Uniform Rational B-Spline) [45], dưới đây NCS xin trình bày về cơ sở lý thuyết của hai phương pháp này.

2.3.1. Phương pháp Lackenby

Phương pháp Lackenby là phương pháp mở rộng của phương pháp điều chỉnh hình dáng thân tàu 1- C_P [16]. Đây là phương pháp được phần mềm thương mại Maxsurf sử dụng làm cơ sở lý thuyết cho phép tính chuyển hình dáng thân tàu thiết kế từ tàu mẫu trong phần mềm của mình. Nội hàm của phương pháp Lackenby như sau:

Phương pháp này cho phép thay đổi hệ số béo dọc chung thân tàu (C_P), hoành độ tâm nổi (LCB) và chiều dài đoạn thân ống giữa tàu ($L_{Pf,a}$) của tàu thiết kế so với tàu mẫu. Theo đó, sự dịch chuyển theo chiều dài của tàu ở mỗi sườn có thể được xác định theo công thức sau:

$$\delta x_{f,a} = (1 - x_{f,a}) \left\{ \frac{\delta L_{Pf,a}}{1 - L_{Pf,a}} + \frac{x_{f,a} - L_{Pf,a}}{A_{f,a}} \left(\delta C_{Pf,a} - \delta L_{Pf,a} \frac{1 - \delta C_{Pf,a}}{1 - \delta L_{Pf,a}} \right) \right\} \quad (2.2)$$

Trong phương trình (2.2), đại lượng $A_{f,a}$ được xác định theo công thức:

$$A_{f,a} = C_{Pf,a}(1 - 2\bar{x}_{f,a}) - L_{Pf,a}(1 - C_{Pf,a}) \quad (2.3)$$

Như ta có thấy trong công thức trên, sự thay đổi chiều dài đoạn thân ống $\delta L_{Pf,a}$ đã được tính đến. Các giá trị h_f và h_a được xác định theo phương trình sau:

$$h_{f,a} = C_{Pf,a} \cdot \left[\frac{B_{f,a}}{C_{Pf,a}} \left\{ 1 - \frac{\delta L_{Pf,a}(1 - C_{Pf,a})}{\delta C_{Pf,a}(1 - L_{Pf,a})} \right\} + \frac{\delta L_{Pf,a}(1 - 2\bar{x}_{f,a})}{\delta C_{Pf,a}(1 - L_{Pf,a})} \right] \quad (2.4)$$

Đại lượng $B_{f,a}$ trong công thức (2.3) được xác định như sau:

$$B_{f,a} = \frac{C_{Pf,a} \{ 2\bar{x}_{f,a} - 3k_{f,a}^2 - L_{Pf,a}(1 - 2\bar{x}_{f,a}) \}}{A_{f,a}} \quad (2.5)$$

Đại lượng $k_{f,a}$ trong công thức (2.4), được xác định như sau:

$$k_{f,a} = \frac{I_{f,a}}{S_{f,a}} \quad (2.6)$$

Trong đó $I_{f,a}$ là mô men thứ hai về sườn giữa được biểu diễn bằng một phần của chiều dài của đoạn mũi và đuôi tàu, $S_{f,a}$ – là diện tích của đoạn mũi và đuôi của tàu.

Sự thay đổi hệ số béo dọc chung thân tàu phía mũi và đuôi tàu được xác định như sau:

$$\delta C_{Pf} = \frac{2[\delta C_P \cdot (B_a - LCB) + \delta LCB \cdot (C_P + \delta C_P)] + C_f \cdot \delta L_{Pf} - C_a \cdot \delta L_{Pa}}{B_f + B_a} \quad (2.7)$$

$$\delta C_{Pa} = \frac{2[\delta C_P \cdot (B_f - LCB) + \delta LCB \cdot (C_P + \delta C_P)] + C_f \cdot \delta L_{Pf} - C_a \cdot \delta L_{Pa}}{B_f + B_a} \quad (2.8)$$

Đại lượng $C_{f,a}$ trong phương trình (2.7) và (2.8) được xác định theo công thức:

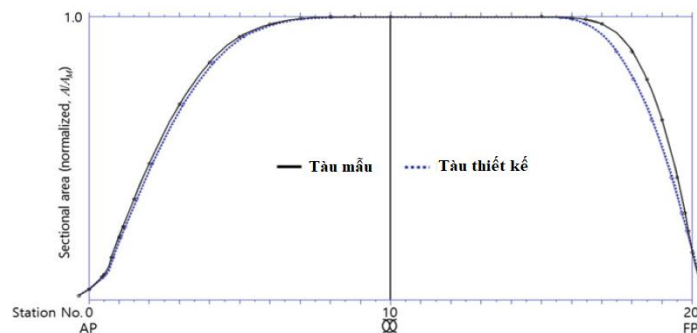
$$C_{f,a} = \frac{B_{f,a}(1 - C_{Pf,a}) - C_{Pf,a}(1 - 2\bar{x}_{f,a})}{1 - L_{Pf,a}} \quad (2.9)$$

Sau khi xác định được các giá trị của δC_{Pf} và δC_{Pa} và thế chúng vào phương trình (2.2), ta sẽ thu được sự dịch chuyển của từng sườn theo chiều dài tàu.

Các đại lượng trong các công thức từ (2.2) đến (2.9) được hiểu như sau:
 $x_{f,a}$ - là khoảng cách từ sườn bất kỳ tại phía mũi và đuôi tàu đến sườn giữa; $\delta x_{f,a}$ - là sự dịch chuyển theo chiều dài tàu của từng sườn tại mũi và đuôi tàu; $C_{Pf,a}$ - là hệ số béo dọc chung thân tàu tại phía mũi và đuôi tàu của tàu mẫu; $\delta C_{Pf,a}$ - là sự thay đổi chiều dài của đoạn thân ống ở phía mũi và phía đuôi tàu so với tàu mẫu; $h_{f,a}$ - là khoảng cách tính từ trọng tâm của $\delta C_{Pf,a}$ đến sườn giữa; $\bar{x}_{f,a}$ - là khoảng cách tính từ trọng tâm của của phần mũi và phần đuôi đến sườn giữa; $y_{f,a}$ - là diện tích đường sườn của sườn $x_{f,a}$.

Ưu điểm của phương pháp Lackenby so với phương pháp điều chỉnh hình dáng thân tàu 1- C_P được chỉ ra như sau [16]:

- Có thể điều khiển được chiều dài đoạn thân ống của tàu ($L_{Pf,a}$);
- Do δx tỷ lệ thuận với $x(1-x)$, chính vì vậy phương pháp này có thể áp dụng cho bất kỳ trường hợp điều chỉnh hình dáng đơn giản này.
- Có thể xác định các điều chỉnh cần thiết đối với hệ số béo dọc chung ở phía mũi và đuôi tàu để đưa ra bất kỳ thay đổi mong muốn nào về vị trí LCB và hệ số béo lặn trụ.



Hình 2.10. Ví dụ áp dụng phương pháp Lackenby trong điều chỉnh đường cong diện tích đường sườn theo chiều dài tàu

2.3.2. Phương pháp thay đổi hình dáng mũi tàu

Để thay đổi hình dáng mũi quả lê của tàu, các nghiên cứu trên thế giới phần lớn đều sử dụng đường và mặt NURBS (Non-Uniform Rational B-Spline) [45], trong thiết kế hình dáng thân tàu nói chung và trong điều chỉnh các thông số hình học của mũi quả lê nói riêng. Trong đó, phần mềm Maxsurf cũng sử dụng đường và mặt NURBS làm cơ sở lý thuyết việc xây dựng tuyến hình tàu.

Đường và mặt của NURBS phụ thuộc vào việc ta thiết lập các hàm cơ sở, được xác định qua ảnh hưởng của từng điểm điều khiển được thiết lập để điều chỉnh hình dáng đường cong. Các hàm cơ sở được xác định bởi một vector của các nút T , với $T = \{t_0, \dots, t_i, t_{i+1}, \dots, t_n\}$ và m là số lượng các điểm điều khiển bậc n của đường.

Hàm cơ bản của NURBS với đường cong độ p (bậc $k=p+1$), được xác định như sau:

$$N_{i,p}(t) = \begin{cases} 1 & \text{if } t_i \leq t < t_{i+1} \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (2.10)$$

$$N_{i,p}(t) = \frac{t - t_i}{t_{i+p} - t_i} N_{i,p-1}(t) + \frac{t_{i+p+1} - t}{t_{i+p+1} - t_{i+1}} N_{i+1,p-1}(t) \quad (2.11)$$

Các phần tử của vector nút mở được xác định như sau:

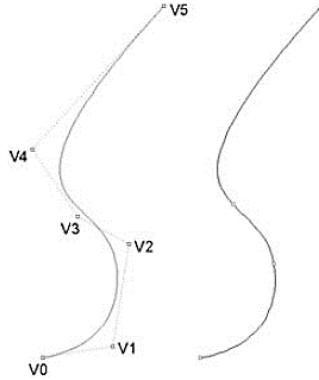
$$\begin{aligned} t_i &= 0 & 1 \leq i \leq k \\ t_i &= i - k & k + 1 \leq i \leq n + 1 \\ t_i &= n - k + 2 & n + 2 \leq i \leq n + k + 1 \end{aligned} \quad (2.12)$$

Trong đó $n+1$ – là số điểm điều khiển trên đường cong, k – là bậc của đường cong ($k=p+1$).

Bề mặt NURBS được biểu diễn bằng phương trình toán học sau:

$$S(u, v) = \frac{\sum_{i=0}^m \sum_{j=0}^n N_{i,p}(u) N_{j,q}(v) W_{ij} P_{ij}}{\sum_{i=0}^m \sum_{j=0}^n N_{i,p}(u) N_{j,q}(v) W_{ij}} \quad (2.13)$$

Trong đó: $S(u,v)$ - là điểm trên bề mặt NURBS với tọa độ tham số u,v ; $N_{i,p}(u)$ và $N_{j,q}(v)$ - là các hàm cơ bản của NURBS; W_{ij} - là các giá trị trọng số hữu tỷ; P_{ij} là vị trí của các điểm kiểm tra.



Hình 2.11. Điểm điều khiển được sử dụng trong việc tạo ra các phương án mũi quả lê

2.4. Cơ sở lý thuyết phương pháp CFD

Phương pháp CFD là một nhánh của cơ học chất lưu, sử dụng phương pháp số để giải các bài toán liên quan đến chuyển động của dòng chảy nói chung và tính toán lực cản tàu nói riêng.

Trong phương pháp số CFD người ta chia ra cách tiếp cận khác nhau trong việc tính toán lực cản tàu gồm: Phương pháp dòng chảy thế, phương pháp trung bình số Reynold RANSE [46]; phương pháp LES (Large Eddy Simulation). Ở thời điểm hiện tại, phương pháp RANSE vẫn là phương pháp được áp dụng phổ biến nhất trong tính toán và tối ưu hóa lực cản tàu [17, 22, 23, 47-49]. Dưới đây, NCS giới thiệu về cơ sở lý thuyết của phương pháp RANSE.

2.4.1. Hệ phương trình Navier-Stokes

Hệ phương trình liên tục và động lượng của phần tử chất lỏng không nén được chuyển động trong hệ tọa độ Descartes được viết như sau:

$$\frac{\partial(\rho \bar{u}_i)}{\partial x_i} = 0 \quad (2.14)$$

$$\frac{\partial(\rho \bar{u}_i)}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j} (\rho \bar{u}_i \bar{u}_j + \overline{\rho u'_i u'_j}) = -\frac{\partial \bar{p}}{\partial x_i} + \frac{\partial \bar{\tau}_{ij}}{\partial x_j} \quad (2.15)$$

Trong đó: $\bar{u}_i$ - là vector vận tốc trong hệ tọa độ Descartes theo 3 phương x, y, z; x_i - là vị trí; t - là thời gian; $\overline{\rho u'_i u'_j}$ là ứng suất rối Reynolds; $\bar{p}$ - là áp suất trung bình; ρ là khối lượng riêng của chất lỏng $\bar{\tau}_{ij}$ là ứng suất nhớt trung bình, được xác định theo biểu thức (2.16).

$$\bar{\tau}_{ij} = \mu \left(\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} + \frac{\partial \bar{u}_j}{\partial x_i} \right) \quad (2.16)$$

Trong đó μ - là độ nhớt động học của chất lỏng.

Hai phương trình (2.14) và (2.15) kết hợp thành hệ phương trình RANSE mô phỏng chuyển động rối của phần tử chất lỏng không nén được phụ thuộc cả không gian và thời gian. Để giải phương trình trên, ta cần phải sử dụng mô hình dòng chảy rối.

Đối với việc lựa chọn mô hình dòng rối, cho đến nay, chưa có 1 mô hình dòng rối chuẩn nào có thể áp dụng được cho mọi bài toán tính toán thủy động học tàu thủy với độ chính xác cao vì vậy, trên thực tế tùy bài toán khác nhau sẽ có các mô hình dòng rối phù hợp. Ví dụ, Đối với bài toán tính toán lực cản tàu ở tỉ lệ mô hình thì mô hình dòng rối SST K-omega cho kết quả chính xác nhất [50]. Với bài toán hiện tại là tính toán lực cản tàu ở tỉ lệ thực thì việc sử dụng mô hình dòng rối realizable K-epsilon two layer, một biến thể của mô hình dòng rối K-epsilon lại cho kết quả tin cậy hơn bởi K-epsilon mô hình dòng rối này phù hợp với bài toán có số Reynold cao như trong tính toán lực cản tàu ở tỉ lệ thực [51].

2.4.2. Mô hình dòng rối realizable K-epsilon two layer

Mô hình dòng rối realizable K-epsilon two layer là mô hình dòng rối hai lớp giải các phương trình truyền với năng lượng động năng rối k và tỷ lệ suy giảm (ϵ) để tính toán độ nhớt μ_t theo công thức [52, 53]:

$$\mu_t = \rho C_\mu f_\mu k T \quad (2.17)$$

Ở đây: ρ – là khối lượng riêng của chất lỏng; C_μ - là hệ số mô hình, f_μ - là hàm đập; T - là tỷ lệ thời gian rối.

Tỷ lệ thời gian rối (T) được xác định dựa vào biểu thức sau:

$$T = k / \varepsilon \quad (2.18)$$

Hàm truyền với năng lượng động năng rối (k) và tỷ lệ suy giảm (ε) được xác định như sau:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho k) + \nabla \cdot (\rho k \bar{v}) = \nabla \cdot \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \nabla k \right] + P_k - \rho(\varepsilon - \varepsilon_0) + S_k \quad (2.19)$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \varepsilon) + \nabla \cdot (\rho \varepsilon \bar{v}) = \nabla \cdot \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} \right) \nabla \varepsilon \right] + \frac{1}{T_e} C_{\varepsilon 1} P_\varepsilon - C_{\varepsilon 2} f_{2\rho} \left(\frac{\varepsilon}{T_e} - \frac{\varepsilon_0}{T_0} \right) + S_\varepsilon \quad (2.20)$$

Các ký hiệu trong công thức (2.19) và (2.20) được hiểu như sau: $\bar{v}$ - là vận tốc trung bình; $\sigma_k, \sigma_\varepsilon, \sigma_{\varepsilon_1}$ và $C_{\varepsilon 2}$ là các hệ số mô hình; P_k và P_ε là các đại lượng tạo ra; f_2 là hàm đập; S_k và S_ε là các đại lượng nguồn, ε_0 là giá trị dòng rối bao quanh tại nguồn; T_0 tỷ lệ thời gian cụ thể.

Các đại lượng tạo P_k và P_ε được xác định như sau:

$$P_k = f_c G_k + G_b - \gamma_M; P_\varepsilon = f_c S k + C_{\varepsilon 3} G_b \quad (2.21)$$

Trong đó: f_c - là hệ số hiệu chỉnh độ cong, $C_{\varepsilon 3}$ - là hệ số mô hình, G_k, G_b, G_{nl} - lần lượt là các đại lượng dòng rối, nổi và phi tuyến tạo ra; γ_M - là hiệu chỉnh độ nén; S là tốc độ biến dạng trung bình.

Hàm đập f_2 được xác định dựa trên biểu thức sau:

$$P_k = f_c G_k + G_b - \gamma_M; P_\varepsilon = f_c S k + C_{\varepsilon 3} G_b \quad (2.22)$$

2.4.3. Cơ sở lý thuyết trong kiểm tra đánh giá kết quả mô phỏng

Trong mô phỏng bằng CFD, kết quả tính toán phụ thuộc rất nhiều vào các thông số thiết lập như: kích thước miền không gian tính toán, mô hình vật lý, điều kiện biên, loại lưới, cách chia lưới, mật độ lưới, các thiết lập ban đầu, bước thời gian... Chính vì vậy, để thu được kết quả tin cậy trong tính toán bằng CFD, người tính toán cần thực hiện việc kiểm tra (Verification) và xác nhận (Validation) kết quả tính toán của mình theo các hướng dẫn của Hiệp hội bể thử quốc tế ITTC [54].

Theo hướng dẫn của ITTC [54] đối với quá trình kiểm tra và xác nhận kết quả mô phỏng bằng CFD, sai số trong mô phỏng δ_s được định nghĩa là sự khác nhau giữa giá trị thực tế T và giá trị mô phỏng S . Sai số trong mô phỏng gồm hai thành phần: tập hợp các sai số do mô hình hóa δ_{SM} và tập hợp các sai số do số hóa δ_{SN} . Sai số do mô hình hóa là các sai số do các giả định toán học (mathematical assumption) và việc xấp xỉ hóa các vấn đề vật lý (thông số hình học, các phương trình toán học, các điều kiện biên, tương tác giữa nước và không khí, mô hình dòng rối) và sự kết hợp của các số liệu trước (các tính chất của chất lỏng) trong mô hình. Sai số do số hóa là các sai số do việc rời rạc hóa, các phép lặp và sự hội tụ của lưới...

$$E = \delta_s = S - T = \delta_{SM} + \delta_{SN} \quad (2.23)$$

Tính không chắc chắn (uncertainty) trong mô phỏng được xác định theo công thức:

$$U_s^2 = U_{SM}^2 + U_{SN}^2 \quad (2.24)$$

Trong đó: U_s - là tính không chắc chắn trong mô phỏng; U_{SM} và U_{SN} tương ứng là tính không chắc chắn trong mô phỏng do việc mô hình hóa và số hóa gây ra.

Giá trị của U_{SN} được xác định bằng quá trình kiểm tra nghiệm thu được.

Các sai số do việc thiết lập các thông số đầu vào gồm: số vòng lặp δ_I , kích thước lưới δ_G , bước thời gian δ_T và các tham số khác, chúng được biểu diễn bởi phương trình (2.25) và (2.26) biểu diễn tính không chắc chắn trong mô phỏng.

$$\delta_{SN} = \delta_I + \delta_G + \delta_T + \delta_p \quad (2.25)$$

$$U_{SN} = U_I + U_G + U_T + U_p \quad (2.26)$$

tính không chắc chắn trong mô phỏng do việc mô hình hóa gây ra U_{SM} và sai số do việc mô hình hóa nằm trong thuật giải của phần mềm mô phỏng CFD. Do vậy hai thành phần này không được xét đến trong quá trình kiểm tra kết quả mô phỏng.

- Quy trình kiểm tra

Quá trình kiểm tra đối với các tham số đầu vào (ví dụ kích thước lưới và bước thời gian) được tiến hành với việc sử dụng cách tiếp cận đa nghiệm (m). Để làm được điều này, chúng ta cần sử dụng tối thiểu 3 nghiệm ($m=3$) được tinh chỉnh đồng nhất với mức tăng dần Δx_k , trong đó hệ số tỷ lệ làm mịn được xác định theo biểu thức:

$$r_i = \Delta x_{k_m} / \Delta x_{k_{m-1}} \quad (2.27)$$

Theo khuyến nghị của ITTC [54] hệ số tỷ lệ làm mịn có giá trị là $\sqrt{2}$ hoặc 2. Tiếp đến tỷ lệ hội tụ (R_k) được định nghĩa để cung cấp các thông tin về sự hội tụ hoặc phân kỳ của nghiệm theo biểu thức:

$$R_k = \frac{\varepsilon_{i,21}}{\varepsilon_{i,32}} \quad (2.28)$$

Trong công thức (2.28), $\varepsilon_{i,21}$ và $\varepsilon_{i,31}$ là sự khác nhau về kết quả mô phỏng với việc sử dụng tham số đầu vào là mịn, trung và mảnh. $\varepsilon_{i,21} = S_{i,2} - S_{i,1}$ là sự khác nhau giữa kết quả khi sử dụng tham số đầu vào là mịn (lưới mịn) và trung (lưới cỡ trung). $\varepsilon_{i,32} = S_{i,3} - S_{i,2}$ là sự khác nhau giữa kết quả khi sử dụng tham số đầu vào là trung (lưới cỡ trung) và mảnh (lưới mảnh).

Tùy thuộc vào dấu và biên độ của R_k , sẽ có 3 trường hợp xảy ra gồm:

- Hội tụ đơn điệu $0 < R_k < 1$;
- Hội tụ phân kỳ $R_k < 0$;
- Không hội tụ $R_k > 1$.

Đối với hội tụ phân kỳ, tính không chắc chắn của nghiệm được xác định qua biểu thức:

$$U_i = \frac{1}{2}(S_U + S_L) \quad (2.29)$$

Trong đó S_U là giá trị lớn nhất của sự phân kỳ, S_L là giá trị nhỏ nhất của sự phân kỳ. Đối với trường hợp không hội tụ, sai số và tính không chắc chắn của nghiệm sẽ không thể xác định được.

Đối với trường hợp hội tụ đơn điệu, việc ngoại suy theo Richardson sẽ được sử dụng để xác định tính mức độ chính xác p_i , sai số δ_{RE} và thông số hiệu chỉnh C_i theo các công thức sau:

$$p_i = \frac{\ln(\varepsilon_{i,32} / \varepsilon_{i,21})}{\ln(r_i)} \quad (2.30)$$

$$\delta_{RE_{i,l}} = \frac{\varepsilon_{i,21}}{r_i^{p_i} - 1} \quad (2.31)$$

$$C_i = \frac{r_i^{p_i} - 1}{r_i^{p_{iest}} - 1} \quad (2.32)$$

ở đây p_{iest} là mức độ chính xác giới hạn có giá trị là 2 [55].

Tính không chắc chắn trong mô phỏng theo cách tiếp cận đúng (U_{ic}) và sai (U_i) được xác định như sau:

$$U_i = \begin{cases} [9,6(1 - C_i)^2 + 1,1] |\delta_{RE_{i,l}}|, & |1 - C_i| < 0,125 \\ [2|1 - C_i| + 1] |\delta_{RE_{i,l}}|, & |1 - C_i| \geq 0,125 \end{cases} \quad (2.33)$$

$$U_{ic} = \begin{cases} [2,4(1-C_i)^2 + 0,1] |\delta_{RE_{i,l}}|, & |1-C_i| < 0,25 \\ [|1-C_i|] |\delta_{RE_{i,l}}|, & |1-C_i| \geq 0,25 \end{cases} \quad (2.34)$$

- Quy trình xác nhận

Tổng của tính không chắc chắn trong mô phỏng theo cách tiếp cận đúng và sai được xác định dựa trên biểu thức:

$$U_V^2 = U_D^2 + U_{SN}^2 \quad (2.35)$$

$$U_{SN}^2 = U_G^2 + U_T^2 + U_I^2 + U_P^2 \quad (2.36)$$

ở đây: U_D – là tính không chắc chắn của kết quả thực nghiệm (thông thường giá trị này bằng 0); U_G – tính không chắc chắn của lưới; U_T – tính không chắc chắn của bước thời gian; U_I – tính không chắc chắn của vòng lặp; U_P – tính không chắc chắn của các yếu tố khác.

Sau khi có được các kết quả tính toán tính không chắc chắn của kết quả mô phỏng thu được, người ta sẽ đi tiến hành xác nhận kết quả mô phỏng (kết quả mô phỏng đạt được đầy đủ độ tin cậy) bằng việc so sánh tính không chắc chắn U_V với sai số $|E|$ và yêu cầu về mức độ không chắc chắn của kết quả mô phỏng. Khi đó sẽ có 6 khả năng sau ra như sau:

1. $|E| < U_V < U_{reqd}$
2. $|E| < U_{reqd} < U_V$
3. $U_{reqd} < |E| < U_V$
4. $U_V < |E| < U_{reqd}$
5. $U_V < U_{reqd} < |E|$
6. $U_{reqd} < U_V < |E|$

Trường hợp 1, 2 và 3 $|E| < U_V$ ứng với trường hợp quá trình xác nhận là đạt được ở mức U_V ; Trường hợp 4,5 và 6 $U_V < |E|$ ứng với trường hợp quá trình xác nhận là không đạt.

2.5. Cơ sở lý thuyết phương pháp Taguchi kết hợp phân tích tương quan xám

Tiến sĩ Taguchi (Nhật Bản) là người đặt nền móng cho phương pháp thiết kế bền vững (Robust Design), cũng là người đề xuất phương pháp thực nghiệm mang tên ông. Phương pháp Taguchi là phương pháp thiết kế thực nghiệm mạnh, với các ưu điểm sau:

- Có thể khảo sát đồng thời nhiều biến thiết kế (có thể khảo sát được đồng thời 50 biến thiết kế cùng lúc);
- Đưa ra số lượng các trường hợp thực nghiệm hay cần tính toán là nhỏ nhất thông qua việc sử dụng ma trận trực giao, từ đó giảm được thời gian cần thiết trong thiết kế.
- Cho phép xác định được xu hướng và mức độ ảnh hưởng của từng biến thiết kế đến kết quả đầu ra. Từ đó, giúp người thiết kế nhanh chóng tìm ra các biến thiết kế và phạm vi cần tác động để nhận được hiệu quả đầu ra tốt nhất.

Với những ưu điểm của phương pháp này nên nó hiện đang được ứng dụng rộng rãi trong lĩnh vực kỹ thuật nói chung và trong thiết kế hình dáng thân tàu nói riêng [26, 27, 30, 56, 57].

Tuy nhiên, phương pháp Taguchi không thể giải quyết được bài toán thiết kế đa mục tiêu như trong bài toán tối ưu hóa lực cản tàu chạy pha sông biển vì trong trường hợp này tàu sẽ chạy ở các độ sâu khác nhau. Khi đó, tuyến hình tàu tối ưu khi chạy ở vùng nước sâu chưa chắc đã tối ưu khi chạy ở vùng nước nông. Như vậy, ở đây cần thiết lập hàm tối ưu đa mục tiêu dựa trên trọng số thời gian hành trình mà tàu khai thác ở các khu vực có các độ sâu khác nhau. Vấn đề này sẽ được NCS trình bày rõ hơn ở phần sau. Chính vì vậy, trong trường hợp này, người ta sẽ kết hợp phương pháp Taguchi kết hợp với phân tích tương quan xám [58, 59]

Theo [27, 60], phương pháp Taguchi kết hợp với phân tích tương quan xám được thực hiện với 15 bước như trên Hình 2.12.

Bước 1: Xác định vấn đề

Tại bước này người thiết kế sẽ xác định hàm mục tiêu mình cần hướng đến là gì và các yếu tố nào ảnh hưởng đến kết quả tối ưu và các điều kiện ràng buộc liên quan.

Bước 2: Lựa chọn biến thiết kế và giới hạn thay đổi của biến

Tại bước này người thiết kế sẽ lựa chọn các biến thiết kế để tối ưu (x_i), có ảnh hưởng đến thông số đầu ra ($y_i = f(x_1, x_2, x_3 \dots x_n)$); Xác định giới hạn thay đổi của biến thiết kế ($\min x_i \leq x_i \leq \max x_i$) và các quan hệ có thể có giữa các biến thiết kế. Mức độ khảo sát cho các biến tùy thuộc vào ảnh hưởng của nó đến đáp ứng (giá trị hàm mục tiêu). Việc lựa chọn số mức (miền giá trị) thay đổi của biến cần thỏa mãn yêu cầu sau: Nếu biến ảnh hưởng tuyến tính thì số mức thay đổi của biến cần chọn tối thiểu là 2 trở lên. Trường hợp nếu ảnh hưởng là phi tuyến thì số mức cho các biến tối thiểu là 3 trở lên [60].



Hình 2.12. Sơ đồ thiết kế tối ưu theo phương pháp Taguchi kết hợp phân tích tương quan xám

Bước 3: Lựa chọn dạng ma trận trực giao

Trên cơ sở ma trận trực giao tiêu chuẩn của Taguchi, ta tiến hành lựa chọn dạng ma trận trực giao tùy vào số biến thiết kế và các giá trị của biến. Ví dụ ma trận trực giao theo phương pháp Taguchi với 4 biến thiết kế, mỗi biến có 3 giá trị (ví dụ 1, 2, 3) được trình bày trên Bảng 2.6. Ở Bảng 2.6, hàng là số các trường hợp cần tính toán hay làm thực nghiệm, cột là các biến và giá trị của chúng. Từ Bảng 2.6 ta thấy, để khảo sát ảnh hưởng đồng thời của 4 biến thiết kế đến giá trị đầu ra y_i , theo phương pháp Taguchi ta chỉ cần phải tiến hành tính toán hay tiến hành thực nghiệm với tổng số 09 phương án. Trong khi nếu sử dụng phương pháp thiết kế giai thừa thì số phương án cần tính sẽ là $3^4=81$ phương án. Một số dạng ma trận trực giao tiêu chuẩn theo phương pháp taguchi với sự thay đổi của số lượng biến thiết kế và giá trị thay đổi của biến được trình bày trong tài liệu [60]. Việc lựa chọn số lượng các phương án cần tính toán (tức dạng ma trận trực giao tiêu chuẩn) cần đảm bảo nó lớn hơn số bậc tự do được tính theo công thức (2.37), cụ thể như sau [59]:

$$DOF = (P - 1)(F) + (P - 1)(P - 1)(Q) + 1 \quad (2.37)$$

Trong đó F là số biến, P là số mức, Q là số tương tác. Trong tương tác giữa các biến =0

Bảng 2.6. Bảng ma trận trực giao theo phương pháp Taguchi

Số phương án cần thực nghiệm hay cần tính, n	Các biến thiết kế và số mức của biến				Giá trị đầu ra, y_i
	x_1	x_2	x_3	x_4	
1	1	1	1	1	y_1
2	1	2	2	2	y_2
3	1	3	3	3	y_3
4	2	1	2	3	y_4

5	2	2	3	1	y_5
6	2	3	1	2	y_6
7	3	1	3	2	y_7
8	3	2	1	3	y_8
9	3	3	2	1	y_9

Bước 4: Thực hiện tính toán mô phỏng

Tại bước này ta sẽ tiến hành tính toán mô phỏng hoặc tiến hành thực nghiệm các phương án trong ma trận trực giao có được ở bước 3 để thu được các số liệu liên quan đến thông số đầu ra y_i .

Bước 5: Phân tích tỷ số tín hiệu/nhiều đối với từng biến

Ở bước này, ta sẽ tiến hành phân tích số liệu theo tỷ số S/N (tỷ số tín hiệu/nhiều) được chuyển đổi từ hàm số mất mát $L=k(y-m)^2$, trong đó L là mất mát do sai lệch giá trị đáp ứng y (giá trị của hàm mục tiêu) nhận được so với giá trị đáp ứng m mong muốn, k là hằng số. Tỷ số S/N phụ thuộc vào mục tiêu “lớn hơn tốt hơn”, “nhỏ hơn tốt hơn” hoặc “đánh giá ảnh hưởng của các biến thiết kế” bằng việc sử dụng các công thức từ (2.38) đến (2.39). Sau đó xác định giá trị thực nghiệm hay tính toán tối ưu của các biến thiết kế.

- Nếu giá trị thông số đầu ra y_i cần đạt “Lớn hơn tốt hơn” thì:

$$\frac{S}{N} = -10 \log_{10} \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{y_i^2} \right) \quad (2.38)$$

- Nếu giá trị thông số đầu ra y_i cần đạt “Nhỏ hơn tốt hơn” thì:

$$\frac{S}{N} = -10 \log_{10} \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \right) \quad (2.39)$$

- Nếu giá trị thông số đầu ra y_i cần đạt “Đánh giá ảnh hưởng của các biến thiết kế” thì:

$$\frac{S}{N} = 10 \log_{10} \left(\frac{\bar{y}_i^2}{s_i^2} \right) \quad (2.40)$$

Trong đó:

$$\bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{u=1}^n y_u; s^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{u=1}^n (y_u - \bar{y})^2 \quad (2.41)$$

ở đây n , s và $\bar{y}$ lần lượt là số thực nghiệm hay số trường hợp tính cần thực hiện, độ lệch chuẩn, và giá trị trung bình của kết quả đầu ra.

Bước 6: Xử lý và chuẩn hóa dữ liệu

Ở bước này ta sẽ chuyển chuỗi giá trị gốc thành chuỗi giá trị có thể so sánh được. Tỷ số S/N của mỗi giá trị đáp ứng (response) sẽ được chuẩn hóa thành $z_i(k)$ ($0 \leq z_i(k) \leq 1$) để tránh ảnh hưởng của việc áp dụng các đơn vị khác nhau và giảm sự biến thiên.

Việc tính toán các giá trị chuẩn hóa $z_i(k)$ của tỷ số S/N cho n các thí nghiệm nhằm điều chỉnh các giá trị đo trên các thang đo khác nhau về một thang đo chung. Các giá trị chuẩn hóa của tỷ số S/N thay đổi trong dải từ 0 đến 1.

Giá trị càng lớn càng tốt sẽ được xác định theo biểu thức.

$$z_i(k) = \frac{\eta_i(k) - \min \eta_i(k)}{\max \eta_i(k) - \min \eta_i(k)} \quad (2.42)$$

Giá trị càng nhỏ càng tốt sẽ được xác định theo biểu thức.

$$z_i(k) = \frac{\max \eta_i(k) - \eta_i(k)}{\max \eta_i(k) - \min \eta_i(k)} \quad (2.43)$$

Trong đó: $z_i(k)$ là giá trị chuẩn hóa của tỷ số S/N đối với đáp ứng thứ k ($k=1, 2, \dots, m$) của thí nghiệm thứ i ; $\eta_i(k)$ là chuỗi giá trị gốc của tỷ số S/N; $\max \eta_i(k)$ và $\min \eta_i(k)$ là tương ứng là giá trị lớn nhất và nhỏ nhất của tỷ số S/N.

Bước 7: Xác định chuỗi độ lệch

Chuỗi độ lệch được xác định theo biểu thức sau:

$$\Delta_{0i}(k) = \|z_0(k) - z_i(k)\| \quad (2.44)$$

Trong đó: $\Delta_{0i}(k)$ là sự khác nhau tuyệt đối giữa $z_0(k)$ và $z_i(k)$; $z_0(k)$ là giá trị lý tưởng (tối ưu, thường bằng 1 ở chuỗi giá trị chuẩn hóa) đối với đáp ứng thứ k .

Bước 8: Xác định hệ số tương quan xám

Hệ số tương quan xám biểu thị mối quan hệ giữa tỷ số S/N chuẩn hóa tốt nhất và thực tế. Hệ số tương quan xám có thể được tính như sau:

$$\gamma_i(k) = \frac{\Delta_{\min} + \delta\Delta_{\max}}{\Delta_{0i}(k) + \delta\Delta_{\max}} \quad (2.45)$$

Trong đó: $\Delta_{\min}$ là giá trị nhỏ nhất của Δ_{0i} ; $\Delta_{\max}$ là giá trị lớn nhất của Δ_{0i} , và δ là hệ số phân biệt $0 \leq \delta \leq 1$ để điều chỉnh giá trị $\gamma_i(k)$. δ thường được thiết lập với giá trị là 0.5 cho phân bố trung bình.

Bước 9: Xác định trọng số tương quan xám

Trọng số của các đáp ứng sẽ được xác định dựa trên hàm ánh xạ $f_i: [0, 1] \rightarrow [0, 1]$ hàm ánh xạ này cần phải đáp ứng 02 điều kiện sau:

$$f_i(0) = 0 \quad (2.46)$$

$$f_i(x) = f_i(1-x) \quad (2.47)$$

Trong đó: $f_i(x)$ là hàm số đơn điệu tăng trong dải $x \in (0, 0.5)$

Do đó, để định nghĩa hàm ánh xạ cho phép đo entropy, được định nghĩa như sau:

$$w_e(x) = xe^{(1-x)} + (1-x)e^x - 1 \quad (2.48)$$

Hàm số này cho giá trị lớn nhất khi $x=0.5$ khi đó $w_e(0.5)=e^{0.5} - 1=0,6487$

Để có được kết quả ánh xạ trong khoảng $[0, 1]$, một entropy mới được định nghĩa như sau:

$$W \equiv \frac{1}{(e^{0.5} - 1)} \sum_{i=1}^n w_e(x_i) \quad (2.49)$$

Các bước sau được sử dụng để tính trọng số của mỗi đáp ứng

Tổng hệ số tương quan xám trong tất cả các chuỗi của mỗi đặc tính chất lượng được xác định như sau:

$$D_k = \sum_{i=1}^n \gamma_i(k), \quad k = 1, \dots, m \quad (2.50)$$

Entropy của mỗi đáp ứng được xác định như sau:

$$e_k = K \sum_{i=1}^n w_e \left(\frac{\gamma_i(k)}{D_k} \right) \quad (2.51)$$

Trong đó: $K = \frac{1}{(e^{0.5} - 1) \times n} = \frac{1}{0,6487 \times n}$ là hệ số chuẩn hóa

Tổng của Entropy được xác định như sau:

$$E = \sum_{k=1}^m e_k \quad (2.52)$$

Trọng số chuẩn hóa của từng đáp ứng được xác định như sau:

$$w_k = \frac{1}{m - E} \times \frac{1 - e_k}{\sum_{k=1}^m \frac{1}{m - E} (1 - e_k)} \quad (2.53)$$

Trong đó: $\lambda_k = (1 - e_k)/(m - E)$ là hệ số trọng số tương đối.

Bước 10: Xác định bậc tương quan xám

Bậc tương quan xám (GRG) được tính toán dựa trên giá trị trung bình của các hệ số tương quan xám. Các giá trị bậc tương quan xám được lấy làm đại diện duy nhất cho nhiều đáp ứng. Bậc tương quan xám phản ánh mức độ ảnh hưởng giữa chuỗi so sánh và chuỗi tham chiếu. Nếu bậc tương quan xám bằng 1, điều này có nghĩa là các chuỗi là giống hệt nhau và tất cả đều có giá trị bằng một. Bậc tương quan xám cao tương ứng với mức độ quan hệ mạnh giữa chuỗi gốc và chuỗi tham chiếu và tạo ra các yếu tố kết hợp gần với thiết lập tối ưu. Về mặt toán học, Bậc tương quan xám được biểu thị như sau:

$$\Psi_i = \sum_{k=1}^m w_k \gamma_i(k) \quad (2.54)$$

Trong đó: $\sum_{k=1}^m w_k = 1$, w_k ký hiệu cho trọng số chuẩn hóa đối với đáp ứng thứ k.

