

BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO

BỘ NÔNG NGHIỆP VÀ MÔI TRƯỜNG

VIỆN KHOA HỌC THỦY LỢI VIỆT NAM
VIỆN KHOA HỌC THỦY LỢI MIỀN NAM

LÊ XUÂN TÚ

NGHIÊN CỨU HIỆU QUẢ GIẢM SÓNG CỦA KẾT CẤU ĐÊ RỔNG,
ỨNG DỤNG CHO ĐỒNG BẰNG SÔNG CỬU LONG

LUẬN ÁN TIẾN SĨ KỸ THUẬT

TP. HỒ CHÍ MINH, NĂM 2026

BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO BỘ NÔNG NGHIỆP VÀ MÔI TRƯỜNG

VIỆN KHOA HỌC THỦY LỢI VIỆT NAM
VIỆN KHOA HỌC THỦY LỢI MIỀN NAM

LÊ XUÂN TÚ

NGHIÊN CỨU HIỆU QUẢ GIẢM SÓNG CỦA KẾT CẤU
ĐÊ RỔNG, ỨNG DỤNG CHO ĐỒNG BẰNG SÔNG CỬU LONG

Ngành: Kỹ thuật xây dựng công trình thủy

Mã số: 958 02 02

NGƯỜI HƯỚNG DẪN KHOA HỌC:

1. PGS.TS. Trần Bá Hoảng

2. GS.TS. Lê Mạnh Hùng

TP. HỒ CHÍ MINH, NĂM 2026

LỜI CAM ĐOAN

Nghiên cứu sinh xin cam đoan đây là công trình nghiên cứu khoa học độc lập của riêng Nghiên cứu sinh. Tất cả mọi thông tin, số liệu sử dụng trong luận án đều có nguồn gốc rõ ràng, được trích dẫn, tham khảo theo đúng quy định. Kết quả nghiên cứu trong luận án là trung thực, khách quan và phù hợp với thực tiễn của Việt Nam.

Tác giả luận án

Lê Xuân Tú

LỜI CẢM ƠN

Nghiên cứu sinh xin trân trọng cảm ơn Cơ sở đào tạo - Viện Khoa học Thủy lợi Việt Nam và Viện Khoa học Thủy lợi miền Nam đã tạo mọi điều kiện thuận lợi nhất để Nghiên cứu sinh thực hiện nghiên cứu này.

Nghiên cứu sinh xin gửi lời cảm ơn đến hai thầy là PGS.TS. Trần Bá Hoàng và GS. TS. Lê Mạnh Hùng đã tận tâm hướng dẫn Nghiên cứu sinh từ khi xây dựng ý tưởng cũng như trong suốt quá trình nghiên cứu.

Nghiên cứu sinh trân trọng cảm ơn lãnh đạo, các nhà khoa học tại Viện Khoa học Thủy lợi miền Nam, các cơ quan nghiên cứu, các Giáo sư, chuyên gia trong và ngoài nước đã góp ý, hỗ trợ. Nghiên cứu sinh cảm ơn Trung tâm Nghiên cứu Chính trị sông và Phòng chống thiên tai đã tạo mọi điều kiện thuận lợi nhất để Nghiên cứu sinh thực hiện thành công nội dung nghiên cứu.

Nghiên cứu sinh trân trọng cảm ơn UBND tỉnh Tiền Giang, Sở Nông nghiệp và PTNT, Ban Quản lý dự án đầu tư xây dựng Ngành nông nghiệp tỉnh Tiền Giang đã tạo điều kiện, ủng hộ ứng dụng kết quả nghiên cứu vào thực tiễn.

Xin chân thành cảm ơn các đồng nghiệp đã hỗ trợ trong quá trình quan trắc thu thập số liệu hiện trường, thu thập dữ liệu triển khai tại phòng thí nghiệm, các đề tài đã hỗ trợ, cung cấp số liệu phục vụ nghiên cứu.

Xin chân thành cảm ơn bạn bè và đồng nghiệp, cùng toàn thể gia đình đã luôn khích lệ, động viên Nghiên cứu sinh trong suốt quá trình thực hiện công trình nghiên cứu này.

Tác giả luận án

Lê Xuân Tú

MỤC LỤC

LỜI CAM ĐOAN	i
LỜI CẢM ƠN	ii
MỤC LỤC	iii
DANH MỤC BẢNG BIỂU	v
DANH MỤC HÌNH ẢNH, HÌNH VẼ	ix
DANH MỤC TỪ VIẾT TẮT	xiii
KÝ HIỆU CHỦ YẾU DÙNG TRONG LUẬN ÁN	xiv
MỞ ĐẦU	1
1. Tính cấp thiết của luận án	1
2. Mục đích nghiên cứu	2
3. Đối tượng và phạm vi nghiên cứu	3
4. Cách tiếp cận và phương pháp nghiên cứu	3
5. Ý nghĩa khoa học và thực tiễn của luận án	5
6. Những đóng góp mới của luận án	6
7. Cấu trúc Luận án	6
CHƯƠNG 1. TỔNG QUAN	7
1.1. Tổng quan về giải pháp bảo vệ bờ biển	7
1.2. Tổng quan về nghiên cứu truyền sóng qua đê kết cấu rỗng	26
1.3. Kết luận Chương 1	40
CHƯƠNG 2. CƠ SỞ KHOA HỌC NGHIÊN CỨU GIẢI PHÁP ĐÊ KẾT CẤU RỖNG	41
2.1. Tổng quan về vùng nghiên cứu	41
2.2. Cơ sở đề xuất giải pháp đê giảm sóng kết cấu rỗng TC1	48
2.3. Nguyên lý làm việc của kết cấu đê rỗng	53
2.4. Cơ sở khoa học về truyền sóng qua kết cấu đê rỗng TC1	54
2.5. Thiết lập thí nghiệm mô hình vật lý trên máng sóng	63
2.6. Thiết lập đo đạc công trình thực tế hiện trường	79
2.7. Kết luận Chương 2	81

CHƯƠNG 3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN	83
3.1. Quá trình biến đổi phổ sóng	83
3.2. Đánh giá các yếu tố ảnh hưởng đến hệ số truyền sóng qua KCR TC1	85
3.3. Xây dựng công thức truyền sóng qua đê kết cấu rỗng TC1	94
3.4. Biến đổi vận tốc qua đê kết cấu rỗng TC1	108
3.5. Ứng dụng đê giảm sóng kết cấu rỗng TC1 tại Tiền Giang	118
3.6. Kết luận Chương 3	129
KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ.....	130
1. Kết luận	130
2. Những đóng góp mới của luận án	130
3. Kiến nghị	131
DANH MỤC CÁC CÔNG TRÌNH ĐÃ CÔNG BỐ.....	132
TÀI LIỆU THAM KHẢO.....	133
Tiếng Việt.....	133
Tiếng Anh.....	136
PHỤ LỤC.....	145
Phụ lục 1. Thông số máy đo đặc hiện trường.....	145
Phụ lục 2. Các thông số đánh giá độ chính xác của kết quả tính toán và thực đo ..	146
Phụ lục 3. Quá trình vận hành và thu thập số liệu thí nghiệm trích xuất từ kết quả đo đặc mô hình vật lý.	149
PL3.1 Quá trình thiết lập vận hành thí nghiệm	149
PL3.2. Số liệu thí nghiệm trích xuất từ kết quả đo đặc mô hình vật lý và phân tích.	152
Phụ lục 4. Thông số tính toán thiết kế đê giảm sóng	154
Phụ lục 5. Hình ảnh khôi phục hệ sinh thái rừng ngập mặn theo thời gian	158
Phụ lục 6. Bảng độc quyền giải pháp hữu ích cấu kiện giảm sóng bảo vệ bờ biển	159

DANH MỤC BẢNG BIỂU

Bảng 1-1. Thống kê các dạng công trình bảo vệ bờ biển ở ĐBSCL (2023).....	20
Bảng 1-2 Đánh giá các nhóm công trình bảo vệ bờ biển theo phương pháp đa tiêu chí (Nguồn: Nguyễn Nguyệt Minh và nnk (2022) [18]).....	25
Bảng 1-3. Các loại kết cấu đê và hệ số c áp dụng trong công thức (1-12)	35
Bảng 1-4. Tổng hợp công thức truyền sóng qua đê giảm sóng đã nghiên cứu.....	37
Bảng 2-1: Tổng hợp hiện trạng sạt lở bờ biển khu vực ĐBSCL [27].....	47
Bảng 2-2: Ma trận thứ nguyên	61
Bảng 2-3. Phân tích thứ nguyên cho các tham số	62
Bảng 2-4. Thống kê chiều cao sóng và tần suất xuất hiện tại vị trí S1, S2, S3.....	67
Bảng 2-5. Thống kê chu kỳ sóng và tần suất xuất hiện tại vị trí S1, S2, S3	67
Bảng 2-6. Số liệu thống kê các tham số sóng đo được tại Gò Công (từ ngày 24/02-11/03/2017) Biển Đông.....	68
Bảng 2-7. Số liệu thống kê các tham số sóng đo được tại Gành Hào (từ ngày 12/02-16/02/2020 Biển Đông [18])	69
Bảng 2-8. Thống kê các đặc trưng sóng tại trạm ngoài khơi (từ ngày 6-9/7/2019 tại khu vực Đá Bạc, Biển Tây Cà Mau [18])	69
Bảng 2-9. Thông số tỉ lệ mô hình.....	72
Bảng 2-10. Đường kính lỗ rỗng thí nghiệm	75
Bảng 2-11. Các kịch bản thí nghiệm độ rỗng khác nhau phía bờ và phía biển.	76
Bảng 2-12. Các điều kiện biên về sóng và mực nước thí nghiệm.	77
Bảng 2-13. Kịch bản và các trường hợp thí nghiệm kết cấu TC1 trong máng sóng.	78
Bảng 3-1. Kịch bản thí nghiệm bể sóng.....	101
Bảng 3-2. Kết quả đo đạc trong bể sóng và tính toán với công thức xây dựng	102
Bảng 3-3. Hệ số tương quan R^2 , RMSE.....	103
Bảng 3-4. Tính toán hệ số truyền sóng Kt tính toán và thực đo	104
Bảng 3-5. Tổng hợp các thông số thiết kế đê giảm sóng	121
Bảng 3-6. Tính toán cao trình đỉnh đê	121

Bảng 3-7. Các giá trị thống kê về bùn cát lơ lửng (độ đục, đơn vị mg/l) đo được tại trạm ST1 (trước công trình) và ST2 (sau công trình).	124
--	-----

DANH MỤC HÌNH ẢNH, HÌNH VẼ

Hình 0-1. Sơ đồ các phương pháp nghiên cứu của luận án.....	4
Hình 1-1. Tổng hợp các giải pháp bảo vệ bờ biển [12]	7
Hình 1-2. Sơ đồ phân loại các giải pháp bảo vệ bờ biển (chỉnh sửa từ Schoonees, T và nnk (2019) [93].....	8
Hình 1-3. Các giải pháp công trình cứng và giải pháp kết hợp bảo vệ bờ biển.....	9
Hình 1-4. Các giải pháp mềm bảo vệ bờ biển [1], [15]	10
Hình 1-5. Các dạng công trình ĐGS đỉnh thấp ở Châu Âu [37].....	11
Hình 1-6. Khối cấu kiện Reef Ball ứng dụng làm đê ngầm giảm sóng [65]	12
Hình 1-7. Bố trí thí nghiệm đê ngầm giảm sóng bằng Reef balls [43]	12
Hình 1-8. Đê giảm sóng ở New Iberia, Louisiana - Shark Island, USA [62].....	13
Hình 1-9. Đê giảm sóng WAD ở bờ biển Simmons Park, Ruskin, Florida, Mỹ [62]	14
Hình 1-10. Cấu kiện giảm sóng WAD [62]	14
Hình 1-11. Cấu kiện Beach Prism đặt ở Ingram Bay, VIRGINIA, Mỹ [63]	15
Hình 1-12. Cấu kiện giảm sóng hình trụ đứng ở cảng Nagashima- Nhật Bản	15
Hình 1-13. Đê giảm sóng hình bán nguyệt ở sông Trường Giang, Trung Quốc [13]	16
Hình 1-14. Đê chắn sóng hình bán nguyệt tại cảng Miyazaki của Nhật Bản	16
Hình 1-15. Đê giảm sóng bảo vệ bờ biển ở Việt Nam.....	19
Hình 1-16. Một số dạng ĐGS áp dụng ở bờ biển ĐBSCL [5], [14], [8], [18].....	22
Hình 1-17. Một số đoạn công trình Busadco bị đổ vỡ ở Rạch Góc, Biển Đông	22
Hình 1-18. Hàng rào chữ T tại bờ biển thị xã Vĩnh Châu (trái) và hàng rào tre phía ngoài kết hợp trồng rừng –Vĩnh Tân (phải) [1]	23
Hình 1-19. Các thông số cơ bản ảnh hưởng đến hệ số truyền sóng K_t	26
Hình 1-20. Hệ số truyền sóng qua đê đỉnh hẹp theo Van de Meer (1991).	32
Hình 2-1. Vị trí vùng ĐBSCL trên bản đồ Việt Nam	41
Hình 2-2. Mặt cắt ngang bờ biển Gò Công- Tiền Giang (Biển Đông) [8].....	42

Hình 2-3. Phân bố kích thước hạt của bùn cát đáy biển dọc theo bờ biển ĐBSCL, vào mùa gió mùa Tây Nam (hình trái) và gió mùa Đông Bắc (hình phải) [91]	44
Hình 2-4. Hoa sóng tại 3 điểm đặc trưng vùng ĐBSCL (2014-2015) và diễn biến bờ biển ĐBSCL trong giai đoạn từ 1990-2015 [27]	45
Hình 2-5. Dao động mực nước tại trạm Vàm Kênh (Tiền Giang).....	46
Hình 2-6. Mực nước thủy triều đại diện của Biển Đông ĐBSCL.....	46
Hình 2-7. Xói lở bờ biển và rừng ngập mặn vùng ĐBSCL	46
Hình 2-8. Giải pháp bảo vệ bờ biển đa tầng	49
Hình 2-9. Xếp các cấu kiện giảm sóng TC1 liên kết với nhau	51
Hình 2-10. Sơ họa cấu tạo của ĐGS TC1	52
Hình 2-11. Các phiên bản của KCR TC1.....	52
Hình 2-12. Sơ họa nguyên lý làm việc của đê KCR TC1 trên mặt cắt ngang	53
Hình 2-13. Sơ họa bố trí mặt bằng ĐGS KCR TC1.....	53
Hình 2-14. Sơ họa quá trình tương tác của sóng với KCR TC1 trên mặt cắt ngang	54
Hình 2-15. Dòng chảy qua lỗ rỗng trên màng giảm sóng (Bergmann và Oumeraci, 1998 [110]).....	56
Hình 2-16. Thể hiện chiều rộng hiệu quả đỉnh đê B_{eff}	60
Hình 2-17. Sơ họa truyền sóng qua đê KCR và các tham số ảnh hưởng.....	60
Hình 2-18. Sơ họa vị trí S1, S2, S3 trích xuất thông số sóng nước sâu.....	66
Hình 2-19. Biểu đồ theo thời gian của các tham số thủy động lực học đo được tại trạm AWAC Gò Công từ ngày 24/02-12/03/2017	68
Hình 2-20. Máng sóng thí nghiệm của VKHTLMN.....	70
Hình 2-21. Mái hấp thụ sóng trong máng sóng.....	70
Hình 2-22. Hệ số sóng phản xạ kiểm định trên mái hấp thụ sóng	71
Hình 2-23. Bố trí các kim đo sóng (WG) và đầu đo vận tốc E40 trong máng sóng	74
Hình 2-24. Mô hình cấu kiện đê rỗng TC1 lắp đặt trong máng sóng	74
Hình 2-25. Hình chiếu 3D và mặt cắt ngang của cấu trúc TC1 (a) với kích thước tính bằng cm. P1 và P2 là phần trăm độ rỗng bề mặt ở phía biển và phía bờ (b).	75
Hình 2-26. Mặt cắt dọc và mặt bằng bố trí thí nghiệm trong máng sóng	76

Hình 2-27. Sơ đồ thiết lập các trạm đo và các thiết bị được lắp đặt tại khu vực bờ biển Tân Thành, tỉnh Tiền Giang.	80
Hình 3-1. Sự thay đổi của phổ sóng tại các kim đo WG1-WG7 kích bản D30H12T151.	83
Hình 3-2. Phổ sóng phía trước công trình ST1 (a) và phía sau công trình ST2 (b)..	84
Hình 3-3. Hệ số truyền sóng ở 2 mực nước khác nhau.....	87
Hình 3-4. Hệ số phản xạ sóng ở 2 mực nước khác nhau	87
Hình 3-5. Hệ số tiêu tán sóng ở 2 mực nước khác nhau	88
Hình 3-6. Quan hệ giữa hệ số K_t và độ rỗng (n)	89
Hình 3-7. Ảnh hưởng của độ ngập sâu tương đối ($R_c/H_{m0,i}$) đến K_t	91
Hình 3-8. Ảnh hưởng của bề rộng tương đối $B_{eff}/L_{m-1,0}$ đến K_t	92
Hình 3-9. Ảnh hưởng của bề rộng tương đối B_{eff}/d đến K_t	93
Hình 3-10. Tương quan $S_{0m} \sim K_t$	94
Hình 3-11. Xác định số mũ a_3, a_4	96
Hình 3-12. So sánh K_t tính toán theo công thức và số liệu thực nghiệm.	97
Hình 3-13. Xác định số mũ a_3, a_4	98
Hình 3-14. So sánh K_t tính toán theo công thức và số liệu thực nghiệm.	99
Hình 3-15. Mặt bằng bố trí đầu đo sóng trong bể sóng	100
Hình 3-16. So sánh K_t tính toán theo công thức và số liệu thực đo.	103
Hình 3-17. So sánh hệ số truyền sóng K_t giữa tính toán và thực đo tại Tân Thành. ...	105
Hình 3-18. Tần xuất xuất hiện chiều cao sóng $H_{1/3}$ và H_{max} trước và sau công trình	105
Hình 3-19. Chu kỳ sóng $T_{1/3}$ và T_{max} trước và sau công trình.....	106
Hình 3-20. Quan hệ giữa chiều cao sóng và chu kỳ sóng	106
Hình 3-21. So sánh hệ số truyền sóng giữa công thức trong nghiên cứu hiện tại và các công thức nghiên cứu trước đây.....	108
Hình 3-22. Sơ đồ bố trí vị trí đo vận tốc trước và sau công trình tại WG5, WG6	108
Hình 3-23. Sự biến đổi giá trị vận tốc tại WG5, WG6 ứng với 3 trạng thái làm việc của ĐGS với trường hợp H12T151.....	110