Bước 11: Lập bảng và đồ thị đáp ứng của bậc tương quan xám

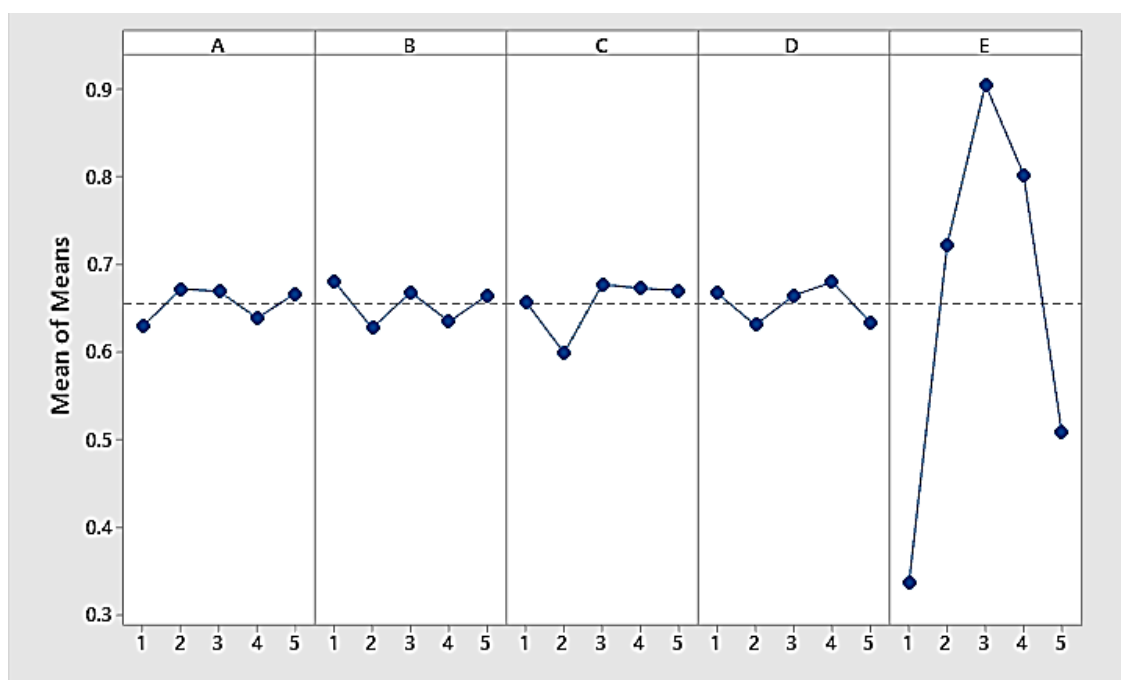
Trên cơ sở các kết quả tính toán được ở các bước trên, ta sẽ tiến hành lập bảng và đồ thị đáp ứng của bậc tương quan xám. Trên cơ sở đó sẽ xác định các thông số tối ưu.

Bước 12: Tính toán phương sai đối với bậc tương quan xám

Việc tính toán và phân tích phương sai được sử dụng để đánh giá mức độ ảnh hưởng của từng yếu tố đến bậc tương quan xám.

Bước 13: Xác định ảnh hưởng của các biến thiết kế đến bậc tương quan xám

Với các số liệu thu được từ các bước ở trên, ta sẽ tiến hành xác định ảnh hưởng của các biến thiết kế đến bậc tương quan xám dựa vào sự hỗ trợ của phần mềm Minitab. Kết quả sẽ được xuất ra dưới dạng bảng và đồ thị như trên Hình 2.13.



Hình 2.13. Ảnh hưởng của các biến thiết kế đến bậc tương quan xám

Bước 14: Xác định bậc tương quan xám tối ưu theo thông số tối ưu

Bậc tương quan xám tối ưu sẽ được xác định trên cơ sở tính đến ảnh hưởng của tất cả các thông số hoặc các thông số ảnh hưởng lớn nhất. Giá trị trung bình của bậc tương quan xám tối ưu được xác định như sau:

$$\mu_G = G_m + \sum_{s=1}^q (G_0 - G_m) \quad (2.55)$$

Trong đó: G_m – là tổng giá trị trung bình của bậc tương quan xám; G_0 – là giá trị trung bình tối ưu của bậc tương quan xám đối với từng giá trị của biến thiết kế; q – là số lượng các thông số có ảnh hưởng lớn đến bậc tương quan xám.

Bước 15: Mô phỏng, thực nghiệm để khẳng định độ tin cậy của kết quả

Sau khi đã xác định được các biến thiết kế tối ưu, ta sẽ thực hiện việc mô phỏng tính toán ứng phương án tối ưu để khẳng định độ chính xác của mô hình toán đưa ra.

2.6. Kết luận Chương 2

Với các nội dung nghiên cứu ở Chương 2 mà nghiên cứu sinh đã thực hiện, Chương này đã giải quyết được các vấn đề sau:

- Đã trình bày được cơ sở phương pháp luận trong nghiên cứu ảnh hưởng của điều kiện khai thác (nước nông) đến sự thay đổi lực cản tàu;
- Đã khảo sát thu thập được các số liệu về đặc điểm của tuyến đường thủy nội địa Việt Nam, hệ thống các cảng, phục vụ cho việc xác định chiều dài tuyến hành trình của tàu mang cấp VR-SB khi chạy trong sông;
- Đã phân tích, tổng hợp được các thông số hình dáng thân tàu ảnh hưởng đến lực cản tàu. Trong các thông số đó đã phân tích lựa chọn ra được 05 thông số quan trọng ảnh hưởng lớn đến lực cản tàu để phục vụ cho bài toán lựa chọn hợp lý hình dáng thân tàu;
- Đã trình bày được cơ sở lý thuyết trong mô phỏng tính toán lực cản tàu bằng phương pháp số CFD;

- Đã trình bày được cơ sở lý thuyết của phương pháp kiểm tra và xác nhận kết quả tính toán bằng CFD;

- Đã trình bày được cơ sở lý thuyết của phương pháp Taguchi kết hợp phân tích tương quan xám trong việc xác định phương án tối ưu và đánh giá mức độ ảnh hưởng của từng tham số thiết kế đến giá trị hàm mục tiêu.

CHƯƠNG 3. XÂY DỰNG MÔ HÌNH VÀ QUY TRÌNH CẢI TIẾN HÌNH DÁNG THÂN TÀU HÀNG CẤP VR-SB

3.1. Xây dựng mô hình bài toán cải tiến hình dáng thân tàu hàng cấp VR-SB

3.1.1. Mô hình bài toán tối ưu tổng quát

Dựa trên sơ đồ thiết kế tối ưu theo phương pháp Taguchi kết hợp phân tích tương quan xám đã được NCS trình bày trong Chương 2, ta có thể thấy rằng trong mô hình bài toán tối ưu tổng quát, cần xác định được các yếu tố chính sau:

- Xác định được các biến thiết kế;
- Xác định được các điều kiện ràng buộc.
- Xác định được hàm mục tiêu;

Đối với các biến thiết kế $X = X(x_1, x_2, \dots, x_n)$ cần tối ưu, các thành phần của vector biến biến thiết kế có các giới hạn nằm trong dải giá trị từ min đến max như trong công thức (3.1). Đây là các biến mà giá trị của chúng cần được xác định để tối ưu hóa hàm mục tiêu $F(x)$, nghĩa là ta sẽ đi xác định giá trị của biến thiết kế x_i để giá trị của hàm mục tiêu $F(x)$ đạt cực trị như trong biểu thức (3.2).

$$\min x_i \leq x_i \leq \max x_i \quad (3.1)$$

$$y = f(x_i) \rightarrow \max(\min) \quad (3.2)$$

Với các điều kiện ràng buộc:

$$g_i(x_1, x_2, \dots, x_n) \leq, =, \geq b_i \quad (3.3)$$

ở đây: $F(x_i)$ - là hàm mục tiêu; $g_i(x)$ - là các điều kiện ràng buộc, mỗi đẳng thức hoặc bất đẳng thức trong công thức (3.3) là một điều kiện ràng buộc; b_i - là hằng số.

Tất cả miền R thỏa mãn các điều kiện ràng buộc $g_i(x)$ sẽ thuộc miền nghiệm. Khi đó mỗi điểm ứng với giá trị của các biến thiết kế $x_i = (x_1, x_2, \dots, x_n) \in R$ sẽ là một phương án và phương án $x_i^* \in R$ làm cho hàm mục tiêu $f(x_i)$ đạt giá trị cực trị gọi là phương án tối ưu.

Bài toán trên được gọi là bài toán tối ưu đơn mục tiêu, với chỉ một hàm cần phải đạt đến cực trị tùy theo nội dung giải quyết. Tuy nhiên, trong thực tế ta có thể gặp phải bài toán đa mục tiêu được thể hiện dưới dạng tổng quát sau:

$$F(x) = [f_1(x), f_2(x), \dots, f_n(x)] \rightarrow \max (\min) \quad (3.4)$$

Trong đó $F(x)$ - là hàm đa mục tiêu chung; $f_i(x)$ - là các hàm đơn mục tiêu riêng lẻ.

Ở bài toán đa mục tiêu, mỗi mục tiêu có thể có xung đột nhau nên đôi khi khó có lời giải tối ưu đồng thời cho tất cả các mục tiêu đơn. Chính vì vậy, lời giải cho bài toán đa mục tiêu sẽ không phải là duy nhất như bài toán đơn mục tiêu. Hiện nay, để giải quyết bài toán đa mục tiêu nói trên người ta sử dụng phương pháp tổng các hàm trọng số. Hàm này được xây dựng trên cơ sở chuyển hàm đa mục tiêu thành hàm đơn mục tiêu bằng cách nhân hàm mục tiêu đơn lẻ với các trọng số đưa vào. Khi đó, hàm đa mục tiêu sẽ được viết lại theo các hàm đơn mục tiêu riêng lẻ dưới dạng tổng quát sau:

$$f(x) = \sum_{i=1}^n w_i f_i(x) = w_1 f_1(x) + w_2 f_2(x) + \dots + w_n f_n(x) \rightarrow \min \quad (3.5)$$

Trong đó: w_i - là trọng số hàm mục tiêu đơn thứ i . Trọng số w_i cần thỏa mãn điều kiện sau:

$$\sum_{i=1}^k w_i = 1 \text{ và } w_i > 0 \quad (3.6)$$

Ưu điểm của phương pháp này là khi đưa được hàm đa mục tiêu về đơn mục tiêu thì bài toán trở nên dễ giải quyết. Tuy nhiên, phương pháp này chỉ thích hợp và đảm bảo độ tin cậy trong trường hợp có thể quy đổi giá trị các mục tiêu về cùng một đơn vị đo lường và cùng xu thế tăng hoặc giảm. Khi đó, tùy theo tầm quan trọng của từng mục tiêu mà xác định giá trị của các trọng số w_i .

3.1.2. Mô hình bài toán cải tiến hình dáng thân tàu hàng cấp VR-SB tổng quát

Dựa trên mô hình bài toán tối ưu tổng quát ở trên, NCS đã tiến hành xây dựng mô hình bài toán cải tiến hình dáng thân tàu hàng cấp VR-SB dưới góc độ giảm lực cản bao gồm các yếu tố chính là biến thiết kế, hàm mục tiêu và các điều kiện ràng buộc, cụ thể như sau:

➤ Xác định biến thiết kế

Việc lựa chọn đúng biến thiết kế có vai trò quan trọng trong bài toán tối ưu. Như đã phân tích trong Chương 2 về cơ sở lý thuyết, có 05 thông số hình dáng thân tàu có ảnh hưởng lớn đến lực cản tàu gồm:

- Vị trí hoành độ tâm nổi (LCB);
- 03 tham số của mũi quả lê gồm: hệ số chiều dài C_{LPR} , hệ số diện tích mặt cắt ngang C_{ABT} và hệ số thể tích C_{VPR} của mũi quả lê;
- $\frac{1}{2}$ góc vào nước ($1/2\alpha_E$) tại đường nước thiết kế.

Căn cứ trên kinh nghiệm và các tài liệu [11, 14, 15], dải thay đổi của các biến thiết kế được xác định dựa trên giá trị ban đầu của tuyến hình tàu cần cải tiến, cụ thể:

$$\begin{aligned} -0,02 &\leq \frac{LCB_i - LCB_0}{LCB_0} \leq 0,02 \\ -0,05 &\leq \frac{1/2\alpha_{Ei} - 1/2\alpha_{E0}}{1/2\alpha_{E0}} \leq 0,05 \\ -0,15 &\leq \frac{C_{LPRi} - C_{LPR0}}{C_{LPRi}} \leq 0,15 \\ -0,135 &\leq \frac{C_{ABTi} - C_{ABT0}}{C_{ABT0}} \leq 0,135 \\ -0,20 &\leq \frac{C_{VPRi} - C_{VPR0}}{C_{VPRi}} \leq 0,20 \end{aligned} \quad (3.7)$$

Ở đây, chỉ số “0” trong công thức (3.7) ký hiệu cho các thông số của tuyến hình tàu cần cải tiến (ban đầu); chỉ số “i” ký hiệu cho phương án thay đổi thông số tuyến hình tàu so với tuyến hình ban đầu.

Theo phương pháp Taguchi đối với các biến có tính chất ảnh hưởng phi tuyến thì số mức cho các biến có thể là 3 hoặc 4 [60]. Ở đây, NCS đề xuất sử dụng 5 mức (5 giá trị) với mỗi biến.

➤ **Xác định các điều kiện ràng buộc**

Trong bài toán cải tiến các thông số hình dáng thân tàu, để đảm bảo các tính năng khác của tàu (tính ổn định, tính quay trở, dung tích, sức chở hàng...) ít bị ảnh hưởng nhất, điều kiện ràng buộc khi thay tiến hành tạo ra các phương án tuyến hình tàu như sau:

- Các kích thước chủ yếu của tàu gồm: Chiều dài hai đường vuông góc, Chiều rộng, chiều chìm, hệ số béo thể tích không thay đổi so với tàu mẫu.

- Sự thay đổi lượng chiếm nước do thay đổi các thông số hình học của mũi quả lê của tàu không vượt quá 0,5% theo biểu thức:

$$\frac{|\Delta_{m_i} - \Delta_{m_0}|}{\Delta_{m_0}} \leq 5 \times 10^{-3} \quad (3.8)$$

Trên cơ sở hai điều kiện ràng buộc này, ta sẽ đi tiến hành xây dựng các phương án tuyến hình tàu dựa trên cơ sở lý thuyết đã được trình bày trong Chương 2.

➤ **Xác định hàm mục tiêu**

Trên thực tế, trong thiết kế tuyến hình tàu ta chỉ có thể tối ưu được nó ở một chế độ khai thác nhất định (tại một tốc độ, một chiều chìm và độ sâu của nước cụ thể). Ví dụ, đối với các tàu biển, tuyến hình tàu thường được thiết kế tối ưu ở tốc độ và đường nước thiết kế khi hoạt động ở độ sâu không hạn chế. Khi đó, hàm mục tiêu trong thiết kế tuyến hình tàu sẽ là hàm đơn mục tiêu về lực cản. Tuy nhiên, đối với tàu pha sông biển, do tàu hoạt động cả trong sông lẫn ngoài biển nên điều kiện khai thác của tàu sẽ khác so với tàu biển. Cụ thể, tàu có thể hoạt động ở các độ sâu khác nhau (do khi chạy trong sông có sự giới hạn về độ sâu của nước), tốc độ tàu chạy trong sông khác với khi chạy ngoài biển. Đặc điểm khai

thác này của tàu pha sông biển dẫn tới tuyến hình tàu nếu chỉ được tối ưu ở một chế độ khai thác như tàu biển thì có thể không đạt được hiệu quả như mong muốn là tối ưu về lực cản tổng thể trên toàn tuyến hành trình và mức độ ảnh hưởng sẽ tăng lên nếu thời gian tàu hành trình trong sông chiếm một phần đáng kể trong tổng thời gian hành trình của các tàu pha sông biển, vì tuyến hình tàu tối ưu khi chạy ngoài biển chưa chắc đã tối ưu khi chạy trong sông.

Như vậy, nếu xét ảnh hưởng của điều kiện khai thác (độ sâu) và sự thay đổi tốc độ tàu khi chạy trong sông so với khi chạy ngoài biển thì bài toán tối ưu hình dáng tàu pha sông biển sẽ trở thành bài toán đa mục tiêu, gồm các hàm mục tiêu đơn lẻ về lực cản tàu ở điều kiện khai thác khác nhau i tương ứng với vận tốc tàu V_i . Khi đó, hàm mục tiêu tổng quát trong thiết kế tuyến hình tàu pha sông biển sẽ được biểu diễn giống như trong công thức (3.5) ở trên. Cụ thể hàm mục tiêu trong trường hợp này sẽ là:

$$R(x) = \sum_{i=1}^k w_i R_i(x) = w_1 R_1(x) + w_2 R_2(x) + \dots + w_n R_n(x) \rightarrow \min \quad (3.9)$$

Trong đó: $R(x)$ – là hàm sức cản đa mục tiêu; $R_i(x)$ – là hàm sức cản đơn mục tiêu ứng với từng điều kiện khai thác cụ thể của tàu (từng độ sâu và tốc độ tàu chạy trong đoạn tuyến đó); w_i – là trọng số của hàm mục tiêu thứ i có liên quan đến thời gian tàu hành trình ở điều kiện khai thác i tương ứng với vận tốc tàu V_i . Trọng số w_i cần thỏa mãn điều kiện sau như biểu thức (3.6) ở trên.

Như vậy, để giải bài toán hàm đa mục tiêu đặt ra ở đây, ta cần phải xác định được thời gian tàu hành trình trên từng đoạn tuyến khác nhau. Công thức xác định trọng số hàm mục tiêu thứ i được trình bày trong Bảng 3.1. Ở đây giả thiết rằng tàu chạy ở nhiều tuyến đường với các độ sâu khác nhau và tốc độ của tàu là không đổi khi chạy trên các tuyến đường tương ứng.

Bảng 3.1. Bảng tính trọng số của hàm mục tiêu thứ i

Đặc điểm tuyến đường	Độ sâu của đoạn sông h_i [m]	Chiều dài đoạn sông l_i [km]	Tốc độ tàu V_i [m/s]	Thời gian hành trình $t_i = \frac{l_i}{V_i} \times \frac{10^3}{3600}$ [Giờ]	Trọng số hàm mục tiêu thứ i $w_i = t_i / \sum_{i=1}^k t_i$ [-]
Đoạn sông 1	h_1	l_1	V_1	t_1	w_1
Đoạn sông 2	h_2	l_2	V_2	t_2	w_2
...	...	...	...	...	...
Ngoài biển	h_k	l_k	V_k	t_k	w_k

3.2. Xây dựng quy trình cải tiến hình dáng thân tàu hàng cấp VR-SB phù hợp với tuyến đường thủy nội địa Việt Nam

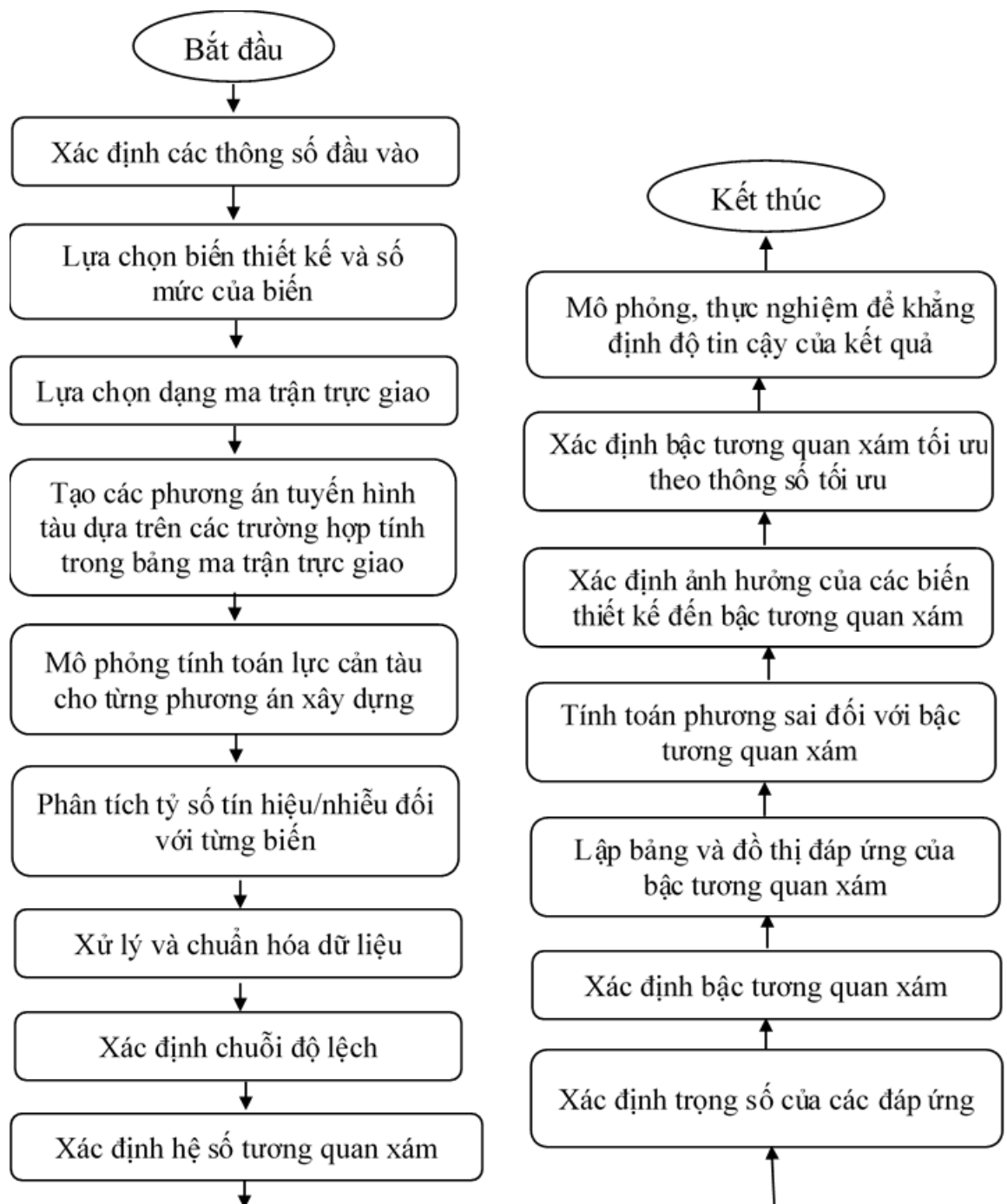
Căn cứ trên cơ sở lý thuyết đã trình bày ở Chương 2 và các nội dung đã được NCS đưa ra ở mục 3.1 của Chương 3. NCS xin đề xuất quy trình cải tiến hình dáng thân tàu hàng cấp VR-SB phù hợp với tuyến đường thủy nội địa Việt Nam như trên Hình 3.1. Quy trình cải tiến gồm 17 bước. Dưới đây NCS xin trình bày chi tiết về các bước trong quy trình này.

3.2.1. Xác định các thông số đầu vào

Để cải tiến hình dáng thân tàu hàng cấp VR-SB thì cần phải có các thông số đầu vào sau:

- Tuyến hình tàu ban đầu;
- Các thông tin về tuyến đường hoạt động của tàu gồm: độ sâu h_i , chiều dài l_i của các đoạn sông, biển mà tàu hành trình; tốc độ chuyển động V_i của tàu ứng với từng đoạn hành trình. Trên cơ sở các giá trị l_i và V_i ta sẽ xác

định được trọng số của hàm mục tiêu thứ i bằng cách sử dụng cách tính như trong Bảng 3.1.



Hình 3.1. Quy trình các bước cải tiến hình dáng thân tàu hàng cấp VR-SB

3.2.2. Lựa chọn biến thiết kế và số mức của biến

Bảng 3.2. Các biến thiết kế và số mức

Biến thiết kế	Mã code	Số mức (giá trị)				
		Mức 1	Mức 2	Mức 3	Mức 4	Mức 5
$1/2\alpha_E$	A	$0,95.(1/2\alpha_{E0})$	$0,975.(1/2\alpha_{E0})$	$1/2\alpha_{E0}$	$1,025.(1/2\alpha_{E0})$	$1,05.(1/2\alpha_{E0})$
C_{LPR}	B	$0,85.C_{LPR0}$	$0,925.C_{LPR0}$	C_{LPR0}	$1,075.C_{LPR0}$	$1,15.C_{LPR0}$
C_{ABT}	C	$0,865.C_{ABT0}$	$0,9325.C_{ABT0}$	C_{ABT0}	$1,0675.C_{ABT0}$	$1,135.C_{ABT0}$
C_{VPR}	D	$0,80.C_{VPR0}$	$0,90.C_{VPR0}$	C_{VPR0}	$1,10.C_{VPR0}$	$1,20.C_{VPR0}$
LCB	E	$0,98.LCB_0$	$0,99.LCB_0$	LCB_0	$1,01.LCB_0$	$1,02.LCB_0$

Như đã trình bày ở Chương 2, số biến thiết kế được lựa chọn ở đây là 05 biến (thỏa mãn yêu cầu tối thiểu là 3 đối với biến ảnh hưởng phi tuyến đến hàm mục tiêu), với số mức (giá trị) của biến là 5 và dựa biên độ dao động của từng biến được thể hiện ở công thức (3.7). Ta sẽ tiến hành xác định giá trị của 5 biến như trình bày trong Bảng 3.2. Trong đó mức 3 sẽ là giá trị của biến thiết kế ứng với tuyến hình ban đầu của tàu, mức 1 và mức 5 sẽ là giá trị min và max của biến thiết kế, mức 2 và mức 4 lần lượt là giá trị trung bình của giá trị *min* và *max* với giá trị ban đầu của biến.

3.2.3. Lựa chọn dạng ma trận trực giao

Trên cơ sở ma trận trực giao tiêu chuẩn của Taguchi trong phần mềm Minitab, với đầu vào là 5 biến thiết kế và mỗi biến có 05 mức ta sẽ xác định được dạng ma trận trực giao trong trường hợp này là ma trận L25(5x5) với 25 trường hợp kết hợp của các biến như được thể hiện trên Bảng 3.3. Với số lượng phương án tính hoàn toàn thỏa mãn yêu cầu lớn hơn số bậc tự do tính được là 21 ($DOF=(P-$

$1)F+(P-1)(P-1)(Q+1) = (5-1) \times 5 + (5-1) \times (5-1) \times 0 + 1 = 21$). Các số 1,2,3,4,5 ở các cột của biến thiết kế ký hiệu cho giá trị của các biến lấy từ Bảng 3.3.

Bảng 3.3. Bảng ma trận trực giao lựa chọn các phương án để tính toán

Trường hợp tính	Biến thiết kế và các mức				
	$1/2\alpha_E$	C_{LPR}	C_{ABT}	C_{VPR}	LCB
Phương án ban đầu	3	3	3	3	3
1	1	1	1	1	1
2	1	2	2	2	2
3	1	3	3	3	3
4	1	4	4	4	4
5	1	5	5	5	5
6	2	1	2	3	4
7	2	2	3	4	5
8	2	3	4	5	1
9	2	4	5	1	2
10	2	5	1	2	3
11	3	1	3	5	2
12	3	2	4	1	3
13	3	3	5	2	4
14	3	4	1	3	5
15	3	5	2	4	1
16	4	1	4	2	5
17	4	2	5	3	1

Trường hợp tính	Biến thiết kế và các mức				
	$1/2\alpha_E$	C_{LPR}	C_{ABT}	C_{VPR}	LCB
18	4	3	1	4	2
19	4	4	2	5	3
20	4	5	3	1	4
21	5	1	5	4	3
22	5	2	1	5	4
23	5	3	2	1	5
24	5	4	3	2	1
25	5	5	4	3	2

3.2.4. Tạo các phương án tuyến hình tàu

Trên cơ sở 25 trường hợp cần tính toán được thể hiện trên Bảng 3.3, ta sẽ đi tiến hành xây dựng 25 phương án tuyến hình tàu. Mỗi phương án tương ứng với sự kết hợp giá trị của 5 biến thiết kế như trên Bảng 3.3. Việc xây dựng phương án tuyến hình tàu sẽ được tiến hành dựa trên cơ sở lý thuyết đã nêu ở Chương 2. Ở đây trong quá trình xây dựng các phương án tuyến hình tàu cần đảm bảo được các điều kiện ràng buộc được nêu ở mục 3.1.1 ở trên.

3.2.5. Mô phỏng tính toán lực cản tàu

Sau khi đã xây dựng xong 25 phương án tuyến hình tàu dưới dạng mô hình 3D, ta sẽ đi tiến hành mô phỏng tính toán lực cản tàu bằng CFD cho 25 phương án tuyến hình này ở các điều kiện khai thác khác nhau (độ sâu của nước, tốc độ) đã được đề cập đến trong mục 3.2.1 ở trên. Quy trình mô phỏng tính toán lực cản tàu bằng CFD ở điều kiện nước nông (ứng với trường hợp tàu chạy trong sông) và nước sâu (ứng với trường hợp khi tàu chạy ngoài biển) được trình bày trên Hình 3.2 với 4 bước chính gồm [15], [61]:

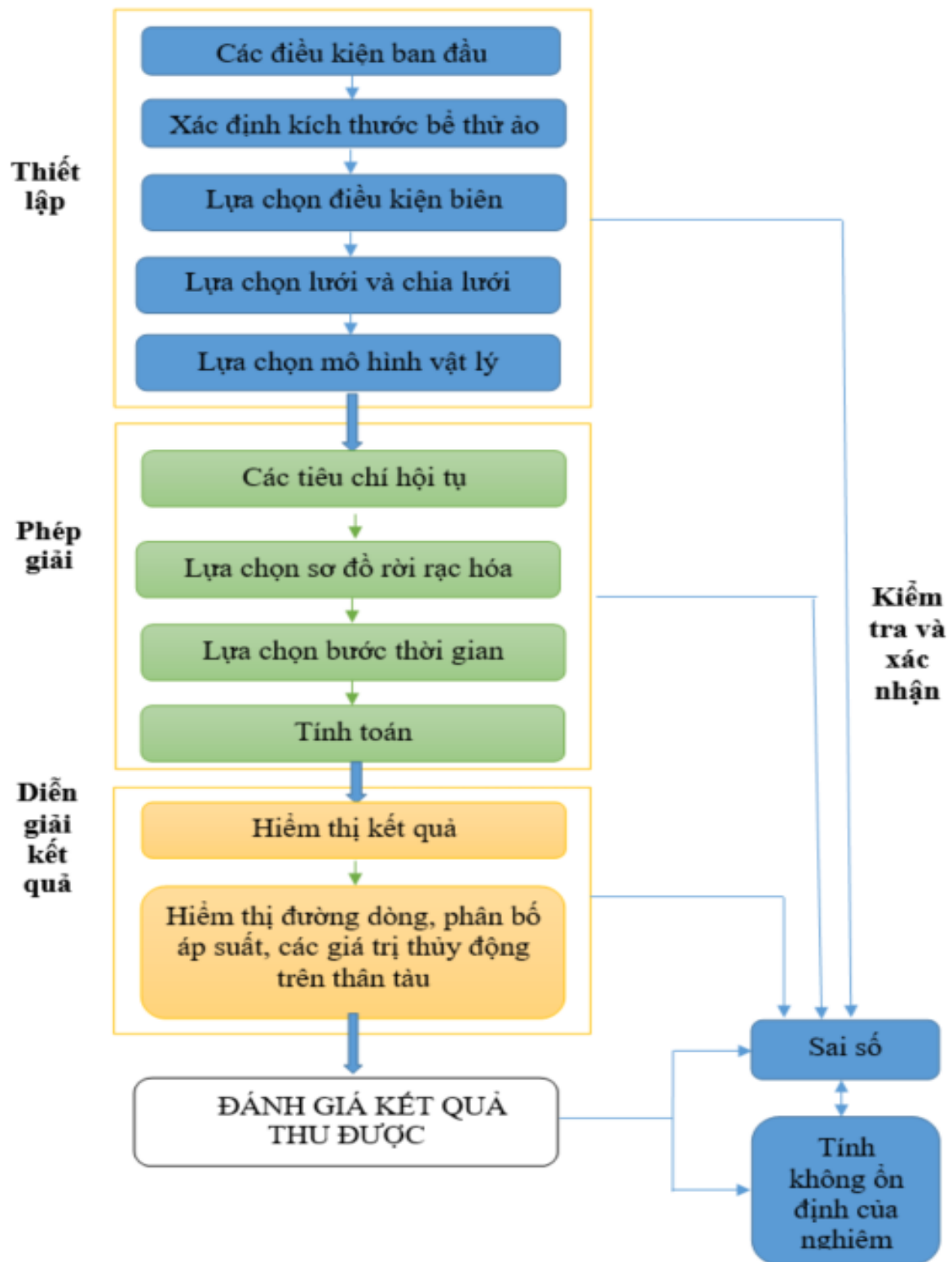
- + Thiết lập tính toán;
- + Lựa chọn lời giải;
- + Diễn giải kết quả;
- + Phân tích và đánh giá kết quả thu được.

Trong bước **Thiết lập tính toán**. Đây là bước đầu tiên cần thực hiện trong mô phỏng tính toán lực cản tàu bằng phương pháp CFD. Cụ thể, ở đây ta sẽ thiết lập các thông số gồm:

- + Các thông số về điều kiện môi trường của tuyến đường;
- + Kích thước miền tính toán;
- + Lựa chọn loại điều kiện biên;
- + Lựa chọn lưới và chia lưới;
- + Lựa chọn mô hình vật lý.

Các thông số về điều kiện môi trường của tuyến đường bao gồm: độ sâu của tuyến đường, độ nhớt động học và khối lượng riêng của nước.

Kích thước miền tính toán được xác định căn cứ trên các hướng dẫn của Hiệp hội bể thử quốc tế (ITTC) [62, 63], cụ thể như sau: Mặt phía trước và phía sau tàu của miền tính toán cách mũi và đuôi tàu một đoạn lần lượt bằng 1,5 và 2,5 lần chiều dài tàu; mặt cạnh và mặt phía trên của miền tính toán nằm cách mặt phẳng dọc tâm của tàu và mặt thoáng chất lỏng một đoạn lần lượt bằng 2,5 và 1,5 lần chiều dài tàu; Trong bài toán mô phỏng lực cản tàu chạy trong vùng nước có độ sâu không hạn chế, khoảng cách từ mặt đáy của miền tính toán đến mặt thoáng chất lỏng là 2,5 lần chiều dài tàu. Trường hợp đối với bài toán mô phỏng lực cản tàu chạy trong vùng nước nông, khoảng cách từ mặt đáy của miền tính toán đến mặt thoáng chất lỏng được thiết lập là độ sâu của nước (xem Hình 3.3).



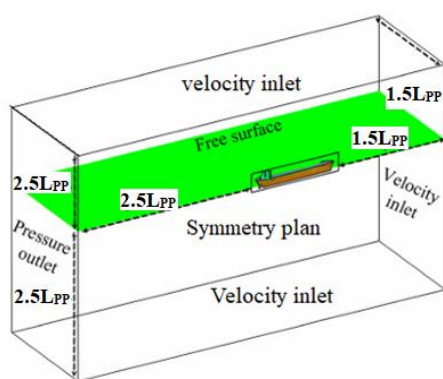
Hình 3.2. Quy trình mô phỏng tính toán lực cản tàu bằng CFD

Điều kiện biên được thiết lập đối với bài toán mô phỏng lực cản tàu khi chạy ở vùng nước sâu và nước nông được lựa chọn như trên Bảng 3.4.

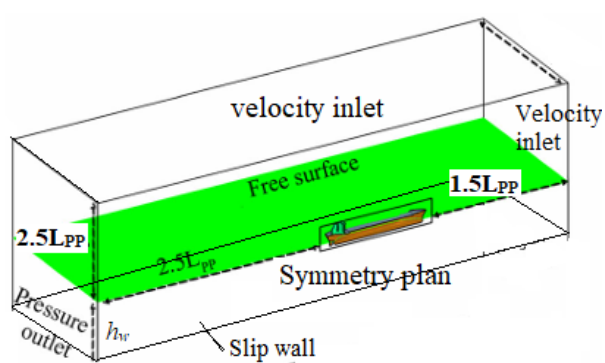
Bảng 3.4. Loại điều kiện biên được áp dụng trong bài toán tính toán lực cản tàu chạy ở vùng nước sâu và vùng nước nông

Loại điều kiện biên	Tàu chạy ở vùng nước sâu	Tàu chạy ở vùng nước nông
Phía trước miền tính toán	Velocity inlet	Velocity inlet
Phía trên miền tính toán	Velocity inlet	Velocity inlet
Mặt cạnh miền tính toán	Symmetry plane	Symmetry plane
Phía sau miền tính toán	Pressure outlet	Pressure outlet
Phía dưới miền tính toán	Velocity inlet	Slip wall
Thân tàu	No-slip wall	No-slip wall

Trong bài toán mô phỏng lực cản tàu sẽ sử dụng 03 loại lưới gồm; lưới bề mặt, lưới khối và lưới lăng trụ. Lưới khối được sử dụng ở đây là lưới trimmed. Kích thước lưới khối được xác định dựa trên chiều dài tàu. Với kích thước lưới cơ sở có giá trị bằng 0.015L. Lưới sẽ được làm mịn ở khu vực mặt thoáng chất lỏng để có mô phỏng được chính xác sự biến dạng mặt thoáng chất lỏng khi tàu chuyển động và sóng kelvin; lưới cục bộ được sử dụng để làm mịn ở khu vực mũi và đuôi tàu nơi có hình dáng thân tàu phức tạp. Lưới prism layer được sử dụng để mô phỏng lớp biên của tàu. Khoảng cách lưới lớp biên đầu tiên đến vỏ tàu được lựa chọn để giá trị Y^+ trung bình của tàu là 250 [64]. Đối với việc mô phỏng lực cản tàu khi chạy trong vùng nước nông, do có sự tương tác thủy động giữa đáy sông và đáy tàu nên lưới sẽ được làm mịn tại giữa chúng để có thể mô phỏng được chính xác sự tương tác này. Ví dụ về kết quả chia lưới khi tàu chạy ở vùng nước nông và nước sâu được trình bày trên Hình 3.4.

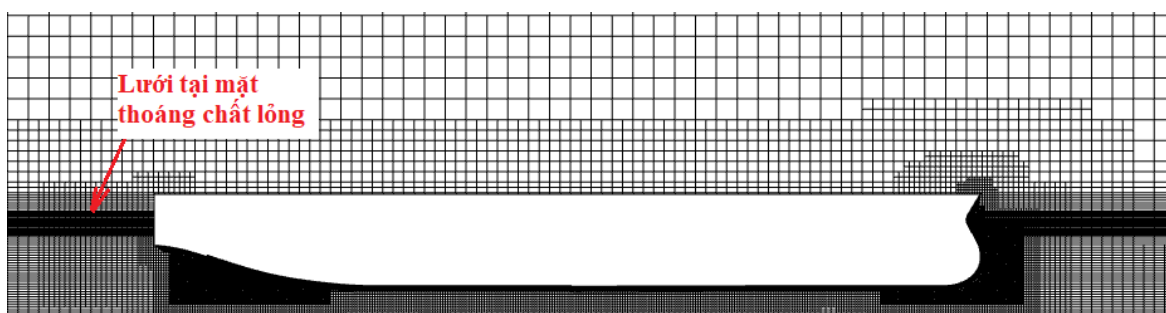
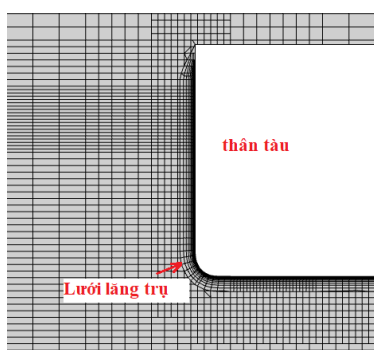
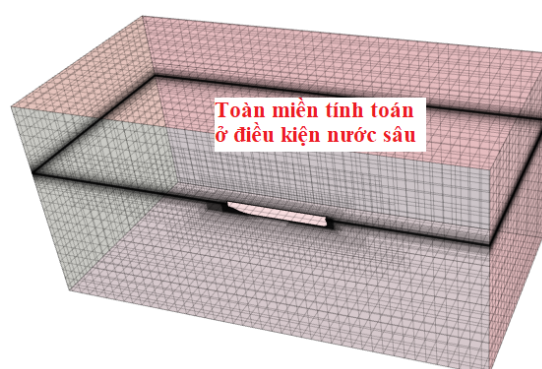
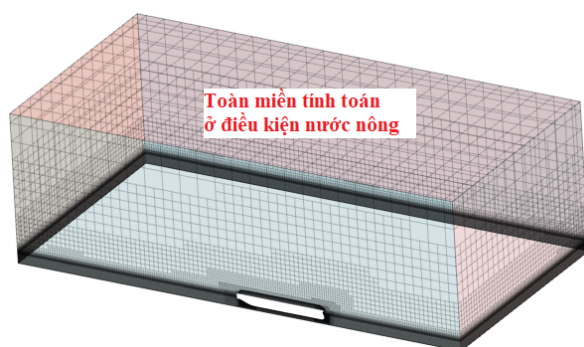


a) Nước sâu



b) Nước nông

Hình 3.3. Kích thước miền tính toán và điều kiện biên



Hình 3.4. Cấu trúc lưới trong bài toán mô phỏng lực cản tàu khi chạy ở vùng nước sâu và nước nông

Mô hình vật lý được sử dụng trong mô phỏng lực cản vỏ tàu hoạt động trong vùng nước sâu và nước nông được trình bày trên Bảng 3.5.

Bảng 3.5. Mô hình vật lý được sử dụng trong mô phỏng lực cản vỏ tàu hoạt động trong vùng nước sâu và nước nông

Các thông số	Lựa chọn, thiết lập
Dạng mô phỏng	Mô phỏng 3D (Three dimensional)
Mô hình dòng chảy	Dòng chảy Unsteady RANSE
Mô hình dòng chảy rối	Mô hình dòng rối SST K-Omega
Tương tác giữa các phase	Tương tác đa pha (Multiphase)
Hàm tường	Tất cả xử lý tường Y+ (All Y+ Wall Treatment)
Hình thái dòng chảy	Dòng chảy tách biệt (Segregated flow)
Mô hình đa pha	Phương pháp thể tích chất lỏng (The volume of fluid method)

Trong bài toán mô phỏng tính toán lực cản tàu, thân tàu được dịch chuyển tự do theo hai phương gồm, phương thẳng đứng (heave) và chòng chành sóng chính (pitch), giống như việc thử kéo để xác định lực cản tàu trong bể thử mô hình tàu.

Bước lựa chọn lời giải là bước lớn thứ hai cần thực hiện khi mô phỏng lực cản tàu bằng CFD. Ở tại bước này, ta sẽ tiến hành thực hiện các công việc sau:

Đánh giá tiêu chí hội tụ: Đây là bước đầu tiên cần phải thực hiện. Ở đây, ta sẽ tiến hành đánh giá sự hội tụ của lưới, để loại trừ được sai số có thể về kết quả mô phỏng do kích thước lưới gây ra. Chi tiết về phương pháp xác định sự hội tụ của lưới đã được trình bày ở Chương 2.

Lựa chọn sơ đồ rời rạc hóa: Việc lựa chọn sơ đồ rời rạc hóa đóng vai trò rất quan trọng vì nó là một trong các yếu tố ảnh hưởng đến kết quả tính toán. Đối với

bài toán mô phỏng lực cản tàu sơ đồ rời rạc hóa theo thời gian được lựa chọn là bậc 1 bởi sơ đồ này tiết kiệm được thời gian tính toán và không gây ra sự dao động về kết quả [65].

Lựa chọn bước thời gian: Bước thời gian cũng là một trong những yếu tố có ảnh hưởng đến kết quả tính toán. Theo khuyến nghị của ITTC, bước thời gian được xác định dựa trên tốc độ và chiều dài tàu theo công thức sau [66]:

$$\Delta t = 0,005 \sim 0,01L / V \quad (3.10)$$

Trong đó: L – là chiều dài tàu, m; V – là tốc độ tàu, m/s.

Sau khi đã xác định được sự hội tụ của lưới, ta sẽ tiến hành sử dụng kích thước lưới được xác định là đã hội tụ cùng với bước thời gian để tiến hành tính toán lực cản tàu ứng với 25 phương án hình dáng khác nhau.

Bước diễn giải kết quả hay xử lý sau tính toán bằng CFD. Theo khuyến nghị của ITTC sau khi kết quả tính lực cản tàu bằng CFD đã hội tụ, ta cần xử lý để hiển thị ra các dữ liệu về đường dòng bao quanh thân tàu gồm: hình dạng sóng bề mặt do tàu tạo ra khi chuyển động, phân bố áp suất, ứng suất trên bề mặt vỏ tàu...Mục đích của việc này là nhằm kiểm tra độ tin cậy của kết quả mô phỏng tính toán một cách định tính dựa trên các phân tích về dòng chảy bao quanh vỏ tàu.

Đánh giá kết quả thu được là bước cuối cùng của việc mô phỏng tính toán lực cản tàu bằng CFD. Tại bước này chúng ta sẽ đi đánh giá sai số của kết quả mô phỏng so với kết quả thực nghiệm (nếu có) sau đó sẽ tiến hành đánh giá tính không ổn định của nghiệm thu được theo quy trình nêu ở Chương 2. Căn cứ trên mối tương quan giữa sai số với tính không ổn định của nghiệm ta sẽ đánh giá được mô hình tính toán bằng CFD của ta là đúng hay cần điều chỉnh. Trường hợp không có kết quả thực nghiệm để đối sánh thì bài toán sẽ dừng lại ở việc xác định sự hội tụ của lưới, bước thời gian loại trừ các sai số liên quan đến việc thiết lập tính toán từ người tính toán.

3.2.6. Phân tích tỷ số tín hiệu/nhiều đối với từng biến và xác định phương án tối ưu

Sau khi đã tính toán được lực cản tàu ứng với 25 phương án được xây dựng từ phương pháp Taguchi, ta sẽ tiến hành phân tích tỷ số tín hiệu/nhiều đối với từng biến cũng như xác định phương án tối ưu (từ bước 5 đến bước 15 theo các công thức đã nêu trong phần cơ sở lý thuyết ở Chương 2). Trong bài toán tối ưu hóa lực cản tàu thì tỷ số S/N cần đạt được là “nhỏ hơn tốt hơn”. Qua việc phân tích này ta sẽ xác định được mức độ ảnh hưởng của 5 biến thiết kế đến lực cản tàu.

3.3. Kết luận Chương 3

Trong chương 3 này, luận án đã giải quyết được các bài toán sau:

- Đã xây dựng được mô hình bài toán cải tiến hình dáng thân tàu hàng cấp VR-SB gồm các bài toán: lựa chọn các tham số hình dáng thân tàu cần tối ưu; thiết lập các điều kiện biên, điều kiện ràng buộc; phương pháp lựa chọn phương án có lực cản nhỏ nhất trên cơ sở có tính đến đặc điểm của tàu khi chạy trên tuyến SB (chạy trong vùng nước nông với độ sâu khác nhau và vùng nước sâu) bằng việc sử dụng hàm đa mục tiêu.

- Đã xây dựng được quy trình cải tiến hình dáng thân tàu hàng cấp VR-SB gồm các bài toán: Xây dựng lưu đồ thuật toán cải tiến hình dáng thân tàu hàng cấp VR-SB phù hợp với tuyến đường thủy nội địa Việt Nam; mô tả về trình tự các bước trong sơ đồ thuật toán đưa ra. Quy trình này sẽ được nghiên cứu sinh áp dụng để tính toán cho một tàu VR-SB cụ thể ở Chương 4.

CHƯƠNG 4. CẢI TIẾN HÌNH DÁNG THÂN TÀU HÀNG TRỌNG TẢI 4600 TẤN MANG CẤP VR-SB

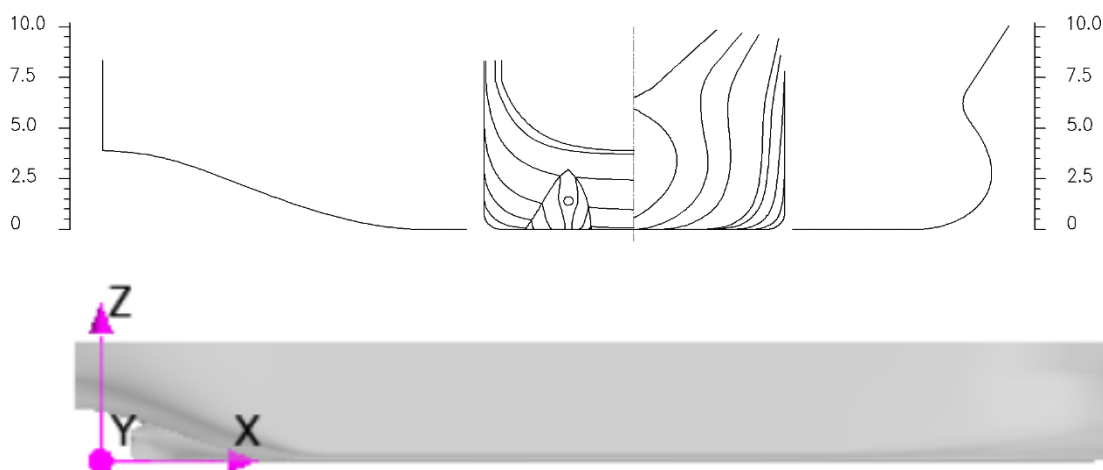
4.1. Giới thiệu về series tàu hàng trọng tải 4600 tấn mang cấp VR-SB

4.1.1. Các thông số chủ yếu của tàu

Như đã trình bày trong Chương 1, hiện tại số lượng tàu có trọng tải từ 3500 đến 5000 tấn chiếm đa số với tỷ lệ 93,3% trong cơ cấu đội tàu mang cấp VR-SB. Trong đó series tàu hàng trọng tải 4600 tấn mang cấp VR-SB đã và đang được đóng với số lượng lớn. Chính vì vậy, trong đề tài NCS này, NCS sử dụng series tàu hàng trọng tải 4600 tấn làm đối tượng nghiên cứu. Các thông số kích thước chủ yếu của series tàu này và hình dáng thân tàu ban đầu của chúng được trình bày lần lượt tương ứng trên Bảng 4.1 và Hình 4.1 [67].

Bảng 4.1. Các thông số kích thước và hình dáng của tàu hàng trọng tải 4600 tấn

Các thông số	Ký hiệu	Đơn vị	Giá trị
Chiều dài hai đường vuông góc	L	[m]	76,00
Chiều rộng thiết kế của tàu	B	[m]	13,68
Chiều chìm thiết kế	T	[m]	5,95
Lượng chiếm nước thể tích	∇	[m ³]	5540
Hệ số béo thể tích	C _B	[-]	0,873
Vị trí hoành độ tâm nổi tính từ đường vuông góc đuôi	LCB	[%L]	48,654
Hệ số chiều dài mũi quả lê	C _{LPR}	[-]	0,0167
Hệ số diện tích mặt cắt ngang của mũi quả lê	C _{ABT}	[-]	0,1600
Hệ số thể tích mũi quả lê	C _{VPR}	[-]	0,00155
½ góc vào nước tại đường nước thiết kế	1/2 α_E	[độ]	42,5



Hình 4.1. Hình dáng series tàu hàng trọng tải 4600 tấn mang cấp VR-SB

4.1.2. Tuyến đường hoạt động của tàu

Series tàu hàng trọng tải 4600 tấn được sử dụng để vận chuyển than từ bến cảng than Cẩm Phả, Quảng Ninh vào nhà máy nhiệt điện Duyên hải – Trà Vinh. Tuyến đường hành trình của tàu như sau: Đầu tiên, tàu nhận than từ cảng than Cẩm Phả, Quảng Ninh sau đó đi theo tuyến Luồng hàng hải chuyên dùng cho Bến cảng than Cẩm Phả chạy ra ngoài cửa biển rồi men theo đường bờ biển chạy vào luồng hàng hải chuyên dùng vào Cảng trung tâm nhiệt điện Duyên hải – Trà Vinh rồi vào cảng bốc dỡ than.

Đối với tuyến Luồng hàng hải chuyên dùng cho Bến cảng than Cẩm Phả: Theo Quyết định số 2420/QĐ – CHHVN ngày 31/12/2019 của Cục Hàng hải Việt Nam về luồng hàng hải chuyên dùng vào Bến cảng than Cẩm Phả, Quảng Ninh [68]. Tuyến luồng này có các thông số kỹ thuật như sau:

- Tổng chiều dài tuyến luồng là: 38,4 km (21 hải lý);
- Độ sâu của tuyến luồng là: 8,95 m;
- Chiều rộng của tuyến luồng là: 110-120m.

Đối với tuyến đường biển từ Cẩm Phả, Quảng Ninh đến nhiệt điện Duyên hải – Trà Vinh, tuyến đường này có tổng chiều dài là 891 hải lý (xem Hình 4.2).



Hình 4.2. Khoảng cách tuyến đường biển từ Cẩm Phả, Quảng Ninh đến nhiệt điện Duyên hải – Trà Vinh

Đối với tuyến Luồng hàng hải ra/vào cảng trung tâm nhiệt điện Duyên hải – Trà Vinh: Theo thông báo Hàng hải của Tổng công ty Đảm bảo an toàn Hàng hải Miền Nam [69]. Tuyến luồng này có các thông số kỹ thuật như sau:

- Tổng chiều dài tuyến luồng 4,6 km (2,5 hải lý);
- Độ sâu của tuyến luồng là: >6,5 m;
- Chiều rộng của tuyến luồng là: 150 m.

Với tuyến đường hoạt động của tàu như trên, ta có thể thấy rằng, thời gian tàu chạy ngoài biển nơi có độ sâu không giới hạn là chủ yếu (quãng đường chạy ngoài biển chiếm 97,7% tổng quãng đường hành trình của tàu). Do vậy, nếu xét về mức độ ảnh hưởng của nước nông đến kết quả lựa chọn các thông số hình dáng tối ưu cho tàu nhằm giảm lực cản trên tổng thể quãng đường khai thác của tàu là không đáng kể. Tuy nhiên, trong nghiên cứu này, NCS sẽ làm cả bài toán khi tàu chạy trong vùng nước nông để xét đến mức độ ảnh hưởng của nước nông đến sự thay đổi các thông số hình dáng tối ưu của tàu so với khi chạy trong vùng nước

không có sự hạn chế về độ sâu. Việc tính toán ảnh hưởng của nước nông sẽ lấy ở tuyến luồng hàng hải chuyên dùng cho Bến cảng than Cẩm Phả.

4.2. Thiết lập các phương án tính

4.2.1. Xác định số mức của biến thiết kế

Trên cơ sở 05 thông số hình dáng thân tàu có ảnh hưởng lớn đến lực cản tàu như đã trình bày trong Chương 2. Áp dụng vào đối tượng nghiên cứu là tàu hàng trọng tải 4600 tấn, với giá trị biên độ dao động của các biến như đã nêu trong Chương 3, ta có được giá trị số mức của biến như trên Bảng 4.2.

Bảng 4.2. Các biến thiết kế và số mức

Biến thiết kế	Mã code	Số mức (giá trị)				
		Mức 1	Mức 2	Mức 3	Mức 4	Mức 5
$1/2\alpha_E$	A	41,5 ⁰	42,0 ⁰	42,5⁰	43,0 ⁰	43,5 ⁰
C_{LPR}	B	0,0141	0,0154	0,0167	0,018	0,0193
C_{ABT}	C	0,1384	0,1492	0,1600	0,1708	0,1816
C_{VPR}	D	0,00119	0,00137	0,00155	0,00173	0,00191
LCB	E	47,654%L _{BP}	48,154%L _{BP}	48,654%L_{BP}	49,154% L _{BP}	49,654 %L _{BP}

Với đầu vào là 05 biến thiết kế và mỗi biến có 05 mức giá trị, ta sẽ có một ma trận trực giao L25(5x5) với 25 trường hợp kết hợp của các biến như được thể hiện trong bảng 4.3.

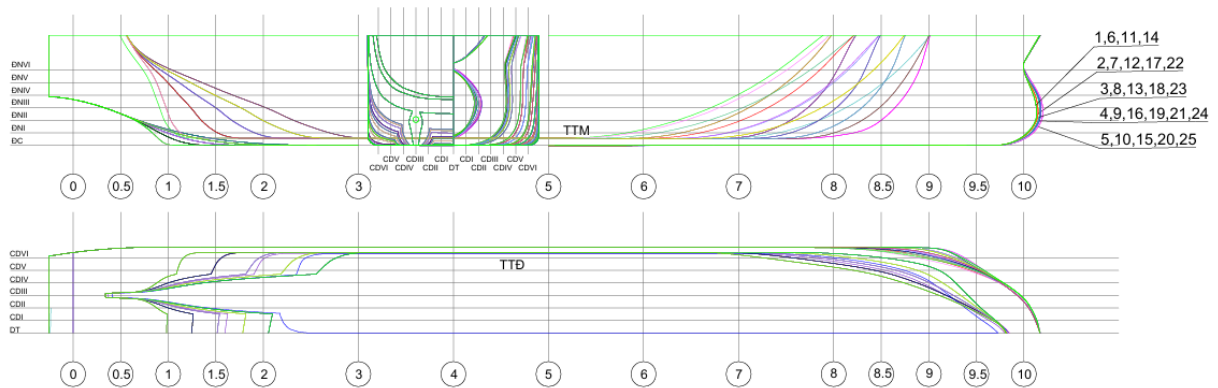
Bảng 4.3. Bảng ma trận trực giao xác định các phương án để tính toán

Trường hợp tính	Biến thiết kế và các mức				
	$1/2\alpha_E$	C_{LPR}	C_{ABT}	C_{VPR}	LCB
Phương án ban đầu	3	3	3	3	3
1	1	1	1	1	1
2	1	2	2	2	2
3	1	3	3	3	3
4	1	4	4	4	4
5	1	5	5	5	5
6	2	1	2	3	4
7	2	2	3	4	5
8	2	3	4	5	1
9	2	4	5	1	2
10	2	5	1	2	3
11	3	1	3	5	2
12	3	2	4	1	3
13	3	3	5	2	4
14	3	4	1	3	5
15	3	5	2	4	1
16	4	1	4	2	5
17	4	2	5	3	1
18	4	3	1	4	2
19	4	4	2	5	3
20	4	5	3	1	4
21	5	1	5	4	3
22	5	2	1	5	4
23	5	3	2	1	5
24	5	4	3	2	1
25	5	5	4	3	2

4.2.2. Xây dựng các phương án tuyến hình tàu

Trên cơ sở 25 phương án tuyến hình tàu xác định được ở ma trận trực giao, ta sẽ đi tiến hành xây dựng 25 phương án tuyến hình tàu. Mỗi phương án tương

ứng với sự kết hợp giá trị của 5 biến thiết kế như trên Bảng 4.3. Kết quả xây dựng 25 phương án tuyến hình tàu áp dụng đối với tàu hàng trọng tải 4600 tấn được trình bày trên Hình 4.3. Hình dáng chi tiết của 25 phương án được trình bày trong Phụ lục 1.



Hình 4.3. Tổng hợp kết quả của 25 phương án tuyến hình tàu được xây dựng

4.2.3. Xác định trọng số hàm mục tiêu

Căn cứ vào đặc điểm tuyến đường hoạt động của tàu hàng trọng tải 4600 tấn ở trên, ta sẽ xác định được trọng số của hàm mục tiêu thứ i như trên Bảng 4.4.

Bảng 4.4. Bảng tính trọng số của hàm mục tiêu thứ I trong cải tiến hình dáng tàu hàng trọng tải 4600 tấn

Đặc điểm tuyến đường	Độ sâu của đoạn sông h_i [m]	Chiều dài đoạn sông l_i [km]	Tốc độ tàu V_i [m/s]	Thời gian hành trình $t_i = \frac{l_i}{V_i} \times \frac{10^3}{3600}$ [Giờ]	Trọng số hàm mục tiêu thứ i $w_i = t_i / \sum_{i=1}^k t_i [-]$
Đoạn luồng Cẩm Phả	-8,95	38,4	4,630	2,3	0,025
Đoạn chạy trên biển	<i>Không hạn chế</i>	1650	5,144	89,1	0,975

4.2.4. Thiết lập tính toán lực cản tàu bằng phương pháp CFD

Dựa vào các bước của quy trình tính toán lực cản tàu bằng CFD đã được đưa ra ở Chương 3, NCS tiến hành thiết lập tính toán lực cản tàu cho các phương án tuyến hình tàu 4600 tấn đã được tạo ra. Ở đây, các thông số về điều kiện môi trường, kích thước miền tính toán, được thiết lập lần lượt như trên Bảng 4.5 và 4.6.

Bảng 4.5. Điều kiện môi trường được thiết lập trong tính toán

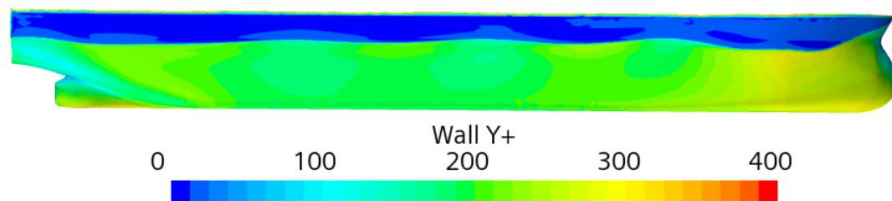
Các thông số thiết lập	Khi tàu chạy ngoài biển	Khi tàu chạy trong luồng Cẩm Phả
Khối lượng riêng của nước	1,025 tấn/m ³	1,000 tấn/m ³
Độ nhớt động học	9,6474.10 ⁻⁷ m ² /s	8,905.10 ⁻⁷ m ² /s

Bảng 4.6. Kích thước miền tính toán được thiết lập trong mô phỏng

Các thông số thiết lập	Khi tàu chạy ngoài biển	Khi tàu chạy trong luồng Cẩm Phả
Khoảng cách mặt trước miền tính toán đến mũi tàu	115m	115m
Khoảng cách mặt sau miền tính toán đến đuôi tàu	190 m	190 m
Khoảng cách mặt hông miền tính toán đến mặt phẳng dọc tâm tàu	190 m	190 m
Khoảng cách từ mặt trên miền tính toán đến mặt thoáng chất lỏng	190 m	190 m
khoảng cách từ mặt đáy của miền tính toán đến mặt thoáng chất lỏng	190 m	8,95 m

Việc thiết lập điều kiện biên, chia lưới, lựa chọn mô hình vật lý và bước thời gian được thực hiện giống như đã nêu trong Chương 3. Ở đây, loại lưới được

sử dụng là lưới Trimmed với kích thước lưới cơ sở được lựa chọn là 1,0m. Giá trị Y^+ liên quan đến việc giải lớp biên và liên quan trực tiếp đến giá trị của thành phần lực cản ma sát. Đối với bài toán mô phỏng tàu ở tỉ lệ thực thì các nghiên cứu đi trước khuyến nghị lấy giá trị trung bình 250 sẽ cho kết quả sát với kết quả tính chuyển từ mô hình ra tàu thật nhất [64]. Để đảm bảo cho giá trị Y^+ trung bình là 250, số lượng lưới lăng trụ được thiết lập là 14 lớp, với tổng chiều dày là 0,544m. Bước thời gian được lựa chọn là $\Delta t = 0,04$.



Hình 4.4. Phân bố Giá trị Y^+ trên bề mặt vỏ tàu

4.2.5. Xác định sự hội tụ của lưới

Bước đầu tiên trong tính toán lực cản tàu bằng CFD đó là tiến hành nghiên cứu sự hội tụ của lưới để tránh các sai số do việc lựa chọn kích thước lưới gây ra. Ở đây, theo khuyến nghị của ITTC, việc nghiên cứu sự hội tụ của lưới sẽ được tiến hành với ba kích thước lưới khác nhau với sự thay đổi tỷ lệ độ mịn của lưới là $\sqrt{2}$. Theo đó, ba 3 kích thước lưới được sử dụng trong nghiên cứu sự hội tụ của lưới gồm lưới thô, lưới cỡ trung và lưới mịn ứng với số lượng lưới lần lượt trong bài toán mô phỏng tàu chạy ngoài biển là 1,32 , 2,89 và 6,32 triệu ô lưới (ứng với kích thước lưới cơ bản lần lượt là 1,52m, 1,075m 0,76m; trong bài toán mô phỏng tàu chạy trong luồng Cẩm Phả là 2,03 , 4,18 và 8,52 triệu ô lưới (ứng với kích thước lưới cơ bản lần lượt là 1,52m, 1,075m 0,760m. Việc nghiên cứu sự hội tụ của lưới được tiến hành tại tốc độ 10,0 knots khi tàu chạy ngoài biển và 9,0 knots khi tàu chạy trong sông cho trường hợp tuyến hình ban đầu của tàu. Kết quả nghiên cứu sự hội tụ của lưới được trình bày trên Bảng 4.7. Từ kết quả thu được trên Bảng 4.7, ta có thể thấy sự hội tụ đơn điệu ở cả hai trường hợp ($R_k < 1$) và sự chênh lệch về lực cản tàu khi sử dụng lưới mịn và lưới cỡ trung lần lượt chỉ là 0,89% và 1,34% ứng với trường hợp tàu chạy ngoài biển và trong luồng Cẩm Phả. Chính vì

vậy, xét dưới góc độ so sánh giữa các phương án (sai số nếu có chỉ là sai số tương đối giữa các phương án), NCS lựa chọn sử dụng lưới cỡ trung để tính toán tính toán lực cản tàu cho các phương án tuyến hình còn lại nhằm mục đích tiết kiệm thời gian tính toán trong khi vẫn duy trì được độ tin cậy cần thiết về kết quả thu được (do lưới đã hội tụ).

Bảng 4.7. Kết quả nghiên cứu sự hội tụ của lưới

Các thông số	Kích thước lưới			ε ₃₂ %	ε ₁₂ %	R _k [-]
	Lưới mảnh	Lưới cỡ trung	Lưới mịn			
a) Tàu chạy ngoài biển						
R _T [kN]	97,15	95,70	94,85	1,52	0,90	0,59
R _F [kN]	49,35	48,87	48,65	0,98	0,45	0,46
R _P [kN]	47,80	46,80	46,2	2,14	1,30	0,61
b) Tàu chạy trong luồng Cẩm Phả						
R _T [kN]	112,96	110,10	109,27	2,60	0,76	0,29
R _F [kN]	44,71	44,00	43,92	1,61	0,18	0,11
R _P [kN]	68,25	66,10	65,35	3,25	1,15	0,35

4.2.6. Kiểm tra, đánh giá độ tin cậy của kết quả mô phỏng

Để khẳng định độ tin cậy của kết quả mô phỏng lực cản tàu, thông thường cần tiến hành thử nghiệm mô hình trong bể thử tàu. Tuy nhiên, để có được số liệu thực nghiệm đáng tin cậy, việc thử phải được thực hiện tại các bể thử uy tín ở nước ngoài, điều này đòi hỏi thời gian và chi phí vượt quá khả năng của NCS. Vì vậy, NCS đã lựa chọn cách tiếp cận gián tiếp: so sánh kết quả mô phỏng CFD với dữ liệu thử mô hình của các tàu chuẩn (JBC, DTMB) mà NCS cùng nhóm nghiên cứu đã công bố trên các tạp chí thuộc danh mục SCIE [50, 70]. Kết quả cho thấy sai số giữa mô phỏng và thực nghiệm dưới 2,0% (xem Bảng 4.8). Do đó, có thể khẳng định mô hình CFD tính toán lực cản tàu được trình bày trong luận án có độ tin cậy cao.

Bảng 4.8. Kết quả so sánh giữa tính toán và thực nghiệm lực cản tàu JBC và DTMB do NCS thực hiện

Tên tàu	Số Froude của tàu [-]	R_T tính toán bằng CFD [N]	R_T đo trong bể thử [N]	% sai số
Tàu DTMB	0,40	136,04	137,82	1,29
Tàu JBC	0,142	35,79	36,60	1,57

4.3. Kết quả tính toán và xác định phương án tuyến hình tối ưu

4.3.1. Kết quả tính toán

Kết quả tính toán lực cản tàu tương ứng với 25 phương án tuyến hình khác nhau cùng với phương án tuyến hình ban đầu khi tàu chạy trong ngoài biển (nơi có độ sâu không hạn chế) và chạy trong luồng Cẩm Phả (nơi có độ sâu là 8.95m) được trình bày trong Bảng 4.7 và Hình từ 4.5 đến 4.7. Ở đây, các ký hiệu trong Bảng 4.7 được hiểu như sau: R_{T1} , R_{T2} tương ứng là lực cản toàn bộ của tàu khi chạy ngoài biển và trong luồng Cẩm Phả tại tốc độ tương ứng là 10.0 và 9.0 hải lý/giờ. R_{Fi} , R_{Pi} lần lượt là thành phần lực ma sát và áp suất. R là lực cản toàn bộ của tàu trên tuyến hành trình.

Từ kết quả tính toán thu được trên Bảng 4.7 và Hình từ 4.5 đến 4.7, ta có thể đưa ra một số nhận xét sau:

- Thành phần lực cản thay đổi nhiều nhất khi thay đổi giá trị các biến thiết kế là thành phần lực cản áp suất. Cụ thể, khi tàu chạy ngoài biển phương án có lực cản áp suất lớn nhất là phương án 8 ($R_{P1}=115,3$ kN) và phương án có lực cản áp suất nhỏ nhất là phương án 21 ($R_{P1}=42,9$ kN), hai phương án này chênh nhau 72,4 kN (tức 62,8% so với phương án có R_P lớn nhất). Khi tàu chạy trong luồng Cẩm Phả, phương án có lực cản áp suất lớn nhất là phương án 1 ($R_{P2}=156,0$ kN) và phương án có lực cản áp suất nhỏ nhất là phương án 6 ($R_{P2}=60,0$ kN), hai phương án này chênh nhau 96,0 kN (tức 61,5% so với phương án có R_P lớn nhất).

- Xu hướng thay đổi của thành phần lực cản áp suất và lực cản toàn bộ của tàu là như nhau.

- Thành phần lực cản ma sát thay đổi rất ít khi thay đổi giá trị các biến thiết kế. Cụ thể, khi tàu chạy ngoài biển, phương án có lực cản ma sát lớn nhất là phương án 19 ($R_{F1}=49,6$ kN) và phương án có lực cản ma sát nhỏ nhất là phương án 17 ($R_{F1}=48,07$ kN), hai phương án này chênh nhau chỉ 1,53 kN (tức chỉ trên 3,1% so với phương án có R_F lớn nhất). Khi tàu chạy trong luồng phương án có lực cản ma sát lớn nhất là phương án 2 ($R_{F2}=43,2$ kN) và phương án có lực cản áp suất nhỏ nhất là phương án 20 ($R_{F2}=44,62$ kN), hai phương án này chênh nhau chỉ 1,4 kN (tức chỉ chênh 3,1% so với phương án có R_F lớn nhất).

- Khi tàu chạy ngoài biển, phương án có lực cản nhỏ nhất là phương án 21 ($R_{T1}=92,0$ kN), chênh lệch giữa phương án có lực cản nhỏ nhất và lớn nhất (phương án 8 với $R_{T1}=163,4$ kN) trong trường hợp này là 71,4 kN (tức nhỏ hơn 43,7% so với phương án có R_T lớn nhất).

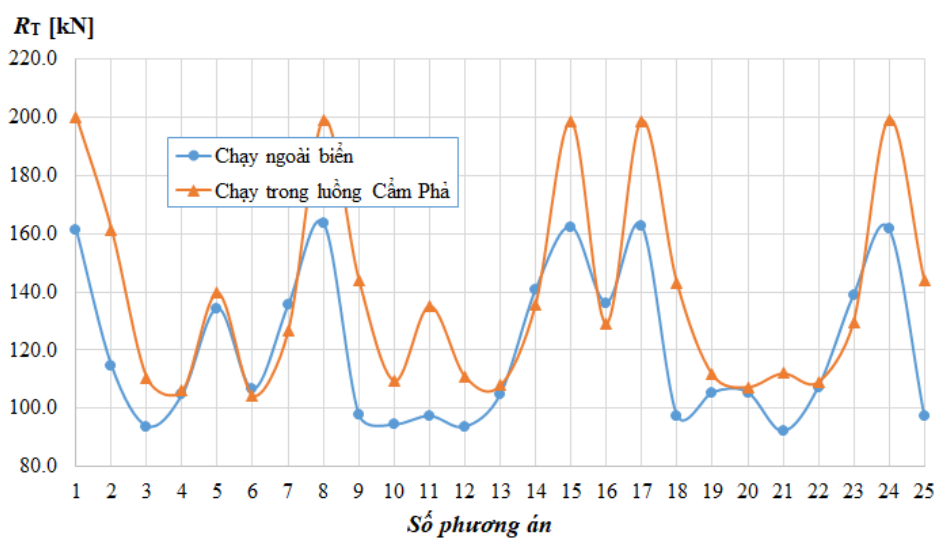
- Khi tàu chạy trong luồng Cẩm Phả, phương án có lực cản nhỏ nhất là phương án 6 ($R_{T2}=104,4$ kN), chênh lệch giữa phương án có lực cản nhỏ nhất và lớn nhất (phương án 1 với $R_{T2}=200,2$) trong trường hợp này 95,8 kN (tức nhỏ hơn 47,9% so với phương án có R_T lớn nhất).

- Tuyến hình tàu tối ưu dưới góc độ lực cản phụ thuộc vào độ sâu của nước. Cụ thể, khi tàu chạy ngoài biển, phương án có lực cản nhỏ nhất là phương án số 21. Trong khi, khi tàu chạy trong luồng Cẩm Phả, phương án có lực cản nhỏ nhất là phương án 6.