Hình 3-24. Hoa dòng chảy tại WG5 và WG6 cho trường hợp sóng H12T151.....	111
Hình 3-25. Sự biến đổi giá trị vận tốc trung bình tại WG5, WG6.....	112
Hình 3-26. Quan hệ hệ số truyền sóng, vận tốc trung bình và chiều cao lưu không R_c	113
Hình 3-27. Phân bố vận tốc dòng chảy theo hướng tại vị trí đo ST1, ST2, ST3	114
Hình 3-28. Biểu đồ theo thời gian của dao động mực nước tại vị trí ST1 và vận tốc dòng chảy tại vị trí ST1 (phía trước công trình), ST2 (phía sau công trình) và ST3 (khoảng trống giữa các tuyến công trình).	116
Hình 3-29. Tần xuất xuất hiện vận tốc dòng chảy tại vị trí đo ST1, ST2, ST3	116
Hình 3-30. Biểu đồ vận tốc dòng chảy trung bình theo các hướng	117
Hình 3-31. Biểu đồ hệ số truyền vận tốc theo các hướng	117
Hình 3-32. Diện tích xói, bồi khu vực bờ biển Gò Công Đông tỉnh Tiền Giang	119
Hình 3-33. Diễn biến bờ biển từ 1990-2018 (trái) và sạt lở bờ biển Gò Công (phải)	119
Hình 3-34. Sơ hoạ các giai đoạn phục hồi và mở rộng rừng ngập mặn ven biển kết hợp ĐGS xa bờ.....	120
Hình 3-35. Mặt cắt ngang đại diện KCR TC1	122
Hình 3-36. Bố trí tuyến công trình	122
Hình 3-37. Sự biến đổi theo thời gian của hàm lượng bùn cát lơ lửng (độ đục) và dao động mực nước tại trạm ST1 và ST2.	123
Hình 3-38. Phân bố tần suất của bùn cát lơ lửng tại trạm ST1 và ST2.....	124
Hình 3-39. Diễn biến địa hình đáy theo trên mặt cắt ngang giữa các lần đo	125
Hình 3-40. Cao trình bãi biển đổi tại các mặt cắt sau ĐGS ở Tân Thành	125
Hình 3-41. Chiều dày bồi lắng sau ĐGS ở Cồn Cống sau 5 năm.....	126
Hình 3-42. Hiệu quả gây bồi tạo bãi của ĐGS Tân Thành theo thời gian	126
Hình 3-43. Cây mắm đang phục hồi phía sau ĐGS Tân Thành sau 2 năm	128
Hình 3-44. Quá trình phục hồi rừng ngập mặn và hệ sinh thái ở Cồn Cống – Tiền Giang sau 4 năm xây dựng.....	128

DANH MỤC TỪ VIẾT TẮT

BĐKH	Biến đổi khí hậu
BTCT	Bê tông cốt thép
ĐBSCL	Đồng bằng sông Cửu Long
ĐGS	Đê giảm sóng
KCR	Kết cấu rỗng
TC1	Tên của cấu kiện giảm sóng kết cấu rỗng mặt cắt hình chữ A
RNM	Rừng ngập mặn
CNM	Cây ngập mặn
KH	Kịch bản tính toán
KTXH	Kinh tế xã hội
NBD	Nước biển dâng
TCVN	Tiêu chuẩn Việt Nam
VNC	Vùng nghiên cứu
GIZ	Tên viết tắt của tổ chức Hợp tác Quốc tế Đức (GIZ), trong tiếng Đức là Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ)
DELOS	Environment Design of Low Crested Coastal Defence Structures
AFD	Tên viết tắt của Cơ quan Phát triển Pháp (tiếng Pháp : Agence française de développement , AFD
NCS	Nghiên cứu sinh

KÝ HIỆU CHỦ YẾU DÙNG TRONG LUẬN ÁN

Ký hiệu	Tên gọi ký hiệu, miêu tả
$B, B_{\text{đỉnh}}$	bề rộng đỉnh kết cấu đê rộng
$B_{\text{đáy}}$	bề rộng đáy kết cấu đê rộng
B_{eff}	bề rộng hiệu dụng làm việc của đê giảm sóng rộng
d	độ sâu nước
D_{50}	đường kính danh nghĩa của vật liệu
E_i	năng lượng sóng tới
E_D	phần năng lượng bị tiêu tán qua kết cấu
E_r	năng lượng sóng phản xạ
E_t	năng lượng sóng truyền qua
Fr	số Froude
$P\%$	tần suất
g	gia tốc trọng trường
$G; L_g$	khoảng hở giữa các đoạn đê
h	chiều cao của kết cấu
H_i	chiều cao sóng đến
H_r	chiều cao sóng phản xạ
H_t	chiều cao sóng truyền
$H_{m0,i}$	chiều cao mô men sóng tới
$H_{m0,r}$	chiều cao mô men sóng phản xạ
$H_{m0,t}$	chiều cao mô men sóng truyền
H_s	chiều cao sóng ý nghĩa
KCR	kết cấu rộng
k	số sóng
K_r	hệ số phản xạ
K_t	hệ số truyền sóng

Ký hiệu	Tên gọi ký hiệu, miêu tả
K_D	hệ số tiêu tán năng lượng sóng
K_v	hệ số suy giảm dòng chảy
$L_{m-1,0}$	Chiều dài sóng nước nông
L_p	Chiều dài sóng tương ứng với chu kỳ đỉnh sóng, T_p
m_0	mô men phổ sóng bậc 0
n	độ rỗng bề mặt khối của kết cấu rỗng
P_r	độ thấm hiệu dụng của môi trường rỗng
R	bán kính của lỗ rỗng
R_c	Chiều cao lưu không của đỉnh đê so với mực nước
Re	số Reynolds
$s(f)$	Hàm mật độ phổ sóng
S_{om}	độ dốc sóng
T_m	chu kỳ sóng nước nông
T_p	chu kỳ đỉnh sóng nước sâu
t	thời gian
U	vận tốc theo phương ngang
ρ	trọng lượng riêng của nước
γ	hệ số tăng cường đỉnh phổ cho phổ JONSWAP
ε	hiệu quả giảm sóng
ξ_{0p}	số Iribarren.
C_i	Hàm lượng bùn cát lơ lửng trước công trình
C_t	Hàm lượng bùn cát lơ lửng sau công trình

MỞ ĐẦU

1. Tính cấp thiết của luận án

Dải ven biển là vùng đất có hệ sinh thái đa dạng và có vai trò quan trọng trong phát triển kinh tế xã hội và đảm bảo an ninh quốc phòng. Nơi đây tập trung đông dân cư vì có những điều kiện thuận lợi để phát triển các ngành nghề như: du lịch, nuôi trồng thủy sản, công nghiệp, giao thông vận tải... Vùng ven biển là một trong những nơi phát triển năng động nhất trên thế giới và hiện có khoảng 3,0 tỷ người-chiếm 40% dân số thế giới đang sinh sống tại các vùng ven biển, hơn 65% các thành phố lớn trên thế giới tập trung ở khu vực ven biển tính từ bờ biển vào đất liền 100 km (Juan Manuel Barragán và nnk, 2015 [72]). Lorenzo Mentaschi và nnk, (2018) [84] nghiên cứu về diễn biến hình thái ven biển và cho rằng nó có nghĩa rất lớn đối với sự phát triển bền vững hệ sinh thái ven biển. Kết quả nghiên cứu hình thái học ven biển trong hơn 32 năm (1984-2015) của hơn 2 triệu mặt cắt ngang bờ biển trên phạm vi toàn cầu cho thấy, tổng diện tích đất bị xói lở khoảng 28.000 km², gấp đôi diện tích được bồi tụ. Sự suy giảm của rừng ngập mặn đặc biệt mạnh ở đồng bằng Indus, nơi mà một trong những khu rừng ngập mặn lớn nhất thế giới, đã giảm 72% từ năm 1977 đến 2006.

Ở nước ta, chiều dài bờ biển khoảng 3.260 km chưa bao gồm các đảo, trong đó khu vực ven biển Đồng bằng sông Cửu Long (ĐBSCL) với chiều dài trên 744 km [31], với rừng ngập mặn là tấm lá chắn để bảo vệ dải bờ biển, hệ thống đê biển trước những tác động bất lợi từ đại dương vào đất liền như: gió, bão, sóng, nước dâng, triều cường, xâm nhập mặn v.v... Nhưng mấy thập niên gần đây, trước những tác động rất lớn làm thay đổi cơ bản chế độ động lực, bùn cát sông Mê Công, nguồn phù sa cung cấp cho bờ biển ĐBSCL đang bị suy giảm nghiêm trọng bởi những hồ chứa thủy điện, thủy lợi, khai thác cát, sỏi trên dòng chính, chuyển nước sang lưu vực khác, hoạt động khai thác quá mức ngay trên vùng ĐBSCL (Anthony và nnk, 2015 [42]). Bên cạnh đó là tình trạng sụt lún, biến đổi khí hậu-nước biển dâng đã làm trầm trọng hơn những tác động bất lợi lên rừng ngập mặn, dải ven biển ĐBSCL [3]. Hậu quả là tình trạng diễn biến xói lở bờ biển, suy thoái rừng ngập mặn dải ven biển ĐBSCL đã xảy ra với

mức độ ngày càng trầm trọng, rất khó kiểm soát. Theo thống kê từ Bộ Nông Nghiệp & PTNT tính từ năm 1973 đến năm 2020 diện tích rừng ngập mặn bị suy giảm từ 185.800ha xuống còn 102.160ha tương đương khoảng 45% [6]. Từ năm 2005 đến nay, trung bình mỗi năm rừng ngập mặn ven biển ĐBSCL bị suy giảm do sạt lở bờ biển hơn $300 \div 500$ ha (khoảng $0.28 \div 0.48\%/năm$) [31]. Theo kịch bản BĐKH và NBD được nghiên cứu bởi Bộ Tài nguyên và Môi trường nếu NBD 1m thì tính đến cuối thế kỉ 21 sẽ có hơn 70% rừng ngập mặn bị xóa sổ đồng nghĩa với việc ĐBSCL sẽ mất gần 2000 tỉ đồng (thời giá năm 2020) về các dịch vụ liên quan đến RNM [6]. Điều này sẽ ảnh hưởng đến hệ sinh thái rừng ngập mặn, cơ sở hạ tầng ven biển và sinh kế của người dân.

Để bảo vệ bờ biển, thích ứng với BĐKH và NBD nhiều giải pháp công trình đã được triển khai như: kè áp mái, đê giảm sóng bằng hàng rào tre, Geotube, đê đá đổ, đê cấu kiện kết cấu rỗng đúc sẵn... Trong đó, đê giảm sóng (ĐGS) kết cấu rỗng (KCR) đã đem lại hiệu quả rõ nét về khả năng giảm sóng, gây bồi tạo bãi, khôi phục rừng ngập mặn, với thời gian thi công nhanh, chất lượng cao, giá thành hợp lý... Tuy vậy, việc triển khai ứng dụng vào thực tế còn gặp không ít khó khăn, bởi còn thiếu những kết quả nghiên cứu thông số kỹ thuật cần thiết cho loại giải pháp kết cấu mới này.

Vì lẽ đó, nghiên cứu sinh (NCS) thực hiện luận án: "Nghiên cứu hiệu quả giảm sóng của kết cấu đê rỗng, ứng dụng cho Đồng bằng sông Cửu Long" là rất cần thiết và có ý nghĩa về khoa học và thực tiễn.

2. Mục tiêu nghiên cứu

2.1 Mục tiêu tổng quát

Mục tiêu của nghiên cứu là đánh giá giải pháp kết cấu ĐGS KCR đúc sẵn lắp ghép bằng BTCT mặt cắt hình chữ A (tên gọi TC1) và xây dựng phương pháp tính toán hệ số truyền sóng, biến đổi vận tốc qua loại đê này với điều kiện tự nhiên ở vùng ĐBSCL, nhằm bảo vệ bờ biển, phục hồi rừng ngập mặn cho những vùng đất thấp ven biển như ĐBSCL và các khu vực có điều kiện tự nhiên tương đồng.

2.2 Mục tiêu cụ thể

- Phân tích quá trình truyền sóng qua đê giảm sóng KCR TC1 để làm rõ tương tác sóng - KCR TC1, đặc trưng hình học của ĐGS TC1, hệ số truyền sóng và quá trình biến đổi vận tốc dòng chảy qua ĐGS.
- Xây dựng công thức thực nghiệm tính hệ số truyền sóng (Kt) của đê giảm sóng TC1 từ kết quả thí nghiệm mô hình vật lý trong máng sóng 2D, bể sóng 3D và kiểm định số liệu đo đạc công trình thực tế ngoài hiện trường (tỉ lệ 1:1).

3. Đối tượng và phạm vi nghiên cứu

Đối tượng nghiên cứu: Đê KCR mặt cắt chữ A tên gọi là TC1 bao gồm các khối bê tông rỗng đúc sẵn đục lỗ tròn trên bề mặt tạo độ rỗng, đặt trên nền móng bằng bê tông cốt thép và đá dăm tạo phẳng, gia cố chân chống xói bằng đá đổ trước và sau cấu kiện tạo thành 1 tuyến đê hoàn chỉnh.

Phạm vi nghiên cứu: Nghiên cứu các đặc tính thủy lực của ĐGS KCR bao gồm hệ số truyền sóng, sóng phản xạ, tiêu tán năng lượng và biến đổi vận tốc dòng chảy với điều kiện thủy hải văn ở khu vực ĐBSCL như: sóng, gió, dòng chảy, thủy triều và bùn cát ven biển trong điều kiện khí hậu gió mùa hàng năm ở ĐBSCL. Công trình đê KCR được xây dựng lắp đặt trên nền đất yếu phía trước rừng ngập mặn dọc bờ biển ĐBSCL.

Luận án tập trung nghiên cứu: Cơ sở lý thuyết về truyền sóng, quá trình tiêu tán năng lượng, suy giảm vận tốc trước và sau đê KCR TC1 từ đó đánh giá khả năng gây bồi tạo bãi, tái tạo hệ sinh thái vùng ven biển ĐBSCL. Các quá trình vật lý chi phối hiệu quả gây bồi tạo bãi sau ĐGS, bãi biển đều có liên quan mật thiết đến chế độ thủy động lực trong đó sóng, dòng chảy có ảnh hưởng và là yếu tố tác động chính. Khi sóng truyền qua công trình có KCR vào bờ, sóng tương tác với công trình làm suy giảm năng lượng sóng, dòng chảy cùng các yếu tố khác gây bồi tạo bãi, tạo nên hệ sinh thái sau công trình và bãi biển khu vực ĐBSCL

4. Cách tiếp cận và phương pháp nghiên cứu

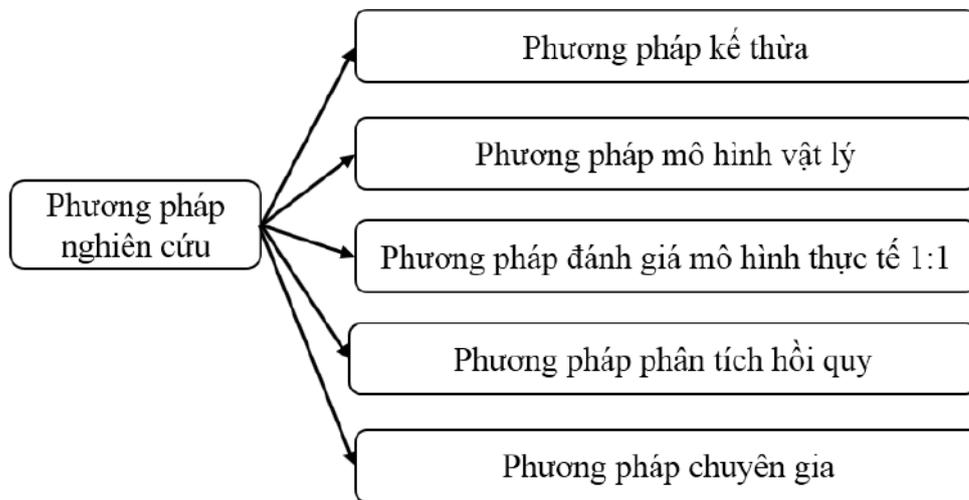
4.1. Cách tiếp cận

- Tiếp cận từ thực tế: Thu thập, đo đạc, quan sát, đánh giá thực tế.

- Tiếp cận từ các giải pháp khoa học công nghệ, công trình bảo vệ bờ biển đã được áp dụng thực tế trong nước và trên thế giới.
- Tiếp cận kế thừa và phát triển kết quả nghiên cứu: Các nghiên cứu trong luận án này đã kế thừa các nghiên cứu về công trình bảo vệ bờ biển. Việc xác định nội dung nghiên cứu cần phải được xem xét trong điều kiện phân tích, đánh giá và thừa hưởng các kết quả đã có về mặt cơ sở khoa học và về thực tiễn, đồng thời tổng kết rút ra các hạn chế, tồn tại và đưa ra các vấn đề cần tiếp tục nghiên cứu.

4.2. Phương pháp nghiên cứu của luận án

Trên cơ sở tổng quan các nghiên cứu ở trong và ngoài nước liên quan trực tiếp đến ĐGS KCR, tiếp cận kế thừa có chọn lọc, đồng thời phát triển, sáng tạo dựa trên cơ sở khoa học và thực tiễn ứng dụng để nghiên cứu đề xuất công trình ĐGS kết cấu mới theo xu hướng dựa vào tự nhiên, thân thiện với môi trường bảo vệ bờ biển ĐBSCL từ đó NCS lựa chọn phương pháp nghiên cứu như sơ đồ Hình 0-1.



Hình 0-1. Sơ đồ các phương pháp nghiên cứu của luận án

Các phương pháp nghiên cứu sử dụng trong luận án:

1) Phương pháp kế thừa: Kế thừa có chọn lọc những kiến thức khoa học công nghệ và sản phẩm của các đề tài, dự án, công trình nghiên cứu trong và ngoài nước có liên quan đến nội dung Luận án. Trên cơ sở các tài liệu thu thập được, tổng hợp, phân tích, để chọn lọc ra những nội dung có liên quan mật thiết đến vấn đề nghiên

cứu. Tìm hiểu những vấn đề mà các tác giả đi trước đã làm những tồn tại, hạn chế, chỉ ra những vấn đề mà đề tài cần tập trung nghiên cứu, giải quyết.

3) Phương pháp nghiên cứu trên mô hình vật lý: Dựa trên các lý thuyết phân tích thứ nguyên, phương trình nghiên cứu cơ bản về bảo toàn năng lượng sóng, thí nghiệm trên mô hình vật lý máng sóng. Đo đạc, phân tích kết quả thí nghiệm, đánh giá và xây dựng tương quan giữa các tham số chi phối đến hệ số truyền sóng, sóng phản xạ, tiêu tán, biến đổi vận tốc và thiết lập công thức thực nghiệm về truyền sóng qua KCR TC1.

3) Phương pháp đánh giá mô hình thực tế 1:1: Khảo sát, đo đạc các yếu tố địa hình, thủy hải văn khu vực ứng dụng kết cấu TC1 từ đó phân tích, tổng hợp các thông số đặc trưng về truyền sóng, dòng chảy, hiệu quả bồi lắng, khôi phục hệ sinh thái rừng ngập mặn, kiểm định lại kết quả nghiên cứu lý thuyết và đánh giá những tồn tại, hạn chế từ nghiên cứu lý thuyết, mô hình vật lý trong phòng thí nghiệm tới công trình làm việc thực tế ngoài hiện trường.

4) Phương pháp phân tích hồi quy: Luận án sử dụng phương pháp phân tích hồi quy phi tuyến để xây dựng công thức thực nghiệm tính hệ số truyền sóng K_t cho ĐGS kết cấu rỗng TC1 dựa trên dữ liệu thu được từ thí nghiệm mô hình vật lý và số liệu đo đạc công trình ngoài thực địa (xem chi tiết Phục lục 2).

5) Phương pháp chuyên gia: Trong quá trình nghiên cứu tham khảo và xin ý kiến của các chuyên gia, đồng nghiệp trong và ngoài nước, thông qua ý kiến phản biện các bài báo khoa học ở trong nước và tạp chí quốc tế, các đợt báo cáo kết quả học tập và nghiên cứu định kỳ của NCS tại cơ sở đào tạo, báo cáo tại các hội thảo v.v.

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

5.1. Ý nghĩa khoa học

Làm rõ được cơ chế tương tác sóng – Đê KCR, phân tích chi tiết cơ chế truyền sóng, giảm sóng của đê KCR TC1 trong các điều kiện thủy động lực khác nhau.

Góp phần hoàn thiện cơ sở lý thuyết, tính toán thiết kế ĐGS kết cấu rỗng TC1, và phân tích được những yếu tố hình học, thủy văn, thủy lực ảnh hưởng tới hệ số

truyền sóng của cấu kiện, qua thí nghiệm mô hình vật lý trên máng sóng 2D, bể sóng 3D và mô hình thực tế tỷ lệ 1:1 ngoài thực địa. Kết quả nghiên cứu đã chỉ ra các yếu tố ảnh hưởng đến hiệu quả giảm sóng của KCR TC1 như chiều cao lưu không, độ rộng thân đê, bề rộng hiệu dụng, thông số sóng, từ đó xây dựng công thức truyền sóng qua cấu kiện TC1 trong điều kiện tự nhiên ở ĐBSCL.

5.2. Ý nghĩa thực tiễn

Kết quả nghiên cứu đã ứng dụng vào thực tế xây dựng hơn 17km ĐGS ở bờ biển Gò Công, Tân Phú Đông – Tiền Giang đem lại hiệu quả cao về giảm sóng, gây bồi, khôi phục rừng ngập mặn, điều này mở ra triển vọng áp dụng cho các khu vực có điều kiện tương đồng ở khu vực ven biển ĐBSCL và các khu vực có điều kiện tự nhiên tương đồng.

6. Những đóng góp mới của luận án

6.1. Đánh giá được ảnh hưởng của các yếu tố đến hệ số truyền sóng K_t qua đê KCR TC1 bao gồm: Chiều cao lưu không tương đối ($R_c/H_{m0,i}$); (ii) Bề rộng tương đối (B_{eff}/d); (iii) Độ dốc sóng (S_{0m}), (iv) độ rộng bề mặt của kết cấu (n) hay độ thấm hiệu dụng trong môi trường rỗng (P_f), sự thay đổi vận tốc dòng chảy khi sóng truyền qua đê đê KCR;

6.2 Xây dựng được công thức thực nghiệm tính hệ số truyền sóng (K_t) qua KCR TC1 cho khu vực ven biển ĐBSCL từ kết quả thí nghiệm mô hình vật lý trên máng sóng 2D và kiểm định trên bể sóng 3D, mô hình thực tế tỉ lệ 1:1.

$$K_t = -0.112 \frac{R_c}{H_{m0}} + 0.765 \left(P_f \frac{B_{eff}}{d} \right)^{-0.11} \left[1 - \exp \left(\frac{-0.485}{\sqrt{S_{0m}}} \right) \right]$$

7. Cấu trúc Luận án

Ngoài các phần Mở đầu và Kết luận-kiến nghị, Luận án được cấu trúc thành 3 chương như sau:

Chương 1: Tổng quan

Chương 2: Cơ sở khoa học nghiên cứu giải pháp đê kết cấu rỗng.

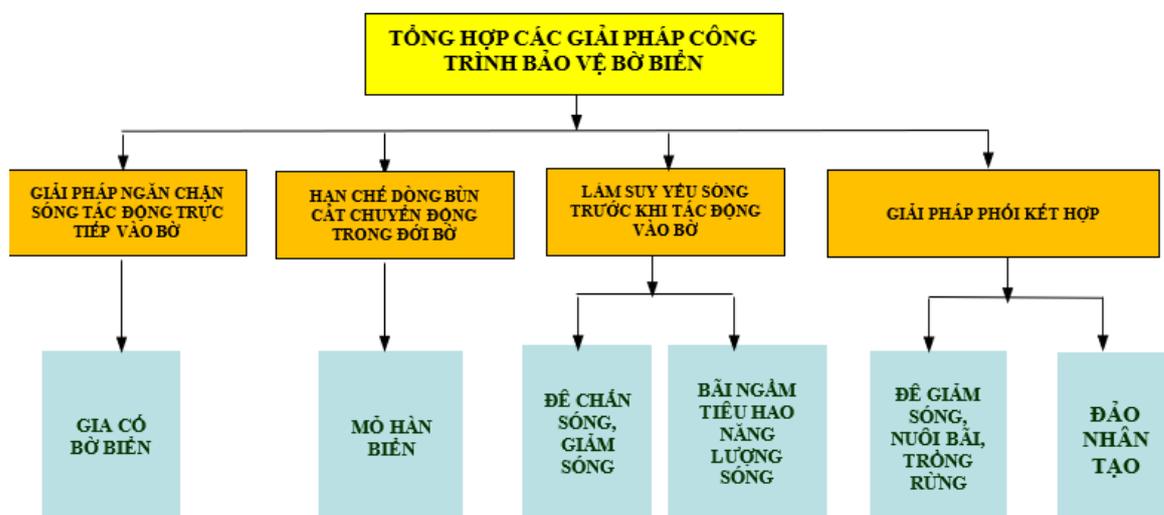
Chương 3: Kết quả và thảo luận

CHƯƠNG 1. TỔNG QUAN

1.1. Tổng quan về giải pháp bảo vệ bờ biển

1.1.1. Giải pháp bảo vệ bờ biển

Bờ biển là khu vực xảy ra các tương tác mạnh như sóng, gió, nước dâng,... quá trình này diễn ra liên tục theo thời gian và không gian. Các hoạt động khai thác dải ven biển ngày càng nhiều cùng với sự thay đổi điều kiện tự nhiên, kinh tế xã hội làm cho vấn đề sạt lở bờ biển diễn ra phức tạp và nghiêm trọng uy hiếp đến cuộc sống người dân, ảnh hưởng đến môi trường và cơ sở hạ tầng ven biển, đặc biệt ảnh hưởng đến quy hoạch phát triển kinh tế xã hội dải ven biển. Để giải quyết vấn đề này đã có những thành quả nghiên cứu của Thế giới và ở Việt nam về giải pháp công nghệ bảo vệ bờ biển và cách tiếp cận, các giải pháp công trình đã được GS. Lương Phương Hậu và nnk (2016) [13] nghiên cứu, tổng hợp và đưa ra sơ đồ như Hình 1-1.



Hình 1-1. Tổng hợp các giải pháp bảo vệ bờ biển [13]

Bảo vệ bờ biển là một vấn đề phức tạp, khó có một giải pháp hình mẫu để có thể áp dụng chung cho mọi khu vực bờ biển bị sạt lở, do sự khác biệt về điều kiện tự nhiên dẫn đến nguyên nhân và cơ chế xói lở bờ biển tại mỗi khu vực luôn có sự khác nhau. Khi lựa chọn giải pháp kỹ thuật nào đó theo mục tiêu và yêu cầu cần bảo vệ, thường phải vận dụng một cách linh hoạt có thể thuộc nhóm giải pháp công trình

cứng, giải pháp mềm, giải pháp kết hợp hay giải pháp phi công trình, hoặc kết hợp của nhiều giải pháp này với nhau (Lương Phương Hậu và nnk, (2016) [13]).

Bảo vệ bờ biển là một vấn đề được quan tâm đặc biệt gắn liền với phát triển kinh tế biển. Do đó, việc nghiên cứu lĩnh vực này cũng được phát triển khá sớm trên thế giới. Ở thập kỷ 70 của thế kỷ trước, các nghiên cứu tập trung vào mỏ hàn biển. Trong những năm 1980 đến nay ĐGS được nghiên cứu và ứng dụng rộng rãi đặc biệt gần đây (2001-2004) Hội đồng Châu Âu tiến hành chương trình nghiên cứu về công trình ĐGS đĩnh thấp (Environmental Design of Low Crested Coastal Defence Structure- DELOS) [53]. Nước Anh cũng đã thực hiện dự án LEACOAST2 (2005-2009) trong đó trọng tâm nghiên cứu về ĐGS.



Hình 1-2. Sơ đồ phân loại các giải pháp bảo vệ bờ biển (chỉnh sửa từ Schoonees, T và nnk (2019) [97])

Có nhiều giải pháp để bảo vệ bờ biển (Hình 1-2, Hình 1-3, Hình 1-4). Trong đó, các giải pháp cứng, giải pháp mềm và các giải pháp kết hợp được trình bày Hình 1-2 bởi Schoonees, T và nnk (2019) [97]. Trước thế kỷ 20, các giải pháp bảo vệ bờ biển chủ yếu tập trung vào các giải pháp công trình cứng như: Kè lát mái áp bờ, tường chắn sóng, ĐGS xa bờ ngắt quãng, mỏ hàn biển... các công trình này có tác dụng làm

suy yếu tác động của sóng lên bờ biển, giảm dòng chảy ven bờ, bẫy bùn cát hoặc chặn lại dòng bùn cát trong đới bờ làm giảm xói lở bờ biển.



Hình 1-3. Các giải pháp công trình cứng và giải pháp kết hợp bảo vệ bờ biển

Trong những thập kỷ gần đây, xu hướng sử dụng giải pháp phi công trình, giải pháp mềm và giải pháp kết hợp được ưu tiên Waterman R.E., (2010) [111]. Các giải pháp mềm như: nuôi bãi, đụn cát, phục hồi rừng ngập mặn, cỏ biển... (Hình 1-4). Giải pháp phi công trình như: quản lý tổng hợp vùng ven biển, ban hành hệ thống văn bản pháp luật về qui hoạch, quản lý và khai thác dải bờ biển...

Trong các thành phần để bảo vệ bờ biển thì ĐGS là một thành phần quan trọng là tuyến đầu tiên từ ngoài biển vào với chức năng giảm sóng chủ động, giảm thiểu xói lở bờ biển cho khu vực sau đê. Do đó, ĐGS được đánh giá là một giải pháp công trình phù hợp trong bảo vệ bờ biển. Gần đây, nhiều quốc gia trên thế giới đã sử dụng ĐGS để thay thế cho các giải pháp công trình như kè biển. ĐGS nhằm ứng phó với

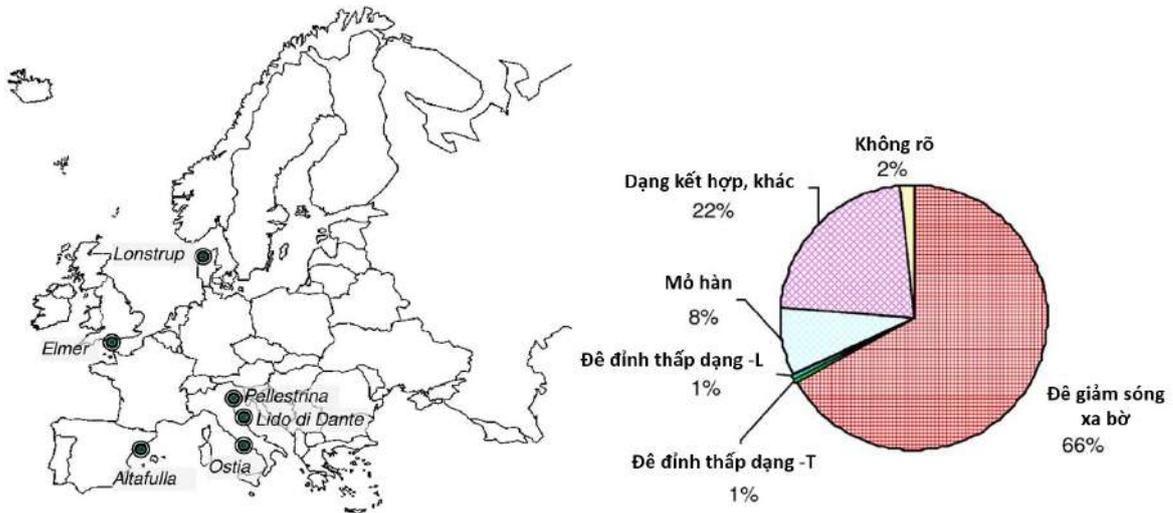
BĐKH-NBD đang gia tăng trên toàn cầu gây xói lở bờ biển và làm suy thoái hệ sinh thái RNM ven biển.



Hình 1-4. Các giải pháp mềm bảo vệ bờ biển [1], [17]

Nhiều nước trên thế giới như : Mỹ, Nhật Bản, Trung Quốc, Úc, Brazil, Canada, Đan Mạch, Anh, Ý, Tây Ban Nha, Bồ Đào Nha, ... đã ứng dụng ĐGS để bảo vệ bờ biển, do hiệu quả mang lại tốt hơn so với các giải pháp công trình truyền thống như: kè biển, mỏ hàn biển, đê chắn sóng. Mỹ chính là quốc gia ứng dụng công trình ĐGS sớm nhất trên thế giới, từ năm 1905 với dự án có tên là Venice dài 183m, thuộc bang California. Đến năm 1993, đã có 23 dự án với tổng chiều dài hơn 17.2 km ĐGS được xây dựng để bảo vệ bờ biển, tôn tạo bãi biển ở các bang như: California, Florida, Hawaii, Ohio, Virginia, Maryland, Louisiana,... (John B. Herbich, 1999) [70]. Tại Châu Âu, nghiên cứu của dự án DELOS (1998÷2002) đã khẳng định công trình ĐGS là giải pháp kỹ thuật mang lại hiệu quả bảo vệ bờ biển cao nhất. Nghiên cứu của A. Lamberti và nnk (2005) [37] cho thấy số lượng công trình ĐGS xa bờ được xây dựng

chiếm tỉ lệ lớn nhất lên tới 66%, trong đó 22% là sự kết hợp giữa mỏ hàn và ĐGS, mỏ hàn biển chỉ chiếm 8%, mỏ hàn dạng chữ T và chữ L mỗi loại chiếm 1%, còn lại 2% là các dạng công trình khác [37] (Hình 1-5).



Hình 1-5. Các dạng công trình ĐGS đỉnh thấp ở Châu Âu [37]

Tại Châu Á, Nhật Bản là quốc gia xây dựng ĐGS nhiều nhất, tính đến năm 1996, tổng số công trình ĐGS đã xây dựng ở Nhật Bản là 7.371 công trình, với chiều dài lên tới 837km (John B. Herbich, 1999) [70], John R.C. Hsu và nnk, (1999) [71]. Các quốc gia khác tại Châu Á như: Srilanka, Trung Quốc, Ấn Độ, Singapo, Thái Lan, Indonexia... cũng đã sử dụng công trình ĐGS để bảo vệ bờ biển, song còn rất hạn chế về số lượng và qui mô công trình so với Nhật Bản theo nghiên cứu của GS. Lương Phương Hậu và nnk (2016) [13].

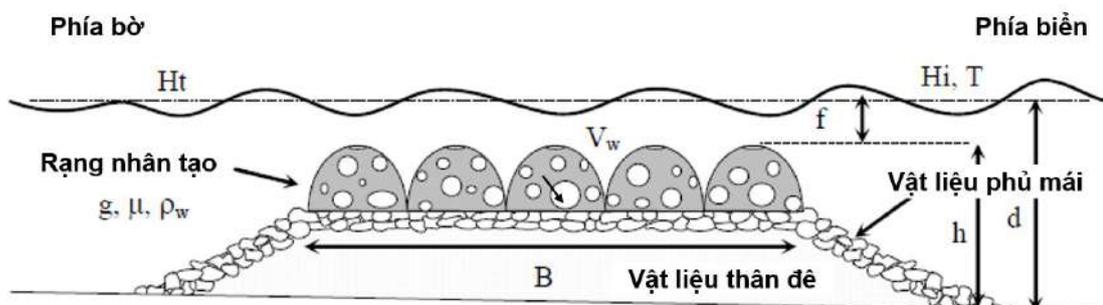
Theo mặt cắt ngang hình học: ĐGS có mặt cắt hình thang là phổ biến nhất, một số dạng khác hình chữ nhật như: thùng chìm Caisson, đê hình bán nguyệt...

Về mặt kết cấu ĐGS có nhiều loại khác nhau tùy thuộc vào điều kiện sóng, địa hình, địa chất để áp dụng như: đê đá đổ, đê lõi đá đổ lớp ngoài cùng được xếp bằng các cấu kiện bê tông dẹt hình đục sẵn (Tetrapod, Tribar, Dolos, Accropode, Racuna IV ...); đê KCR (đê trụ rỗng hình bán nguyệt đục lỗ); rạn ngầm nhân tạo (Reefball, Beach Prism, Wave Attenuation Devices (WAD), SandSaver...)

Về mặt kết cấu ĐGS KCR cũng đã được nghiên cứu và áp dụng ở một số nước trên thế giới với chức năng giảm sóng và khôi phục hệ sinh thái thân thiện với môi trường trong đó phải kể đến một số kết cấu sau: Reef Ball là kết cấu bê tông cốt thép hình bán cầu rỗng phỏng theo cấu trúc của san hô tự nhiên, vừa tiết kiệm vật liệu, và sau khi được đục lỗ với các kích thước khác nhau thì tạo ra môi trường sống phù hợp cho nhiều loài sinh vật biển (Hình 1-6). Các khối bán cầu này có thể được chế tạo hàng loạt trong nhà máy, đồng thời có thể dễ dàng vận chuyển lắp đặt vào vị trí dễ dàng bằng việc sử dụng máy cẩu đặt trên xà lan. ĐGS bằng Reef Ball nhằm giảm năng lượng sóng, vận tốc dòng chảy và tạo ra nơi cư trú cho san hô và sinh vật biển. Loại cấu kiện này đã được áp dụng tại hơn 62 quốc gia [35] trong hơn 6.500 dự án trên toàn cầu đem lại những hiệu quả tích cực tới môi sinh và thu hút thêm khách du lịch.



Hình 1-6. Khối cấu kiện Reef Ball ứng dụng làm đê ngầm giảm sóng [67]



Hình 1-7. Bố trí thí nghiệm đê ngầm giảm sóng bằng Reef balls [43]

Armono và Hall (2003) [43] đã nghiên cứu về truyền sóng của các đê ngầm bằng các rạn reef balls nhân tạo. Các Reef balls này thúc đẩy lưu thông nước và cung cấp khả năng nâng cao môi trường sống của cá. Tác giả đã nghiên cứu các thông số ảnh hưởng đến sự truyền sóng qua rạn nhân tạo dựa trên các thử nghiệm hai chiều sử dụng sóng đều và không đều được thực hiện tại Phòng thí nghiệm Nghiên cứu Kỹ thuật Bờ biển của Đại học Queens (QUCERL). Các ảnh hưởng của độ dốc của sóng (H_i/gT^2), tỷ lệ rạn (h/B), độ sâu ngập nước (h/d) và cấu hình của rạn đối với sự truyền sóng đã được nghiên cứu. Các mô hình toán học để truyền sóng đã được phát triển bằng cách sử dụng hồi quy nhiều lần. Ảnh hưởng của độ sâu mực nước, chiều cao sóng tới và chu kỳ và cấu hình rạn san hô trên đường truyền sóng đã được khảo sát. Chiều cao sóng giảm đi bị ảnh hưởng bởi độ dốc của sóng, độ sâu ngập nước và hình dạng của rạn san hô. Khoảng 60% năng lượng sóng tới giảm.



Hình 1-8. Đê giảm sóng ở New Iberia, Louisiana - Shark Island, USA [64]

Trên thế giới đã áp dụng đê cấu kiện rỗng Wave Attenuation Devices (WAD) để bảo vệ bờ biển và khôi phục hệ sinh thái ở New Iberia, Louisiana - Shark Island (Hình 1-8), hay Simmons Park, Ruskin, Florida, Mỹ (Hình 1-9). Cấu kiện này được xếp so le thành 2 tầng tạo thành tuyến ĐGS bảo vệ bờ biển. Các cấu kiện được đúc sẵn trong nhà máy và dùng xà lan vận chuyển ra vị trí công trình để lắp đặt nhằm thi công nhanh và giảm bớt ảnh hưởng đến môi trường trong quá trình xây dựng.