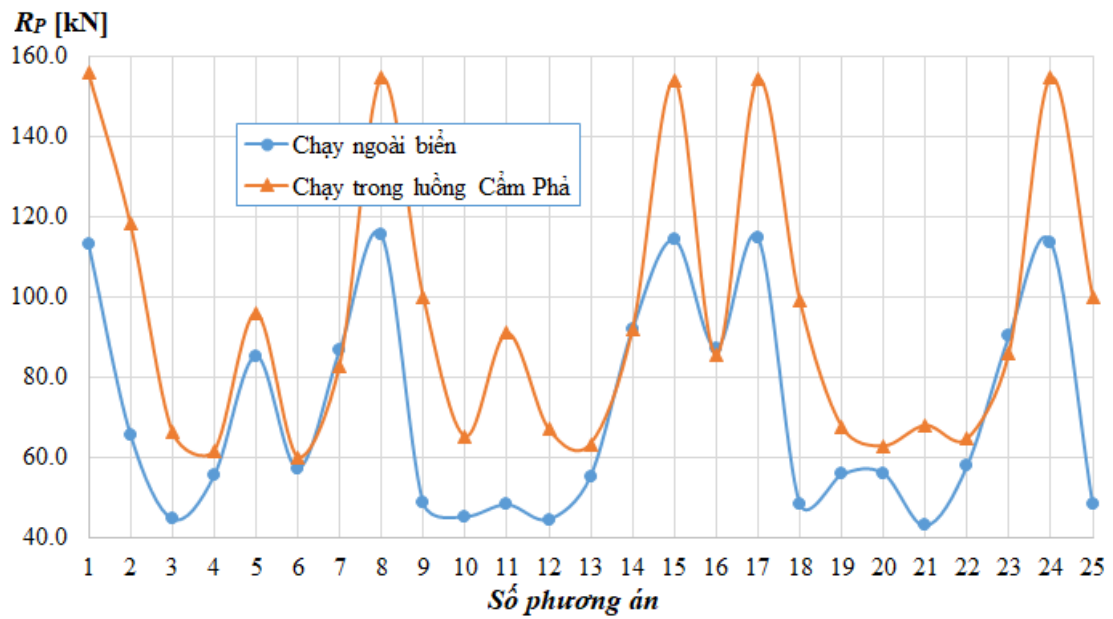
Bảng 4.9. Kết quả tính toán lực cản tàu 4600 tấn ứng với 25 phương án xây dựng

Trường hợp tính	Biến thiết kế và các mức					Các hàm mục tiêu thành phần (phần hồi)						Hàm mục tiêu chung
	$1/2\alpha_E$	C_{LPR}	C_{ABT}	C_{VPR}	LCB	Lực cản tàu khi chạy ngoài biển			Lực cản tàu khi chạy trong luồng Cẩm Phả			R_T [kN]
	A	B	C	D	E	R_{T1} [kN]	R_{F1} [kN]	R_{P1} [kN]	R_{T2} [kN]	R_{F2} [kN]	R_{P2} [kN]	
1	1	1	1	1	1	161,2	48,11	113,1	200,2	44,23	156,0	162,2
2	1	2	2	2	2	114,4	48,77	65,6	161,4	43,22	118,2	115,6
3	1	3	3	3	3	93,7	49,12	44,6	110,5	44,28	66,2	94,2
4	1	4	4	4	4	104,7	49,37	55,3	106,0	44,60	61,4	104,7
5	1	5	5	5	5	134,3	49,07	85,2	139,7	43,78	95,9	134,4
6	2	1	2	3	4	106,4	49,31	57,1	104,4	44,42	60,0	106,4
7	2	2	3	4	5	135,4	48,91	86,5	126,7	43,82	82,8	135,2
8	2	3	4	5	1	163,4	48,12	115,3	199,0	44,38	154,6	164,3
9	2	4	5	1	2	97,6	49,02	48,6	144,1	44,12	100,0	98,7
10	2	5	1	2	3	94,3	49,14	45,2	109,5	44,40	65,1	94,7
11	3	1	3	5	2	97,2	49,02	48,2	135,1	44,22	90,9	98,1
12	3	2	4	1	3	93,5	49,05	44,4	111,0	44,12	66,9	93,9
13	3	3	5	2	4	104,6	49,38	55,2	107,8	44,56	63,3	104,7
14	3	4	1	3	5	140,7	48,86	91,8	135,7	43,78	91,9	140,6
15	3	5	2	4	1	162,3	48,16	114,2	198,4	44,44	154,0	163,2
16	4	1	4	2	5	136,2	49,14	87,1	129,1	43,74	85,4	136,0
17	4	2	5	3	1	162,7	48,07	114,6	198,8	44,34	154,4	163,6

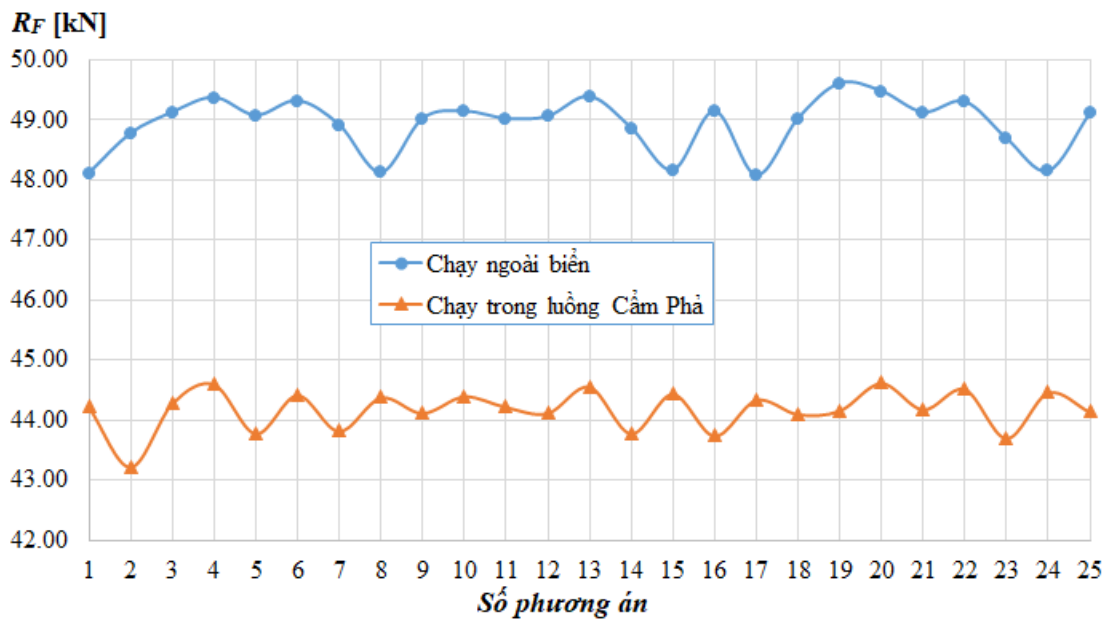
Trường hợp tính	Biến thiết kế và các mức					Các hàm mục tiêu thành phần (phản hồi)						Hàm mục tiêu chung
	$1/2\alpha_E$	C_{LPR}	C_{ABT}		LCB	Lực cản tàu khi chạy ngoài biển			Lực cản tàu khi chạy trong luồng Cẩm Phả			R_T [kN]
	A	B	C	D	E	R_{T1} [kN]	R_{F1} [kN]	R_{P1} [kN]	R_{T2} [kN]	R_{F2} [kN]	R_{P2} [kN]	
18	4	3	1	4	2	97,4	49,02	48,4	143,2	44,10	99,1	98,6
19	4	4	2	5	3	105,3	49,60	55,7	111,7	44,16	67,6	105,5
20	4	5	3	1	4	105,4	49,47	55,9	107,3	44,62	62,7	105,4
21	5	1	5	4	3	92,0	49,12	42,9	112,0	44,18	67,8	92,5
22	5	2	1	5	4	107,1	49,30	57,8	109,0	44,52	64,5	107,1
23	5	3	2	1	5	138,8	48,68	90,1	129,7	43,70	86,0	138,6
24	5	4	3	2	1	161,7	48,14	113,5	199,3	44,46	154,8	162,6
25	5	5	4	3	2	97,4	49,10	48,3	144,1	44,14	100,0	98,5
Phương án ban đầu	3	3	3	3	3	95,7	48,87	46,8	110,1	44,00	66,1	96,0



Hình 4.5. Kết quả mô phỏng tính toán lực cản tàu 4600 tấn ở các phương án khác nhau



Hình 4.6. Kết quả mô phỏng tính toán thành phần lực cản áp suất tàu 4600 tấn ở các phương án khác nhau



Hình 4.7. Kết quả mô phỏng tính toán thành phần lực cản ma sát tàu 4600 tấn ở các phương án khác nhau

Sự thay đổi lớn về thành phần lực cản áp suất nói riêng và lực cản tổng của tàu nói chung giữa các phương án có thể được giải thích một phần bằng sự khác biệt trong trường dòng chảy xung quanh tàu, trường áp suất, ứng suất tiếp, hình dáng sóng bề mặt đối với 05 phương án hình dáng thân tàu mang tính đại diện cho

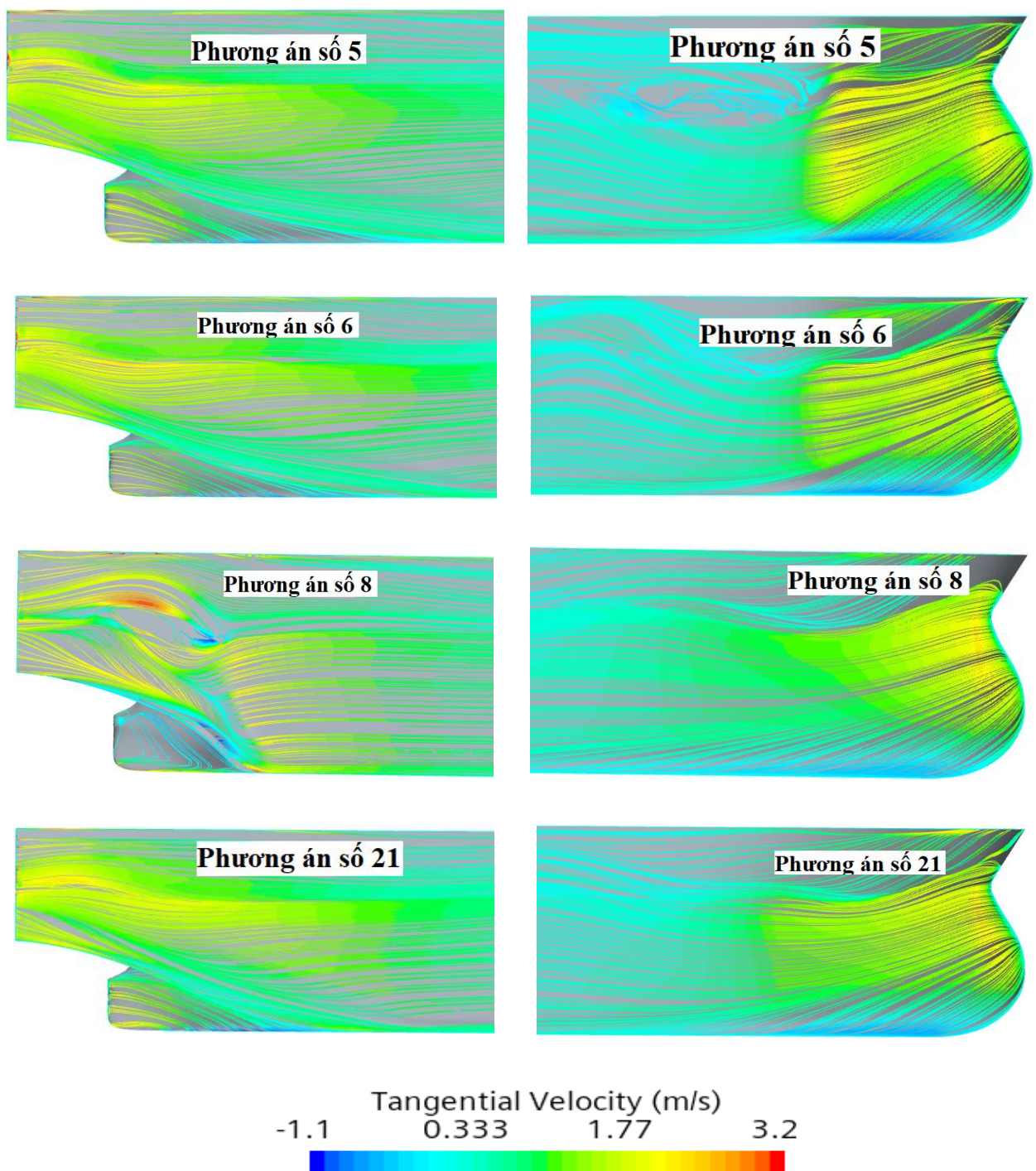
5 phương án có LCB khác nhau (vì LCB là thông số có mức độ ảnh hưởng lớn nhất đến lực cản tàu, điều này sẽ được chỉ ra ở các phân tích dưới đây), cụ thể:

Về tổng thể dựa trên các Hình từ 4.8 đến 4.13, ta có thể đưa ra các nhận xét sau:

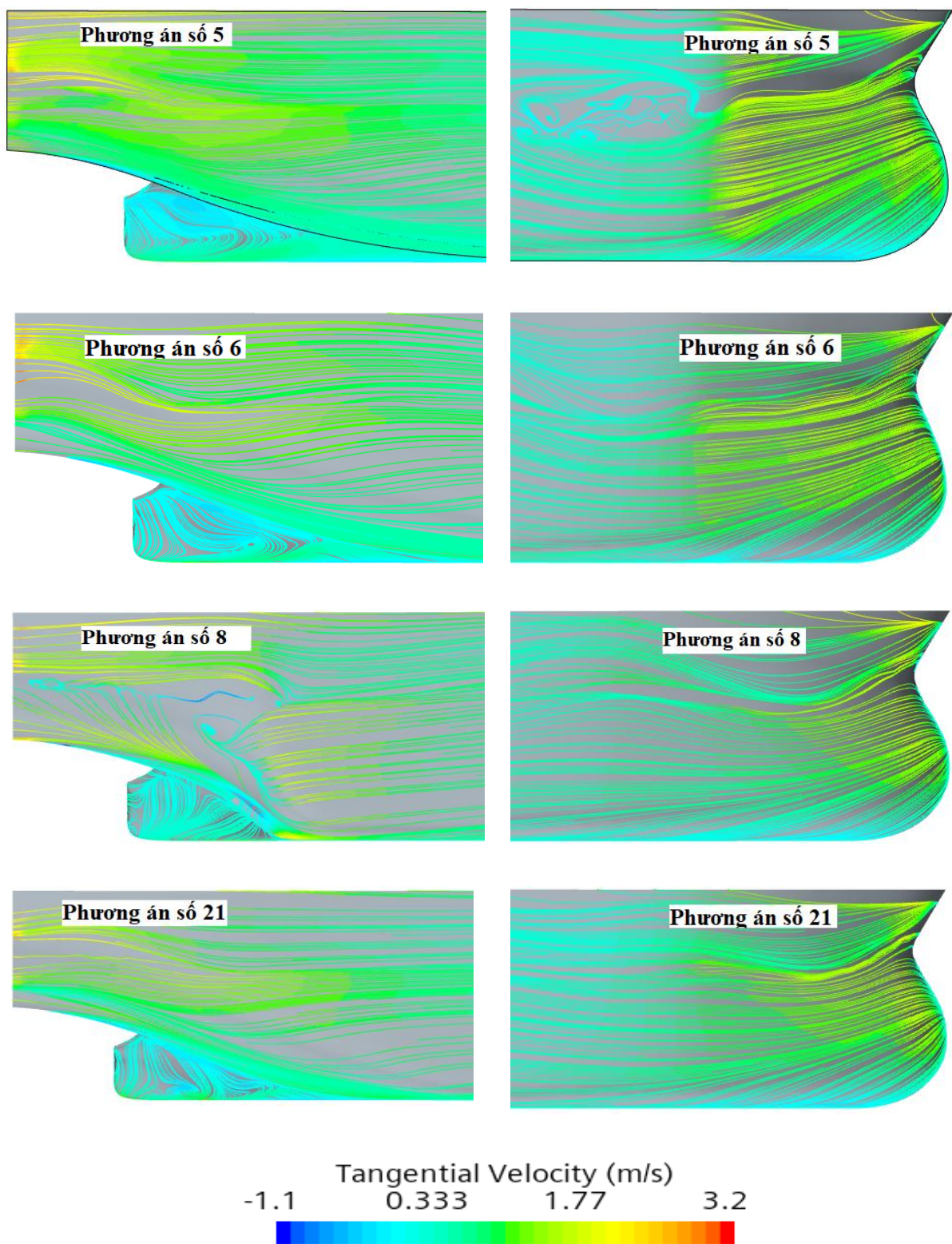
- Ở phương án số 8, sự dịch chuyển quá mức LCB về phía đuôi tàu ($LCB=47,654\%L_{BP}$) làm cho phần mũi của tàu trở nên thon hơn và phần đuôi tàu trở nên đầy hơn. Tuyến hình này tạo ra sự phân tách dòng chảy và sự tồn tại của một xoáy mạnh ở đuôi tàu đối với cả trường hợp tàu chạy ngoài biển và trong kênh Cẩm Phả, kèm theo các giá trị áp suất âm đáng kể (xem Hình 4.10 và 4.11), và tạo ra một sóng đuôi mạnh (xem Hình 4.12 và 2.13) tại vị trí tách dòng và xuất hiện xoáy. Hiện tượng này gây ra sự gia tăng sức cản vỏ tàu như chúng ta có thể quan sát thấy trên Hình 4.5 và 4.6 đối với các phương án 1, 8, 15, 17 và 24.

- Ngược lại với phương án số 8, phương án số 5 ($LCB=49,154\%L_{BP}$) là phương án có sự dịch chuyển quá mức LCB về phía mũi tàu dẫn đến phần thân phía đuôi tàu trở nên thon hơn và phần thân phía mũi tàu trở nên đầy đặn hơn. Phương án hình dáng thân tàu này tạo ra sự phân tách dòng chảy và tạo một xoáy mạnh tại vị trí $X/L=0.9$ dọc theo phần thân trước của tàu (xem Hình 4.8 và 4.9), kèm theo các giá trị áp suất âm rất lớn tại vị trí này (xem Hình 4.10 và 4.11), đồng thời tạo ra một bụng sóng lớn tại vị trí tách dòng và xuất hiện xoáy (xem Hình 4.12 và 4.13). Hiện tượng này giải thích cho việc lực cản tàu ở phương án số 5 cùng các phương án số 7, 14, 16 và 23 là lớn.

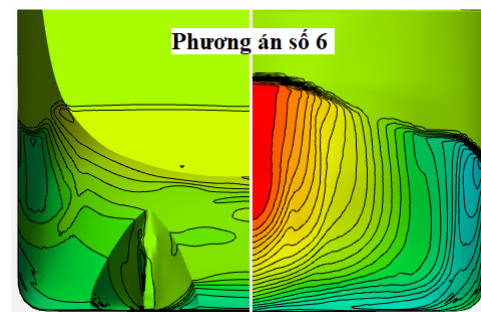
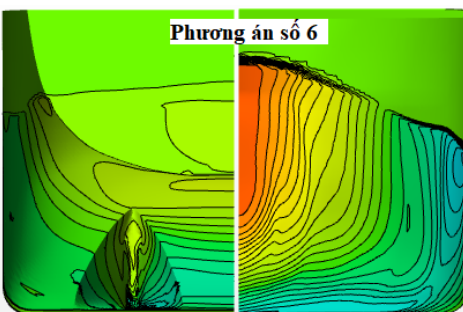
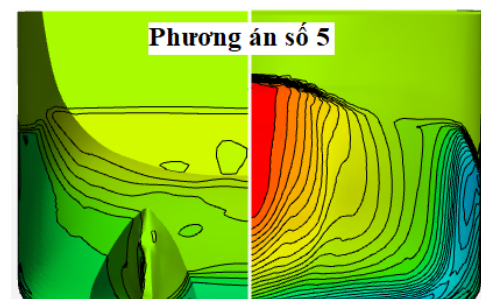
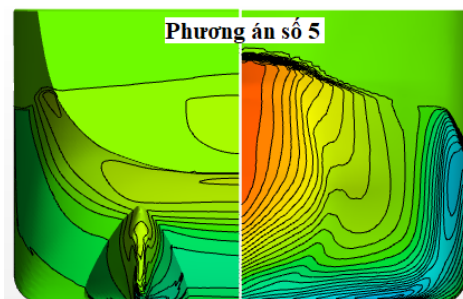
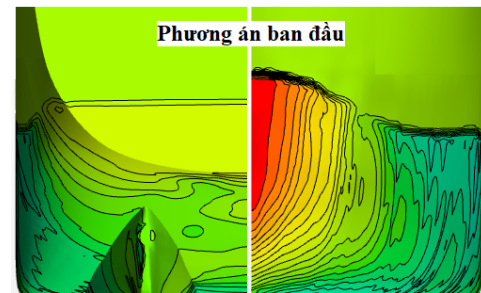
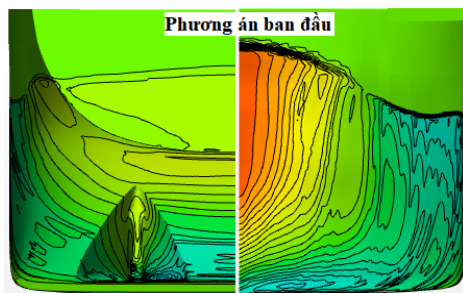
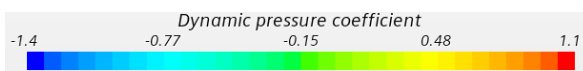
- Đối với các phương án tuyến hình còn lại (trường hợp thử nghiệm số 21 và 6), không thấy xuất hiện hiện tượng phân tách dòng và dòng xoáy ở phần thân chính của tàu (xem Hình 4.8 và 4.9). Sự thay đổi trong phân phối áp suất là thấp nhất so với các phương án đại diện khác (xem Hình 4.10 và 4.11). Tương tự như thế đối với profile sóng ở phương án này.

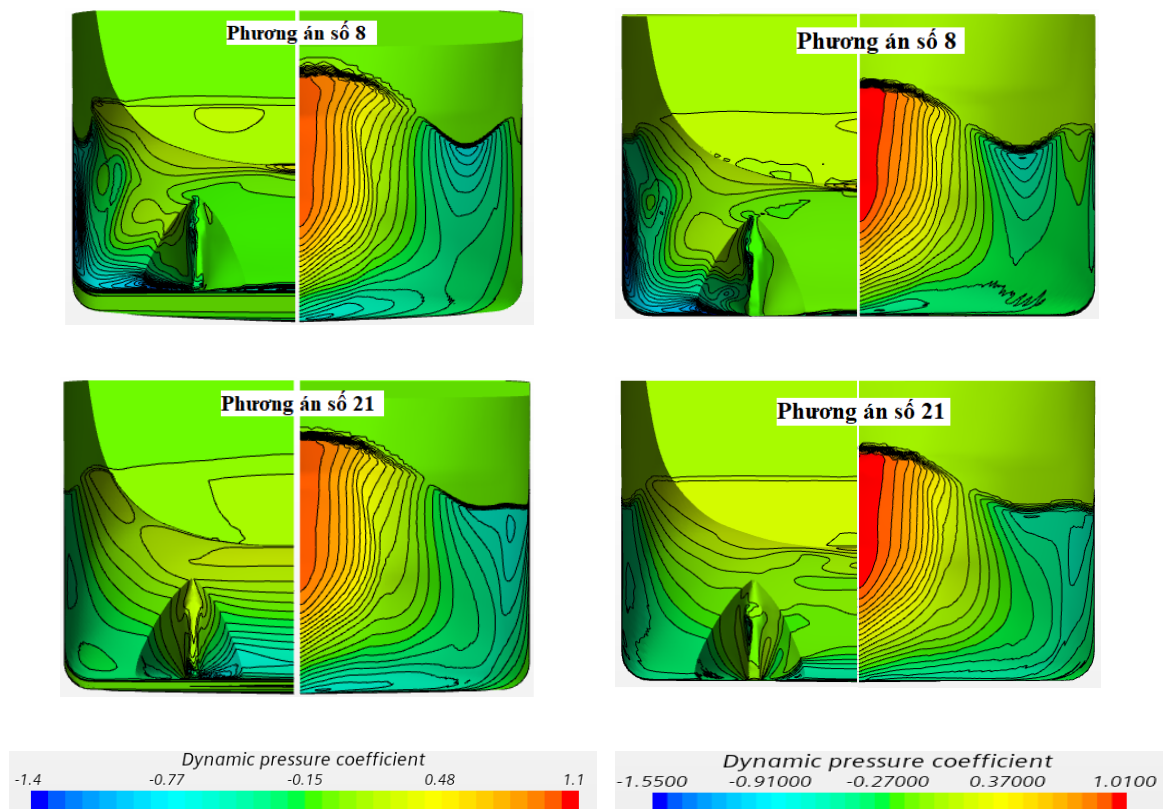


Hình 4.8. Đường dòng tại khu vực mũi và đuôi tàu khi chạy ngoài biển



Hình 4.9. Đường dòng tại khu vực mũi và đuôi tàu khi chạy trong kênh Cẩm Phả

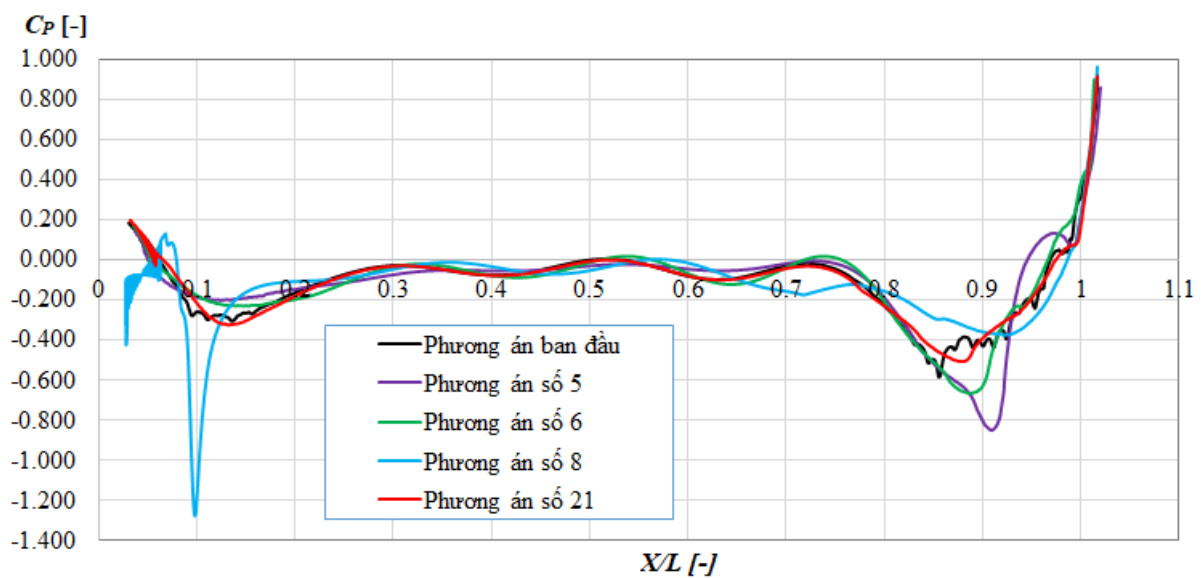




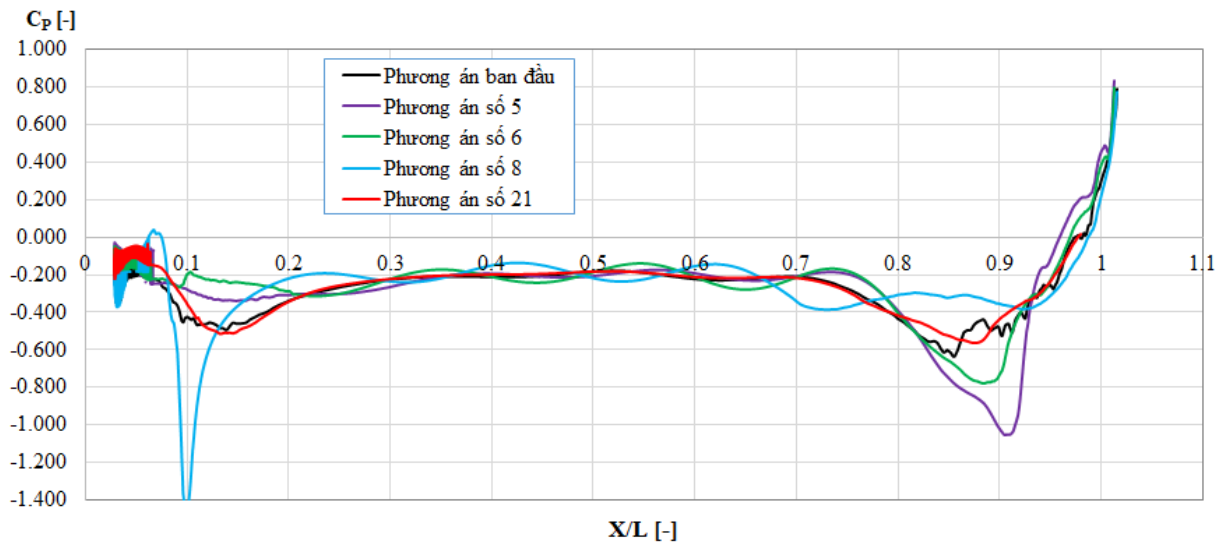
a) Tàu chạy trên biển tại tốc độ 10,0 knots

b) Tàu chạy trong luồng Cẩm Phả tại tốc độ 9,0 knots

Hình 4.10. Phân bố áp suất thủy động trên bề mặt vỏ tàu ở các phương án khác nhau



a) Tàu chạy trên biển tại tốc độ 10,0 knots



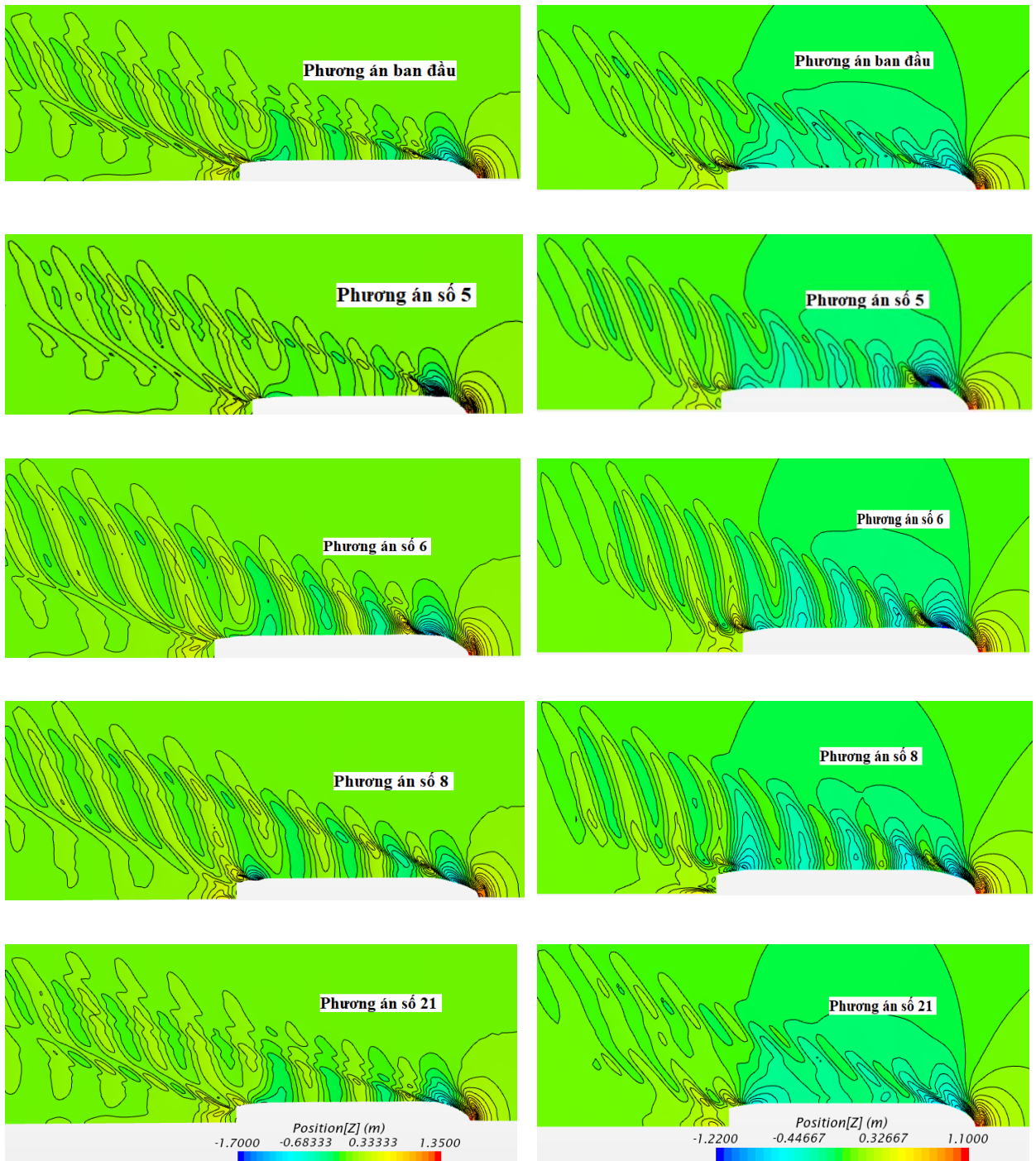
b) Tàu chạy trong luồng Cẩm Phả tại tốc độ 9,0 knots

Hình 4.11. Giá trị C_P tại vị trí $Z=2,5m$

Về chi tiết đối với trường hợp tàu chạy ngoài biển và trong luồng Cẩm Phả, dựa vào Hình từ 4.8 đến 4.15, ta có thể đưa ra các nhận xét sau:

Trường hợp khi tàu chạy ngoài biển, sự thay đổi phân bố áp suất thủy động ở phương án số 21 là nhỏ nhất trong số các phương án, đây là một trong lý do giải thích cho lực cản áp suất của phương án này là nhỏ nhất trong số 25 phương án. Phương án có sự thay đổi phân bố áp suất thủy động lớn nhất trên bề mặt vỏ tàu là phương án số 8, sự thay đổi lớn về phân bố áp suất thủy động này trên bề mặt vỏ tàu là nguyên nhân dẫn đến phương án này có lực cản áp suất lớn nhất trong số 25 phương án.

Trường hợp khi tàu chạy trong luồng Cẩm Phả, sự thay đổi phân bố áp suất thủy động ở phương án số 6 là nhỏ nhất trong số các phương án, đây là một trong lý do giải thích cho lực cản áp suất của phương án này là nhỏ nhất trong số 25 phương án. Phương án có sự thay đổi phân bố áp suất thủy động lớn nhất trên bề mặt vỏ tàu là phương án số 8, sự thay đổi lớn về phân bố áp suất thủy động này trên bề mặt vỏ tàu là nguyên nhân dẫn đến phương án này có lực cản áp suất lớn nhất trong số 25 phương án.

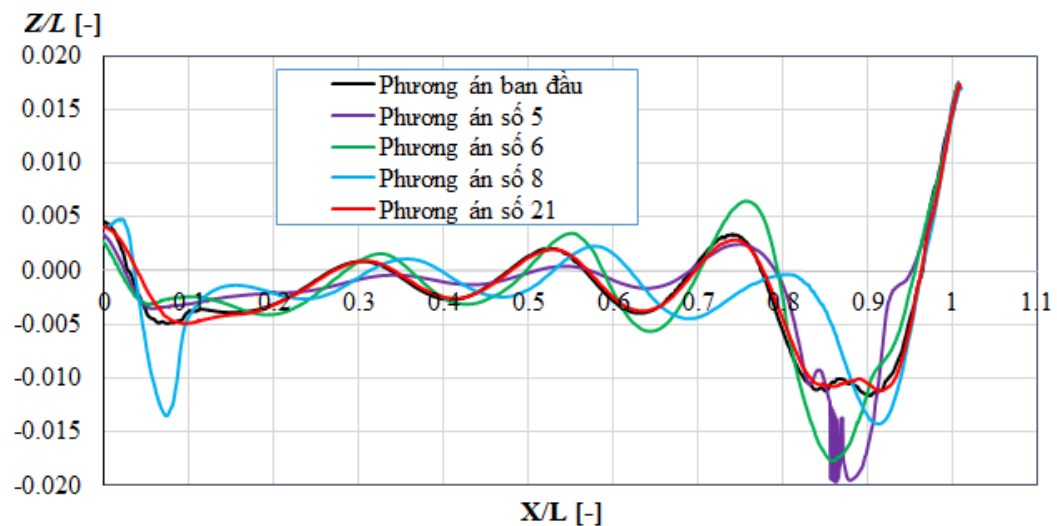


a) Tàu chạy trên biển tại tốc độ 10 knots b) Tàu chạy trong luồng Cẩm Phả tại tốc độ 9,0 knots

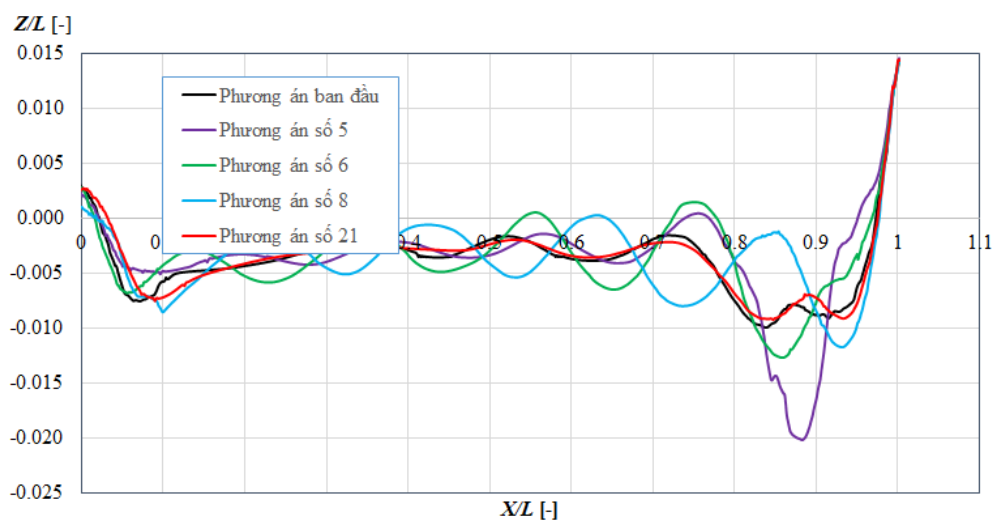
Hình 4.12. Hình ảnh sóng bề mặt do tàu tạo ra khi chuyển động

Trên Hình 4.12 và 4.13 biểu diễn sóng bề mặt và profile sóng dọc thân tàu ở 05 phương án mang tính chất đại diện khác nhau. Từ kết quả thu được trên Hình 4.12 và 4.13, ta có thể thấy rằng, ở các phương án hình dáng khác nhau thì có sự

phân bố biên độ và hình dáng sóng khác nhau đặc biệt là tại khu vực mũi và đuôi tàu. Ngoài ra, ta còn thấy tại cùng một phương án nhưng ở điều kiện khai thác khác nhau (chạy trên biển và trong luồng) cũng dẫn đến sự khác nhau về hình dạng sóng bề mặt do tàu tạo ra khi chuyển động, cụ thể:



a) Tàu chạy trên biển tại tốc độ 10 knots



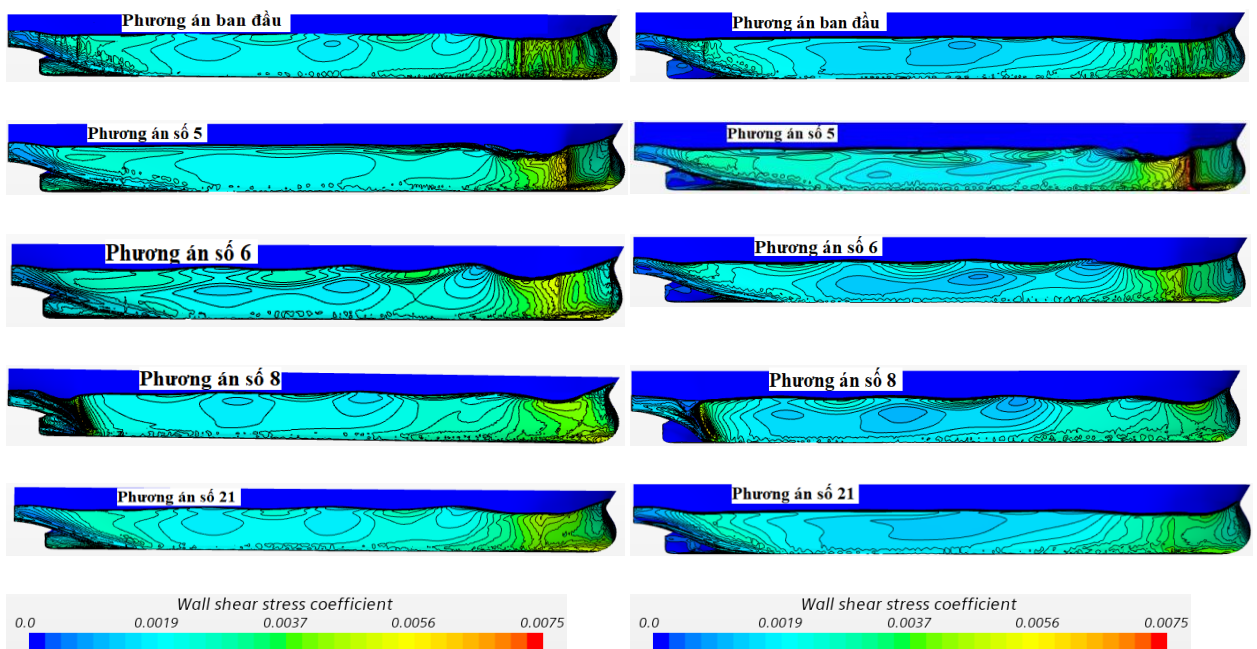
b) Tàu chạy trong luồng Cẩm Phả tại tốc độ 9,0 knots

Hình 4.13. Profile sóng dọc thân tàu khi chạy ở 2 điều kiện khai thác khác nhau

Trường hợp khi tàu chạy ngoài biển, phương án số 21 là phương án tuyến hình có biên độ chiều cao sóng nhỏ nhất so với các phương án còn lại. Phương án có chiều cao sóng lớn nhất là phương án số 6 và số 8.