Hình 1-9. Đê giảm sóng WAD ở bờ biển Simmons Park, Ruskin, Florida, Mỹ [64]



Hình 1-10. Cấu kiện giảm sóng WAD [64]

Một số cấu kiện giảm sóng bảo vệ bờ biển như: Beach Prism, WAD được chế tạo đúc sẵn trong nhà máy sau đó mang ra vị trí xây dựng lắp ghép tạo thành tuyến ĐGS (Hình 1-10 và Hình 1-11) nhằm bẫy bùn cát tạo bãi và giảm xói lở bờ biển. Loại cấu kiện này xếp 2 hàng sẽ phân tán lực tác dụng lên cấu kiện, xói chân trước cấu kiện nhỏ... Tuy nhiên, với cấu tạo cấu kiện WAD cách bố trí lỗ tiêu sóng hình tam giác thì công khó, ứng lực tập trung dễ gây ra nứt, phá hoại tại các góc các lỗ tiêu sóng. Mặt khác các kết cấu này đặt trực tiếp xuống nền với những khu vực bờ biển cát thì phù hợp do độ lún nhỏ, nhưng với khu vực ĐBSCL lớp bùn và nền yếu thì khả năng bị lún lệch rất cao nếu không xử lý nền.

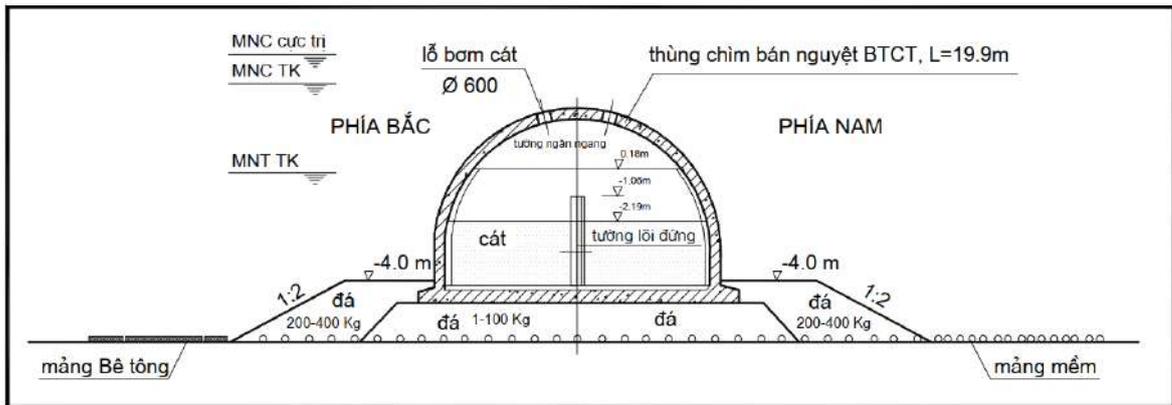


Hình 1-11. Cầu kiện Beach Prism đặt ở Ingram Bay, VIRGINIA, Mỹ [65]

Ở Châu Á, một số nước như Nhật Bản, Trung Quốc đã sử dụng nhiều hình dạng KCR khác nhau để làm ĐGS như: ĐGS bằng khối trụ rỗng đục lỗ bảo vệ bờ biển ở cảng Nagashima- Nhật bản (Hình 1-12), mặt trước tiếp xúc với sóng được đục các lỗ để tăng khả năng tiêu tán năng lượng sóng, mặt sau bị kín, ở giữa có lõi để đổ cát, đá tăng trọng lượng để ổn định. Đê hình bán nguyệt xây dựng ở cửa sông Trường Giang- Trung Quốc để tạo luồng tàu (Hình 1-13), với kết cấu bán nguyệt rỗng sẽ giảm trọng lượng tác dụng xuống nền đặc biệt là những khu vực đất yếu ở cửa sông Trường Giang, tương tự như điều kiện nền địa chất ở ĐBSCL.



Hình 1-12. Cầu kiện giảm sóng hình trụ đứng ở cảng Nagashima- Nhật Bản



Hình 1-13. Đê giảm sóng hình bán nguyệt ở sông Trường Giang, Trung Quốc [14]

Đê chắn sóng hình bán nguyệt được xây dựng đầu tiên trên thế giới tại cảng Miyazaki của Nhật Bản vào thập niên 1960 (Hình 1-14) nhưng mãi đến năm 1993 mới bắt đầu đo đạc và phân tích về sóng, lực và ổn định (Aburatani và nnk (1996) [38]).



Hình 1-14. Đê chắn sóng hình bán nguyệt tại cảng Miyazaki của Nhật Bản

Nghiên cứu nhận thấy rằng đê chắn sóng có lỗ rỗng trên bề mặt tạo nên việc giảm thành phần lực sóng ngang do sự xuất hiện của sự lệch pha trong áp suất sóng tác dụng lên bề mặt. Ngoài ra, lực cản trượt tăng do sự đồng thời giữa thành phần lực sóng ngang và thành phần lực sóng dọc hướng xuống. Dữ liệu thu được bằng đồng hồ đo áp suất sóng được lắp đặt trên bề mặt trên và dưới của tấm đáy đã xác nhận rằng việc mở tấm đáy (tỷ lệ mở: 10%) có thể làm giảm lực nâng tác dụng lên tấm đáy đến mức gần như không đáng kể, do đó trong thiết kế đê chắn sóng cần đục lỗ tấm đáy để giảm lực nâng, làm cho kết cấu ổn định hơn.

Vào những năm 2008 – 2011, Dhinakaran và nnk, (2011) [54] đã có những nghiên cứu chi tiết về loại đê chắn sóng hình bán nguyệt về tác động của lỗ rỗng hình tròn bố trí trên bề mặt đê, nền chân đá đổ và độ sâu mực nước tới khả năng truyền sóng của loại đê này. Tác giả đã khảo sát tỷ lệ độ rỗng từ 7, 11 và 17% để nghiên cứu về sóng phản xạ, hiệu quả truyền sóng cũng như lực tác động. Kết quả nghiên cứu đã chỉ ra rằng với tỷ lệ độ rỗng 11% cho bề mặt đê phía biển hoặc đục lỗ 2 mặt với tỷ lệ 11% sẽ cho kết quả tốt nhất về truyền sóng và tiêu tán năng lượng.

Hee Min Teh và nnk (2011) [102] đã tiến hành thực nghiệm đê chắn sóng hình bán nguyệt đã được xây dựng với độ rỗng của tường trước thay đổi ở 0 (tức là không có lỗ), 9%, 18% và 27% để đánh giá hệ số truyền sóng, phản xạ và tiêu tán năng lượng. Các kết quả tổng thể chỉ ra rằng mô hình đê chắn sóng bán nguyệt không đục lỗ cho kết quả sóng phản xạ sóng lớn hơn nhiều so với ĐGS đục lỗ.

Oumeraci (2010) [93] đã nghiên cứu sự giảm và tiêu tán năng lượng sóng trên một loạt các vách đứng đục lỗ hình vuông bố trí đều trên bề mặt có độ rỗng khác nhau là 5, 11, 20 và 26.5%. Nghiên cứu này chỉ xem xét đê làm việc trong trạng thái ngầm nhưng kết quả cho thấy độ rỗng và khoảng cách giữa các vách đứng có tác động mạnh mẽ đến quá trình truyền sóng, phản xạ sóng và tiêu tán sóng.

Như vậy có thể thấy rằng để bảo vệ bờ biển khỏi sạt lở và khôi phục hệ sinh thái dưới nước thì các kết cấu dạng rỗng đúc sẵn đang được sử dụng khá phổ biến vì khả năng thi công lắp ghép nhanh chóng ít ảnh hưởng đến môi trường trong quá trình thi

công. Nghiên cứu về sự thay đổi độ rỗng trên bề mặt cấu kiện liên quan đến truyền sóng, sóng phản xạ, tiêu tán cũng đã được đề cập bởi các tác giả như: Armono và Hall (2003); Dhinakaran và nnk, (2008; 2009, 2011); Oumeraci (2010); Hee Min Teh và nnk (2011), đây là tài liệu tham khảo quan trọng trong việc xem xét bố trí độ rỗng bề mặt của KCR TC1.

1.1.2. Nghiên cứu về đê giảm sóng

Tại Việt Nam, trước năm 2000 giải pháp bảo vệ bờ biển chủ yếu là kè lát mái và tường chắn sóng, trong những năm gần đây đang có xu hướng chuyển đổi từ dạng công trình kè bảo vệ bờ trực tiếp, sang các dạng công trình giảm sóng. Nhóm nghiên cứu về đê ngầm giảm sóng gồm: Nguyễn Khắc Nghĩa và nnk, (2009, 2013) [18] [19] đã nghiên cứu thí nghiệm với sóng đều truyền qua công trình ĐGS dạng tường mỏng, tiết diện chữ nhật và mặt cắt hình thang; Nghiên cứu của Nguyễn Việt Tiến, (2015) [26]; Doãn Tiến Hà, (2015) [4] về hiệu quả giảm sóng của công trình ĐGS ngầm, không thấm, mái nhẵn, tiết diện ngang hình thang thuộc vùng biển Bắc Bộ và Bắc Trung Bộ. Nguyễn Thành Trung và nnk, (2014) [21], Lương Phương Hậu và nnk, (2016) [13], Nguyễn Việt Thanh, (2014) [25] đã nghiên cứu thí nghiệm truyền sóng cho loại đê KCR đục lỗ như đê bán nguyệt, khối phủ Tetrapod từ đó đề xuất sơ đồ mẫu bố trí không gian công trình ĐGS cho từng vùng khu vực ở bờ biển Nam Định. Phạm Thị Thúy (2023) [23] đã nghiên cứu hiệu quả giảm sóng cho kết cấu đê xếp nhiều lớp từ cấu kiện ReefBall cho thềm đảo xa bờ.

Ứng dụng ĐGS nhằm chống sạt lở, bảo vệ bờ biển Việt Nam cũng đã được xây dựng ở nhiều nơi, trong đó điển hình một số bờ biển như: Đê ngầm giảm sóng bằng đá đổ ở Cần Giò năm 1994, ĐGS bằng khối phủ Tetrapod bảo vệ bờ biển và đê biển ở Nam Định (Lương Phương Hậu và nnk, (2016) [13]), ĐGS kết cấu đá đổ ở La Ghi-Phan Thiết năm 2022 để chống sạt lở bờ biển La Ghi (Hình 1-15).



Hình 1-15. Đê giảm sóng bảo vệ bờ biển ở Việt Nam

ĐBSCL là vùng đất thấp, do ảnh hưởng của BĐKH, NBD, khai thác quá mức... trong những năm gần đây làm cho dải rừng ngập mặn ven biển bị suy thoái, xói lở bờ biển diễn hình như: bờ biển Gò Công- Tiền Giang, Nhà Mát- Bạc Liêu, bờ biển Cà Mau, Kiên Giang... Để bảo vệ bờ biển, khôi phục rừng ngập mặn ven biển nhằm giảm nhẹ tác động của BĐKH và NBD giải pháp ưu tiên là giảm sóng, gây bồi, khôi phục rừng ngập mặn. Nhiều giải pháp công trình đã được nghiên cứu và xây dựng ở khu vực này (xem Bảng 1-1, Hình 1-16) [2]. Một số giải pháp cứng như kè bảo vệ bờ trực tiếp được thực hiện khá lâu bắt đầu từ những năm 1998 tới nay ở Gò Công Tiền Giang, Hiệp Thạnh, Ba Động Trà Vinh, Gành Hào- Bạc Liêu..., ĐGS xa bờ mới

được xây dựng và thử nghiệm trong khoảng 10 năm trở lại đây bằng các kết cấu khác nhau như: ĐGS kết cấu cọc bê tông ly tâm lõi đá học tại Cà Mau, Kiên Giang, Bạc Liêu... (Lê Xuân Tú và nnk, (2022a,b) [80],[79]); Đê trụ rỗng tại Cà Mau, Bạc Liêu (Trần Văn Thái và nnk (2018) [32]); ĐGS cốt phi kim của Busadco tại Cà Mau ([5], Đinh Công Sản và nnk (2017) [95], Thiều Quang Tuấn và nnk, (2018) [30]); ĐGS KCR TC1, TC2 của Viện Khoa học Thủy lợi miền Nam (Lê Xuân Tú, Lê Thanh Chương [80]); Đê rỗng phức hợp (dạng kết cấu mới phi truyền thống) phân hệ cọc lắp ghép trên đỉnh đê ngầm của Nguyễn Anh Tiến ở Cà Mau [16]; KCR được xếp từ các khối rỗng OCTTM (Oyster CASTLE-type) (Thiều Quang Tuấn và nnk (2022) [103], [104]); Đê giảm sóng bằng túi Geotube tại Gò Công- Tiền Giang, Hiệp Thành -Trà Vinh, Nhà Mát-Bạc Liêu, Trần Văn Thời - Cà Mau; Kè giảm sóng đá học đồ rôi tại Khánh Hội, Trần Văn Thời -Cà Mau; Một số giải pháp khác bằng vật liệu có sẵn ở địa phương như hàng rào tre của GIZ [1], cừ tràm, cừ dừa đã được triển khai tại Sóc Trăng, Bạc Liêu, Cà Mau, Kiên Giang, hiệu quả giảm sóng hàng rào tre (Nguyễn Hoàng Hanh và nnk (2020) [17]), Đào Hoàng Tùng và nnk (2020, 2021) [52] [51].

Bảng 1-1. Thống kê các dạng công trình bảo vệ bờ biển ở ĐBSCL (2023)

Tỉnh	Chiều dài bờ biển	Đê biển	Kè bảo vệ bờ	Chiều dài RNM ven biển	Công trình giảm sóng xa bờ			Hàng rào tre, tràm
					Đê giảm sóng cọc ly tâm (km)	Đê giảm sóng cấu kiện đúc sẵn (km)	Đê giảm sóng Geotube (km)	
Tiền Giang	20.6	21.3	11.0	11.4	0.0	16.8	1.9	0.0
Bến Tre	63.0	63.0	1.5	54.5	0.3	0.0	1.1	0.0
Trà Vinh	67.3	67.3	8.8	49.8	2.0	0.0	3.7	0.0
Sóc Trăng	79.7	79.7	2.2	77.9	3.0	0.0	0.0	7.3
Bạc Liêu	53.8	53.8	3.6	49.3	3.8	1.4	1.1	16.8
Cà Mau	240.7	97.0	5.6	227.8	100.0	3.6	0.0	4.2
Kiên Giang	183.9	169.0	15.3	129.5	40.0	0.0	0.0	36.4
Tổng	744.0	551.0	48.0	600.2	149.1	21.8	7.8	64.7



Kè ly tâm đổ đá hộc ở Cà Mau, 2023



Đê trụ rỗng ở Cà Mau, 2022



ĐGS TC1 ở Tiền Giang, 2024



ĐGS TC2 ở Tiền Giang, 2020



Đê đá đổ bảo vệ rừng Cà Mau, 2021



Kè Busadco ở biển Tây Cà Mau, 2018



Đê rỗng phức hợp ở Cà Mau, 2022



Kè Busadco ở biển Đông Cà Mau, 2018



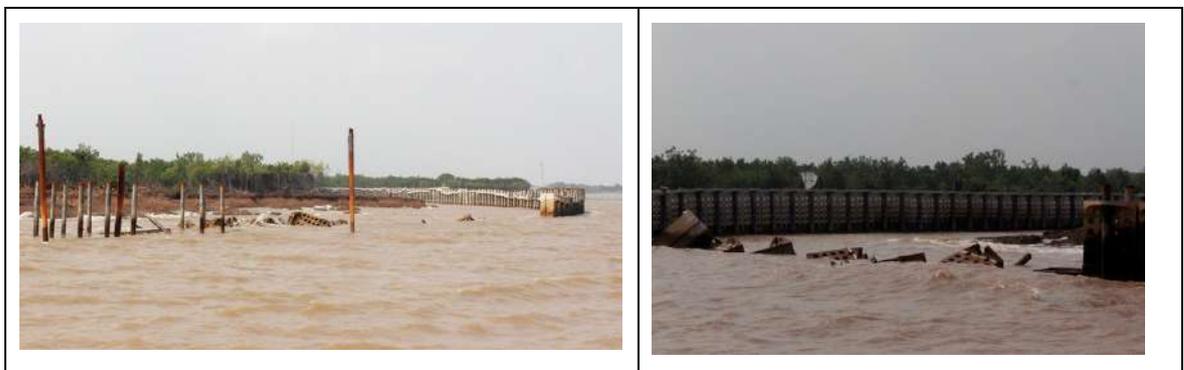
ĐGS Geotube ở Trà Vinh, 2018

Hàng rào tre ở Cà Mau, 2015

Hình 1-16. Một số dạng ĐGS áp dụng ở bờ biển ĐBSCL [5], [16], [9], [20]

Hệ thống công trình bảo vệ bờ biển ĐBSCL đã phân nào phát huy được tác dụng chống sạt lở, bảo vệ bờ. Xong nhu cầu xây dựng công trình bảo vệ bờ, rừng ngập mặn còn nhiều, trước diễn biến xói lở ngày càng xảy ra phức tạp, với chiều hướng ngày càng gia tăng. Bên cạnh đó nhiều công trình xây dựng gặp sự cố, hư hỏng, đổ vỡ sau một thời gian sử dụng hoặc thậm chí hư hỏng ngay khi đang thi công, hư hỏng phải sửa chữa nhiều lần rất tốn kém.

Năm 2018 công ty Busadco đã ứng dụng giải pháp ĐGS cấu kiện rỗng cốt phi kim tại bờ biển Tây Cà Mau từ Vàm Đá Bạc đến Vàm Kênh Mới với chiều dài 1.2km, tại bờ biển Đông khu vực cửa biển Rạch Góc Xã Tân Ân, Thị trấn Rạch Góc, huyện Ngọc Hiển, Tỉnh Cà Mau với chiều dài 2.0km. Trong quá trình xây dựng thì tuyến ĐGS ở biển Đông một số đoạn bị sóng đánh nghiêng làm vỡ cấu kiện do ảnh hưởng cơn bão số 3 đầu tháng 8/2019 phải sửa chữa lại (Hình 1-17), Tuyến đê ở biển Tây thì bị vỡ phai dẫn đến hiệu quả giảm sóng thấp.



Hình 1-17. Một số đoạn công trình Busadco bị đổ vỡ ở Rạch Góc, Biển Đông

Hàng rào chữ T được tổ chức GIZ đã tiến hành xây dựng thí điểm rào chắn sóng bằng tre năm 2014, việc thí điểm lập rào chắn được GIZ - Sóc Trăng tiến hành trên độ dài 800 mét tại địa bàn xã Vĩnh Tân thị xã Vĩnh Châu - Sóc Trăng (Hình 1-18). Công trình được xem là một trong những giải pháp để khôi phục rừng phòng hộ, bảo vệ tuyến đê biển Vĩnh Châu. Mặc dù chỉ sau 1-2 mùa gió chướng hàng rào đã bị phá do sự khắc nghiệt của môi trường và sinh vật biển, phù sa được bồi sau khi xây dựng công trình đã làm cho cây ngập mặn (CNM) phát triển khá tốt, kể cả chiều cao và mật độ. Chính vì thế, vai trò của hàng rào tre đã hết và công trình được coi là khá thành công.

Tuy nhiên, cũng với điều kiện biên và điều kiện tự nhiên gần như tương tự, công trình lân cận ở phía giáp với tỉnh Bạc Liêu, và sau này kể cả công trình phục hồi rừng ngập mặn ở khu vực nhà máy điện gió Bạc Liêu (do Viện sinh thái và bảo vệ công trình thực hiện), chỉ sau 1-2 mùa gió Đông Bắc, các loại hàng rào tre có kết cấu khác nhau (1 lớp, 2 lớp, 3 lớp...) bị sóng, dòng chảy ven bờ và môi trường tự nhiên khắc nghiệt phá hủy. Một số cây con bị tróc gốc chết, do mức độ bồi lắng và vật liệu bồi lắng không đủ điều kiện thuận lợi để CNM có thể tự phát triển, kể cả giải pháp trồng cây lớn hơn từ vườn ươm trong bờ.



Hình 1-18. Hàng rào chữ T tại bờ biển thị xã Vĩnh Châu (trái) và hàng rào tre phía ngoài kết hợp trồng rừng –Vĩnh Tân (phải) [1]

Từ kết quả quan trắc, đánh giá các công trình bảo vệ bờ ở ĐBSCL sau thời gian đưa vào sử dụng cho thấy:

- Kè ly tâm cơ bản phát huy tốt hiệu quả giảm sóng gây bồi và được ứng dụng nhiều ở biển Tây, tuy nhiên còn số một số hạn chế như giá thành cao, không linh động, thi công đúc dầm trên biển nên chậm ảnh hưởng lớn đến tiến độ và chất lượng, một số công trình bị lún đá học ($0.5 \div 1.5\text{m}$) làm giảm hiệu quả giảm sóng, một số nơi đỉnh kè và dầm bị nứt, nhất là ở khu vực biển Đông nơi có biên độ triều và sóng lớn và biển Tây những khu vực địa chất yếu, cần tiếp tục nghiên cứu để hoàn thiện công nghệ này.

- Hàng rào (chữ T, chữ I bằng vật liệu tre, tràm, bó cây) có thể bẫy tràm tích nhưng thời gian tồn tại ngắn (1 đến 2 năm), cần phải duy tu bảo dưỡng thường xuyên.

- ĐGS bằng túi Geotube có ưu điểm là thi công nhanh, nhưng hạn chế là tuổi thọ công trình không cao, vì khi chịu tác động trực tiếp của sóng, tia cực tím và tác động của các vật trôi nổi sẽ nhanh bị hư, cao trình đỉnh đê bị hạ thấp không đảm bảo chức năng giảm sóng gây bồi, đê quá kín làm gián đoạn trao đổi môi trường trong và ngoài công trình. Bên cạnh đó, chi phí duy tu, bảo dưỡng cho loại đê này cao và phải thực hiện thường xuyên...

- ĐGS cốt phi kim của Busadco hiệu quả giảm sóng chưa cao ($20 \div 30\%$), một số vị trí còn bị mất ổn định, ảnh hưởng đến kết cấu bị nứt vỡ [80], [7]. Mặt khác, cơ sở khoa học về truyền sóng, tỉ lệ phần trăm độ rỗng và ổn định loại đê này chưa được nghiên cứu đánh giá đầy đủ.

Nguyên nhân của một số công trình làm việc không hiệu quả hay sự cố là trong bước lập thiết kế xây dựng, chưa có cơ sở khoa học rõ ràng và thiết kế đầy đủ để đánh giá ổn định kết cấu của từng loại công trình và các yếu tố tác động, chức năng giảm sóng theo mục tiêu cần bảo vệ, hoặc vận dụng kết quả nghiên cứu của thế giới để thiết kế, nhưng giới hạn phạm vi ứng dụng còn chưa cụ thể.

Nghiên cứu của Nguyễn Nguyệt Minh và nnk (2022) [20] đánh giá 6 nhóm công trình bảo vệ bờ biển tổng hợp từ 54 công trình đã áp dụng ở ĐBSCL theo phương pháp đa tiêu chí (Bảng 1-2) với thang điểm từ 1÷5 (1 là thấp nhất và 5 là cao nhất) cùng với tham vấn ý kiến của các chuyên gia theo từng bước cho thấy hai nhóm công trình

được cho là hợp lý hơn, đó là Kè giảm sóng bằng cọc ly tâm lõi đá và ĐGS bằng Bê tông KCR.

Bảng 1-2 Đánh giá các nhóm công trình bảo vệ bờ biển theo phương pháp đa tiêu chí (Nguồn: Nguyễn Nguyệt Minh và nnk (2022) [20])

Tiêu chí lựa chọn	Tiêu chí phụ	Trọng số	Các giải pháp bảo vệ bờ biển					
			Hàng rào tre	Kè lát mái	Đê phá sóng cọc ly tâm	Đê phá sóng đá đổ	Đê phá sóng Geotube	Đê phá sóng KCR
Kỹ thuật	Tuổi thọ công trình	0.05	1	5	5	3	2	5
	Tiêu tán năng lượng sóng	0.15	2	1	5	2	3	5
	Khả năng gây bồi xung quanh công trình	0.10	2	1	5	4	3	5
	Ổn định kết cấu và nền móng công trình	0.10	2	3	5	4	4	5
	Tính linh hoạt và thích ứng với BĐKH, sụt lún	0.05	1	5	3	5	4	3
	Biện pháp thi công	0.05	5	4	2	4	4	3
Xã hội	Sử dụng lao động địa phương	0.05	5	4	3	4	4	2
	Sử dụng vật liệu xây dựng địa phương	0.05	5	3	2	3	2	1
Môi trường	Tác động đến đa dạng sinh học	0.10	5	1	3	4	2	3
Tổng chi phí	Chi phí vật liệu	0.15	5	3	2	4	3	2
	Chi phí thi công	0.10	5	4	2	2	3	2
	Chi phí bảo trì	0.05	1	4	4	2	2	5
Tổng số điểm sau khi nhân trọng số		1.00	3.35	2.75	3.5	3.35	3	3.5

Đê trụ rỗng và đê KCR TC1, TC2 sau một thời gian ứng dụng ở ĐBSCL cho thấy hiệu quả giảm sóng gây bồi, sóng biển tác động vào mặt đê bị hấp thụ qua các lỗ rỗng và tiêu tán tới 50 ÷ 75% năng lượng. Đặc biệt, lượng phù sa lắng đọng lại sau công trình khá dày từ 0.5 ÷ 1.0m, tạo nên bãi bồi, cây rừng dần tái sinh. Mặt khác theo kết quả thí nghiệm đánh giá hiệu quả giảm sóng và trao đổi bùn cát qua các loại kết cấu đê rỗng ở ĐBSCL [20] cho thấy KCR TC1 là một trong những dạng kết cấu cho hiệu quả cao về trao đổi bùn cát và bồi lắng sau công trình so với các dạng kết

cấu khác như cọc ly tâm, đê trụ rỗng. Do đó, có khả năng nhân rộng các mô hình này [32], [10], [11], [7].

1.1.3. Một số kết luận

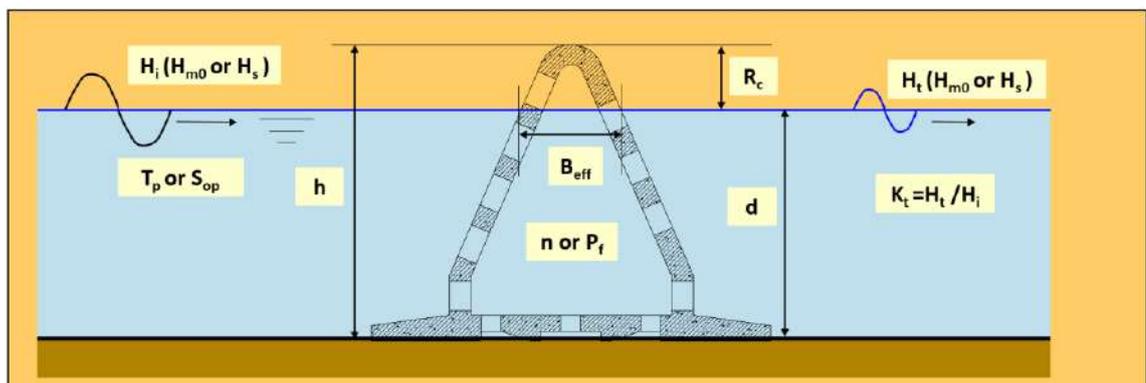
Nghiên cứu về giải pháp kết cấu bảo vệ bờ biển trên thế giới và ở Việt Nam rất đa dạng và phát triển theo từng thời kỳ với các mục đích và cách tiếp cận khác nhau từ trực tiếp đến gián tiếp.

Có nhiều loại cấu kiện rỗng để bảo vệ bờ biển được phát triển trong những năm gần đây trên thế giới và bắt đầu ứng dụng tại Việt Nam với cách tiếp cận dựa vào tự nhiên, thân thiện với môi trường. Từ kết quả nghiên cứu thử nghiệm và ứng dụng thực tế cho thấy ở ĐBSCL đê KCR TC1 là một trong những công trình phát huy hiệu quả cao để chống xói lở gây bồi tạo bãi và khôi phục rừng ngập mặn. Nghiên cứu kết cấu TC1 và truyền sóng qua KCR TC1 với các thông số hình học khác nhau (đặc biệt là độ rỗng bề mặt kết cấu, chiều rộng đỉnh đê hiệu dụng) và những điều kiện tự nhiên, đặc trưng thủy động lực sóng, gió, dòng chảy, bùn cát... có tính đặc thù cho khu vực bờ biển ĐBSCL là một vấn đề nghiên cứu mang tính khoa học và có ý nghĩa thực tiễn.

1.2. Tổng quan về nghiên cứu truyền sóng qua đê kết cấu rỗng

1.2.1. Một số khái niệm về truyền sóng qua ĐGS KCR

Hệ số truyền sóng là khái niệm dùng để chỉ khả năng truyền sóng qua công trình ĐGS (Hình 1-19).



Hình 1-19. Các thông số cơ bản ảnh hưởng đến hệ số truyền sóng K_t

Hệ số truyền sóng K_t là tỷ số giữa chiều cao sóng phía sau so với chiều cao sóng đến trước KCR.

$$K_t = \frac{H_{s,t}}{H_{s,i}}$$

Hoặc đánh giá thông qua hệ số truyền năng lượng sóng (K_E) như sau:

$$K_E = \frac{E_t}{E_i} = \frac{H_{s,t}^2}{H_{s,i}^2} = K_t^2 \quad (\text{với } E = \frac{1}{8} \rho g H_s^2) \quad (1-1)$$

Trong đó:

- $H_{s,i}$ và $H_{s,t}$ lần lượt là chiều cao sóng tới trước và sau KCR.

H_s dùng để biểu thị chung cho chiều cao sóng, tùy theo phương pháp phân tích có thể H_s là $H_{1/3}$ (phân tích thống kê), là H_{m0} (phân tích phổ).

Hiệu quả giảm sóng ε_s % được xác định theo công thức:

$$\varepsilon_s = (1 - K_t) * 100\% = \left(1 - \frac{H_{s,t}}{H_{s,i}}\right) * 100\%$$

Trong đó: K_t là hệ số truyền sóng qua KCR ($0 \leq K_t \leq 1,0$)

ε_s là hiệu quả giảm sóng của KCR ($0 \leq \varepsilon \leq 100\%$)

1.2.2. Các phương pháp nghiên cứu truyền sóng qua đê KCR

Nghiên cứu truyền sóng qua ĐGS xa bờ của công trình truyền thống như: đê đá đở, ĐGS lắp ghép bằng các cấu kiện dị hình, thùng chìm được thực hiện nhiều trong những thập kỷ gần đây. Tuy nhiên, nghiên cứu về truyền sóng, sóng phản xạ, sóng tiêu tán, biến đổi vận tốc qua đê KCR còn ít (Jacobsen, Niels G và nnk, (2015) [69]). Ngoài ra, nghiên cứu về truyền sóng và tương tác sóng công trình với những dạng đê kết cấu có hình dạng cơ bản như hình thang, hình chữ nhật với kết cấu đá đở được đơn giản hóa là môi trường rỗng đồng đều thì việc sử dụng các phương trình toán học để tính toán hệ số truyền sóng, sóng phản xạ, sóng tiêu tán đã được thực hiện trong những nghiên cứu Sollitt và Cross, (1973) [100], Liu (2012) [83]... Tuy nhiên, với những dạng kết cấu có hình dạng phức tạp thân đê rỗng, đục lỗ trên bề mặt thì chưa có lý thuyết cơ bản tính toán. Do đó, với những loại kết cấu hình đặc thù và

phức tạp như KCR thì phương pháp nghiên cứu sử dụng mô hình vật lý, mô hình toán, hoặc đo đạc hiện trường áp dụng phổ biến.

1.2.2.1 Các nghiên cứu sử dụng mô hình vật lý thu nhỏ

Các nghiên cứu sử dụng mô hình vật lý cho đê giảm sóng có KCR như Hattori (1975) [59], Patarapanich (1984) [94], Van der Meer (1991) [107], Oumeraci (2010) [93], Teh, H.M (2012) [102] ... đã chỉ ra vai trò của các tham số chính ảnh hưởng tới sự truyền sóng của đê ngầm. Các nghiên cứu của Van de Meer (1991) [107]; Van der Meer và Daemen (1994) [108]; Van der Meer (2005) [106]; d'Angremond và nnk (1996) [50], Marcel R.A. van Gent và nnk (2023) [89] đã thiết lập công thức về hệ số truyền sóng cho dạng đê ngầm kết cấu truyền thống đá đổ mặt cắt hình thang. Armono và Hall (2003) [43], Buccino & nnk (2014) [46], Lê Thanh Chương và nnk (2017) [8] đã nghiên cứu thí nghiệm đê KCR trên bề sóng, Đào Hoàng Tùng và nnk (2020, 2021) [52], [51] đã sử dụng mô hình vật lý đánh giá hiệu quả giảm sóng hàng rào tre, Phạm Thị Thúy (2023) [23] đã xây dựng công thức thực nghiệm về hệ số truyền sóng K_t cho đê ngầm xếp từ các khối ReefBall.

Trong dự án GIZ bảo vệ bờ biển ĐBSCL do các chuyên gia Đức thực hiện (2015) cũng đã thí nghiệm hiệu quả giảm sóng của hàng rào tre bằng mô hình vật lý để đề xuất giải pháp bảo vệ bờ biển bằng vật liệu địa phương như cọc tre, cừ tràm và bè cây [1].

Đình Công Sản và nnk (2017) [95] trong dự án AFD đã nghiên cứu bảo vệ bờ biển cho khu vực Gò Công-Tiền Giang và U Minh - các chuyên gia quốc tế và trong nước cũng đã sử dụng mô hình vật lý để mô phỏng hiệu quả giảm sóng của kết cấu đê rỗng Busadco. Tuy nhiên các kết quả nghiên cứu vẫn đang ở mức đánh giá sơ bộ, chưa nghiên cứu chi tiết cho các dạng kết cấu và ảnh hưởng của độ rỗng đê đến hệ số truyền sóng. Từ đó Thiều Quang Tuấn và nnk (2018) [30] đã xây dựng công thức thực nghiệm về hệ số truyền sóng K_t cho KCR Busadco.

Nguyễn Anh Tiên (2019) [16] đã sử dụng phương pháp thí nghiệm mô hình vật lý để xây dựng công thức thực nghiệm về hệ số truyền sóng K_t cho kết cấu đê rỗng cọc phức hợp cho khu vực bãi trước rừng ngập mặn ở biển Tây.

Thiều Quang Tuấn và Mai Trọng Luân (2020) [103], Thiều Quang Tuấn và nnk (2022) [104] đã sử dụng mô hình vật lý để thí nghiệm truyền sóng, xây dựng công thức thực nghiệm về hệ số K_t cho kết cấu từ rào tre và khối bê tông rỗng OCT (Oyster CASTLE-type) cho khu vực bãi trước rừng ngập mặn ĐBSCL.

Nguyễn Nguyệt Minh và nnk (2022) [20] trong đề tài VIWAT đã tiến hành thí nghiệm mô hình vật lý để đánh giá hiệu quả giảm sóng và bồi lắng của các dạng KCR như: Đê trụ rỗng, Cọc ly tâm, TC1, TC2, CWB (Curtian Wall Breakwater) cho khu vực bờ biển ĐBSCL. Kết quả nghiên cứu đã đưa ra biểu đồ từ kết quả thí nghiệm về hệ số truyền sóng, sóng phản xạ, tiêu tán năng lượng sóng, đánh giá khả năng trao đổi bùn cát giữa các loại KCR. Tuy nhiên, kết quả nghiên cứu chưa phân tích các yếu tố hình dạng kết cấu ảnh hưởng đến hệ số truyền sóng và thiết lập công thức truyền sóng cho đê KCR, chưa xem xét được ảnh hưởng của độ rỗng khác nhau đến hệ số truyền sóng.

1.2.2.2 Các nghiên cứu sử dụng mô hình toán

Các nghiên cứu sử dụng mô hình toán để mô phỏng quá trình truyền sóng, vận tốc qua những KCR có hình dạng phức tạp hoặc tương tác sóng công trình cho ĐGS có KCR có thể kể đến: Sollitt và Cross [100] đã xây dựng công thức truyền sóng qua đê chắn sóng có độ rỗng dựa trên lý thuyết sóng tuyến tính, tuyến tính hóa phương trình ma sát cho dòng chảy trong môi trường rỗng. Mặt khác, một số nghiên cứu về truyền sóng, về sức cản dòng chảy bằng hàng rào tre ở bờ biển ĐBSCL bằng cách sử dụng các mô hình số như SWASH được thực hiện bởi Đào Hoàng Tùng và nnk (2020, 2021) [52] [51].

Liu (2012) [83] dựa trên lý thuyết thế năng tuyến tính, một giải pháp phân tích dạng đóng cho bài toán hiện tại được phát triển bằng cách sử dụng khai triển các hàm riêng phù hợp. Phương pháp phân tích này cho đê chắn sóng kiểu cọc ly tâm kết hợp

đồ đá trong lòng (trương tự kê ly tâm ở Cà Mau). Mô hình số được ứng dụng để nghiên cứu ảnh hưởng của các tham số truyền sóng, hệ số phản xạ, hệ số tiêu tán của loại đê này. Kết quả cho thấy sự tiêu tán năng lượng sóng bởi đê chắn sóng cọc-đá chủ yếu được tạo ra bởi lõi đá và chỉ một phần nhỏ tiêu tán năng lượng sóng là do các cọc đặt gần nhau.

Nguyễn Viết Thanh (2014) [25] đã sử dụng máng sóng số để mô phỏng tương tác sóng với công trình đê bán nguyệt. Kết quả nghiên cứu đã xây dựng được biểu đồ áp lực sóng tác dụng lên đê hình Bán nguyệt.

Gomes và nnk (2020) [56] đã áp dụng mô hình toán động lực học chất lỏng tính toán (CFD) để nghiên cứu độ ổn định của một đê chắn sóng hình bán nguyệt đục lỗ, đặt trên nền đá đổ. Mô hình đã tính toán kết quả thực nghiệm về trọng lượng tới hạn cần thiết để chống trượt, có tính đến ảnh hưởng của độ sâu nước và các đặc tính khác nhau của sóng. Một so sánh được thực hiện giữa kết cấu đục lỗ và không đục lỗ về hiệu suất tiêu tán năng lượng sóng.

Trần Văn Tiếng và nnk (2021) [33] đã nghiên cứu hiệu quả giảm sóng của kết cấu đê chắn sóng rỗng Busadco bằng phương pháp mô phỏng số sử dụng phương pháp CFD. Dựa vào kết quả khảo sát và so sánh giữa kết quả mô phỏng và số liệu đo thực tế cho thấy phương pháp mô phỏng số đem lại kết quả tốt và đáng tin cậy trong vấn đề phân tích hiệu quả giảm sóng, cơ chế tiêu tán năng lượng sóng của kết cấu đê chắn sóng rỗng có kết cấu phức tạp.

1.2.2.3 Các nghiên cứu đo đạc mô hình thực tế

Để đánh giá truyền sóng và dòng chảy qua ĐGS KCR ngoài thực địa (tỉ lệ 1/1), các số liệu đo đạc có độ tin cậy cao và thể hiện đặc trưng sóng và dòng chảy khu vực đó để hiểu rõ quá trình tương tác sóng với công trình. Có nhiều loại thiết bị đo đạc hỗ trợ công tác thu thập dữ liệu hiện trường ở vùng nước nông có thể kể đến như: Wave Gauge Blue (WGB), FLOWQUEST (Mỹ), AWH-USB (Nhật Bản), MIDAS WTR (Anh), máy đo hướng và tốc độ dòng chảy tự ghi INFINITY (Nhật Bản), CTD và OBS để đo bùn cát lơ lửng và các tham số hải dương học khác (nhiệt độ và độ

mặn)... Tuy nhiên, sóng biển trong tự nhiên tương tác với công trình là sóng ngẫu nhiên và tác động vào công trình với nhiều hướng khác nhau do yếu tố địa hình, hướng gió, dòng chảy... Vì vậy, để có đủ bộ số liệu sóng, dòng chảy thực đo cho việc nghiên cứu, thời gian đo đạc thường phải kéo dài, nên để đo hết các điều kiện sóng và mực nước thiết kế là không khả thi.