Trường hợp khi tàu chạy trong luồng Cẩm Phả, phương án số 6 là phương án tạo ra có sự khác biệt rõ rệt về bước sóng, vị trí đỉnh sóng và đáy sóng so với các phương án còn lại.

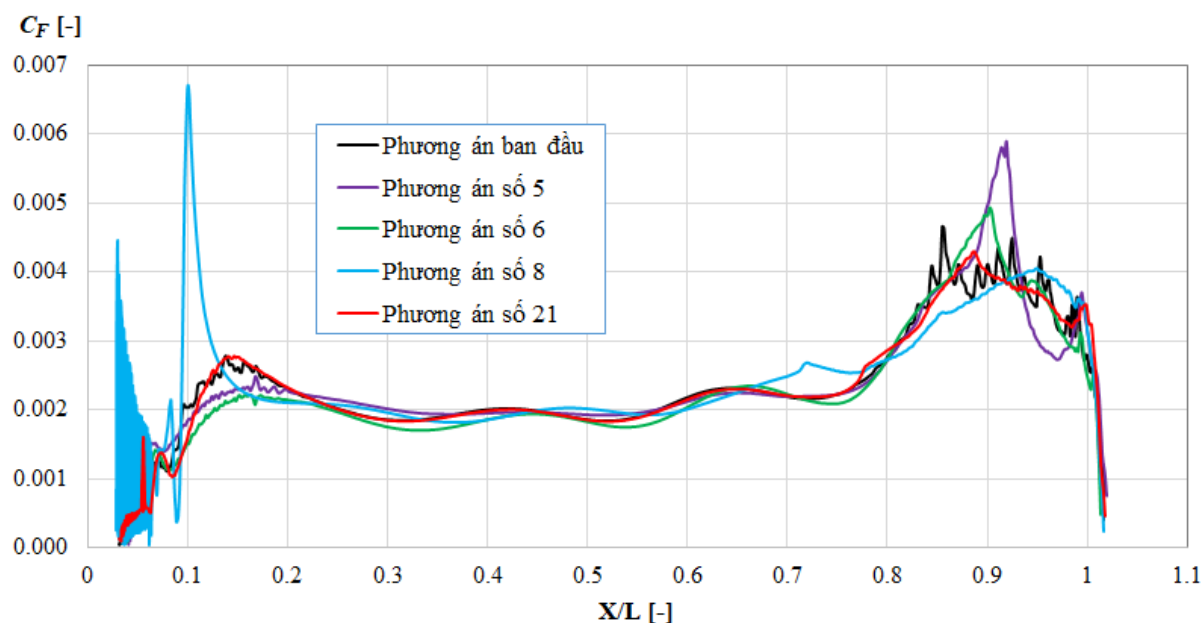
Trên Hình 4.14 và 4.15 biểu diễn biểu đồ phân bố ứng suất tiếp (C_F) trên bề mặt vỏ tàu và ở vị trí $Z=2,5m$ ở 05 phương án mang tính chất đại diện khác nhau. Từ kết quả thu được trên Hình 4.14 và 4.15, ta có thể thấy rằng, cũng giống như sự phân bố C_P , ở các phương án hình dáng khác nhau có sự phân bố C_F khác nhau đặc biệt là tại khu vực mũi và đuôi tàu. Tuy nhiên, khác với C_P , mức độ thay đổi C_F là không đáng kể trừ phương án số 5 và số 8 ở cả hai điều kiện khai thác khác nhau đều có sự thay đổi mạnh giá trị C_F tương ứng tại vị trí $X/L = 0,1$ và $0,91$. Ngoài ra, ta còn quan sát thấy tại cùng một phương án nhưng ở điều kiện khai thác khác nhau (chạy trên biển và trong luồng) cũng dẫn đến sự khác nhau về giá trị C_F .



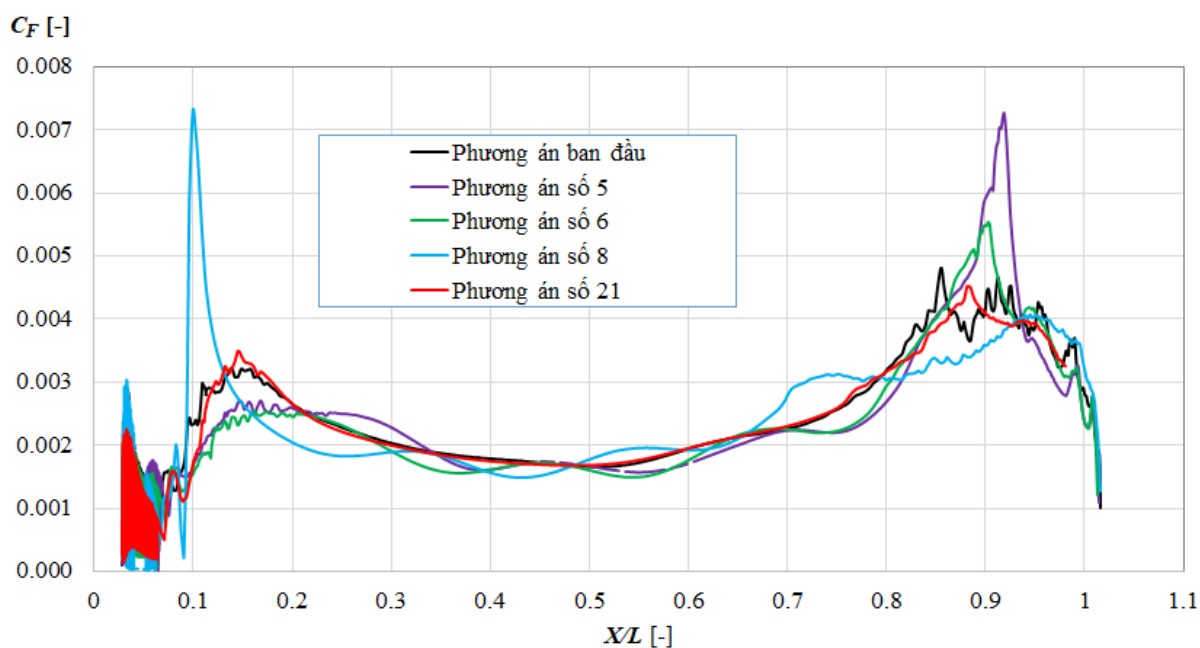
a) Tàu chạy trên biển tại tốc độ 10,0 knots

b) Tàu chạy trong luồng Cẩm Phả tại tốc độ 9,0 knots

Hình 4.14. Phân bố C_F trên bề mặt vỏ tàu ở các phương án khác nhau



a) Tàu chạy trên biển tại tốc độ 10 knots



b) Tàu chạy trong luồng Cầm Phả tại tốc độ 9,0 knots

Hình 4.15. Giá trị C_F tại vị trí $Z=2,5m$

4.3.2. Phân tích tương quan xám

Kết quả phân tích mối tương quan xám được trình bày trên Bảng 4.8. Từ kết quả tính toán thu được trên Bảng 4.8 ta thấy rằng phương án số 21 (A5B1C5D4E3) là phương án có bậc tương quan xám lớn nhất là bậc 1 (được bôi đậm trong Bảng 4.8) đây là phương án gần nhất với phương án tối ưu. Phương án

này là sự kết hợp của 05 tham số hình dáng thân tàu có giá trị như sau: $1/2\alpha_E = 42^\circ$, $C_{LPR} = 0.0141$, $C_{ABT} = 0.1816$, $C_{VPR} = 0.00173$, $LCB = 48.654\%L_{BP}$.

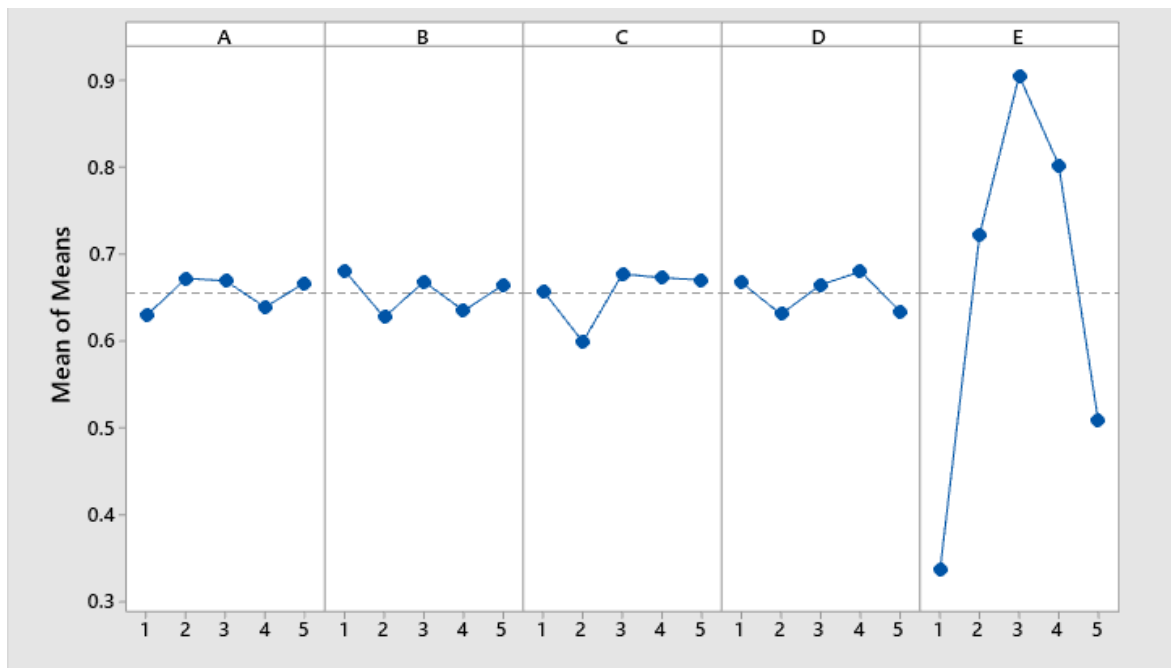
Bảng 4.10. Bảng kết quả phân tích tương quan xám

Trường hợp tính	chuẩn hóa dữ liệu			Xác định chuỗi độ lệch			Hệ số tương quan xám, trọng số và bậc				
	R _{T1} [kN]	R _{T2} [kN]	R [kN]	R _{T1} [kN]	R _{T2} [kN]	R _T [kN]	R _{T1} [kN]	R _{T2} [kN]	R _T [kN]	grade	Grey order
1	0,0309	0,0000	0,0295	0,9691	1,0000	0,9705	0,3403	0,3333	0,3400	0,3379	21
2	0,6862	0,4055	0,6785	0,3138	0,5945	0,3215	0,6144	0,4568	0,6086	0,5599	15
3	0,9756	0,9363	0,9769	0,0244	0,0637	0,0231	0,9535	0,8870	0,9557	0,9321	3
4	0,8229	0,9835	0,8303	0,1771	0,0165	0,1697	0,7384	0,9681	0,7466	0,8177	5
5	0,4080	0,6322	0,4163	0,5920	0,3678	0,5837	0,4579	0,5762	0,4614	0,4985	19
6	0,7979	1,0000	0,8067	0,2021	0,0000	0,1933	0,7122	1,0000	0,7212	0,8111	6
7	0,3924	0,7679	0,4057	0,6076	0,2321	0,5943	0,4514	0,6829	0,4569	0,5304	16
8	0,0000	0,0128	0,0000	1,0000	0,9872	1,0000	0,3333	0,3362	0,3333	0,3343	25
9	0,9220	0,5856	0,9131	0,0780	0,4144	0,0869	0,8650	0,5468	0,8520	0,7546	14
10	0,9677	0,9470	0,9696	0,0323	0,0530	0,0304	0,9394	0,9041	0,9427	0,9287	4
11	0,9275	0,6794	0,9217	0,0725	0,3206	0,0783	0,8734	0,6093	0,8646	0,7824	9
12	0,9791	0,9311	0,9801	0,0209	0,0689	0,0199	0,9599	0,8789	0,9617	0,9335	2
13	0,8236	0,9645	0,8304	0,1764	0,0355	0,1696	0,7392	0,9337	0,7467	0,8066	7
14	0,3185	0,6739	0,3309	0,6815	0,3261	0,6691	0,4232	0,6053	0,4277	0,4854	20
15	0,0157	0,0187	0,0154	0,9843	0,9813	0,9846	0,3369	0,3375	0,3368	0,3371	23
16	0,3811	0,7420	0,3939	0,6189	0,2580	0,6061	0,4469	0,6596	0,4520	0,5195	17
17	0,0101	0,0151	0,0098	0,9899	0,9849	0,9902	0,3356	0,3367	0,3355	0,3359	24
18	0,9237	0,5952	0,9152	0,0763	0,4048	0,0848	0,8676	0,5526	0,8550	0,7584	12
19	0,8137	0,9236	0,8195	0,1863	0,0764	0,1805	0,7286	0,8674	0,7347	0,7769	10
20	0,8127	0,9697	0,8201	0,1873	0,0303	0,1799	0,7275	0,9429	0,7354	0,8019	8
21	1,0000	0,9207	1,0000	0,0000	0,0793	0,0000	1,0000	0,8631	1,0000	0,9544	1
22	0,7890	0,9518	0,7965	0,2110	0,0482	0,2035	0,7033	0,9120	0,7107	0,7753	11
23	0,3448	0,7361	0,3585	0,6552	0,2639	0,6415	0,4328	0,6546	0,4380	0,5085	18
24	0,0248	0,0099	0,0240	0,9752	0,9901	0,9760	0,3389	0,3355	0,3387	0,3377	22
25	0,9250	0,5854	0,9161	0,0750	0,4146	0,0839	0,8696	0,5467	0,8564	0,7576	13

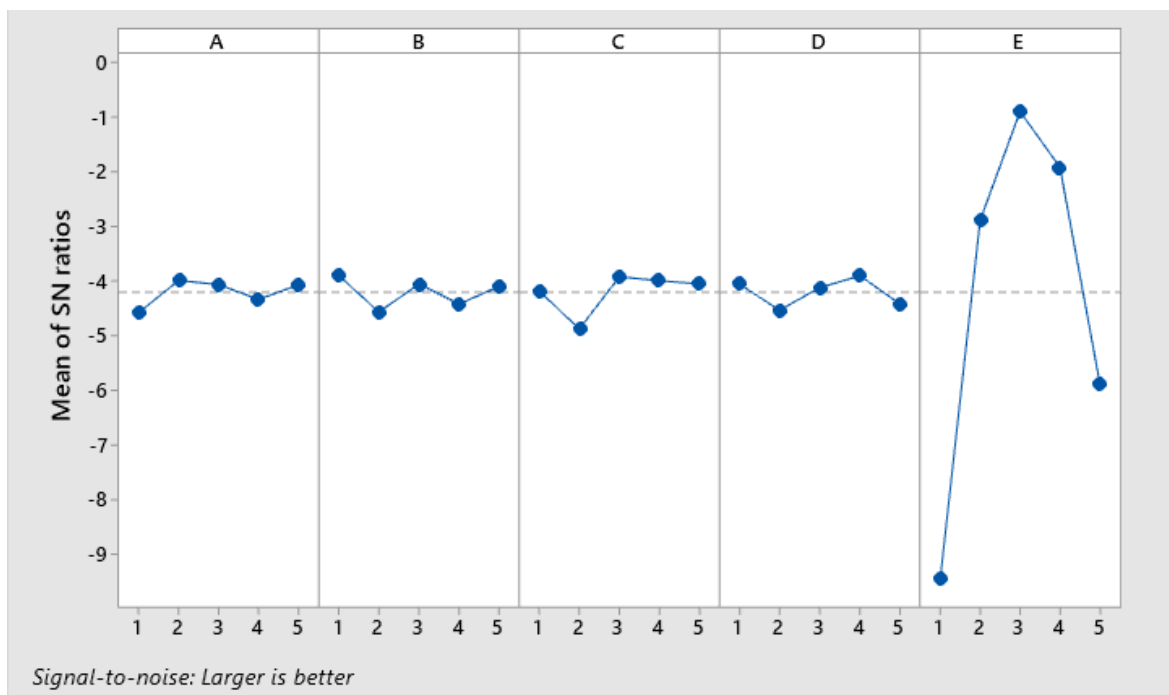
Căn cứ trên kết quả tính toán thu được trên Bảng 4.8, ta sẽ tính toán ra được giá trị của bậc tương quan xám cho từng mức của các biến thiết kế và giá trị trung bình như trình bày trên Bảng 4.9. Từ kết quả thu được trên Bảng 4.9, ta thấy phương án tối ưu dưới góc độ lực cản là phương án **A2B1C3D4E3**. Nghĩa là sự kết hợp của các biến thiết kế có giá trị như sau: $1/2\alpha_E = 42^\circ$, $C_{LPR} = \mathbf{0,0141}$, $C_{ABT} = \mathbf{0,1600}$, $C_{VPR} = 0,00173$, $LCB = \mathbf{48,654\%L_{BP}}$. Giá trị trung bình của bậc tương quan xám là 0,6551. Ngoài ra, kết quả này còn chỉ ra rằng, tham số có ảnh hưởng lớn nhất đến lực cản tàu theo thứ tự là LCB , C_{ABT} , C_{LPR} , C_{VPR} và $1/2\alpha_E$. Hình 4.16 biểu diễn mối quan hệ giữa bậc tương quan xám với số mức của từng biến thiết kế.

Bảng 4.11. Bảng kết quả tính toán giá trị của bậc tương quan xám cho từng mức của các biến thiết kế

Tham số	Mã code	Số mức					RANK [Max-min]
		1	2	3	4	5	
$1/2\alpha_E$	A	0,6292	0,6718	0,6690	0,6385	0,6667	5(0,0426)
C_{LPR}	B	0,6811	0,6270	0,6680	0,6345	0,6648	3(0,0540)
C_{ABT}	C	0,6572	0,5987	0,6769	0,6725	0,6700	2(0,0782)
C_{VPR}	D	0,6673	0,6305	0,6644	0,6796	0,6335	4(0,0491)
LCB	E	0,3366	0,7226	0,9051	0,8025	0,5085	1(0,5685)



Hình 4.16. Đồ thị quan hệ giữa bậc tương quan xám với số mức của từng biến thiết kế



Hình 4.17. Tỷ số tín hiệu/nhiều đối với từng biến

4.3.3. Phân tích phương sai

Bảng 4.12. Kết quả tính toán phân tích phương sai

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	Contribution
A	4	0,00776	0,001939	0,99	0,8%
B	4	0,01073	0,002683	1,36	1,1%
C	4	0,02093	0,005233	2,66	2,0%
D	4	0,00954	0,002385	1,21	1,0%
E	4	1,05875	0,264687	134,58	95,1%
Error	4	0,00787	0,001967		
Total	24	1,11557			

Kết quả phân tích phương sai đối với bậc tương quan xám được trình bày trên Bảng 4.10. Ở đây các ký hiệu trên Bảng 4.10 được hiểu như sau: DF – là bậc tự do, SS – là tổng bình phương, MS – là bình phương trung bình. Từ kết quả tính toán thu được trên Bảng 4.10, ta thấy rằng mức độ ảnh hưởng của $\frac{1}{2}$ góc vào nước ($1/2\alpha_E$), hệ số chiều dài mũi quả lê C_{LPR} , hệ số diện tích mặt cắt ngang mũi quả lê C_{ABT} , hệ số thể tích C_{VPR} của mũi quả lê và vị trí hoành độ tâm nổi (LCB) lần lượt là 0,8%, 1,1%, 2,0%, 1,0% và 95,1%. Từ kết quả này ta thấy rằng, tham số LCB có ảnh hưởng lớn nhất đến bậc tương quan xám. $\frac{1}{2}$ góc vào nước ($1/2\alpha_E$) có ảnh hưởng ít nhất đến bậc tương quan xám với mức độ đóng góp chỉ là 0,8%.

4.4. Đánh giá mức giảm lực cản giữa phương án tuyến hình cải tiến và phương án ban đầu

4.4.1. So sánh phương án tuyến hình cải tiến và tuyến hình ban đầu

Trên cơ sở kết quả phương án tối ưu thu được ở Chương 3, là sự kết hợp của các biến thiết kế có giá trị: $1/2\alpha_E = 42^\circ$, $C_{LPR} = 0,0141$, $C_{ABT} = 0,160$, $C_{VPR} = 0,00173$, $LCB = 48,654\%L_{BP}$. (phương án A2B1C3D4E3). NCS triển khai xây dựng phương án tuyến hình này và so sánh kết quả tính toán lực cản tàu giữa phương án này với phương án tuyến hình ban đầu. Sự khác nhau về hình dáng giữa phương án ban đầu và phương án tối ưu được trình bày trên Hình 4.16.

4.4.2. Đánh giá mức giảm lực cản tàu

Bảng 4.13. So sánh kết quả tính toán lực cản tàu giữa phương án ban đầu và phương án tối ưu

	Biến thiết kế và các mức					Các hàm mục tiêu thành phần (phản hồi)						Hàm mục tiêu chung
Trường hợp tính	$1/2\alpha_E$	C_{LPR}	C_{ABT}	$C_{\nabla PR}$	LCB	Lực cản tàu khi chạy ngoài biển			Lực cản tàu khi chạy trong luồng Cẩm Phả			R_T [kN]
	A	B	C	D	E	R_{T1} [kN]	R_{F1} [kN]	R_{P1} [kN]	R_{T2} [kN]	R_{F2} [kN]	R_{P2} [kN]	
Phương án ban đầu	3	3	3	3	3	95,7	48,87	46,8	110,1	44,00	66,1	96,0
Phương án tối ưu	2	1	3	1	3	91,0	48,62	42,38	109,0	43,85	65,15	91,45

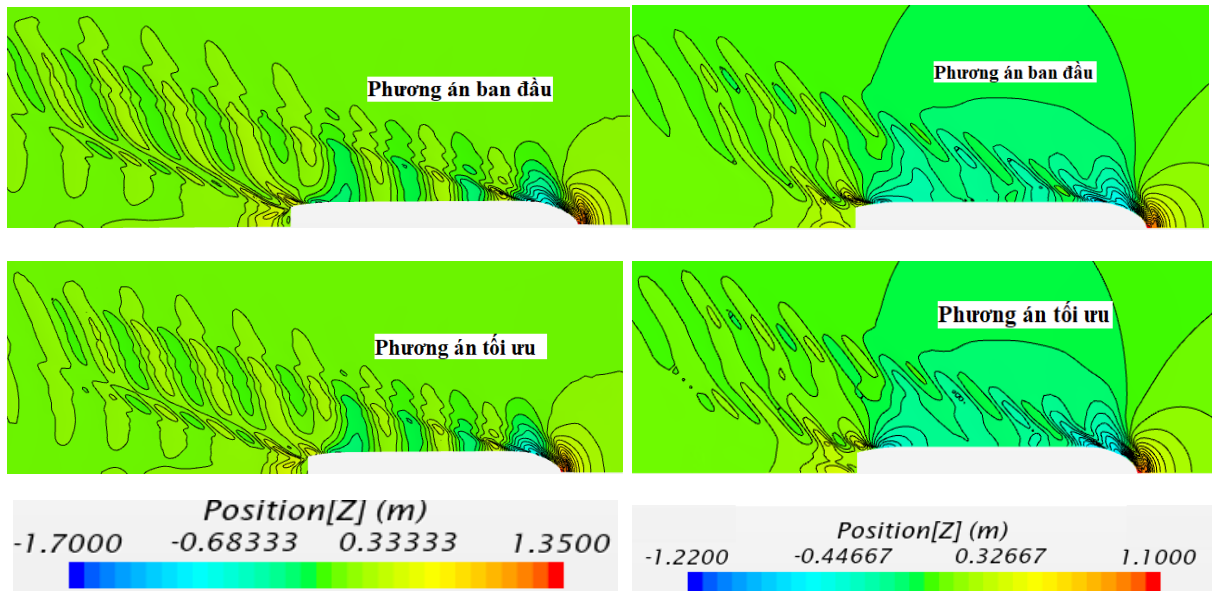
Trên Bảng 4.12 trình bày kết quả tính toán lực cản tàu giữa phương án ban đầu và phương án tối ưu. Từ kết quả thu được trên Bảng 4.12 ta thấy, phương án tối ưu có lực cản giảm **4,8%** so với phương án ban đầu.

4.4.3. Phân tích sự khác nhau về dòng chảy bao quanh thân tàu

Sự khác nhau về lực cản tàu giữa phương án ban đầu và phương án tối ưu có thể được giải thích nhờ vào các hình ảnh trực quan về dòng chảy bao quanh thân tàu. Trên Hình từ 4.18 đến 4.28 biểu diễn sự khác nhau về sóng bề mặt, phân bố áp suất và ứng suất tiếp giữa hai phương án.

Trên Hình 4.18, 4.19 và 4.20 ta có thể dễ dàng nhận thấy sự khác nhau về phân bố sóng bề mặt do tàu chuyển động tạo ra. Cụ thể, khi tàu chạy ngoài biển, chiều cao sóng phía mũi tàu ở phương án tối ưu nhỏ hơn so với phương án ban đầu. Ở các khu vực còn lại profile sóng gần như giống nhau giữa phương án tối ưu và phương án ban đầu. Khi tàu chạy trong luồng Cẩm Phả (vùng nước nông),

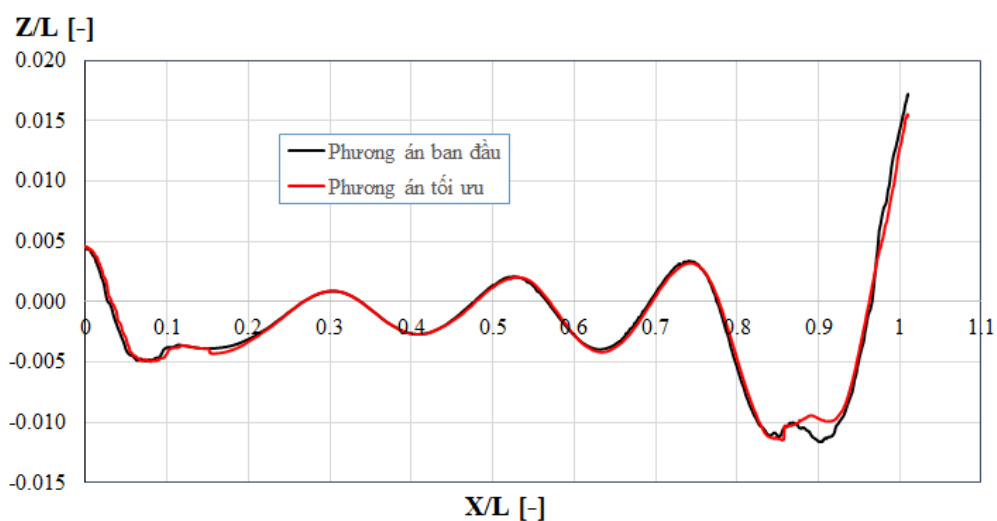
ta nhận thấy có sự khác nhau về profile sóng rõ ràng hơn giữa phương án tối ưu và phương án ban đầu. Đặc biệt sự khác nhau được thể hiện rõ nét ở phía mũi và đuôi tàu, điều này được lý giải là do sự khác nhau lớn về hiệu ứng squat (chiều chìm động và độ chúi động) giữa phương án tối ưu và phương án ban đầu khi tàu chạy trong vùng nước nông.



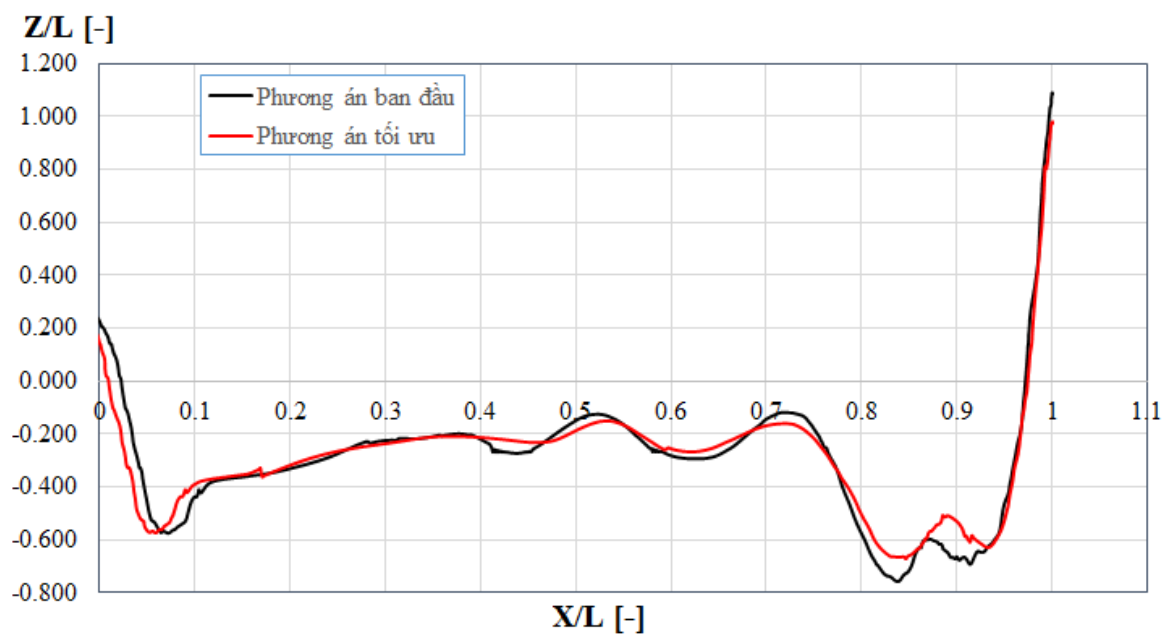
a) tàu chạy trên biển tại tốc độ 10,0 knots

b) tàu chạy trong luồng Cẩm Phả tại tốc độ 9,0 knots

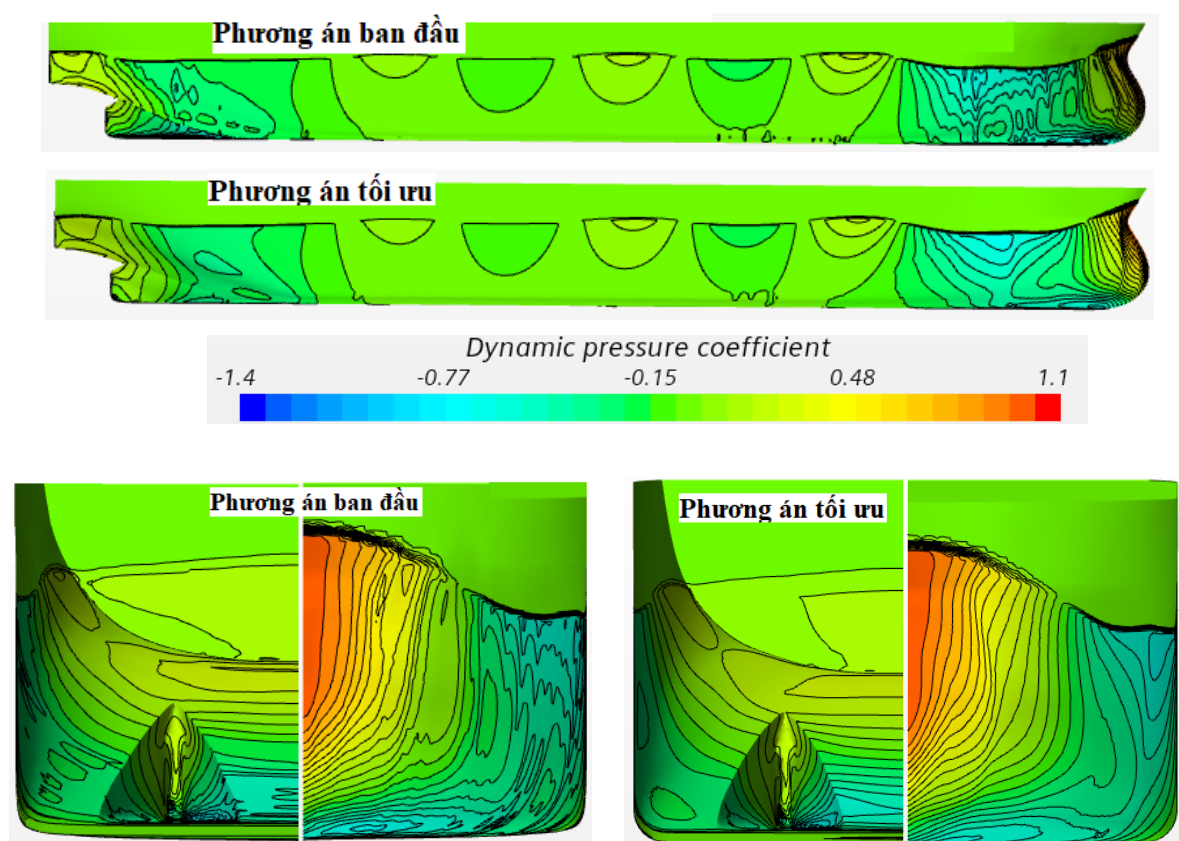
Hình 4.18. Sự khác nhau về sóng bề mặt giữa phương án ban đầu và phương án tối ưu



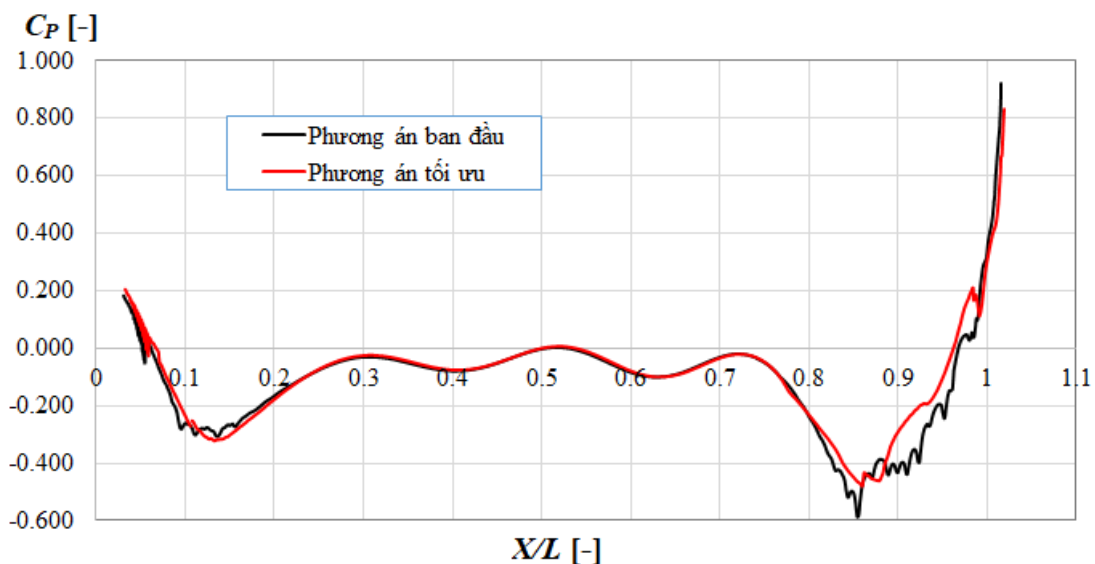
Hình 4.19. Sự khác nhau về profile sóng dọc thân tàu giữa phương án ban đầu và phương án tối ưu khi tàu chạy trên biển tại tốc độ 10,0 knots



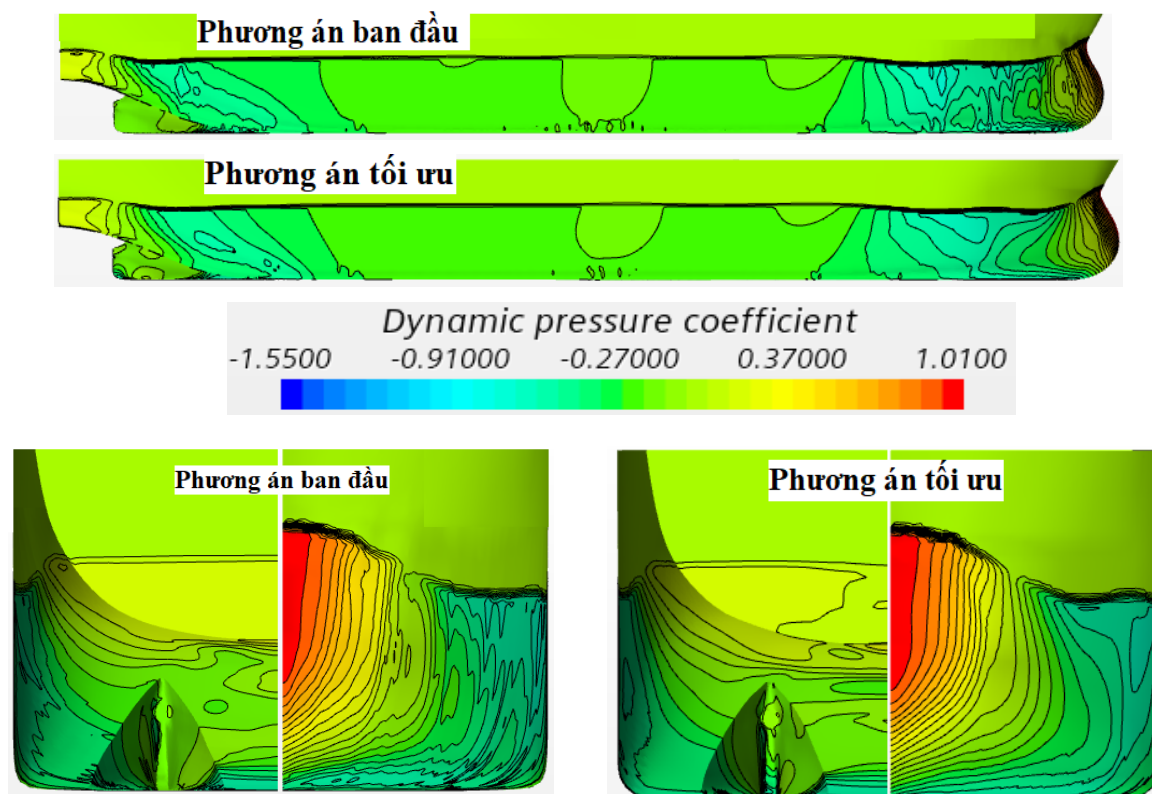
Hình 4.20. Sự khác nhau về profile sóng dọc thân tàu giữa phương án ban đầu và phương án tối ưu khi tàu chạy trong luồng Cẩm Phả ở tốc độ 9,0 knots