Nghiên cứu của Schmitt và nnk, 2013 [1]: Đo đạc thông số sóng ngoài hiện trường kết hợp với thí nghiệm MHVL để đánh giá hiệu quả giảm sóng cho hàng rào cọc tre. Kết quả nghiên cứu đã xác lập được các biểu đồ quan hệ thực nghiệm đơn giản giữa K_t với bề rộng và chiều cao lưu không tương đối của hàng rào cọc tre, cho mục đích hỗ trợ trồng cây ngập mặn ở các tỉnh Sóc Trăng, Bạc Liêu và Kiên Giang do tổ chức GIZ tài trợ. Thiều Quang Tuấn và nnk (2022) [103] đã xây dựng công thức thực nghiệm về hệ số truyền sóng K_t cho kết cấu từ rào tre từ kết quả thí nghiệm và số liệu đo đạc từ mô hình thực tế của GIZ để kiểm định.

Về đo đạc dòng chảy để đánh giá sự biến đổi vận tốc dòng chảy trước và sau công trình là điều rất quan trọng để xem xét hiệu quả của ĐGS KCR trong việc suy giảm dòng chảy và khả năng vận chuyển trao đổi bùn cát. Tuy nhiên, những nghiên cứu về vấn đề này chưa được thực hiện ở ĐBSCL do chi phí cao và thiết bị đo đạc còn hạn chế. Do đó, trong nghiên cứu này phương pháp đo đạc hiện trường sẽ được NCS sử dụng để đánh giá truyền sóng, dòng chảy qua KCR.

1.2.3. Công thức thực nghiệm về truyền sóng qua kết cấu rỗng

Trong phần này, NCS trình bày chi tiết các công thức về truyền sóng cho các KCR có chức năng và nguyên lý làm việc gần giống với đê KCR TC1.

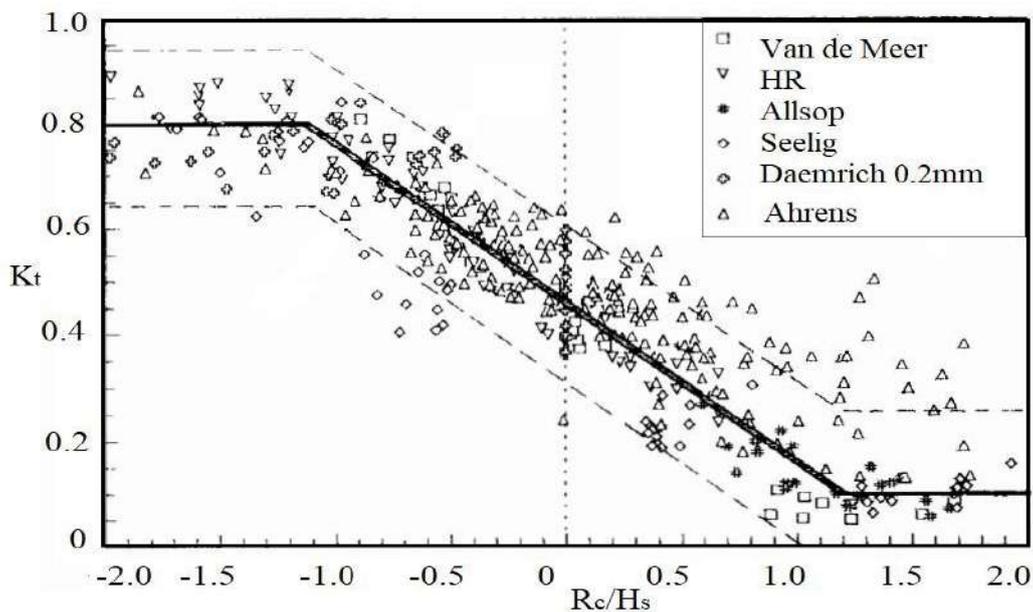
- Nghiên cứu của Van der Meer và nnk, (1991) [107] dựa trên phân tích số liệu thí nghiệm của mình và của những nghiên cứu trước đây đã đề xuất công thức thực nghiệm hệ số truyền sóng K_t qua đê ngầm có mặt cắt dạng hình thang, đỉnh hẹp, kết cấu là đá đổ, nghiên cứu với sóng ngẫu nhiên. Nghiên cứu chỉ ra rằng với đê ngầm đỉnh hẹp, thì độ ngập sâu tương đối của đỉnh đê (R_c/H_s) là tham số chi phối chính,

đến K_t và có dạng tuyến tính (xem Hình 1-20). Nghiên cứu này đã đưa ra mức độ ảnh hưởng của độ ngập sâu tương đối (R_c/H_s) đến K_t theo 3 trạng thái làm việc như sau:

$$-2.00 < \frac{R_c}{H_s} < -1.13 \quad K_t = 0.80 \quad (1-2)$$

$$-1.13 < \frac{R_c}{H_s} < 1.20 \quad K_t = 0.46 - 0.3 \left(\frac{R_c}{H_s} \right) \quad (1-3)$$

$$1.20 < \frac{R_c}{H_s} < 2.00 \quad K_t = 0.10 \quad (1-4)$$



Hình 1-20. Hệ số truyền sóng qua đê đỉnh hẹp theo Van de Meer (1991).

- Nghiên cứu của Van der Meer và Daemen, 1994 [108] đưa ra công thức tính hệ số truyền sóng qua đê ngầm với sóng ngẫu nhiên truyền qua mặt cắt giống với thí nghiệm nghiên cứu của Van der Meer (1991). Nghiên cứu cho rằng, các thông số chính ảnh hưởng đến K_t là chiều rộng đỉnh đê (B), chiều cao lưu không (R_c), độ dốc sóng (S_{op}) và chiều cao sóng (H_s). Nghiên cứu này còn xét thêm ảnh hưởng của độ thấm thân đê bề rộng đỉnh và độ dốc sóng S_{op} . Hệ số a phản ánh ảnh hưởng của độ thấm của đê. Với S_{op} là độ dốc sóng tương trung ở nước sâu tương ứng với chu kỳ đỉnh phổ, D_{50} là đường kính danh nghĩa của viên đá đổ.

Từ đó, đề xuất công thức thực nghiệm K_t cho hai dạng công trình như sau:

$$K_t = a \frac{R_c}{D_{n50}} + b \quad (1-5)$$

$$a = 0.031 \frac{H_s}{D_{n50}} - 0.24 \quad (1-6)$$

Hệ số “b” trong công thức (1-5) cho ĐGS đá đổ:

$$b = -5.42s_{0p} + 0.0323 \frac{H_s}{D_{n50}} - 0.017 \left(\frac{B}{D_{n50}} \right)^{1.84} + 0.51 \quad (1-7)$$

Hệ số “b” trong công thức (1-5) cho ĐGS xếp bằng rạn nhân tạo:

$$b = -2.60s_{0p} - 0.05 \frac{H_s}{D_{n50}} + 0.85 \quad (1-8)$$

- Nghiên cứu của Van der Meer và Daemen, (1994) [108] đã khắc phục hạn chế trong nghiên cứu trước đây của Ahren, (1987) [39] về ảnh hưởng của độ thấm thân đê qua thông số kích thước đường kính danh nghĩa của viên đá (D_{n50}) đến K_t . Điều kiện áp dụng : $1.0 \leq H_s/D_{n50} \leq 6.0$; $0.01 \leq s_{0p} \leq 0.05$; $0.075 \leq K_t \leq 0.75$ (ĐGS thông thường); $0.15 < K_t < 0.6$ (rạn nhân tạo).

- Nghiên cứu của d'Angremond và nnk, (1996) [50]: đã phân tích và tổng hợp bộ số liệu thực nghiệm của những nghiên cứu trước bao gồm Seelig, (1980) [98]; Allsop, (1983) [40]; Daemrich và Kahle, (1985) [49]; Powel và Allsop, (1985) [40]; Van der Meer và nnk, (1991) [107]. Nhóm nghiên cứu đã xây dựng công thức truyền sóng K_t cho đê ngầm dạng đá đổ cho hai trường hợp có thấm và không thấm nước với các tham số chi phối chính là chiều cao lưu không tương đối của đỉnh đê (R_c/H_s), bề rộng tương đối của đỉnh đê (B/H_s), đặc biệt là chỉ số sóng vỡ Iribarren (ξ_{0p}) đặc trưng cho tương tác giữa sóng và mái đê.

$$K_t = -0.4 \left(\frac{R_c}{H_s} \right) + a \cdot \left(\frac{B}{H_s} \right)^{-0.31} \times (1 - e^{-0.5\xi_{0p}}) \quad (1-9)$$

$$\xi_{0p} = \frac{\tan\alpha}{\sqrt{s_{0p}}}; s_{0p} = \frac{H_c}{L_p} = \frac{2\pi H_s}{gT_p^2} \quad (1-10)$$

Trong đó: $a = 0.64$ cho đê thấm nước

$a = 0,80$ cho đê không thấm

ξ_{0p} là số Iribarren.

Phạm vi áp dụng: Bề rộng đỉnh đê trong khoảng: $B/H_s < 8.0$

Hệ số truyền sóng K_t trong khoảng: $0.075 < K_t < 0.80$

- Nghiên cứu của Kurdistani và nnk (2022) [77] đã đưa ra công thức truyền sóng cho đê ngầm đá đổ dựa trên tập dữ liệu lớn và mô hình số FLOW 3D.

$$K_t = 0.576 \ln \left(0.428 (1 + \cot \alpha)^{0.042} \left(1 - \frac{R_c}{H_{m0}} \right)^{0.75} \left(\frac{B_{eff}}{D_{50}} \right)^{0.125} \left(\frac{L_p}{B_{eff}} \right)^{0.39} \omega^{0.413} \psi^{-0.18} \right) + 0.923 \quad (1-11)$$

Trong đó: R_c là giá trị âm đối với kết cấu ngập nước, B_{eff} được định nghĩa là “chiều rộng hiệu dụng” B_{eff} lớn hơn chiều rộng đỉnh B . Đối với mặt cắt hình thang: $B_{eff} = B + 0,4 \cot \alpha (h + R_c)$ trong đó h là độ sâu nước phía trước công trình. $h + R_c$ là chiều cao của kết cấu. ω là tham số sóng không thứ nguyên $\omega = (1/2\pi) \tanh(2\pi h/L_p)$. Trong đó chiều dài sóng L_p được tính dựa trên chu kỳ sóng cực đại T_p và độ sâu nước h . Tỉ số giữa đường kính đá D_{50} và đường kính đá danh nghĩa $D_{n50} = 0.84 D_{50}$ là được sử dụng ở đây, ψ là một loại thông số tiêu tán sóng để tính đến sự tiêu tán bên trong vật liệu thấm có độ rỗng n : $\psi = n^{0.5} h B_{eff} / B H_{m0}$.

- Nghiên cứu của Marcel R.A. van Gent và nnk (2023) [89]. Dựa trên kết quả thí nghiệm mô hình vật lý cho 5 loại mặt cắt đê hình thang khác nhau (Đê không thấm, đê đá đổ, đê rỗng đục lỗ, đê rỗng đục lỗ với màng kín và đê rỗng đục lỗ với màng đục lỗ) đã đưa ra một công thức tổng quát mới cho các loại đê này trong đó các yếu tố chi phối chính trong công thức là chiều cao lưu không tương đối của đỉnh đê, chiều rộng đỉnh đê, độ dốc sóng.

$$K_t = c_1 \tanh \left(- \left(\frac{R_c}{H_{m0}} + c_2 \left(\frac{B}{L_{m-1,0}} \right)^{c_3} + c_4 \right) \right) + c_5 \quad (1-12)$$

Điều kiện áp dụng: $-2.5 < R_c / H_{m0} < 0$; $S_{m-1,0} = 0.015 - 0.033$; $B/L_{m-1,0} = 0.017 - 0.075$, hoặc $B/H_{m0} = 0.9 - 2.3$; chỉ áp dụng cho mặt cắt đê hình thang mái dốc 1:2.

Tuy nhiên, nghiên cứu này mới chỉ thí nghiệm cho đê ngầm ($R_c < 0$) và cũng chưa xem xét đến độ rỗng hay độ thấm của thân đê đến quá trình xây dựng công thức.

Bảng 1-3. Các loại kết cấu đê và hệ số c áp dụng trong công thức (1-12)

Kết cấu	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	RMSE
Mặt cắt đê không thấm	0.47	3.1	0.75	0	0.5	0.0166
Đê đá đổ (thấm)	0.43	3.1	0.75	-0.25	0.5	0.0198
Đê rỗng đục lỗ	0.13	3.1	0.75	-0.15	0.82	0.0149
Đê rỗng đục lỗ với màng kín	0.4	3.1	0.75	-0.15	0.5	0.0229
Đê rỗng đục lỗ với màng đục lỗ	0.17	3.1	0.75	-0.15	0.76	0.0137

- Nghiên cứu của AFD và Viện KHTLMN, 2016 ÷ 2017 [95]. Thiều Quang Tuấn và nnk (2018) đã xây dựng công thức truyền sóng qua đê KCR Busadco dựa trên công thức có sẵn của Angremond và nnk (1996). Công thức cho thấy sự phụ thuộc của hệ số K_t vào độ ngập tương đối và chỉ số sóng vỡ ξ , tuy nhiên chưa xem xét ảnh hưởng của bề rộng đỉnh đê và độ rỗng thân đê.

$$K_t = -0.22 \left(\frac{R_c}{H_{m0,i}} \right) + 0.75(1 - e^{-0.26\xi_{0m-1,0}}) \quad (1-13)$$

$$K_t = -0.20 \left(\frac{R_c}{H_{m0,i}} \right) + 0.66(1 - e^{-0.39\xi_{0p}}) \quad (1-14)$$

Trong đó: Chỉ số sóng vỡ Iribarren (ξ_0) tương ứng với chu kỳ đặc trưng phổ $T_{m-1,0}$ được kí hiệu là $\xi_{0m-1,0}$ áp dụng cho công thức (1-13) và với chu kỳ đỉnh phổ T_p được kí hiệu là ξ_{0p} áp dụng cho công thức (1-14).

Điều kiện áp dụng: $R_c/H_{m0,i} = -0.76 \div 2.0$; $\xi_{0p} = 0.016 \div 0.030$; $\xi_{0m} = 0.010 \div 0.025$; $K_t = 0.22 \div 0.77$.

- Nguyễn Anh Tiến (2021) [16] đã xây dựng công thức truyền sóng cho đê ngầm rỗng không cọc được xác định theo công thức thực nghiệm như sau:

$$K_t^0 = 0.18 \left(\frac{R_c}{H_{m0,i}} \right) + 0.58 \left(\frac{B}{H_{m0,i}} \right)^{-0.19} \cdot \left(1 - e^{-1/\sqrt{S_m}} \right) \quad (1-15)$$

Công thức thể hiện sự phụ thuộc của hệ số K_t vào độ ngập tương đối, bề rộng đỉnh đê B và độ dốc sóng S_m , tuy nhiên ảnh hưởng độ rỗng thân đê chưa được xem xét.

- Thiều Quang Tuấn và nnk (2022) [104] , Mai Trọng Luân (2024) [15] xây dựng công thức hệ số truyền sóng qua các khối rỗng OCTTM (Oyster CASTLE-type) xếp với các hình thức thẳng và so le nhiều tầng áp dụng cho khu vực bãi trước rừng ngập mặn với bãi thoải và có xét ảnh hưởng của độ rỗng.

$$K_t = -0.29 \cdot \min \left(0.75, \frac{R_c}{H_{m0,i}} \right) + 0.64 \left(P_f \cdot \frac{B_f}{D} \right)^{-0.29} \left[1 - \exp \left(-\frac{0.30}{\sqrt{S_{0m}}} \right) \right] \quad (1-16)$$

Độ ngập tương đối $R_c/H_{m0} = -0.3 \div 3.1$; bề rộng đỉnh tương đối B/d trong khoảng $(1.0 \div 3.65)$, độ rỗng khối $n = 0.55 \div 0.65$, độ dốc sóng từ $0.002 \div 0.04$.

Nghiên cứu đã đề cập đến các tham số như độ ngập tương đối R_c , bề rộng công trình B, độ dốc sóng trung bình S_{op} và độ thấm P_f của dạng kết cấu có độ rỗng khối lớn 60% và 65% với dạng kết cấu OCT, khu vực áp dụng cho khu vực bãi rất thoải (1/500) và độ sâu mực nước khá lớn, B/d thấp từ 1.0 đến 3.65. Tuy nhiên, bề rộng B_f trong công thức là bề rộng trung bình của mặt cắt đê chưa phản ánh khả năng ảnh hưởng của chiều rộng đê làm việc thực tế đến hiệu quả giảm sóng khi mực nước thay đổi.

- Lê Xuân Tú và nnk (2022) [9] đã nghiên cứu xây dựng công thức truyền sóng qua đê KCR TC1. Tuy nhiên, công thức thiết lập chưa đề cập đến ảnh hưởng chiều rộng đỉnh đê B, và độ rỗng bề mặt kết cấu.

$$K_t = -0.12 \frac{R_c}{H_{m0,i}} + 0.52 \left(1 - e^{-\zeta_{op}} \right) \quad (1-17)$$

Điều kiện áp dụng: $\frac{R_c}{H_{m0,i}} = -1.11 \div 2.33$; $S_{op} = 0.021 \div 0.043$; $K_t = 0.24 - 0.65$

- Phạm Thị Thúy (2023) [23] đã nghiên cứu hiệu quả giảm sóng của kết cấu ngầm REEF BALL xếp thành các hàng trên thềm đảo nổi xa bờ từ đó xây dựng công thức truyền sóng qua loại kết cấu này. Kết cấu Reef Ball rỗng được xếp thành hàng trong đó độ rỗng n được xác định từ độ rỗng bề mặt cấu kiện kết hợp độ rỗng khi xếp các khối cấu kiện theo hàng, chiều rộng đê ngầm B thay đổi theo cách xếp số hàng Reef Ball. Hệ số truyền sóng qua kết cấu ngầm ($R_c < 0$) tính theo công thức sau:

$$K_{t,3} = -0.28 \frac{R_c}{H_{m0}} + 0.44 \left(P_{f,1} \frac{B}{d}\right)^{-0.14} \left(1 - \exp\left(\frac{-0.2}{\sqrt{Som}}\right)\right) \quad (1-18)$$

Điều kiện áp dụng: $R_c/H_{m0} = -0.3 - 3.1$; $B/d = 3.0 - 11.5$; $n = 0.88 - 0.94$; $Som = 0.001 - 0.022$

- Phạm Đức Hưng (2024) [22] đã nghiên cứu xây dựng công thức truyền sóng qua đê rỗng hình móng ngựa trong trường hợp đê nhô có xét đến B , độ rỗng mặt sau cố định thay đổi độ rỗng bề mặt trước và thiết lập sơ đồ tính toán áp lực cho loại đê này. Tuy nhiên nghiên cứu về hệ số truyền sóng chỉ xét chiều rộng B thay đổi và độ rỗng được xem xét chỉ có mặt trước đê (ε) biến đổi.

$$K_t = -0.23 \cdot \min\left(1; \frac{R_c}{H_{m0,i}}\right) + 0.59 \cdot \left(\frac{1}{1-\varepsilon}\right) \left(\frac{B}{H_{m0,i}}\right)^{-0.03} \left[1 - \exp\left(\frac{-0.38}{\sqrt{S_{m-1,0}}}\right)\right] \quad (1-19)$$

Bảng 1-4. Tổng hợp công thức truyền sóng qua ĐGS đã nghiên cứu

Tác giả	Công thức	Phạm vi áp dụng
d'Angremond và nnk, 1996	$K_t = -0,4 \left(\frac{R_c}{H_s}\right) + a \cdot \left(\frac{B}{H_s}\right)^{-0.31} \times (1 - e^{-0,5\xi_{op}})$ <p>$a = 0.64$ cho đê thấm nước $a = 0.80$ cho đê không thấm</p> <p>Đê kết cấu đá đổ, mặt cắt hình thang</p>	$B/H_s < 8.0$ $0.075 < K_t < 0.80$

Tác giả	Công thức	Phạm vi áp dụng
Kurdistani và nnk (2022)	$K_t = 0.576 \ln \left[0.428 (1 + \cot \alpha)^{0.042} \left(1 - \frac{R_c}{H_{m0}} \right)^{0.75} \left(\frac{B_{eff}}{D_{50}} \right)^{0.125} \left(\frac{L_p}{B_{eff}} \right)^{0.39} \omega^{0.413} \psi^{-0.18} \right] + 0.923$ $B_{eff} = B + 0,4 \cot \alpha (h + R_c)$ $\omega = (1/2\pi) \tanh(2\pi h/L_p)$ $\psi = n^{0,5} h B_{eff} / B H_{m0}$ <p>Đê kết cấu đá đở, mặt cắt hình thang</p>	$D_{50} = 0.3 \div 0.5$ $n = 0.4$ $K_t = 0.075 \div 0.832$ Đê ngầm
Marcel R.A. van Gent và nnk (2023)	$K_t = c_1 \tanh \left(- \left(\frac{R_c}{H_{m0}} + c_2 \left(\frac{B}{L_{m-1,0}} \right)^{c_3} + c_4 \right) \right) + c_5$ <p>Đê ngầm kết cấu đá đở, đê rộng đục lỗ, mặt cắt hình thang</p>	$R_c/H_{m0} = -2.5 \div 0;$ $B/L_{m1,0} =$ $0.017 \div 0.075,$ $B/H_{m0} = 0.9 \div 2.3$ $m = 2$
Thiều Quang Tuấn và nnk (2018)	$K_t = -0,22 \cdot \left(\frac{R_c}{H_{m0,i}} \right) + 0,75 \cdot (1 - e^{-0,26 \xi_{0m-1,0}})$ <p>Đê Busadco rộng đục lỗ, mặt cắt hình thang; Không xét đến B, độ rộng</p>	$R_c/H_{m0,i} = -0.76 \div 2.0;$ $\xi_{0m} = 0.010 \div 0.025;$ $K_t = 0.22 \div 0.77$
Phạm Thị Thúy (2023)	$K_{t,3} = -0.28 \frac{R_c}{H_{m0}} + 0.44 (P_{f,1} \frac{B}{d})^{-0.14} \left(1 - \exp \left(\frac{-0.2}{\sqrt{S_{om}}} \right) \right)$ <p>Kết cấu Reef Ball rộng được xếp thành hàng, B thay đổi theo cách xếp số hàng Reef Ball.</p>	$R_c/H_{m0} = -0.3 \div 3.1$ $B/d = 3.0 \div 11.5$ $n = 0.88 \div 0.94$ $S_{om} = 0.001 \div 0.022$
Lê Xuân Tú và nnk (2022)	$K_t = -0.12 \frac{R_c}{H_{m0,i}} + 0.52 (1 - e^{-\zeta_{op}})$ <p>Đê KCR, mặt cắt hình thang TC1.</p>	$\frac{R_c}{H_{m0,i}} = -1.11 \div 2.33$ $S_{op} = 0.021 \div 0.043$

Tác giả	Công thức	Phạm vi áp dụng
	Không xét đến B, độ rỗng.	K_t = 0.24 – 0.65
Phạm Đức Hưng (2024)	$K_t = -0,23 \cdot \min\left(1; \frac{R_c}{H_{m0,i}}\right) + 0,59 \cdot \left(\frac{1}{1-\varepsilon}\right) \left(\frac{B}{H_{m0,i}}\right)^{-0,03} \left[1 - \exp\left(\frac{-0,38}{\sqrt{S_{m-1,0}}}\right)\right]$ <p>Đê KCR hình móng ngựa, áp dụng cho đê nhỏ, Có xét đến B thay đổi, độ rỗng (ε) bề mặt trước thay đổi, mặt sau cố định.</p>	$R_c/H_{m0,i} = 0 \div 2.10$ $B/H_{m0,i} = 1.375 \div 4.794$ $S_{m-1,0} = 0.036 \div 0.076$
Mai Trọng Luân (2024)	$K_t = -0,30 \cdot \min\left(0,75; \frac{R_c}{H_{m0,i}}\right) + 0,63 \left(P_f \cdot \frac{B_f}{D}\right)^{-0,29} \left[1 - \exp\left(-\frac{0,30}{\sqrt{S_{0m}}}\right)\right]$ <p>KCR được xếp từ các khối rỗng OCT™ (Oyster CASTLE-type), B_f cố định không thay đổi theo mực nước.</p>	$R_c/H_{m0} = -0.3 - 3.1$ $B/d = 1.0 - 3.65$ $n = 0.55 - 0.65$ $S_{op} = 0.002 - 0.04$

Nhận xét chung: Nghiên cứu xây dựng công thức truyền sóng qua đê KCR đã được quan tâm và phát triển trong thời gian qua. Các nghiên cứu trước cũng đã xây dựng được các công thức thực nghiệm về hệ số K_t cho ĐGS có kết cấu điển hình như đê đá đổ, cọc ly tâm, hàng rào tre, đê xếp từ các khối rỗng Busadco, đê hình móng ngựa, khối OCT, Reef Ball... Nghiên cứu xây dựng công thức thực nghiệm về hệ số truyền sóng K_t qua đê KCR TC1 vẫn còn hạn chế và chưa phản ánh đầy đủ các yếu tố ảnh hưởng như độ rỗng thân đê, bề rộng hiệu dụng đê, thông số sóng... Do đó, nghiên cứu về truyền sóng qua KCR TC1 sẽ tiếp tục được thực hiện, từ đó phân tích đánh giá để tăng độ chính xác và phạm vi áp dụng của công thức cho cấu kiện TC1. Các nghiên cứu trên là cơ sở khoa học để luận án có thể tham khảo phương pháp phân tích xây dựng công thức thực nghiệm cho đê kết cấu rỗng TC1.

1.3. Kết luận Chương 1

Từ phân tích nghiên cứu tổng quan có thể thấy:

- (i) Nghiên cứu truyền sóng qua đê KCR (K_t) đã được nghiên cứu với các loại dạng KCR khác nhau, nhưng chưa đầy đủ các yếu tố ảnh hưởng đến hệ số K_t ;
- (ii) ĐGS KCR đã được đánh giá theo phương pháp đa tiêu chí, là một trong những công trình bảo vệ bờ biển phù hợp ở ĐBSCL;
- (iii) Nghiên cứu hệ số K_t cho ĐGS KCR TC1 đã thực hiện, nhưng chưa đầy đủ, độ tin cậy chưa cao và nghiên cứu này sẽ được thực hiện phân tích các yếu tố ảnh hưởng liên quan đến độ rộng bề mặt, chiều rộng đỉnh đê hiệu quả, từ đó xây dựng công thức thực nghiệm về truyền sóng phục vụ tính toán thiết kế áp dụng loại kết cấu này ở ĐBSCL.

Nghiên cứu sẽ góp phần làm rõ ảnh hưởng của các tham số chi phối đến quá trình truyền sóng, giảm sóng, quá trình biến đổi vận tốc qua KCR TC1, với các độ rộng bề mặt khác nhau. Từ đó xây dựng được công thức thực nghiệm về hệ số truyền sóng K_t một cách đầy đủ nhất.

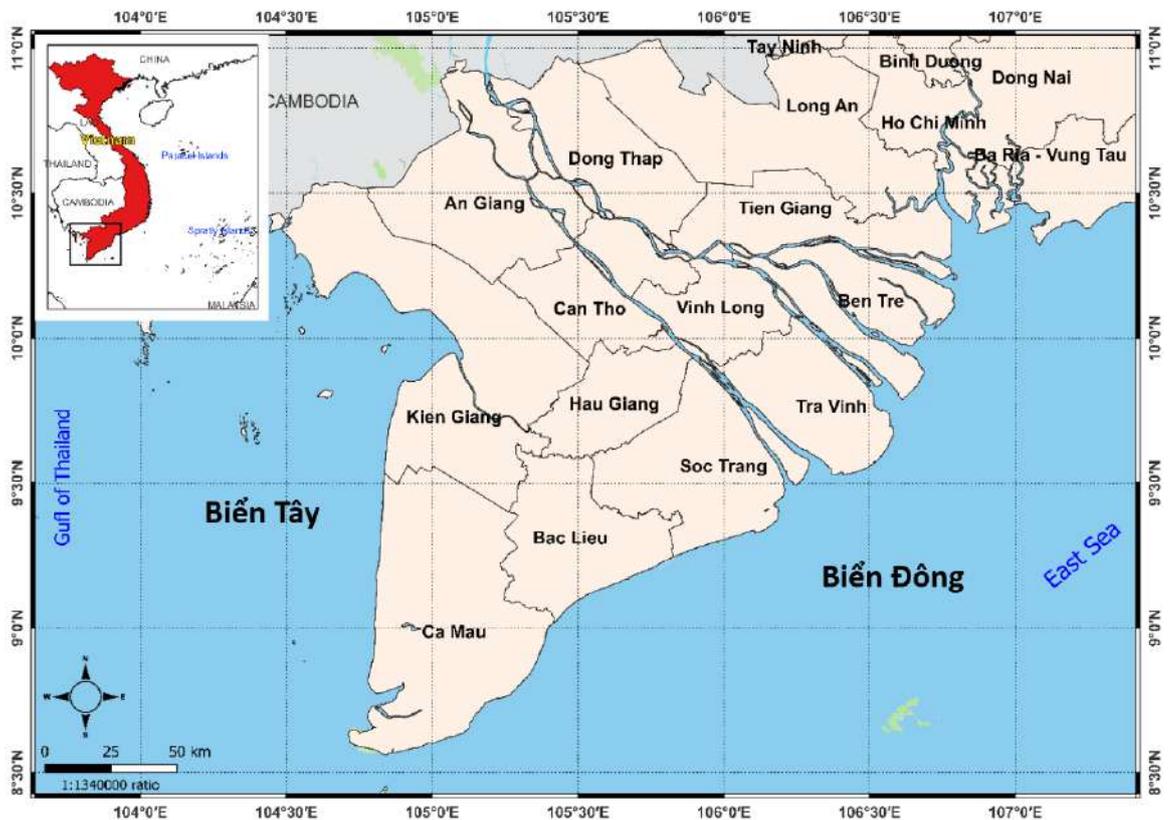
Để đạt được các mục tiêu trên, NCS tiến hành nghiên cứu cơ sở lý thuyết cơ bản về truyền sóng kết hợp với các phương pháp nghiên cứu trên mô hình vật lý, đo đạc thực địa hiện trường, phân tích, xử lý số liệu; xây dựng tương quan và thiết lập công thức về truyền sóng qua KCR và đo đạc đánh giá ứng dụng các kết quả nghiên cứu cho mô hình áp dụng thực tế trong điều kiện tự nhiên ĐBSCL. Các nội dung này sẽ được thực hiện trong chương tiếp theo.

CHƯƠNG 2. CƠ SỞ KHOA HỌC NGHIÊN CỨU GIẢI PHÁP ĐỀ KẾT CÁU RỒNG

2.1. Giới thiệu về vùng nghiên cứu

2.1.1. Vị trí địa lý

Đồng bằng sông Cửu Long có vị trí địa lý nằm ở cực nam của Việt Nam (vùng Tây Nam Bộ, Hình 2-1) có vị trí địa lý như sau: Phía Bắc giáp Campuchia, phía Đông và Đông Nam giáp các tỉnh Đông Nam Bộ (Tp. Hồ Chí Minh, Tây Ninh) và Biển Đông, phía tây giáp biển Tây.



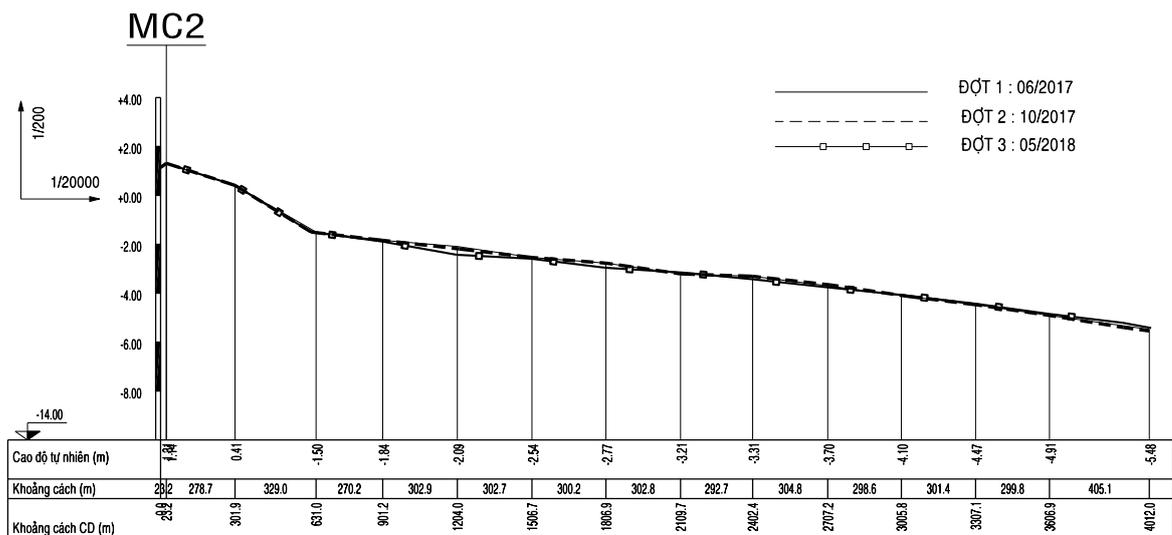
Hình 2-1. Vị trí vùng ĐBSCL trên bản đồ Việt Nam

ĐBSCL là một vùng đất với địa hình thấp, cao độ mặt đất tự nhiên phần lớn nằm trong khoảng từ 0.5-1.0 m. Dải bờ biển cùng với các cửa sông là điều kiện tốt cho phát triển kinh tế, phát triển đa dạng sinh học, phát triển du lịch ..., là cửa ngõ kết nối ĐBSCL với các vùng trong cả nước và quốc tế. Với đặc điểm tự nhiên này,

các tỉnh ven biển ĐBSCL có lợi thế trong việc phát triển kinh tế-xã hội nhất là kinh tế biển.

2.1.2. Địa hình, địa mạo

Về cao độ địa hình bờ biển ĐBSCL khá bằng phẳng và không có sự khác biệt nhiều giữa các đoạn bờ biển, với giá trị cao độ trung bình vùng ven biển từ 0 đến 1.0 m. Địa hình vùng ven bờ biển Đông có đặc điểm là khá thoải, với độ dốc trung bình khoảng 1/2000. Kết quả khảo sát địa hình khu vực ven biển Gò Công- Tiền Giang vào các thời điểm tháng 6/2017; 10/2017; 5/2018 là một khu vực điển hình, cho thấy khu vực này có cao trình đáy biển vùng ven bờ tương đối thấp, cao trình đáy biển quanh vị trí xây dựng công trình ĐGS dao động trong khoảng -0.5m đến -1.5m, bãi có độ dốc thoải khoảng 1/2000.



Hình 2-2. Mặt cắt ngang bờ biển Gò Công- Tiền Giang (Biển Đông) [9]

Địa hình ven biển Tây bị chia cắt bởi hệ thống sông rạch chằng chịt, trong đó các con sông chính như: sông Cửa Lớn, sông Bảy Háp, sông Ông Đốc, sông Cái Lớn. Vùng đáy biển có trắc diện bằng phẳng và thoải, đáy biển chủ yếu được tích tụ do tác động của sông biển. Hoạt động bồi tụ diễn ra mạnh tại khu vực vịnh Rạch Giá và cửa Bảy Háp. Vùng biển Tây có thêm lục địa tương đối dốc nhưng nông hơn so với vùng phía biển Đông. Bờ biển Tây khu vực huyện Trần Văn Thời, tỉnh Cà Mau thì độ dốc bãi biển trung bình tại khu vực này khoảng 1/500. Vùng ven biển được tạo thành

trong quá trình biến lùi và bồi tụ của phù sa ven biển. Địa hình tương đối bằng phẳng, cao độ bãi bồi thay đổi từ -1.50m đến +0.50m.

Với khu vực ven bờ độ dốc bãi biển khá thoải, biên độ thủy triều lại lớn nên mỗi khi triều rút bãi biển lộ ra khá rộng có khi đến 2÷3 km. Do địa hình thoải, việc đặt các công trình giảm sóng cấu kiện rộng sẽ rất thuận lợi cho thi công, sau này có thể điều chỉnh tuyến, gây bồi tạo bãi và mở rộng rừng ngập mặn ra phía biển.

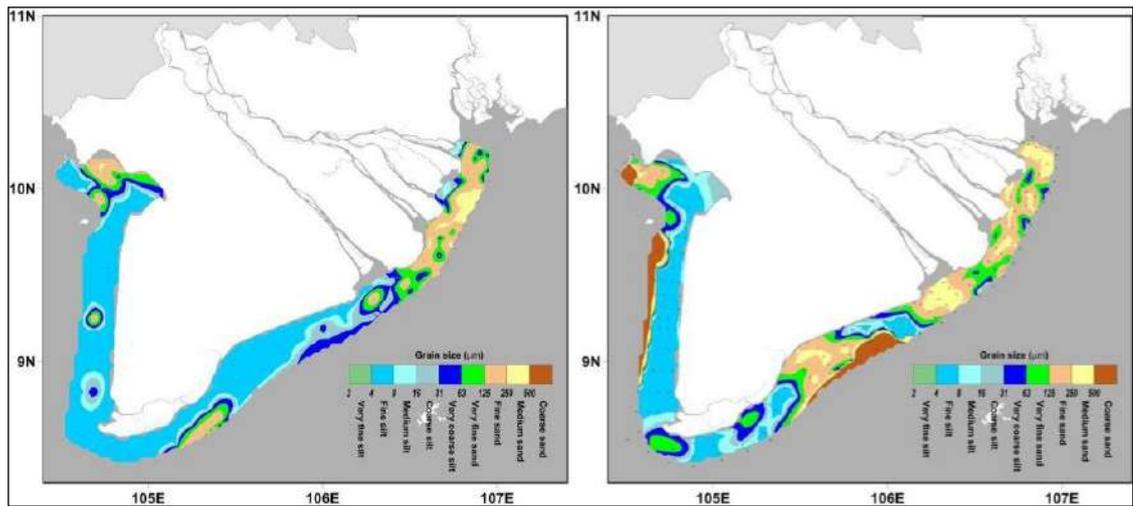
2.1.3. Đặc điểm địa chất vùng ven biển ĐBSCL

Cấu tạo địa chất vùng bờ biển ảnh hưởng đến khả năng xói lở và ổn định của công trình bảo vệ bờ biển ở vùng ĐBSCL. Từ Tiền Giang đến Kiên Giang, địa chất nền được cấu tạo bởi trầm tích phù sa bờ rời rất trẻ (tuổi Holoxen hiện đại – Pleistoxen muộn) với thành phần chủ yếu là bùn sét màu nâu, bùn sét màu nâu chứa cát có lẫn vụn xác sinh thực vật, chỉ tiêu cơ lý như sau: góc ma sát trong $\varphi = 02^{\circ}38' \div 03^{\circ}31'$; lực dính $C = 0.050 \div 0.053 \text{ kG/cm}^2$, sức chịu tải của nền khu vực ven biển từ 1.5 ÷ 2.0 tấn/m². Do đó, việc thiết kế công trình giảm sóng có tải trọng truyền xuống nền lớn ($P > 2 \text{ tấn/m}^2$) dễ bị lún và cần phải xử lý nền rất tốn kém.