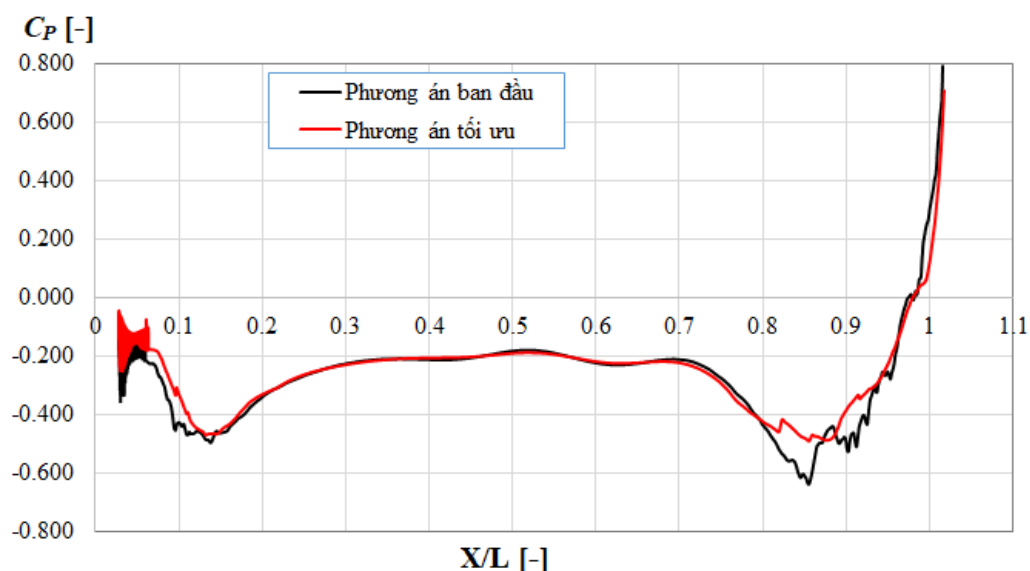
Hình 4.21. Sự khác nhau về phân bố C_p trên vỏ tàu giữa phương án ban đầu và phương án tối ưu khi tàu chạy ngoài biển ở tốc độ 10,0 knots



Hình 4.22. Sự khác nhau về giá trị C_P giữa phương án ban đầu và phương án tối ưu khi tàu chạy ngoài biển ở tốc độ 10,0 knots tại vị trí $Z=2,5m$

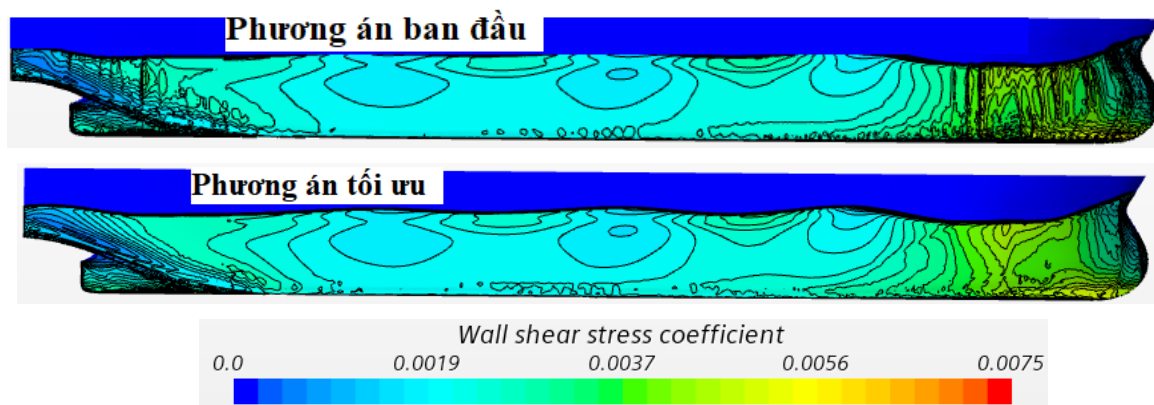


Hình 4.23. Sự khác nhau về phân bố C_P trên vỏ tàu giữa phương án ban đầu và phương án tối ưu khi tàu chạy trong luồng Cẩm Phả ở tốc độ 9,0 knots

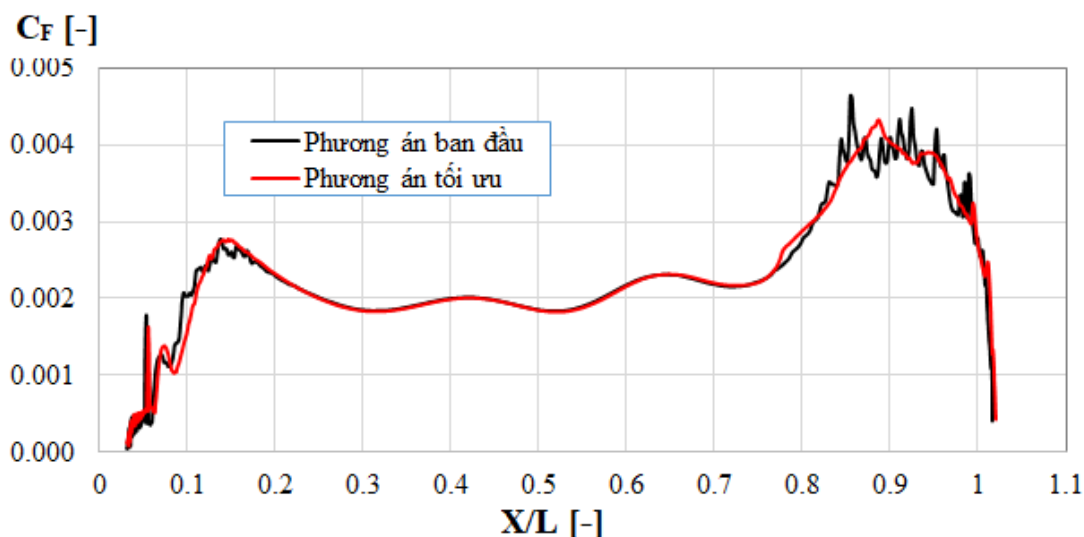


Hình 4.24. Sự khác nhau về giá trị C_p giữa phương án ban đầu và phương án tối ưu khi tàu chạy trong luồng Cẩm Phả ở tốc độ 9,0 knots tại vị trí $Z=2,5m$

Trên Hình từ 4.21 đến 4.24, ta có thể dễ dàng nhận thấy sự khác nhau về phân bố áp suất thủy động (C_p) trên bề mặt vỏ tàu giữa phương án tối ưu và phương án ban đầu khi tàu chạy ngoài biển (vùng nước sâu) và chạy trong luồng Cẩm Phả (vùng nước nông). Sự khác nhau được thể hiện rõ nét nhất tại khu vực phía mũi và đuôi tàu. Giá trị C_p ở phương án tối ưu nhỏ hơn so với phương án ban đầu tại vị trí $X/L=0 - 0,15$ và từ $0,8 - 1,0$ (xem Hình 4.22 và 4.24).

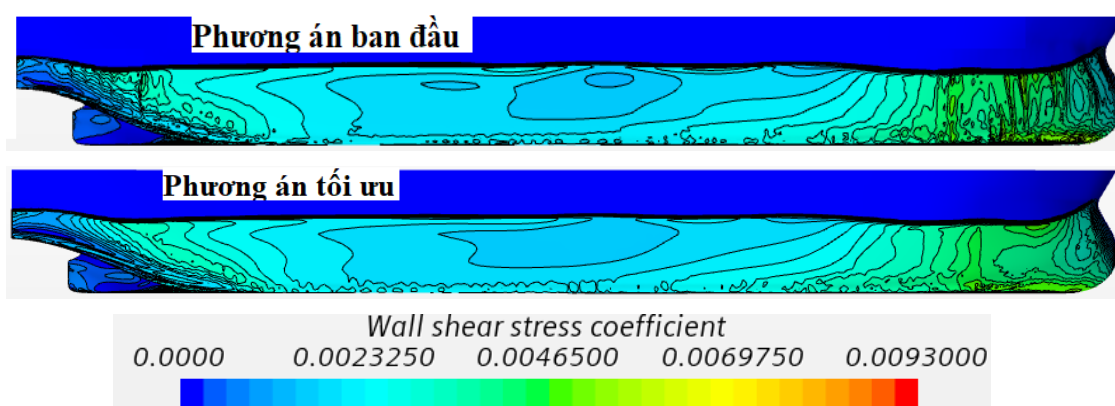


Hình 4.25. Sự khác nhau về phân bố C_f trên vỏ tàu giữa phương án ban đầu và phương án tối ưu khi tàu chạy ngoài biển ở tốc độ 10,0 knots

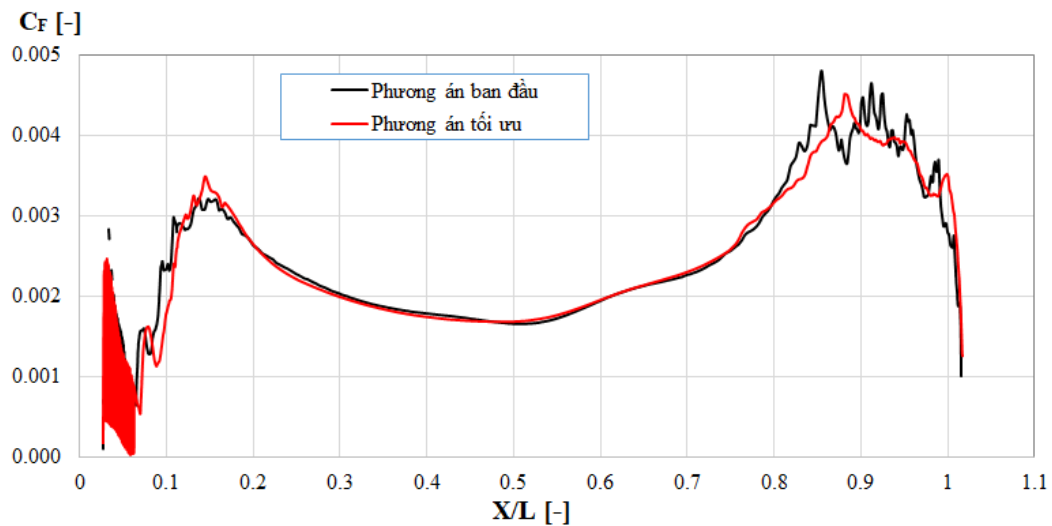


Hình 4.26. Sự khác nhau về giá trị C_F giữa phương án ban đầu và phương án tối ưu khi tàu chạy ngoài biển ở tốc độ 10,0 knots tại vị trí $Z=2,5m$

Trên Hình từ 4.26 đến 4.28, ta có thể dễ dàng nhận thấy sự khác nhau về phân bố ứng suất tiếp (C_p) trên bề mặt vỏ tàu giữa phương án tối ưu và phương án ban đầu khi tàu chạy ngoài biển (vùng nước sâu) và chạy trong luồng Cẩm Phả (vùng nước nông). Cũng giống như sự khác nhau về C_p , sự khác nhau về C_F được thể hiện rõ nét nhất tại khu vực phía mũi và đuôi tàu. Giá trị C_F ở phương án tối ưu nhỏ hơn so với phương án ban đầu tại vị trí $X/L=0 - 0,15$ và từ $0,8 - 1,0$ (xem Hình 4.26 và 4.28). Ở các khu vực còn lại giá trị C_F là như nhau giữa phương án tối ưu và phương án ban đầu.



Hình 4.27. Sự khác nhau về phân bố C_F trên vỏ tàu giữa phương án ban đầu và phương án tối ưu khi tàu chạy trong luồng Cẩm Phả ở tốc độ 9,0 knots



Hình 4.28. Sự khác nhau về giá trị C_F giữa phương án ban đầu và phương án tối ưu khi tàu chạy trong luồng Cẩm Phả ở tốc độ 9,0 knots tại vị trí $Z=2,5m$

4.5. Kết luận Chương 4

Trên cơ sở áp dụng mô hình bài toán cải tiến tuyến hình tàu mang cấp VR-SB ở Chương 3 vào trong cải tiến tuyến hình tàu trọng tải 4600 tấn, Chương 4 đã giải quyết được các nội dung sau:

- Đã xây dựng được 25 phương án tuyến hình tàu, mỗi phương án tương ứng là sự kết hợp giá trị của 5 biến thiết kế.

- Đã áp dụng phương pháp CFD vào trong tính toán lực cản tàu ứng với 25 phương án xây dựng ở 02 điều kiện khai thác khác nhau gồm chạy ngoài biển (nước sâu) và chạy trong luồng Cẩm Phả (nước nông).

- Đã áp dụng phương pháp Taguchi kết hợp phân tích mối tương quan xám để xác định xu hướng và mức độ ảnh hưởng dưới dạng định lượng của từng biến thiết kế đến kết quả đầu ra cũng như xác định được sự kết hợp giá trị của các biến thiết kế cho ra kết quả tối ưu nhất về lực cản.

- So sánh lực cản tàu giữa phương án tối ưu và phương án ban đầu để xác chỉ ra rằng, phương án tối ưu cho lực cản nhỏ hơn 4,8% so với phương án ban đầu.

- Việc phân tích dòng chảy bao quanh thân tàu giữa các phương án hình dáng thân tàu khác nhau nhằm giải thích bản chất vật lý dẫn đến sự thay đổi lực cản tàu

giữa các phương án và giữa phương án tối ưu và phương án ban đầu. Điều này giải thích cho việc kết quả giảm lực cản 4,8% giữa phương án tối ưu và ban đầu không phải đến từ sai số trong tính toán mà do sự khác nhau về dòng chảy bao quanh vỏ tàu giữa chúng.

KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

1. KẾT LUẬN

Luận án “*Nghiên cứu cải tiến hình dáng tàu hàng cấp VR-SB phù hợp với tuyến đường thủy nội địa Việt Nam nhằm giảm lực cản tàu*” đã đạt được mục tiêu nghiên cứu đặt ra và thu được các kết quả có ý nghĩa giá trị về mặt khoa học cũng như về mặt thực tiễn, cụ thể như sau:

- Đã tổng hợp, thống kê và phân tích được các đặc điểm của tuyến đường thủy nội địa Việt Nam, cơ cấu đội tàu chạy trên tuyến VR-SB. Đây là số liệu đầu vào phục vụ cho việc tối ưu hóa tuyến hình tàu cấp VR-SB.

- Đã tổng hợp, phân tích, thống kê được các nghiên cứu điển hình trên thế giới và trong nước liên quan đến thiết kế tối ưu tuyến hình tàu. Đây là cơ sở giúp NCS đặt ra mục tiêu, nội dung nghiên cứu và lựa chọn phương pháp nghiên cứu phù hợp để đạt được mục tiêu nghiên cứu đặt ra trong luận án.

- Đã phân tích, lập luận một cách khoa học về ảnh hưởng của điều kiện khai thác đến lực cản tàu; về hàm mục tiêu, về trọng số của các hàm mục tiêu thành phần trong thiết kế hình dáng thân tàu chạy pha sông biển.

- Đã xây dựng được mô hình bài toán cải tiến hình dáng thân tàu hàng cấp VR-SB nhằm giảm sức cản tàu trên cơ sở có tính đến đặc điểm tuyến đường khai thác thông qua việc sử dụng trọng số hàm mục tiêu tính đến thời gian tàu hành trình ở các đoạn có độ sâu khác nhau. Bên cạnh đó mô hình bài toán còn cho phép đánh giá được mức độ ảnh hưởng của từng thông số hình dáng thân tàu đến lực cản tàu, từ đó cho phép người thiết kế biết cần tác động vào thông số nào để giảm lực cản tàu một cách hiệu quả nhất.

- Đã áp dụng mô hình bài toán đưa ra vào trong cải tiến tuyến hình tàu hàng có trọng tải 4600 tấn mang cấp VR-SB (đang được khai thác phổ biến trên tuyến). Kết quả tuyến hình cải tiến cho phép giảm lực cản tàu xuống 4,8% so với tuyến hình ban đầu. Nếu bỏ qua sự thay đổi về hiệu suất của thiết bị đẩy sau thân tàu ở

các phương án hình dáng khác nhau, thì mức giảm lực cản tàu sẽ tương ứng với mức giảm công suất máy của tàu và cũng là mức giảm nhiên liệu cho tàu. Như vậy, với công suất máy của tàu là 2x949 HP, suất tiêu hao nhiên liệu riêng của máy là 180 g/kW/h, thì ước tính mỗi ngày sẽ tiết kiệm được 0,27 tấn dầu tương ứng với 165 USD/ngày (với giả thiết máy tàu hoạt động ở 85% công suất định mức và mỗi tấn dầu ước tính có giá là 600 USD).

- Phân tích mức độ ảnh hưởng của từng thông số hình dáng thân tàu đến lực cản tàu, chỉ ra rằng mức độ ảnh hưởng của $\frac{1}{2}$ góc vào nước ($1/2\alpha_E$), hệ số chiều dài mũi quả lê C_{LPR} , hệ số diện tích mặt cắt ngang mũi quả lê C_{ABT} , hệ số thể tích C_{VPR} của mũi quả lê và vị trí hoành độ tâm nổi (LCB) lần lượt là 0,8%, 1,1%, 2,0%, 1,0% và 95,1%. Từ kết quả này ta thấy rằng, tham số LCB có ảnh hưởng lớn nhất đến lực cản tàu còn tham số $\frac{1}{2}$ góc vào nước ($1/2\alpha_E$) có ảnh hưởng nhỏ nhất đến lực cản tàu.

- Đã phân tích và giải thích được bản chất nguyên nhân dẫn đến sự thay đổi lực cản tàu khi thay đổi các thông số hình dáng thân tàu bằng việc đưa ra các hình ảnh rất trực quan liên quan đến sự khác nhau về dòng chảy bao quanh thân tàu ở các phương án hình dáng khác nhau.

2. KIẾN NGHỊ

- *Đối với thiết kế tuyến hình tàu:* Cần đặc biệt lưu ý đến việc lựa chọn LCB tối ưu vì đây là tham số có ảnh hưởng lớn nhất đến lực cản tàu.

- *Đối với việc sử dụng cụ tính toán lực cản tàu:* Các cơ sở thiết kế tàu trong nước nên tăng cường ứng dụng mô phỏng CFD trong tính toán lực cản tàu trong giai đoạn thiết kế phương án để dự báo chính xác lực cản tàu, thay thế dần phương pháp sử dụng các công thức bán thực nghiệm.

- *Về hướng nghiên cứu tiếp theo:* Việc cải tiến tuyến hình tàu từ tuyến hình tàu mẫu trong luận án này mới chỉ xét đến dưới góc độ giảm lực cản tàu trên nước tĩnh và không có dòng chảy khi tàu chạy ở chế độ toàn tải cũng chưa tính đến ảnh hưởng của việc thay đổi hình dáng này đến hệ số lực hút và hệ số dòng theo phía sau thân tàu khi có chong chóng làm việc sau thân tàu. Từ các phân tích nêu ở

trên, NCS kiến nghị để có thể xem xét, đánh giá được một cách toàn diện mức tiết kiệm nhiên liệu, cần thiết phải có các nghiên cứu mở rộng về:

- Ảnh hưởng của sóng gió và dòng chảy đến các thông số hình dáng tối ưu của tàu;

- Ảnh hưởng của trạng thái tải trọng đến các tham số hình dáng tối ưu của tàu.

- Ảnh hưởng của việc thay đổi hình dáng thân tàu đến sự thay đổi hệ số lực hút và hệ số dòng theo phía sau thân tàu, từ đó mới có thể đánh giá được tổng thể mức tiết kiệm năng lượng ở phương án tuyến hình cải tiến so với tuyến hình ban đầu.

DANH MỤC CÁC CÔNG TRÌNH KHOA HỌC CÔNG BỐ KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU CỦA ĐỀ TÀI LUẬN ÁN

I. Các công bố liên quan đến nội dung luận án

1. **Vu Minh Ngoc**, Nguyen Thi Hai Ha, Pham Minh Ngoc, Dam Van Tung. Nguyen Huy Hao, Tran Ngoc Tu (2023). *Numerical Simulation Flow Around the 4600 DWT Cargo Ship in Calm Water Condition Using RANSE Method*. IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 1278 012024. (Scopus Conference) DOI: DOI [10.1088/1755-1315/1278/1/012024](https://doi.org/10.1088/1755-1315/1278/1/012024).
2. **Vu Minh Ngoc**, Nguyen Thi Hai Ha, Nguyen Huy Hao, Tran Ngoc Tu (2023). *Numerical Investigation on the Influence of Ship Hull Form Modification on Resistance of the 4600 DWT Cargo Ship*. IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 1278 012023. (Scopus Conference) DOI: [10.1088/1755-1315/1278/1/012023](https://doi.org/10.1088/1755-1315/1278/1/012023).
3. **Vu Minh Ngoc**, Nguyen Thi Hai Ha, Nguyen Huy Hao, Tran Ngoc Tu (2025). *Numerical Study on the Effect of water Depth on Resistance of 4600 DWT Cargo Ship*. Proceedings of the 4th Annual International Conference on Material, Machines, and Methods for Sustainable Development (MMMS2024). MMMS 2024. Lecture Notes in Mechanical Engineering. Springer, Cham. (Scopus Conference) DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-031-93816-0_26
4. Tran Ngoc Tu, Tat-Hien Le, Doan Minh Thien, Tran Van Tao, **Vu Minh Ngoc** (tác giả liên hệ) (2025) *Numerical Study of the Effect of River-Sea Ship Hull Form Parameters on Resistance and Their Optimisation Using the Taguchi-Grey Method*. Polish Maritime Research. Vol. 32, No 2(126), pp. 17-28. <https://doi.org/10.2478/pomr-2025-0017>

II. Các công bố khác

1. Tat-Hien Le, Nguyen Duy Anh, Tran Ngoc Tu, Nguyen Thi Ngoc Hoa, **Vu Minh Ngoc**. *Numerical investigation of length to beam ratio effects on ship*

- resistance using RANSE method*. Polish Maritime Research, vol. 30, no. 1, Sciendo, 2023, pp. 13-24. <https://doi.org/10.2478/pomr-2023-0002>. (SCIE, Q2).
2. Tran Ngoc Tu; Nguyen Thi Hai Ha; Tran Viet Ha; **Vu Minh Ngoc**; Do Tat Manh. *Numerical Prediction of Self-Propulsion Point of JBC Ship Model Using RANSE Method*. 2022 9th NAFOSTED Conference on Information and Computer Science (NICS). DOI: 10.1109/NICS56915.2022.10013417 (Scopus conference)
 3. Tran Ngoc Tu, **Vu Minh Ngoc**, Nguyen Thi Thu Quynh, Nguyen Manh Chien, Nguyen Thi Hài Ha, Nguyen Thi Ha Phuong. *Effects of Turbulence Models On RANSE Computation Of Flow Around DTMB 5415 Vessel*. Naval Engineers Journal, Volume 133, Number 3, 1 September 2021, pp. **137-151(15)**. (SCIE, Q4).
 4. Tran Quoc Chuan, Nguyen Kim Phuong, Nguyen Thi Hai Ha, **Vu Minh Ngoc**, Tran Ngoc Tu. *Full-Scale Self-propulsion Computations Using Body Force Propeller Method for Series Cargo Ship 12500DWT*. Proceedings of the 2nd Annual International Conference on Material, Machines and Methods for Sustainable Development (MMMS2020). MMMS 2020. Lecture Notes in Mechanical Engineering. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-69610-8_113 (Scopus conference)
 5. Tran Ngoc Tu, Nguyen Thi Ha Phuong, Vu Tuan Anh, **Vu Minh Ngoc**, Pham Thi Thanh Hai Hai, Cu Huy Chinh. *Numerical prediction of ship resistance in calm water by using RANS method*. Journal of Engineering and Applied Sciences. Vol. 13, No17, pp. 7210-7214, 2018
 6. Tran Ngoc Tu, Nguyen Manh Chien, Nguyen Thi Hai Ha, **Vu Minh Ngoc**. *EEDI reduction by investigating methods of reducing ship resistance*. Global perspectives in MET: Towards Sustainable, Green and Integrated Maritime Transport. ISBN 978-954-8991-96-4. Pp.460-469.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. *Quy định của IMO liên quan đến bảo vệ môi trường*. <https://www.imo.org/en/OurWork/Environment/PollutionPrevention>.
2. *Đề án phát triển đội tàu vận tải biển Quốc tế của Việt Nam*. Cục Hàng hải Việt Nam 23.05.2022. <https://www.vinamarine.gov.vn/vi/noi-dung/du-thao-noi-dung-de-phat-trien-doi-tau-van-tai-bien-quoc-te-cua-viet-nam-0>.
3. <http://www.shipdesign123.com/>.
4. <https://www.visec.com.vn/>.
5. <http://shipdesignservice.com/>.
6. <http://mri.vimaru.edu.vn/>.
7. <https://thuvienphapluat.vn/van-ban/Tai-nguyen-Moi-truong/Luat-su-dung-nang-luong-tiet-kiem-va-hieu-qua-2010-108073.aspx>.
8. <https://thuvienphapluat.vn/van-ban/Tai-nguyen-Moi-truong/Nghi-dinh-21-2011-ND-CP-huong-dan-va-bien-phap-thi-hanh-Luat-Su-dung-nang-luong-120958.aspx>.
9. <https://thuvienphapluat.vn/van-ban/Tai-nguyen-Moi-truong/Quyết-dinh-2053-QĐ-TTg-ke-hoach-thuc-hien-thoa-thuan-Paris-bien-doi-khi-hau-2016-328065.aspx>.
10. <https://thuvienphapluat.vn/van-ban/Tai-nguyen-Moi-truong/Quyết-dinh-280-QĐ-TTg-2019-phe-duyet-Chuong-trình-quoc-gia-ve-su-dung-nang-luong-tiet-kiem-409129.aspx>.
11. Papanikolaou, A., *Ship design: methodologies of preliminary design*. 2014: Springer.
12. Larsson, L. and H.C. Raven, *Ship resistance and flow*. 2010: The Society of Naval Architects and Marine Engineers, SNAME, The Principles of Naval Architecture Series, ISBN: 978-0-939773-76-3.
13. Zhang, B.-J. and S.-L. Zhang, *Research on ship design and optimization based on simulation-based design (SBD) technique*. 2019: Springer.
14. Schneekluth, H. and V. Bertram, *Ship design for efficiency and economy*. Vol. 218. 1998: Butterworth-Heinemann Oxford.
15. Molland, A.F., S.R. Turnock, and D.A. Hudson, *Ship resistance and propulsion*. 2017: Cambridge university press.
16. Roh, M.-I. and K.-Y. Lee, *Computational ship design*. 2018: Springer.
17. Han, S., Y.-S. Lee, and Y.B. Choi, *Hydrodynamic hull form optimization using parametric models*. Journal of marine science technology, 2012. **17**(1): p. 1-17.
18. Lu, Y., et al., *Hydrodynamic Design Study on Ship Bow and Stern Hull Form Synchronous Optimization Covering Whole Speeds Range*. J Mathematical Problems in Engineering, 2019. **2019**.

19. Li, S.-Z., F. Zhao, and Q.-J. Ni, *Bow and Stern Shape Integrated Optimization for a Full Ship by a Simulation-based Design Technique*. Journal of Ship Research, 2014. **58**(2).
20. Szelangiewicz, T. and T. Abramowski, *Numerical analysis of influence of ship hull form modification on ship resistance and propulsion characteristics*. Polish Maritime Research, 2009. **16**(4): p. 3-8.
21. Kim, H. and C. Yang, *A new surface modification approach for CFD-based hull form optimization*. Journal of Hydrodynamics, 2010. **22**(1): p. 503-508.
22. Luu, D.D., et al., *Numerical Study on the Influence of Longitudinal Position of Centre of Buoyancy on Ship Resistance Using RANSE Method*. Naval Engineers Journal, 2020. **132**(4): p. 151-160.
23. Mahmood, S., D. Huang, and Application, *Computational fluid dynamics based bulbous bow optimization using a genetic algorithm*. Journal of Marine Science, 2012. **11**(3): p. 286-294.
24. Zha, L., et al., *Hull form optimization for reduced calm-water resistance and improved vertical motion performance in irregular head waves*. Ocean Engineering, 2021. **233**: p. 109208.
25. Solak, H.P., *Multi-dimensional surrogate based aft form optimization of ships using high fidelity solvers*. Brodogradnja: Teorija i praksa brodogradnje i pomorske tehnike, 2020. **71**(1): p. 85-100.
26. Lee, S.-S., et al., *A study on optimization of ship hull form based on neuro-response surface method (NRSM)*. Journal of Marine Science, 2014. **22**(6): p. 12.
27. Petar Georgiev, P., P., *Parameter Ship Hull Design Based on the Taguchi Method*. Schiffbau Forschung 2002. **41**(3/4): p. 19-28.
28. Zhang, P., D.-x. Zhu, and W.-h.J.J.o.H. Leng, Ser. B, *Parametric approach to design of hull forms*. 2008. **20**(6): p. 804-810.
29. Van He, N., Y.J.J.o.M.S. Ikeda, and Application, *Optimization of bow shape for a non ballast water ship*. 2013. **12**(3): p. 251-260.
30. Veldhuis, C., T. Gornicz, and T. Scholcz, *Ship optimization using viscous flow computations in combination with generic shape variations and design of experiments [C]*. Proceedings of PRADS, 2016.
31. Liu, T.-L., et al. *Parameter Optimization On Experiment And Numerical Simulation of a SWATH*. in *The Twenty-first International Offshore and Polar Engineering Conference*. 2011. OnePetro.
32. Rotteveel, E., R. Hekkenberg, and A. van der Ploeg, *Inland ship stern optimization in shallow water*. Ocean Engineering, 2017. **141**: p. 555-569.
33. Huang, F., H. Kim, and C. Yang. *A new method for ship bulbous bow generation and modification*. in *The Twenty-fourth International Ocean and Polar Engineering Conference*. 2014. International Society of Offshore and Polar Engineers.

34. PGS.TS. Phạm Tiến Tĩnh, P.T.L.H.B., *Lý thuyết thiết kế tàu*. Nhà xuất bản Giao thông vận tải, 2010.
35. Nghị, T.C., *Sổ tay thiết kế tàu thủy*. Nhà xuất bản xây dựng, 2004.
36. *Tạp chí giao thông vận tải*. <https://tapchigiaothong.vn/tap-chi-giay-gtvt/>.
37. *Tạp chí Khoa học và Công nghệ hàng hải*. <http://khcn.vimaru.edu.vn/tap-chi>.
38. Trần Ngọc Tú, L.T.B., Nguyễn Thị Thu Quỳnh, *Nghiên cứu ảnh hưởng của hoành độ tâm nổi đến lực cản tàu hàng rời 22000DWT bằng phương pháp CFD*. *Tạp chí Khoa học và Công nghệ hàng hải*, 2022. **9**(1): p. 51-56.
39. QCVN72: 2013/BGTVT. Quy chuẩn kỹ thuật quốc gia về Quy phạm phân cấp và Đóng phương tiện thủy nội địa. .
40. Du, P., et al., *Resistance and wave characterizations of inland vessels in the fully-confined waterway*. *Ocean Engineering*, 2020. **210**: p. 107580.
41. *Quy hoạch kết cấu hạ tầng đường thủy nội địa thời kỳ 2021-2030, tầm nhìn đến năm 2050*. Cục Đường thủy nội địa Việt Nam.
42. Banawan, A.A. and Y.M. Ahmed, *Use of computational fluid dynamics for the calculation of ship resistance, and its variation with the ship hull form parameters*. *Alexandria Engineering Journal*, 2006. **45**(1): p. 47-56.
43. Kracht, A., *Design of bulbous bows* (Vol. 86). *Transactions of the Society of Naval Architects and Marine Engineers*, 1978.
44. Kracht, A.M., *Design of bulbous bows*. 1978. p. 197-217.
45. Pérez, F., et al., *Geometric modelling of bulbous bows with the use of non-uniform rational B-spline surfaces*. *Journal of marine science and technology* 2007. **12**(2): p. 83-94.
46. Tu, T.N., et al., *Numerical Study on the Influence of Trim On Ship Resistance In Trim Optimization Process*. *Naval Engineers Journal*, 2018. **130**(4): p. 133-142.
47. Kim, H. and C. Yang. *Design optimization of bulbous bow and stern end bulb for reduced drag*. in *The Twenty-third International Offshore and Polar Engineering Conference*. 2013. International Society of Offshore and Polar Engineers.
48. Pak, K.-R., et al., *Hull form design for resistance minimization of small-scale LNG bunkering vessels using numerical simulation*. *International Journal of Naval Architecture Ocean Engineering* 2020. **12**: p. 856-867.
49. Niklas, K. and H. Pruszko, *Full-scale CFD simulations for the determination of ship resistance as a rational, alternative method to towing tank experiments*. *Ocean Engineering*, 2019. **190**: p. 106435.
50. Tu, T.N., et al., *Effects of Turbulence Models On RANSE Computation Of Flow Around DTMB 5415 Vessel*. *Naval Engineers Journal*, 2021. **133**(3): p. 137-151.
51. Deng, G., et al., *Assessment of turbulence model for ship flow at full scale*. *Comp. Mech.*, WCCM VI. Beijing, China, 2004.
52. Siemens, 2020. *STAR-CCM+ User Guide*.

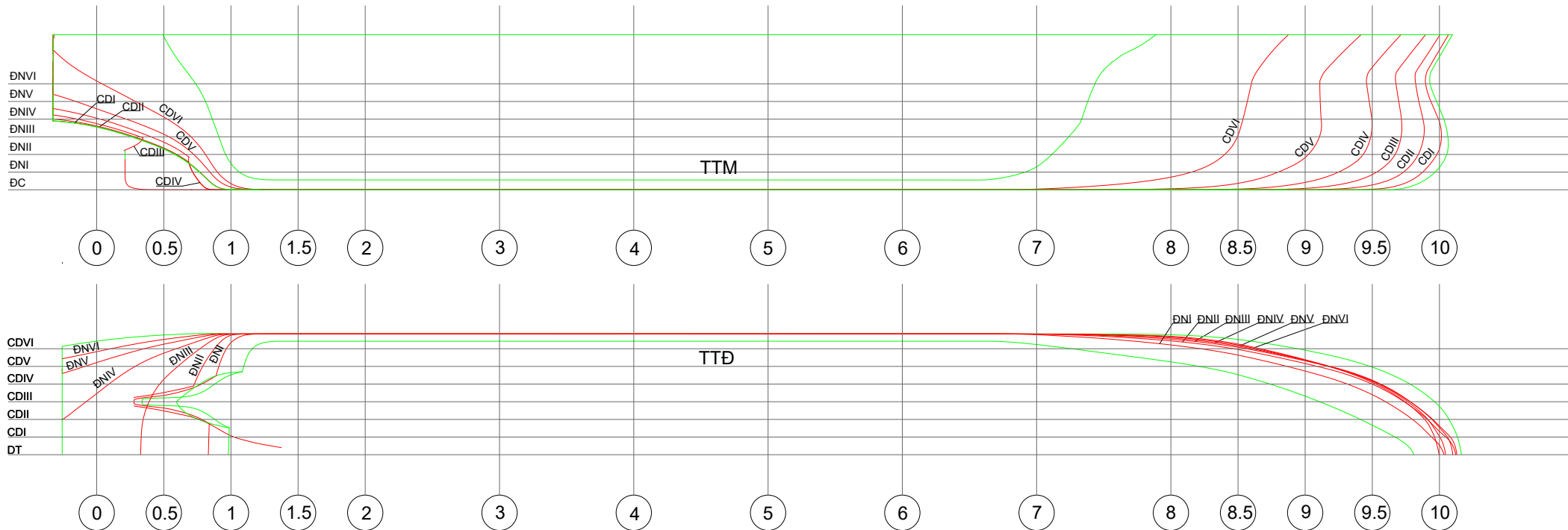
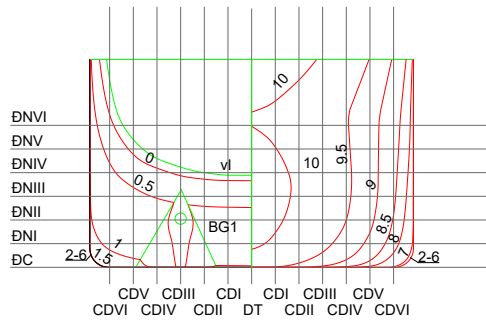
53. Siemens, 2021. *STAR-CCM+ User Guide. Version 16.4.*
54. ITTC Specialist Committee, 2017. *Recommended procedures and guidelines - uncertainty analysis in CFD verification and validation methodology and procedures.* . Available from: <https://www.ittc.info/media/8153/75-03-01-01.pdf>.
55. Stern, F., et al., *Comprehensive approach to verification and validation of CFD simulations—part 1: methodology and procedures.* 2001. **123**(4): p. 793-802.
56. Krishnaiah, K. and P. Shahabudeen, *Applied design of experiments and Taguchi methods.* 2012: PHI Learning Pvt. Ltd.
57. Freddi, A. and M. Salmon, *Introduction to the Taguchi method*, in *Design principles and methodologies.* 2019, Springer. p. 159-180.
58. Thanh-Phong Dao, S.C.H., *Optimization of a two degrees of freedom compliant mechanism using Taguchi method-based grey relational analysis.* Microsystem Technologies, 2017. **23**: p. 4815–4830.
59. T. Muthuramalingam, B.M., *Application of Taguchi-grey multi responses optimization on process parameters in electro erosion.* Measurement, 2014. **58**: p. 495-502.
60. Lộc, N.H., *Giáo trình Quy hoạch và phân tích thực nghiệm.* 2021: NXB Đại học Quốc gia Tp Hồ Chí Minh.
61. Ferziger, J.H., M. Perić, and R.L. Street, *Computational methods for fluid dynamics.* Vol. 3. 2002: Springer.
62. Chuan, T.Q., et al., *Numerical Study of Effect of Trim on Performance of 12500DWT Cargo Ship Using RANSE Method.* Polish Maritime Research, 2022. **29**(1): p. 3-12.
63. Chuan, T.Q., et al. *Full-Scale Self-propulsion Computations Using Body Force Propeller Method for Series Cargo Ship 12500DWT.* in *Proceedings of the 2nd Annual International Conference on Material, Machines and Methods for Sustainable Development (MMMS2020).* 2021. Springer.
64. Farkas, A., N. Degiuli, and I. Martić, *Assessment of hydrodynamic characteristics of a full-scale ship at different draughts.* Ocean Engineering, 2018. **156**: p. 135-152.
65. Le, T.-H., et al., *Numerical investigation on the effect of trim on ship resistance by RANSE method.* Applied Ocean Research, 2021. **111**: p. 102642.
66. ITTC 2011. *Practical guidelines for ship CFD applications.* In: *Recommended procedure and Guidelines, ITTC 7.5–03-02–03.* <https://itc.info/media/1357/75-03-02-03.pdf>.
67. *Hồ sơ tàu hàng trọng tải 4600 DWT mang cấp VR-SB.* Công ty CP kỹ thuật và Phát triển Công nghệ Hàng hải Việt Nam.
68. *QĐ số 2420/QĐ-CHHVN V/v Công bố Luồng hàng hải chuyên dùng vào Bến cảng than Cẩm Phả.* Cục hàng hải Việt Nam.

69. *Thông số kỹ thuật Đoạn luồng chung ra/vào cảng trung tâm Nhiệt điện Duyên Hải – tỉnh Trà Vinh.* <https://www.vms-south.vn/thong-bao-hang-hai/thong-bao/ve-thong-so-ky-thuat-doan-luong-chung-ravao-cang-trung-tam-nhiet-dien-duyen-hai-tinh-tra-vinh>.
70. Le, T.-H., et al., *Numerical Investigation of Length to Beam Ratio Effects on Ship Resistance Using RANSE Method*. Polish Maritime Research, 2023. **30**(1): p. 13-24.

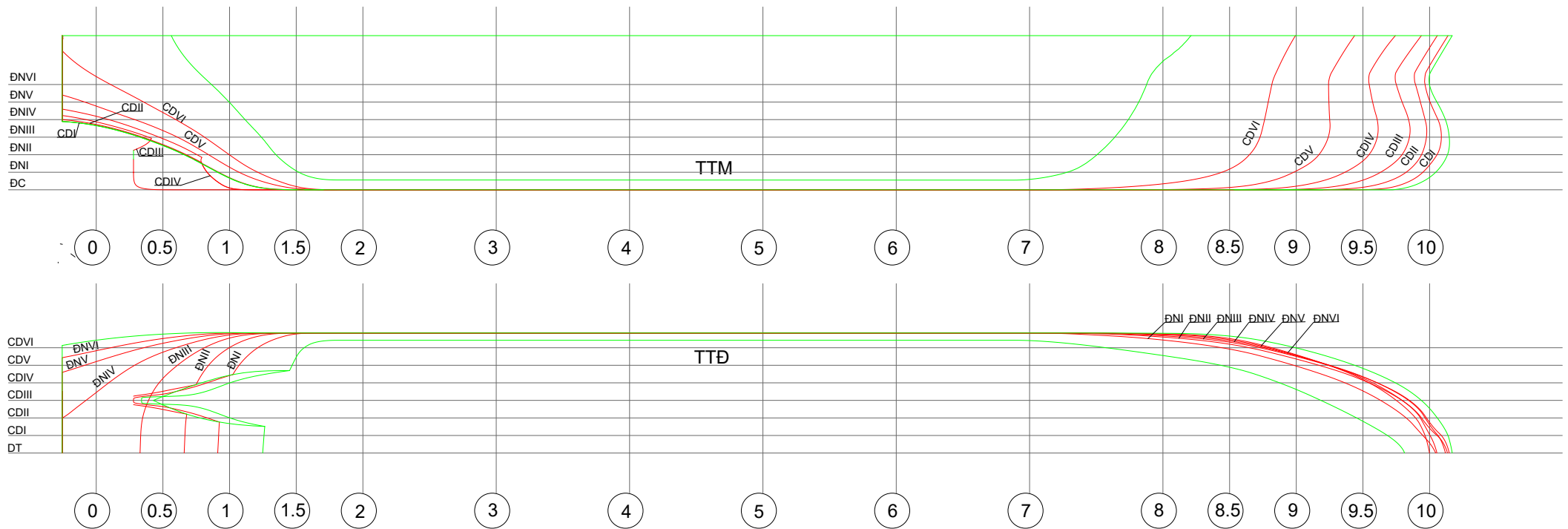
PHỤ LỤC 1

Các phương án tuyến hình tàu

PHƯƠNG ÁN 01

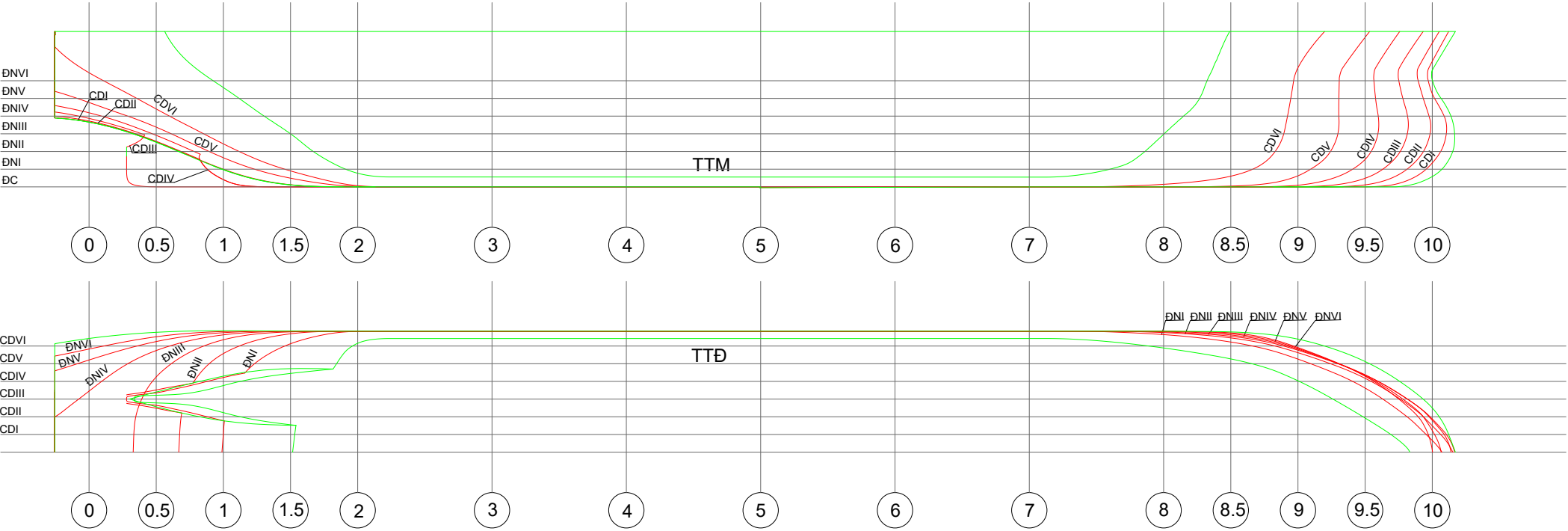
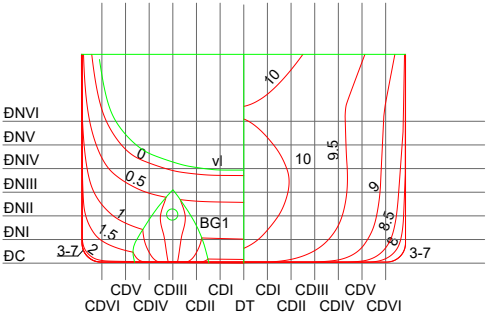


PHƯƠNG ÁN 02



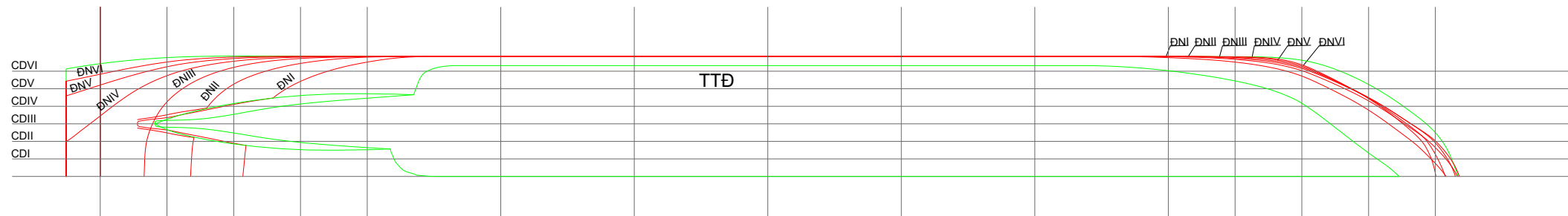
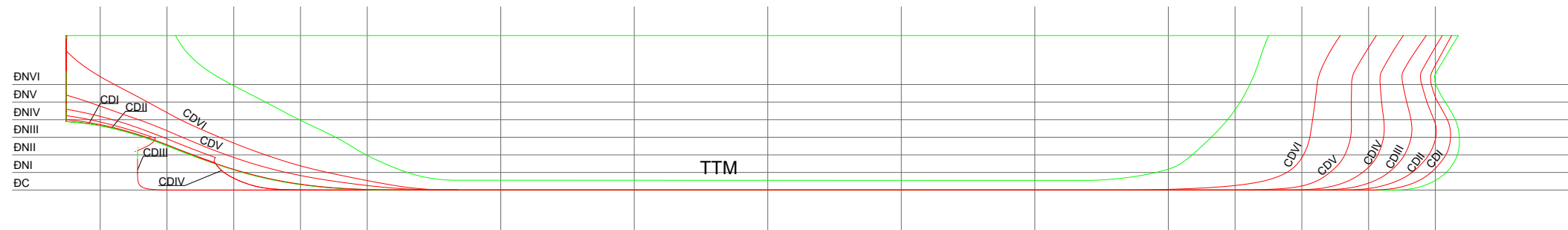
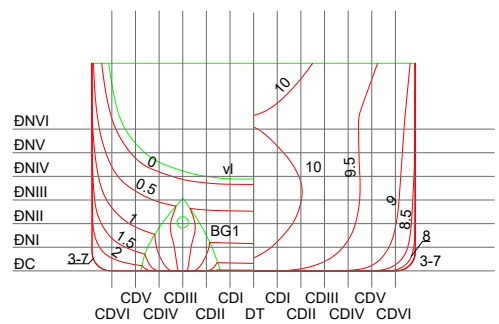
PHỤ LỤC 1
Các phương án tuyến hình tàu

PHƯƠNG ÁN 03



PHỤ LỤC 1
Các phương án tuyến hình tàu

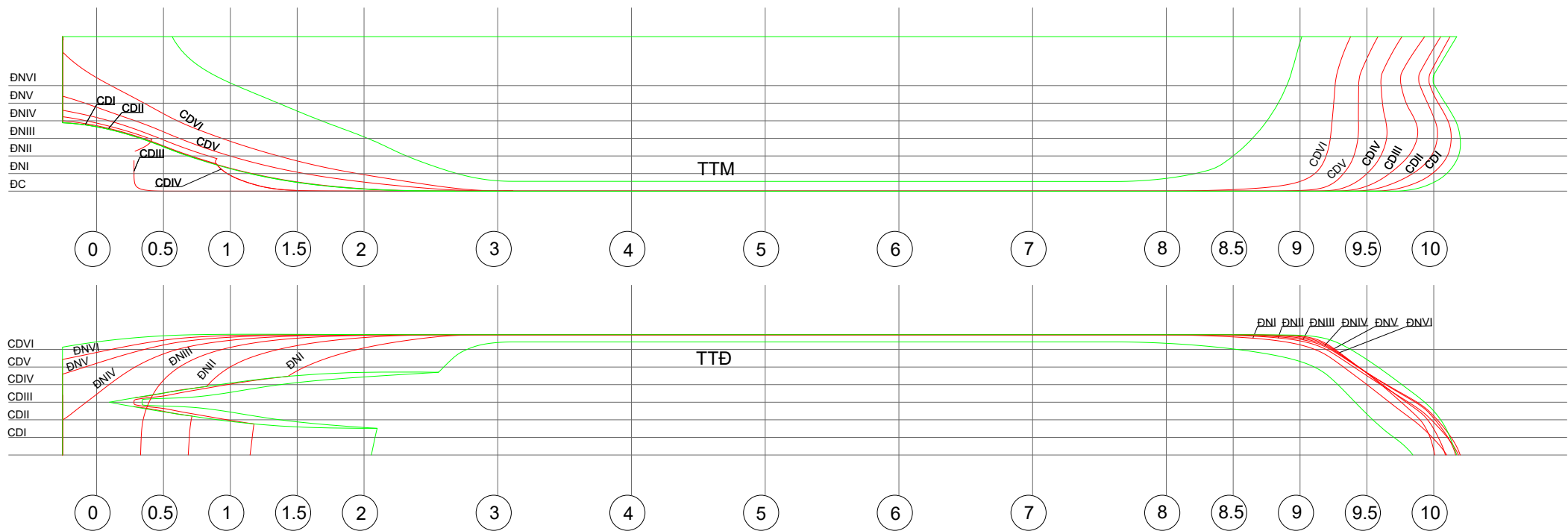
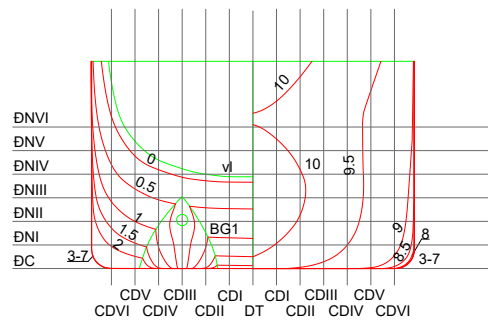
PHƯƠNG ÁN 04



PHỤ LỤC 1

Các phương án tuyến hình tàu

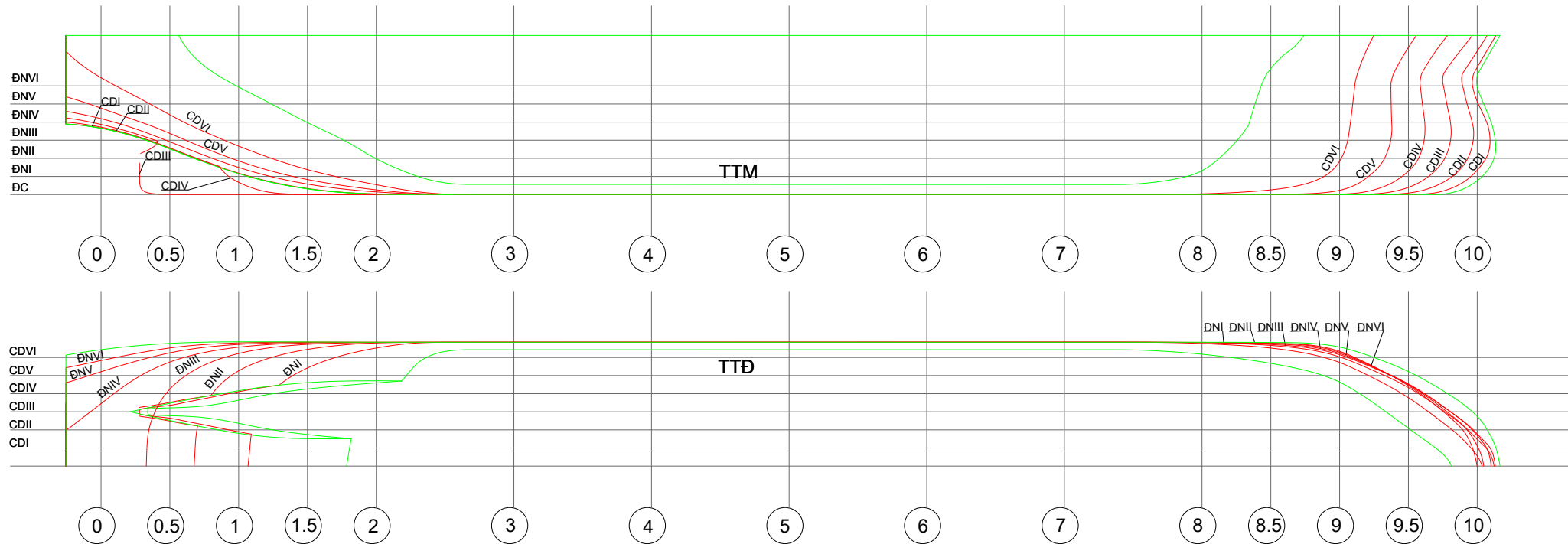
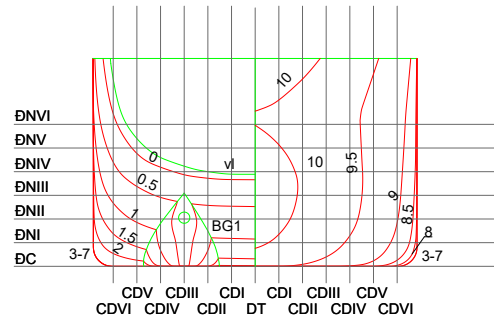
PHƯƠNG ÁN 05



PHỤ LỤC 1

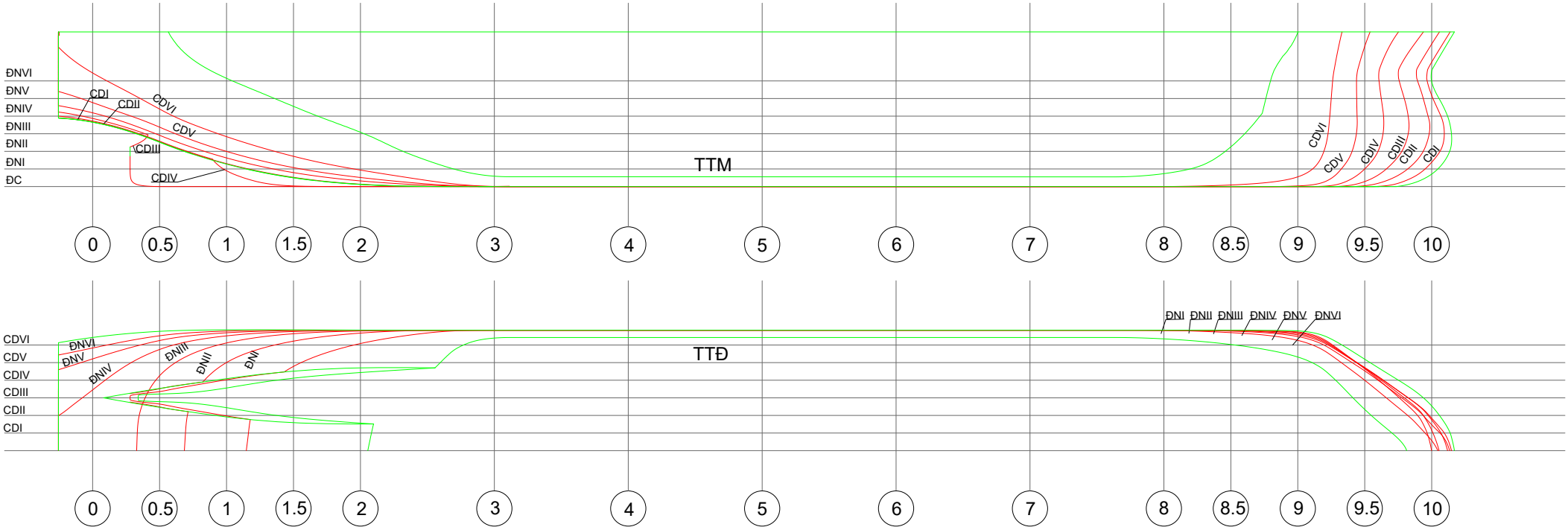
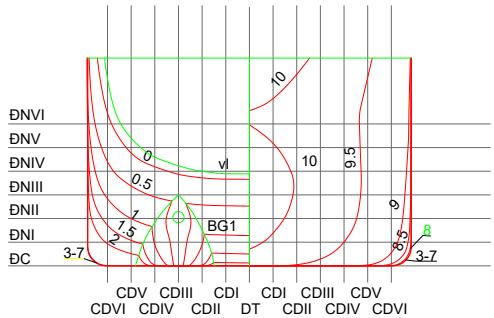
Các phương án tuyến hình tàu

PHƯƠNG ÁN 06



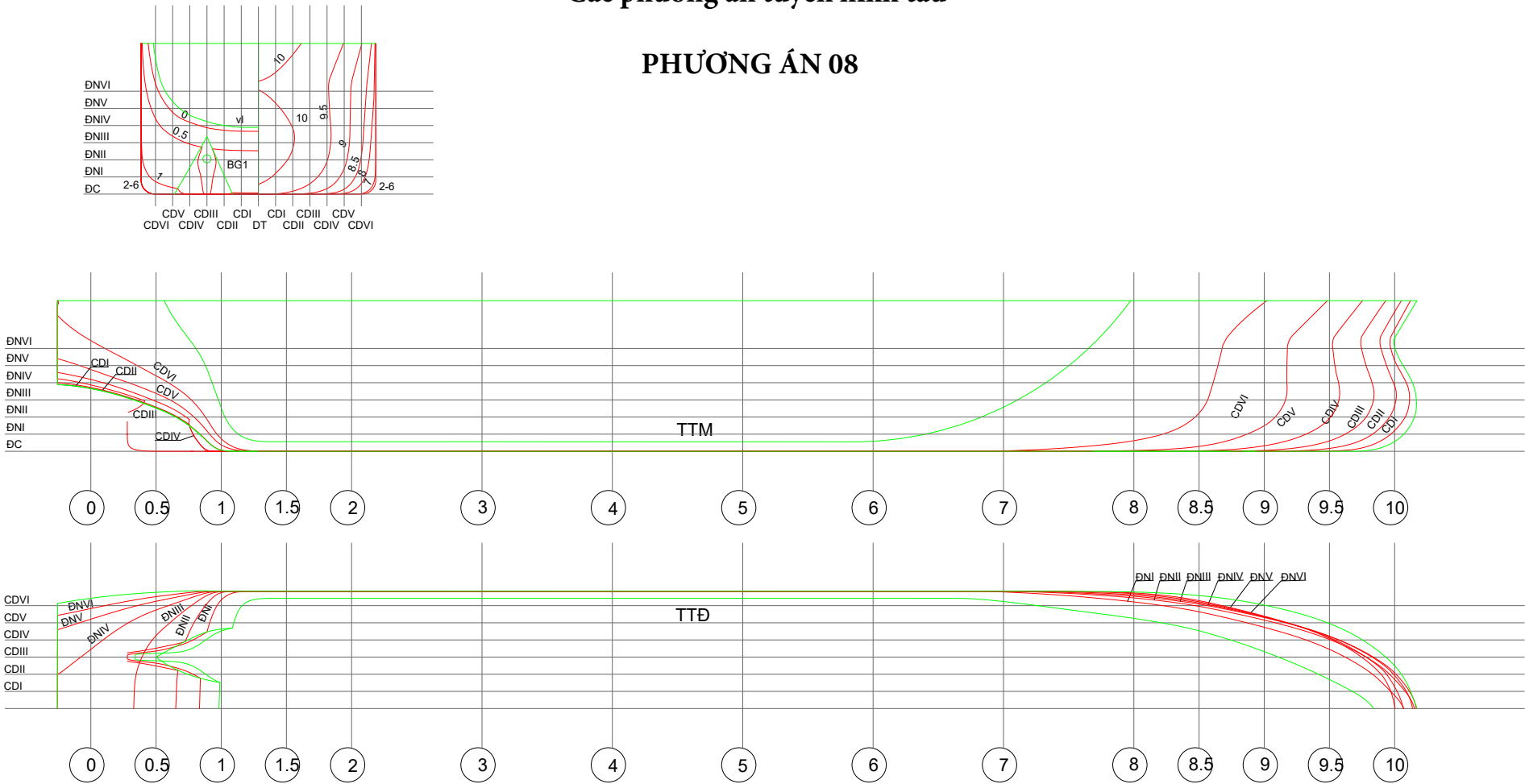
PHỤ LỤC 1
Các phương án tuyến hình tàu

PHƯƠNG ÁN 07



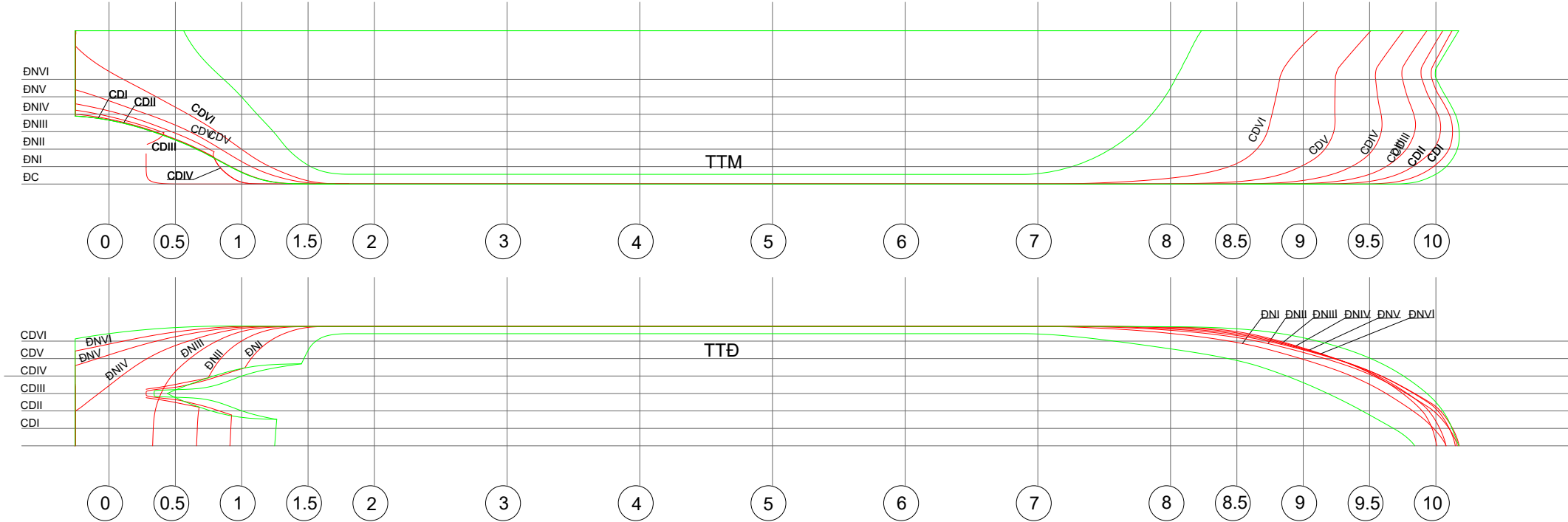
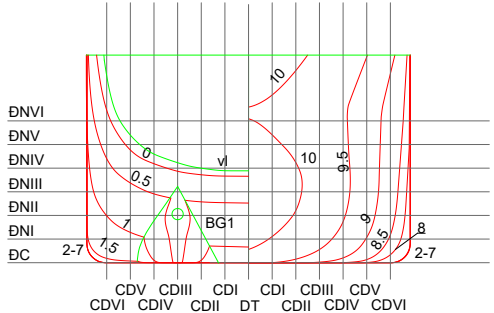
PHỤ LỤC 1
Các phương án tuyến hình tàu

PHƯƠNG ÁN 08



PHỤ LỤC 1
Các phương án tuyến hình tàu

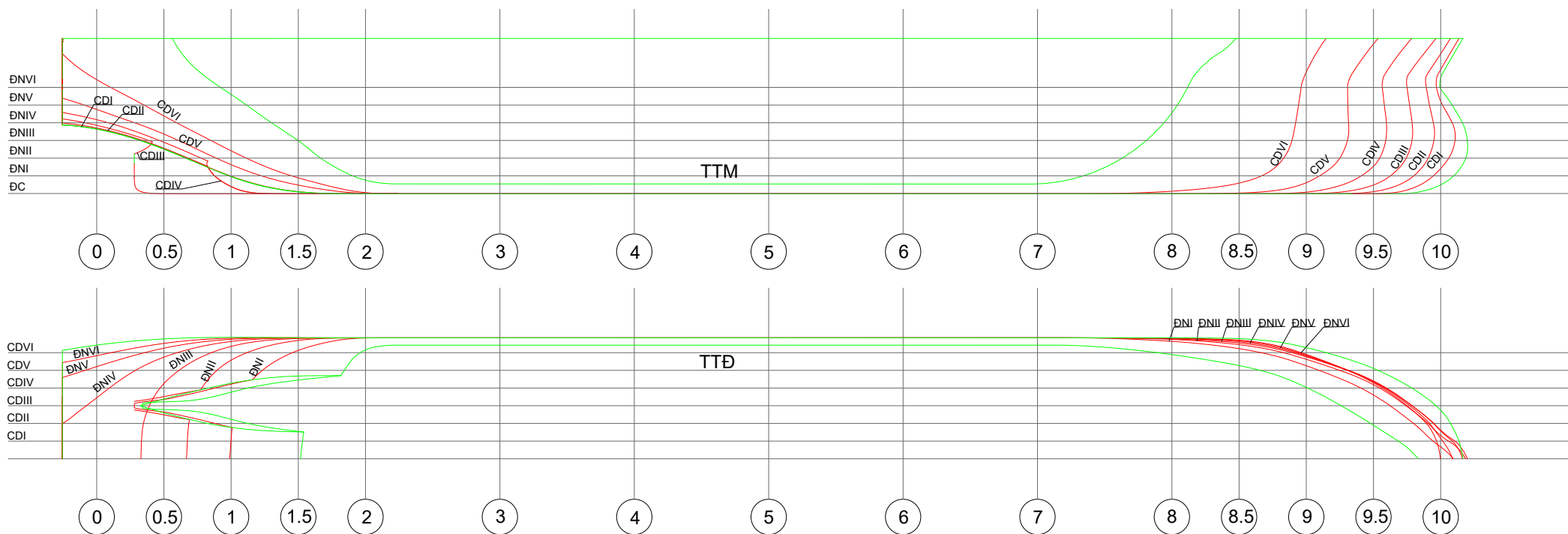
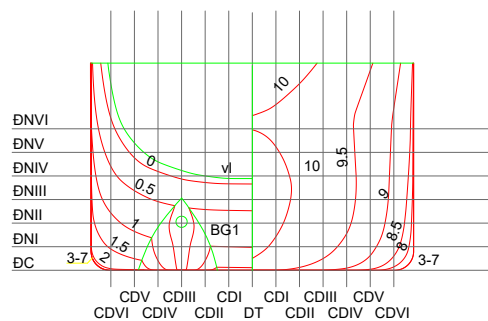
PHƯƠNG ÁN 09



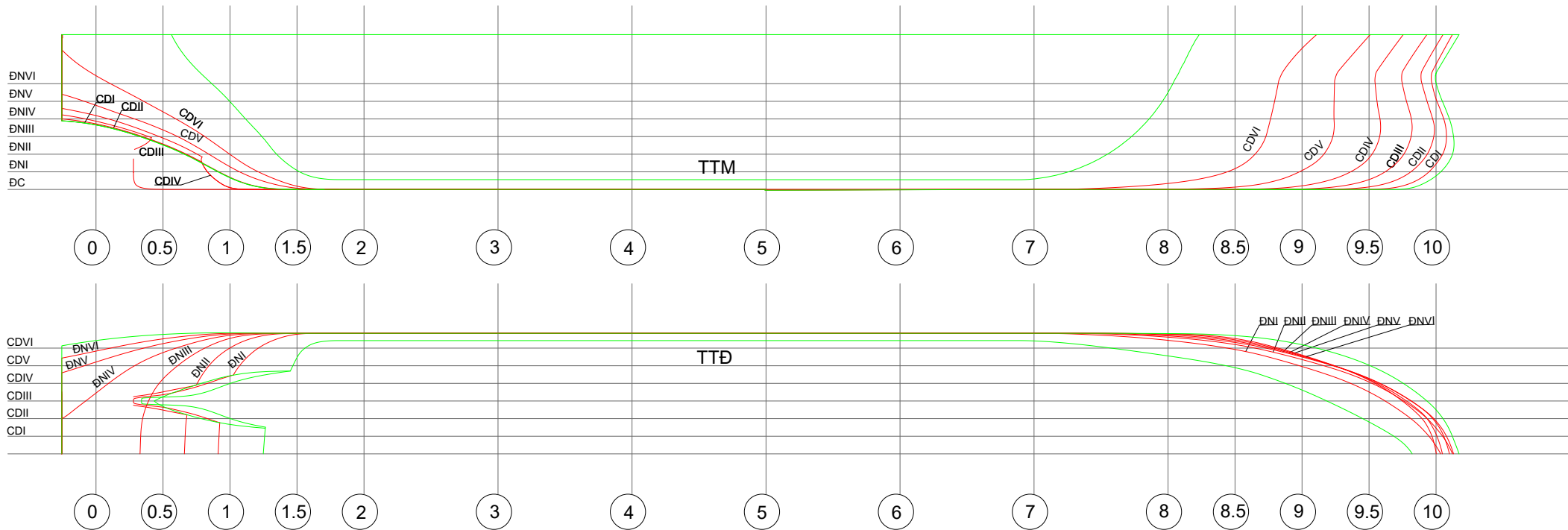
PHỤ LỤC 1

Các phương án tuyến hình tàu

PHƯƠNG ÁN 10



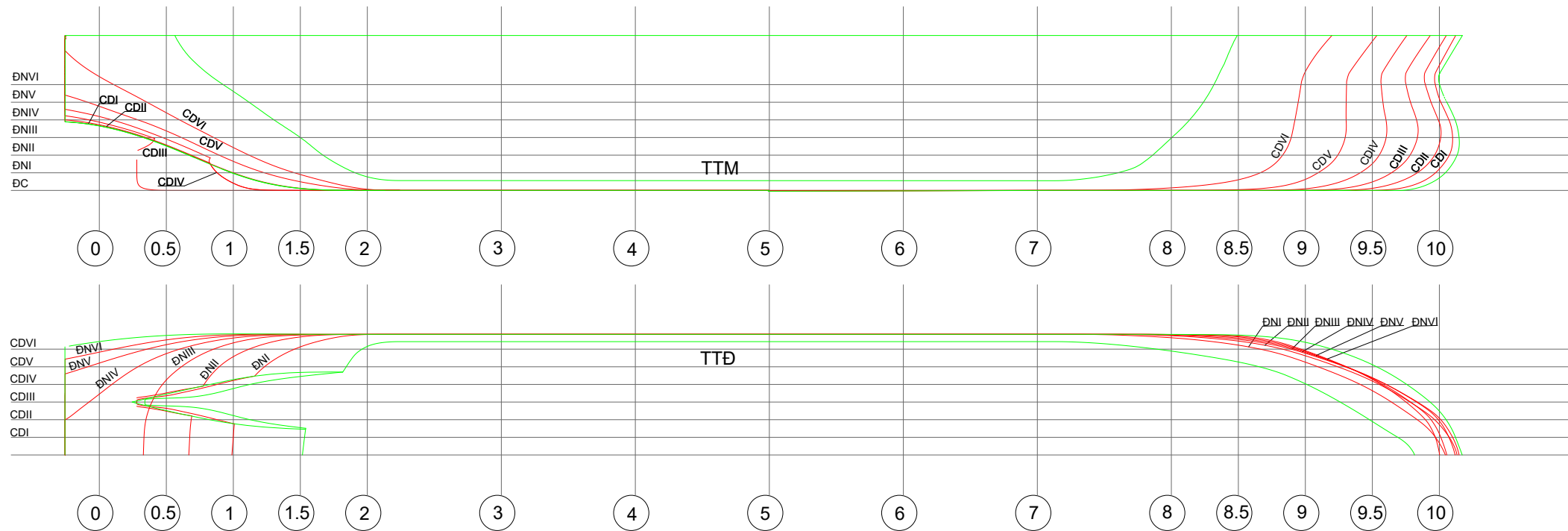
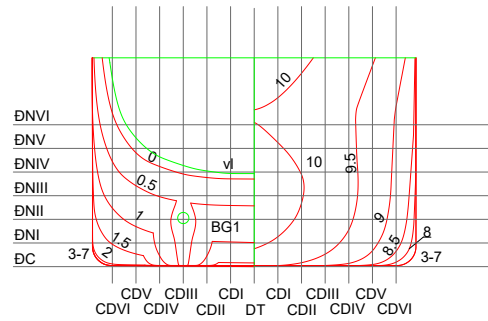
PHƯƠNG ÁN 11



PHỤ LỤC 1

Các phương án tuyến hình tàu

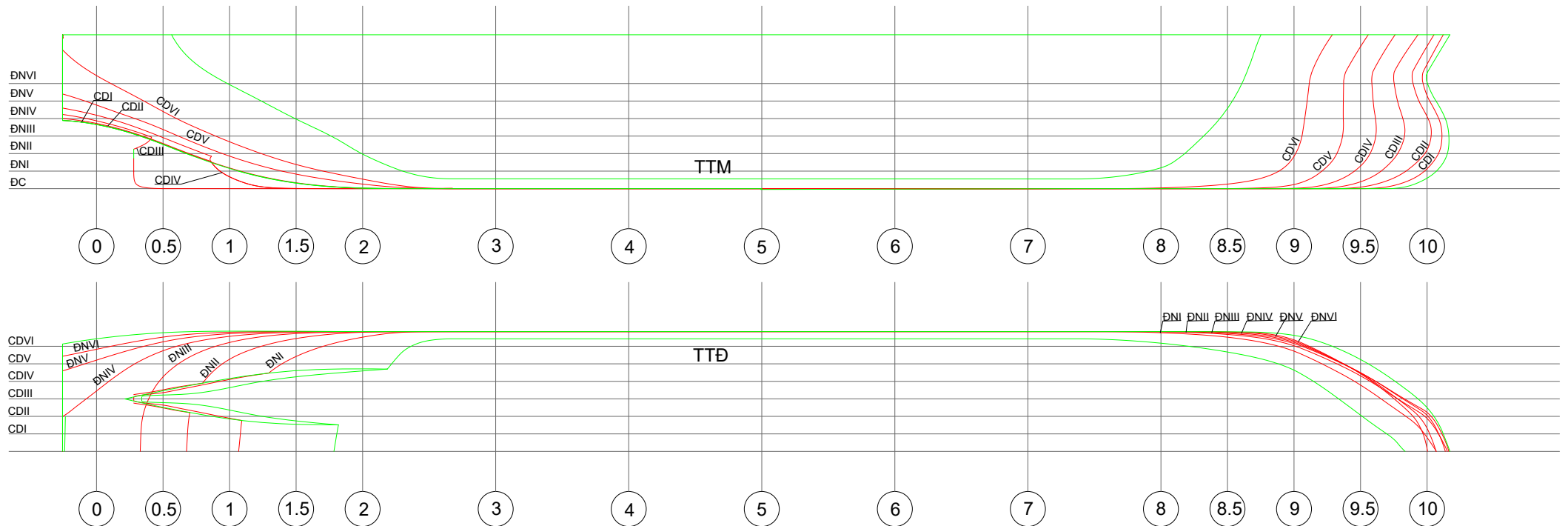
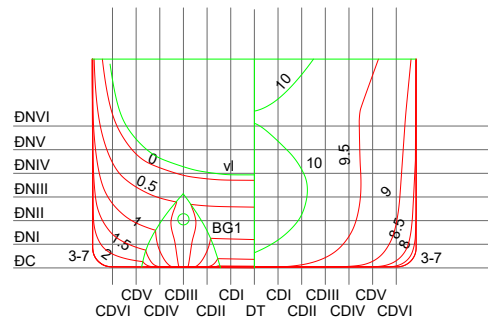
PHƯƠNG ÁN 12



PHỤ LỤC 1

Các phương án tuyến hình tàu

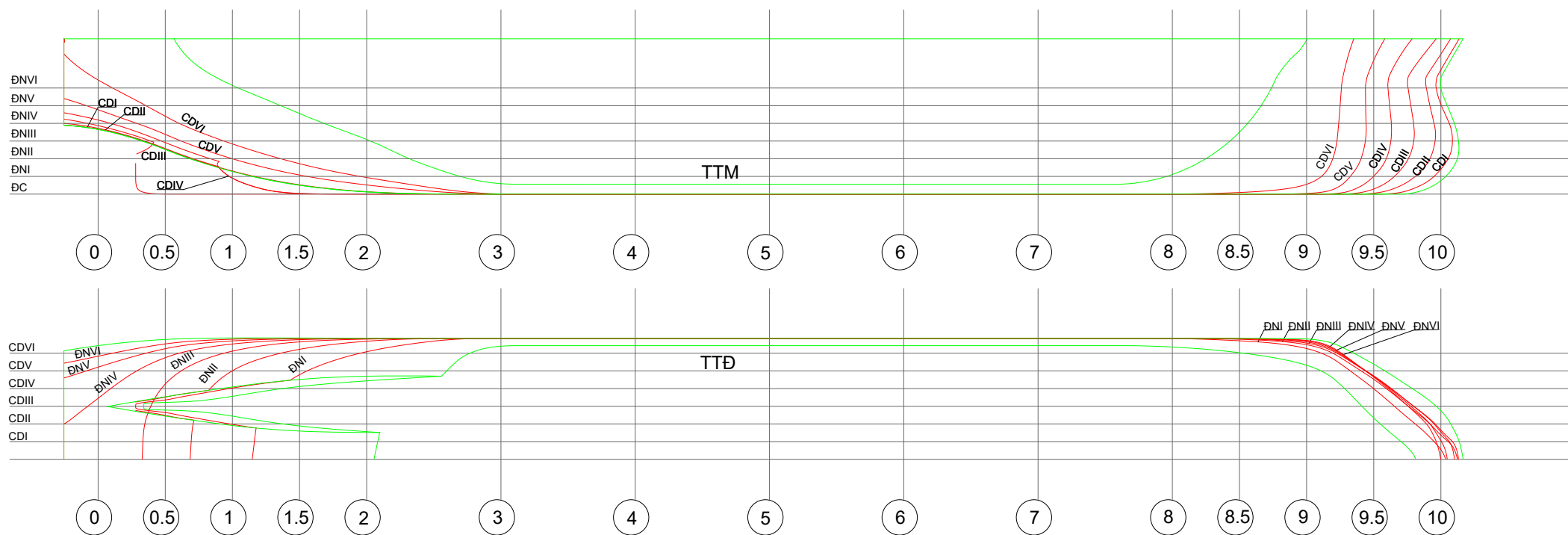
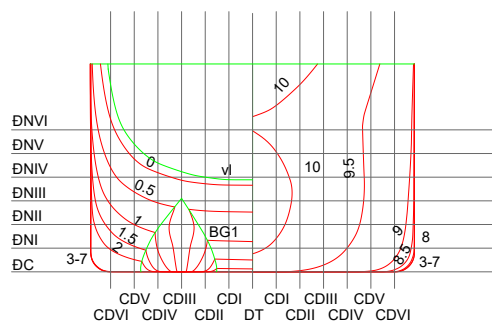
PHƯƠNG ÁN 13



PHỤ LỤC 1

Các phương án tuyến hình tàu

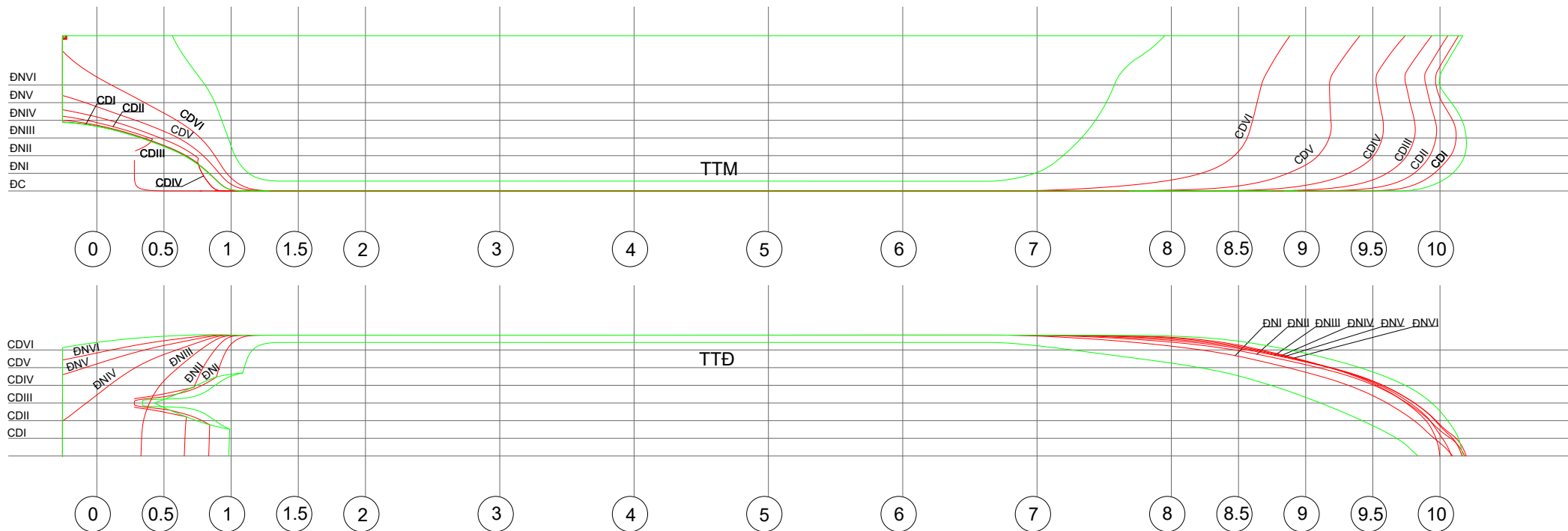
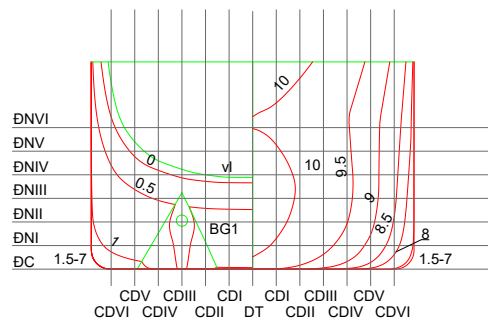
PHƯƠNG ÁN 14



PHỤ LỤC 1

Các phương án tuyến hình tàu

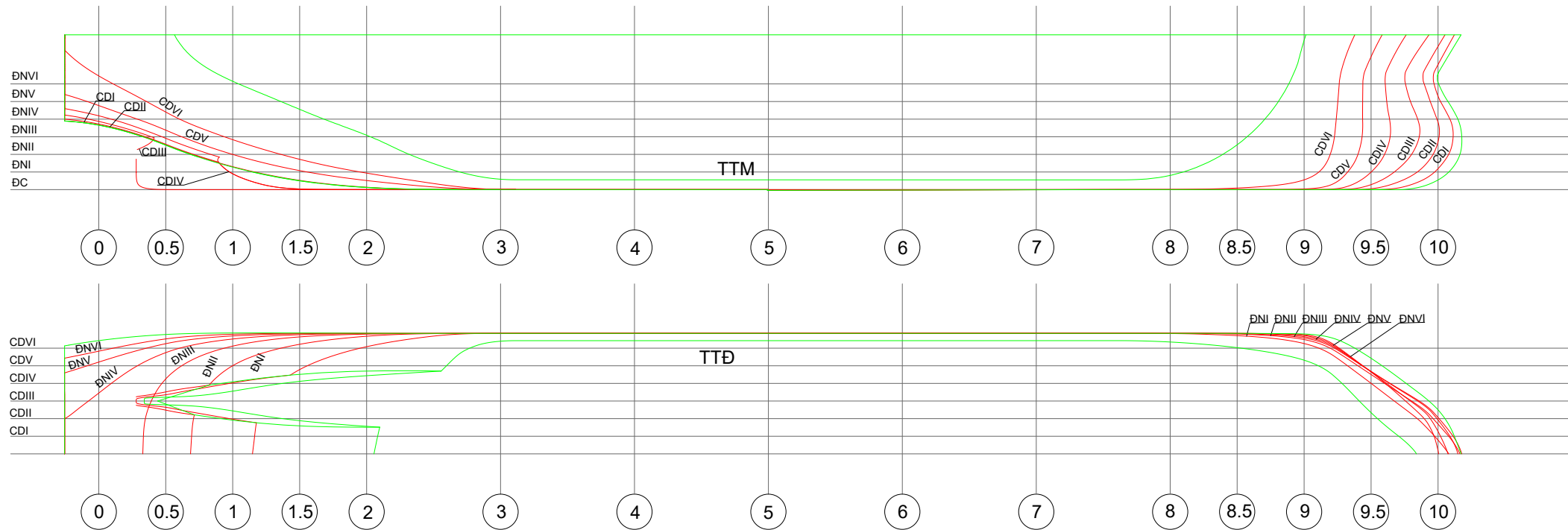
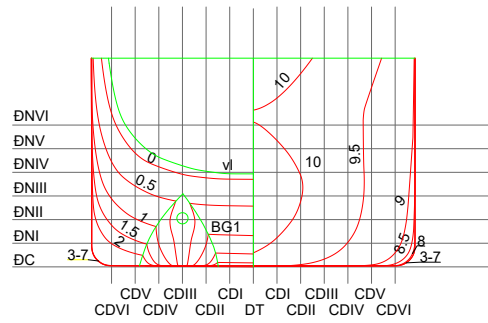
PHƯƠNG ÁN 15



PHỤ LỤC 1

Các phương án tuyến hình tàu

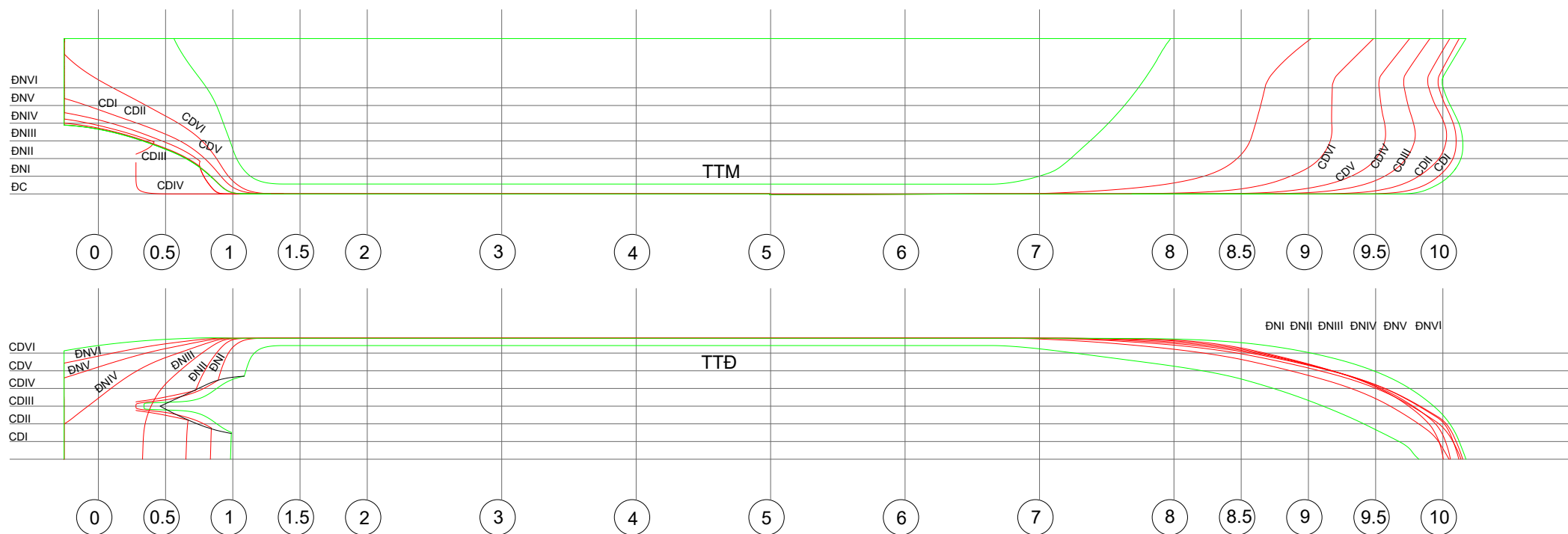
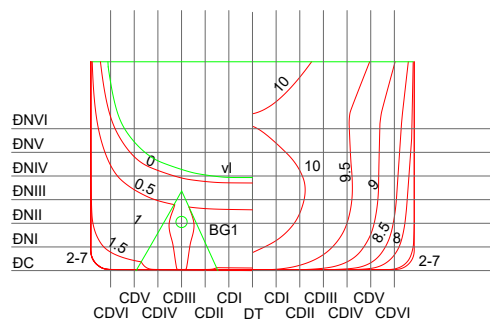
PHƯƠNG ÁN 16



PHỤ LỤC 1

Các phương án tuyến hình tàu

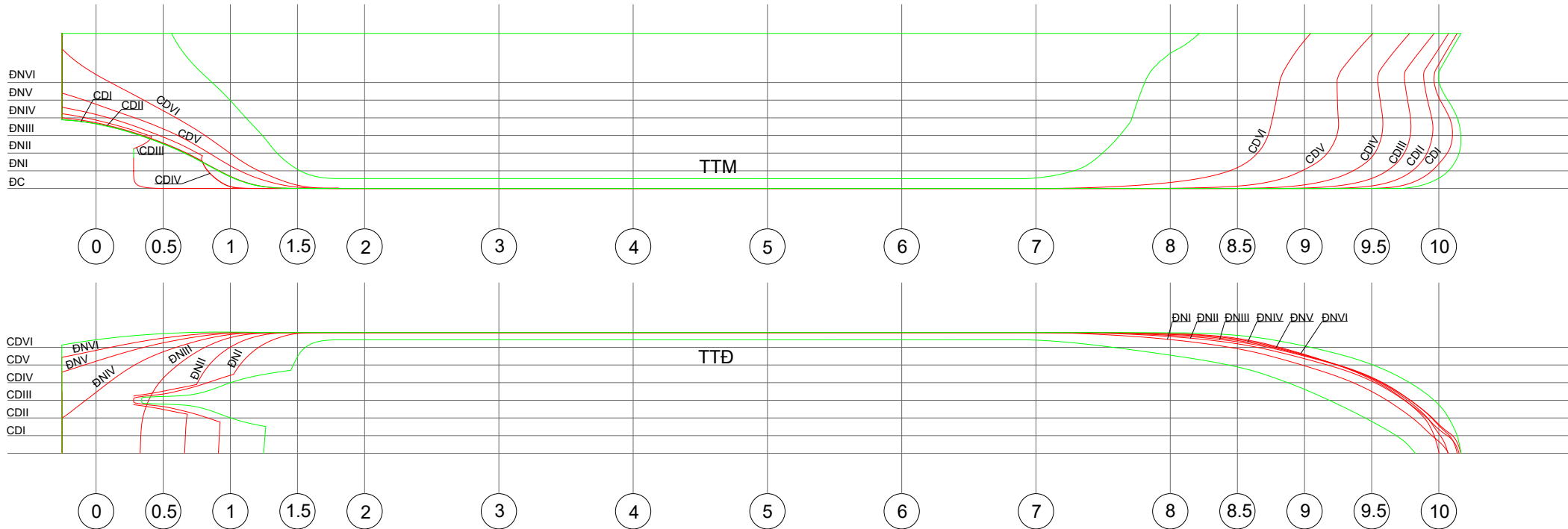
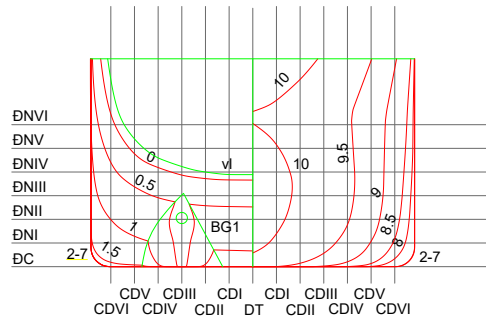
PHƯƠNG ÁN 17



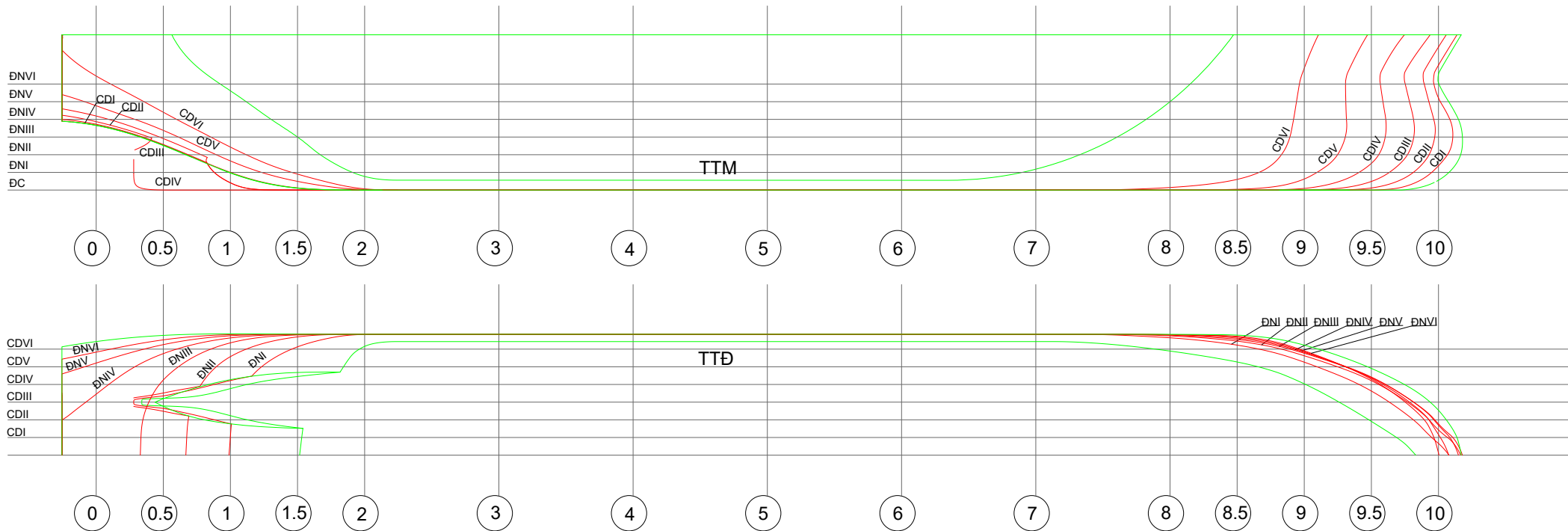
PHỤ LỤC 1

Các phương án tuyến hình tàu

PHƯƠNG ÁN 18

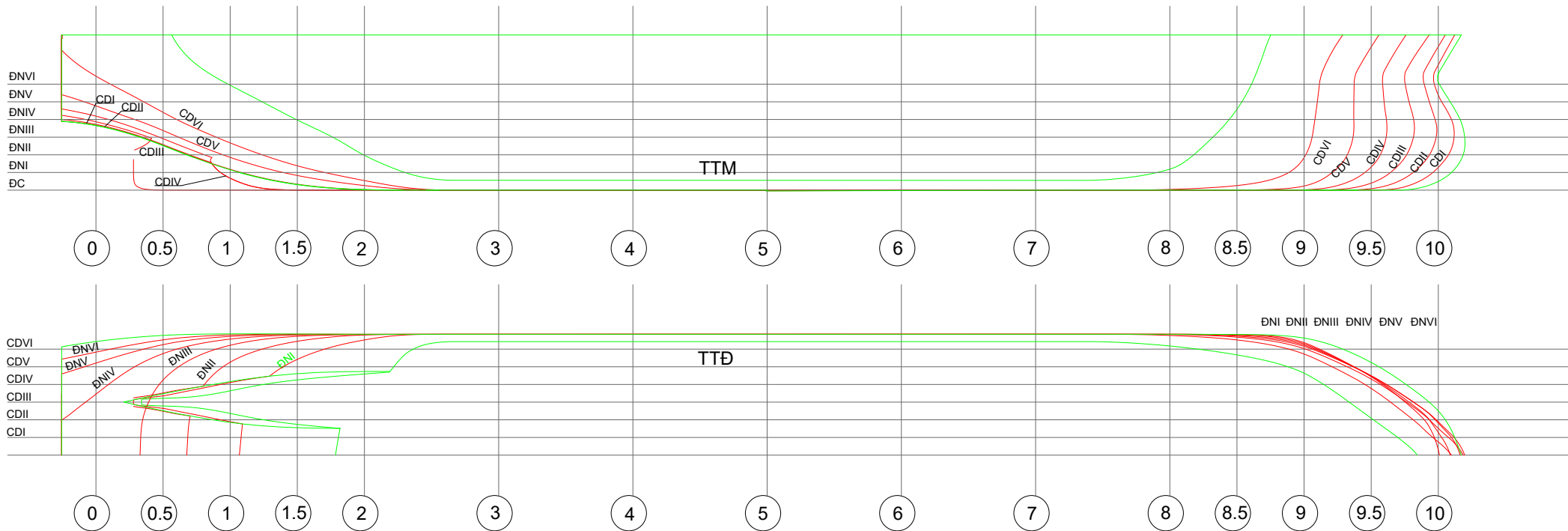
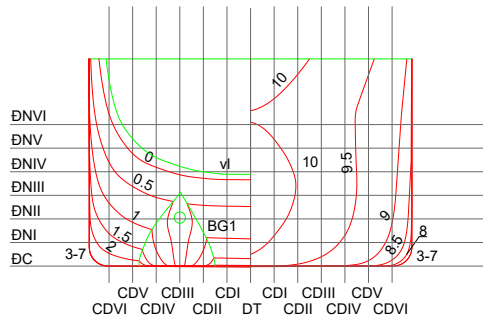


PHƯƠNG ÁN 19



PHỤ LỤC 1 Các phương án tuyến hình tàu

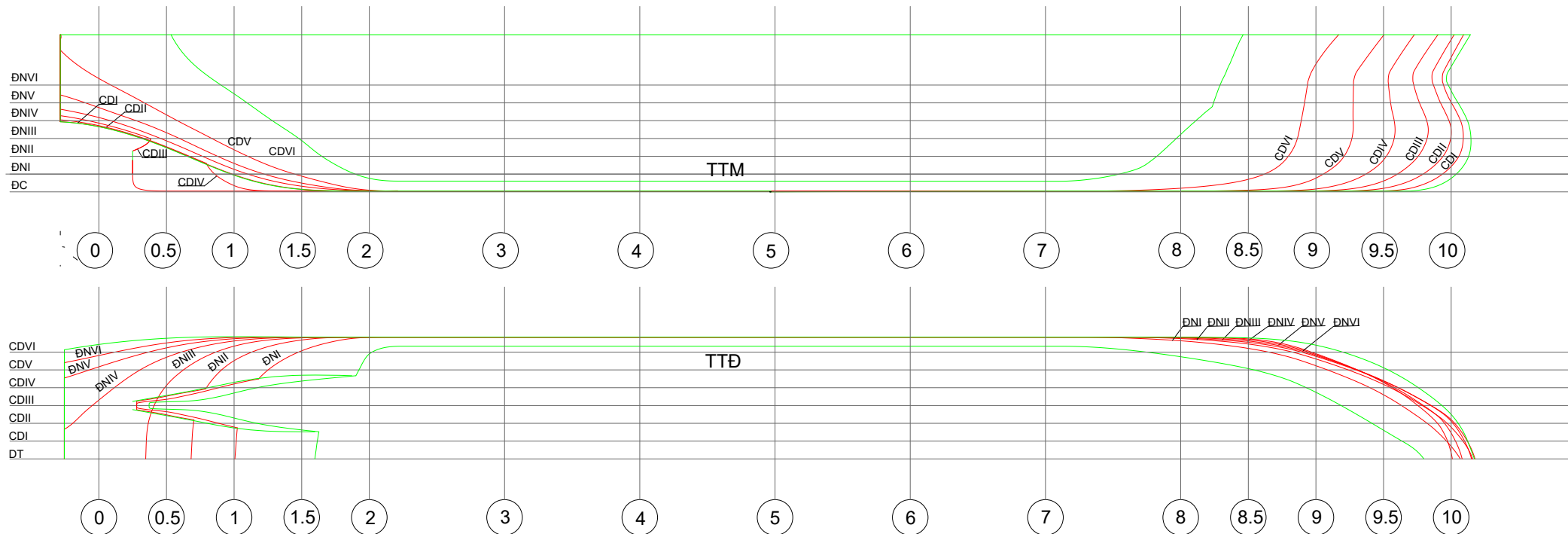
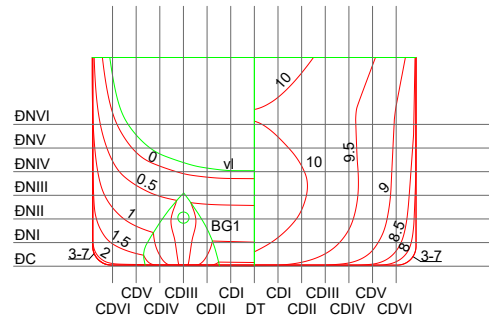
PHƯƠNG ÁN 20



PHỤ LỤC 1

Các phương án tuyến hình tàu

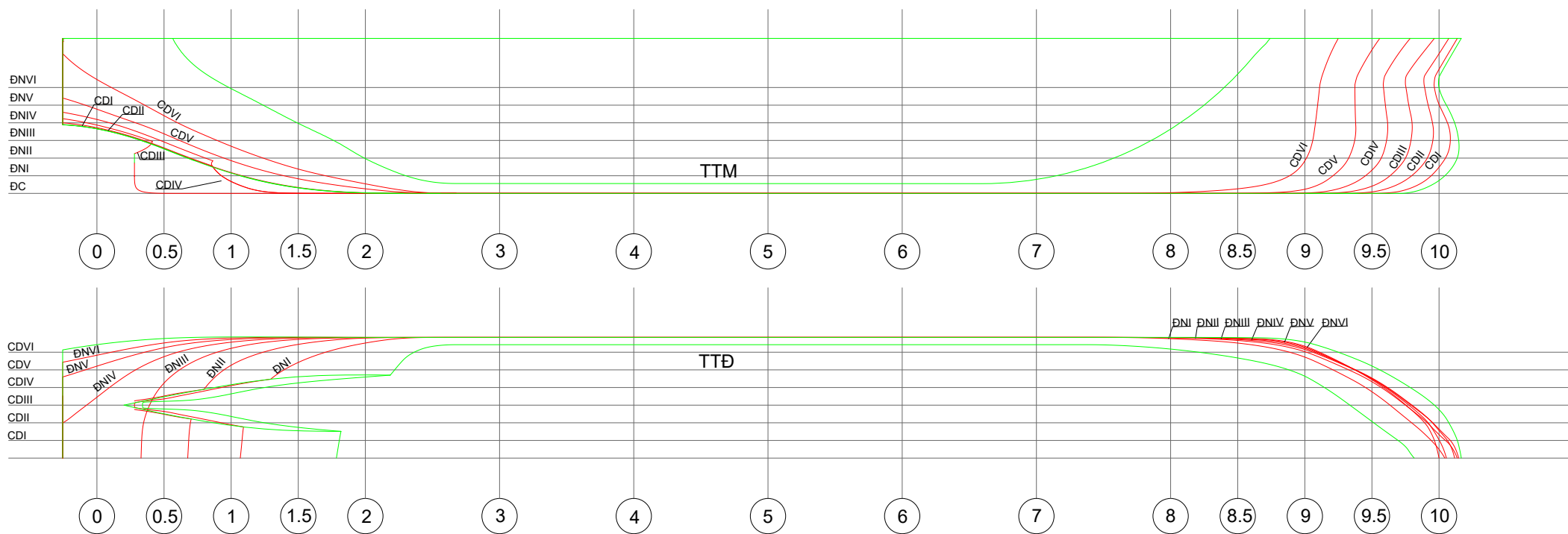
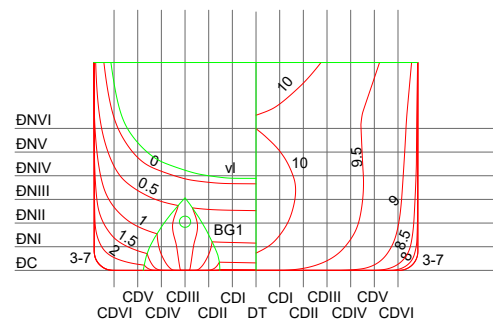
PHƯƠNG ÁN 21



PHỤ LỤC 1

Các phương án tuyến hình tàu

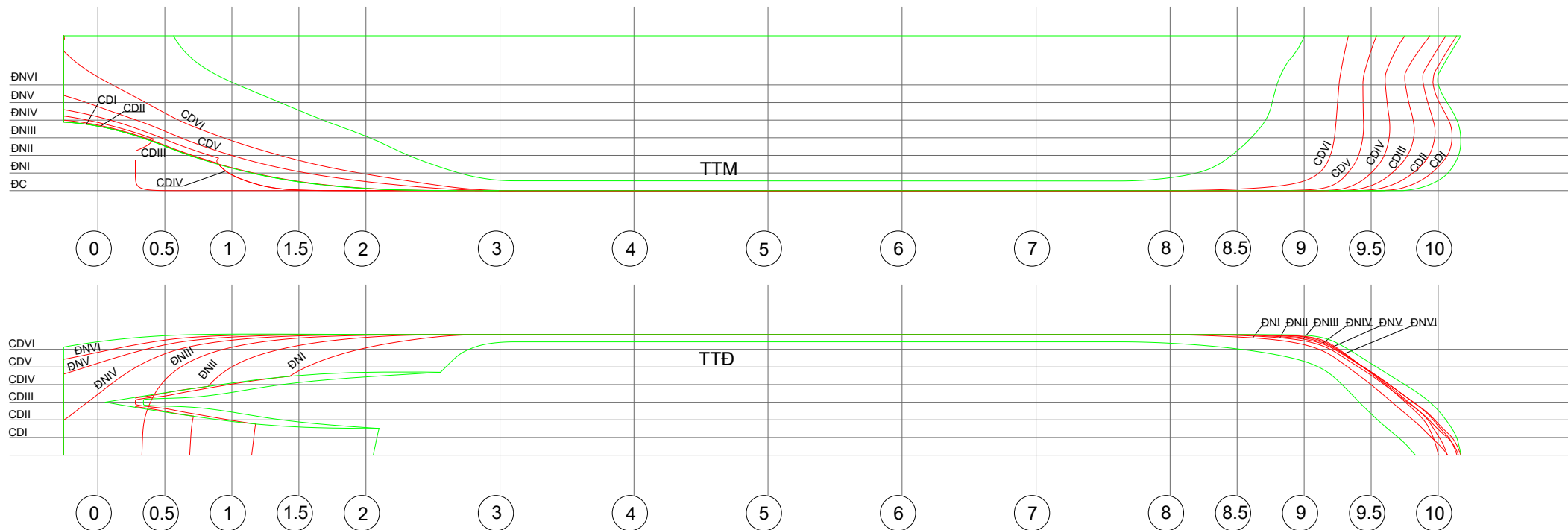
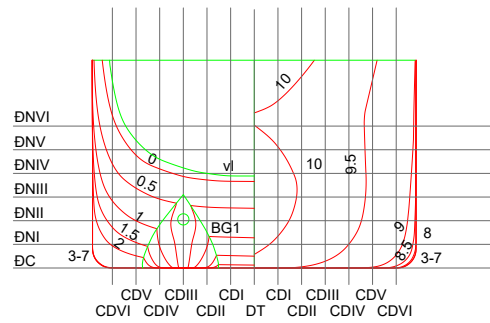
PHƯƠNG ÁN 22



PHỤ LỤC 1

Các phương án tuyến hình tàu

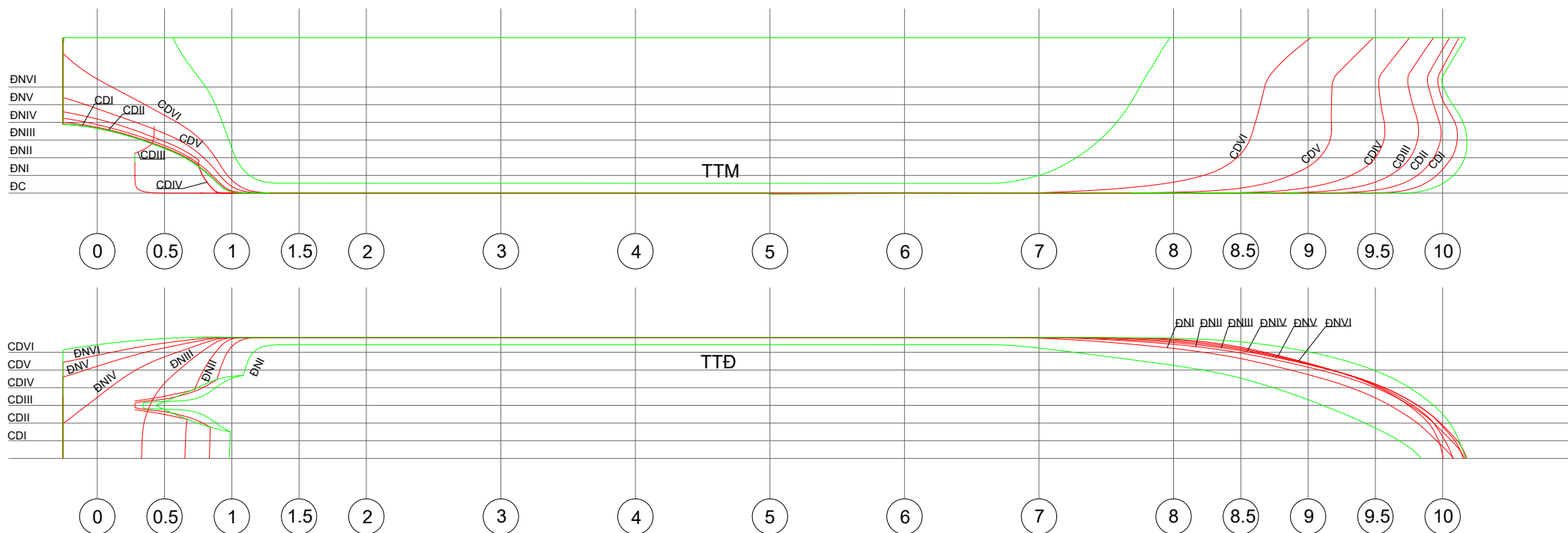
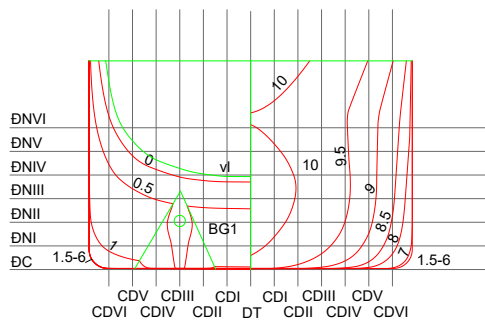
PHƯƠNG ÁN 23



PHỤ LỤC 1

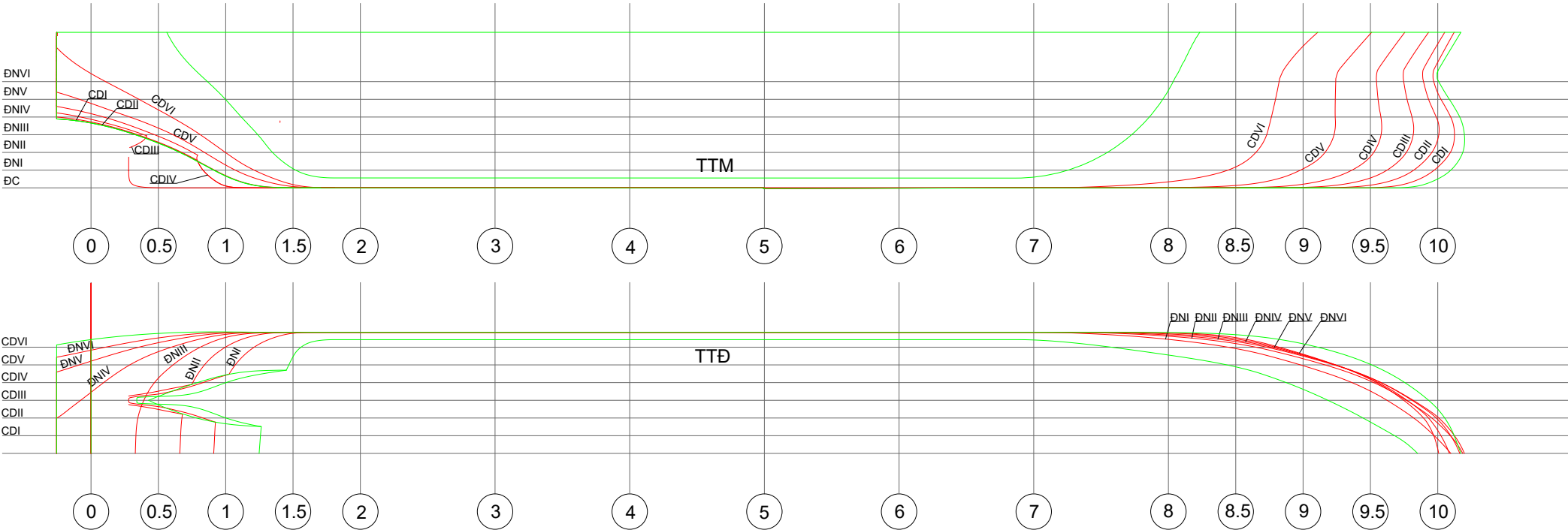
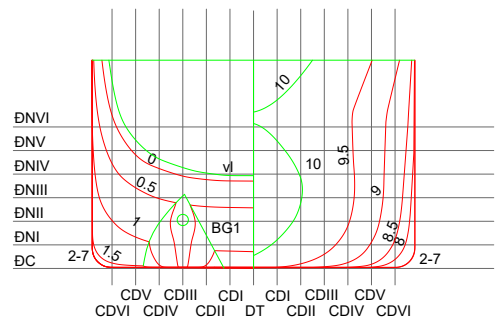
Các phương án tuyến hình tàu

PHƯƠNG ÁN 24



PHỤ LỤC 1
Các phương án tuyến hình tàu

PHƯƠNG ÁN 25



PHỤ LỤC 1

Các phương án tuyến hình tàu

PHƯƠNG ÁN TỐI ƯU