Phân bố kích thước thành phần hạt dọc theo bờ biển ĐBSCL từ dự án AFD [95] được thể hiện trong Hình 2-3. Khu vực cửa sông, từ Cửa Tiểu đến Định An bị ảnh hưởng bởi dòng chảy trong sông mạnh và hàm lượng bùn cát lơ lửng từ cửa sông đổ ra cao, ngoài khơi cửa sông Định An và sông Trần Đề, một loạt bùn cát hỗn hợp được tìm thấy, bùn cát bao gồm hỗn hợp cát, từ cát hạt mịn đến cát hạt vừa, cát hạt mịn chiếm ưu thế đường kính hạt trung bình $D_{50} > 60\mu\text{m}$. Dọc theo bờ biển từ phía nam cửa sông Trần Đề đến Rạch Giá, phần lớn bùn cát đáy là bùn cát hạt mịn đường kính hạt trung bình $D_{50} < 30\mu\text{m}$. Ngoài ra có một số vùng ven biển có cát mịn như khu vực biển Gành Hào, mũi Cà Mau trước cửa Bò Đề và gần Hà Tiên có $D_{50} = 20-60\mu\text{m}$.

Nghiên cứu của H., Hein, B., Hein, T. Pohlmann (2013) [58], Patrick Marchesiello, Đinh Công Sản và nnk (2017) [95], Trần Bá Hoàng và nnk (2020) [31] cho thấy sự ảnh hưởng lớn của sóng và dòng chảy lên sự vận chuyển bùn cát dọc theo vùng ven biển ĐBSCL. Trong mùa gió Tây Nam (trùng với mùa lũ trên sông Mekong) bùn cát từ sông Mekong đổ ra biển được bồi lắng tại khu vực cửa sông. Trong mùa

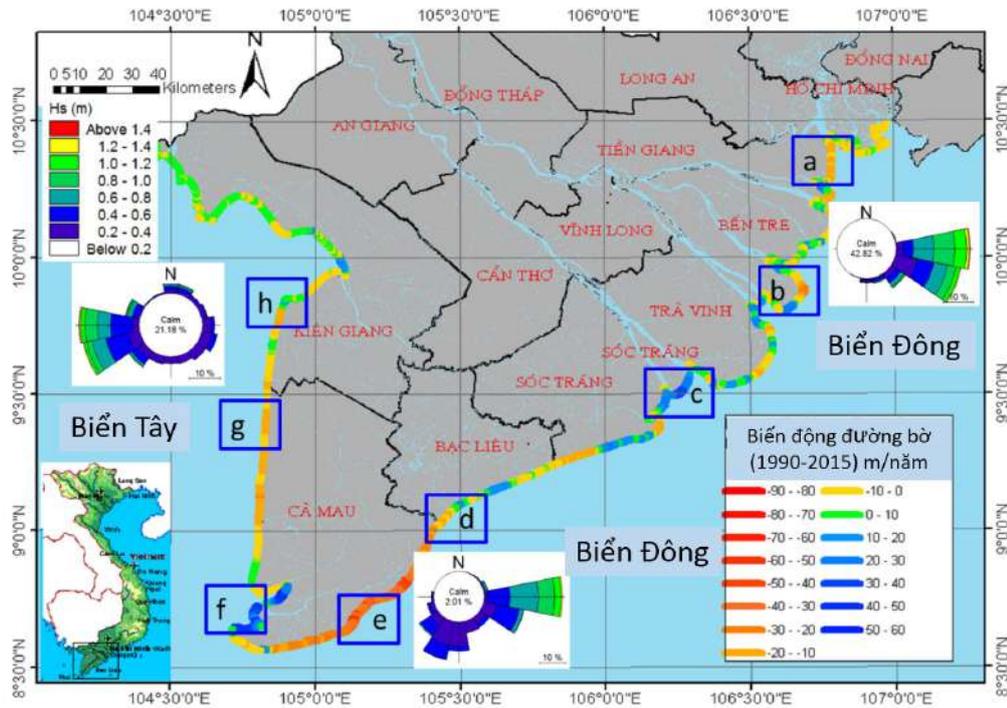
gió Đông Bắc (trùng với mùa khô trên sông Mekong), bùn cát hạt mịn đường như được tái lơ lửng và vận chuyển về phía Nam từ vùng cửa sông về bán đảo Cà Mau. Điều này cho thấy những dịch chuyển tạm thời của bùn và cát trong mùa cũng như chu kỳ hàng năm. Do đó, nếu có giải pháp bẫy bùn cát ven bờ biển sẽ giữ lại một phần bùn cát này từng bước gây bồi tạo bãi và phục hồi rừng ngập mặn ven biển là rất cần thiết để tạo bãi, phục hồi rừng ngập mặn giảm sạt lở bờ.



Hình 2-3. Phân bố kích thước hạt của bùn cát đáy biển dọc theo bờ biển ĐBSCL, vào mùa gió mùa Tây Nam (hình trái) và gió mùa Đông Bắc (hình phải) [95]

2.1.4. Sóng

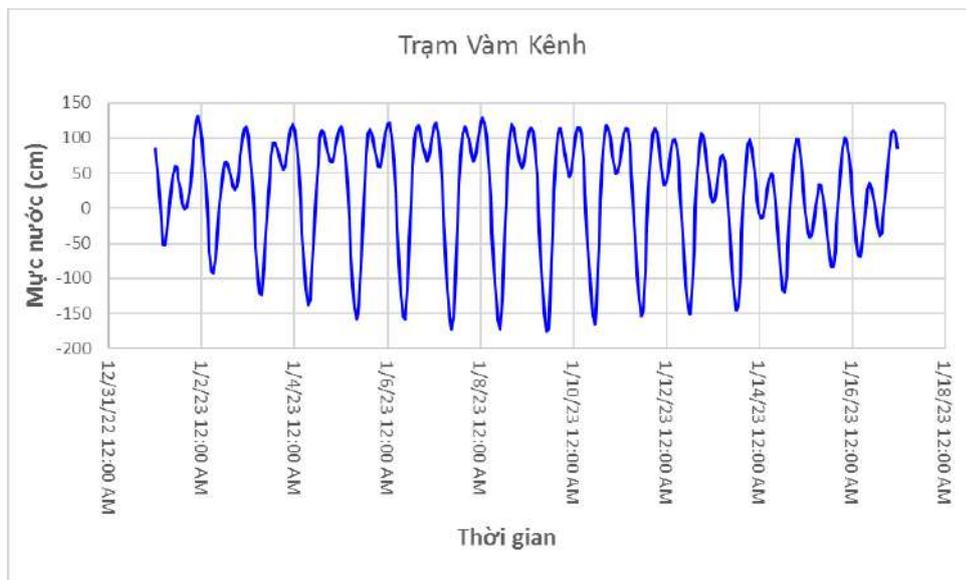
Sóng xác định tại các vị trí gần bờ dọc theo bờ biển phía Đông từ Tiền Giang tới mũi Cà Mau (2014-2015) từ Đề tài [31]. Kết quả cho thấy giá trị chiều cao sóng ý nghĩa (H_s) tại tất cả các vị trí cách bờ 1km phần lớn dao động trong khoảng $H_s = 0.5 \div 1.5$ m xuất hiện trong mùa gió Đông Bắc, Chu kỳ sóng dao động $T_p = 3-7$ s. Sự xuất hiện của những con sóng có độ lớn khoảng $H_s = 0.5 \div 0.75$ m cũng chiếm đa số trong mùa gió Tây Nam. Xem xét hoa sóng ở ĐBSCL trong nhiều năm cho thấy vùng biển Đông và biển Tây (Hình 2-4) khác nhau cơ bản về hướng và tần suất sóng chủ đạo. Vùng ven biển Đông có hướng và tần suất sóng chủ đạo là hướng Đông - Tây trong khi vùng ven biển Tây thì ngược lại, có hướng Tây - Đông.



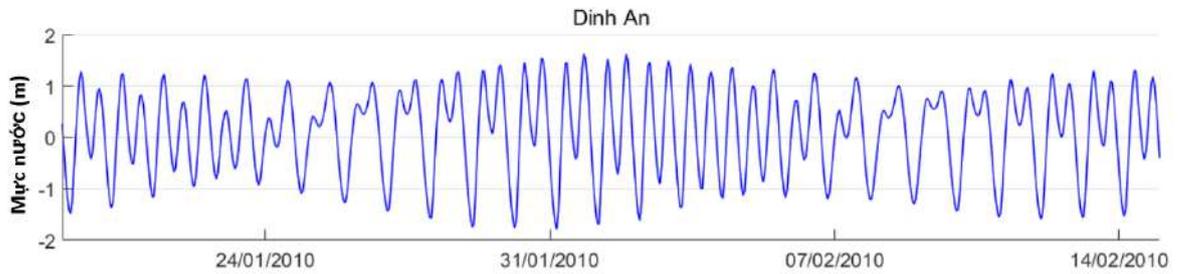
Hình 2-4. Hoa sóng tại 3 điểm đặc trưng vùng ĐBSCL (2014-2015) và diễn biến bờ biển ĐBSCL trong giai đoạn từ 1990-2015 [31]

2.1.5. Chế độ thủy triều và mực nước vùng ĐBSCL

Khu vực biển Đông chịu chi phối bởi chế độ bán nhật triều không đều, biên độ triều dao động từ 2.5 ÷ 3.5 m (Hình 2-5). Chế độ triều khu vực biển Tây chịu chi phối bởi chế độ nhật triều không đều là chính, với biên độ triều khoảng 0.7 ÷ 1.0 m.



Hình 2-5. Dao động mực nước tại trạm Vàm Kênh (Tiền Giang)



Hình 2-6. Mực nước thủy triều đại diện của Biển Đông ĐBSCL

2.1.6. Tình hình xói lở bờ biển và rừng ngập mặn ven biển ĐBSCL

Xói lở bờ biển là một hiện tượng phổ biến xảy ra ở ven bờ biển của nước ta, trong đó khu vực bờ biển ĐBSCL với tổng chiều dài đường bờ biển là 744 km, xói lở xảy ra có chiều dài lên đến trên 266.8 km, chiếm 35.9% tổng chiều dài đường bờ biển (Bảng 2-1).



Hình 2-7. Xói lở bờ biển và rừng ngập mặn vùng ĐBSCL

Bảng 2-1: Tổng hợp hiện trạng sạt lở bờ biển khu vực ĐBSCL [31]

Tỉnh	Chiều dài bờ biển	Chiều dài xói lở (km)	Tỷ lệ % chiều dài bị xói lở
Tiền Giang	32	14.6	40.63
Bến Tre	65	20.0	30.77
Trà Vinh	65	14.8	22.77
Sóc Trăng	72	19.5	27.08
Bạc Liêu	56	23.3	41.61
Cà Mau	254	139.3	54.84
Kiên Giang	200	35.3	17.65
Tổng	774	266.8	35.9

Hình 2-4 thể hiện diễn biến bờ biển ĐBSCL trong giai đoạn từ 1990-2015. Đoạn bờ biển từ Tiền Giang đến Sóc Trăng là vùng có các cửa sông Cửu Long chia cắt, diễn biến bờ biển có hoạt động bồi tụ và xói lở diễn ra xen kẽ. Hiện tượng xói lở ở một số khu vực diễn ra với mức độ khá nhanh với tốc độ từ 10-20m/năm, có thể kể đến như: Khu vực Gò Công Đông (Tiền Giang), Thừa Đức (Bến Tre), Hiệp Thạnh (Trà Vinh). Xu thế bồi tụ chủ yếu tập trung ở khu vực các cửa sông lớn như Cửa Đại, Cửa Tiểu, Cửa Hàm Luông, cửa Định An. Đoạn bờ vùng từ Sóc Trăng đến mũi Cà Mau xu thế xói vượt trội, hiện tượng xói lở xảy ra trên hầu hết đoạn bờ biển này, tốc độ xói lở trung bình khoảng 10 ÷ 50m/năm tùy theo vị trí. Các khu vực xói lở trọng điểm ở khu vực này gồm: Vĩnh Tân (Sóc Trăng), Nhà Mát, Gành Hào (Bạc Liêu), Hồ Gùi, Vàm Xoáy, Rạch Gốc (Cà Mau). Diễn biến bờ biển khu vực biển Tây đoạn từ Mũi Cà Mau đến Hà Tiên xói lở diễn ra mạnh ở khu vực bờ từ cửa sông Đốc (Cà Mau) đến cửa sông Cái Lớn (Kiên Giang) với tốc độ 5-20m/năm, ở các khu vực còn lại chủ yếu được bồi tụ hoặc xói lở với mức độ nhẹ.

Rừng ngập mặn (RNM) là một hệ sinh thái đặc trưng vùng ven biển Việt Nam, là hệ sinh thái chuyển tiếp giữa môi trường nước ngọt và môi trường biển, rất có giá trị về môi trường, xã hội và kinh tế. Các hệ sinh thái RNM có vai trò cực kỳ quan trọng trong việc bảo vệ bờ biển, bảo vệ đê biển trước những tác động của sóng, gió bão; phát triển kinh tế-xã hội, cung cấp sản phẩm gỗ, tạo điều kiện, cung cấp tài nguyên nuôi sống cho người dân vùng biển, và giữ cân bằng môi trường sinh thái

toàn khu vực, tích tụ cacbon [24]. Khi RNM tự nhiên được bảo vệ hoặc các rừng trồng đủ rộng, sẽ tạo thành những bức tường vững chắc, bảo vệ bờ biển và chân đê khỏi bị xói lở do bão lụt và NBD [34].

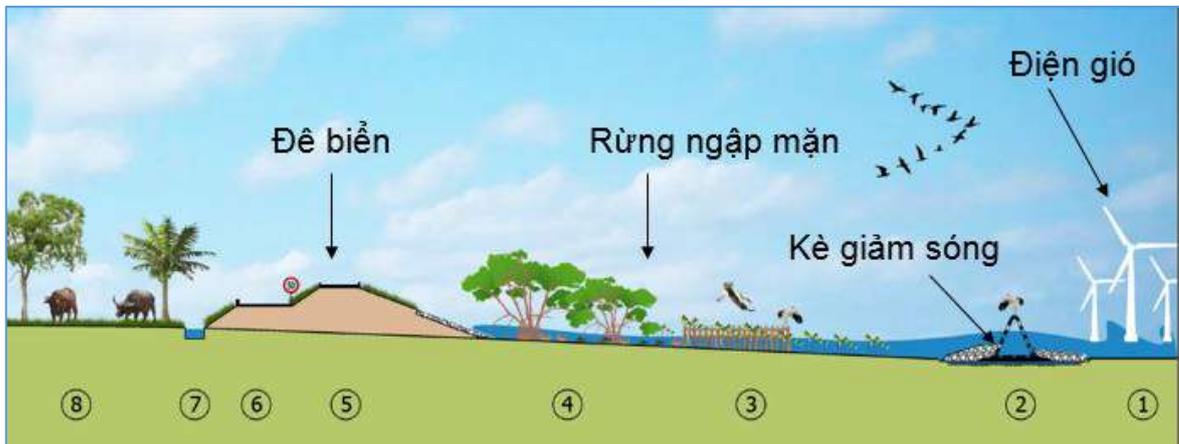
RNM khu vực ĐBSCL có diện tích lớn nhất cả nước, tuy nhiên một số năm qua, do nhiều tác động tiêu cực từ tự nhiên và con người đã làm ảnh hưởng, suy giảm diện tích cũng như chất lượng của hệ sinh thái RNM ven biển. Bề rộng đai RNM không đồng đều ở các tỉnh ĐBSCL có sự biến động rất lớn, trung bình từ $50 \div 1000\text{m}$. Theo kết quả điều tra hiện trạng RNM năm 2018 một số vùng như: Gò Công -Tiền Giang, Duyên Hải -Trà Vinh, Vĩnh Châu- Sóc Trăng, Gành Hào – Bạc Liêu đai rừng ngập mặn còn rất mỏng từ 10-100m. Nhiều vị trí đê trực diện với biển, như khu vực từ Mũi Cà Mau đến giáp ranh giới tỉnh Kiên Giang bề rộng đai RNM trung bình từ $50 \div 200\text{m}$., Khu vực phường Nhà Mát- Bạc Liêu hiện tượng sóng biển gây ra mất RNM, trồng RNM đặc biệt khó khăn và chưa thành công, hiện tượng xói mòn bề mặt thềm nền ngày một gia tăng [17]. Do đó, việc nghiên cứu các giải pháp công trình ĐGS nhằm giảm sạt lở bờ biển, bảo vệ RNM thích ứng với BĐKH là rất cần thiết.

2.2. Cơ sở đề xuất giải pháp ĐGS kết cấu rỗng TC1

2.2.1. Lý do đề xuất đề kết cấu rỗng TC1

Trên thế giới hiện nay, để bảo vệ bờ biển cho vùng đất thấp có điều kiện tương tự như ĐBSCL giải pháp lựa chọn là kết hợp giữa giải pháp cứng và giải pháp mềm tạo ra sự thân thiện với môi trường và khôi phục hệ sinh thái. Trong đó, cách tiếp cận coi trọng nguyên tắc “Xây dựng cùng thiên nhiên” (Building with nature) hay các giải pháp dựa vào tự nhiên “Nature-based solution” [68], tạo ra sự sống cho bờ biển “Living shoreline”, Bảo vệ bờ biển đa tầng “Multiple line defense” là những cách tiếp cận mới mà các nước phát triển trên thế giới đang sử dụng. Do đó, cách tiếp cận chung phải là tái tạo hệ thống bảo vệ bờ biển tự nhiên. Chiến lược bảo vệ bờ biển theo từng khu vực được coi là hiệu quả hơn so với việc sử dụng một yếu tố bảo vệ bờ biển đơn lẻ. Hơn nữa, cách tiếp cận này sẽ tạo điều kiện hiện thực hóa các lợi ích song song về kinh tế - xã hội và môi trường. Sơ đồ trình bày trong Hình 2-8 là giải

pháp bảo vệ bờ biển đa tầng “Multiple defence lines” [91] bao gồm nhiều thành phần khác nhau như: ĐGS, rừng ngập mặn, bờ kè, đê ngăn nước..., với mục đích nhằm chống xói lở, ngập lụt, tạo ra môi trường hệ sinh thái tự nhiên và thích ứng BĐKH-NBD.



Hình 2-8. Giải pháp bảo vệ bờ biển đa tầng

Trong các thành phần sắp xếp để bảo vệ bờ biển đa tầng như Hình 2-8, ĐGS là một thành phần quan trọng là tuyến đầu tiên từ ngoài biển vào với chức năng giảm năng lượng sóng và dòng chảy, giảm thiểu xói lở bờ biển cho khu vực sau đê. Do đó, ĐGS được đánh giá là một giải pháp công trình phù hợp trong các thành phần bảo vệ bờ biển.

Việc lựa chọn các giải pháp xuất phát từ những yêu cầu thực tế bảo vệ bờ biển ĐBSCL, yêu cầu đặt ra của giải pháp là giảm sóng, gây bồi hỗ trợ rừng ngập mặn phát triển. Giải pháp phải phù hợp trong điều kiện BĐKH, NBD theo nghiên cứu của Bộ Tài nguyên và Môi trường (2016) [3], các công trình bảo vệ bờ biển cần thiết phải có tính thích ứng cao để đáp ứng yêu cầu bảo vệ bờ biển trong điều kiện thay đổi, cũng như bảo vệ hệ sinh thái và môi trường ven biển. Nghiên cứu này, NCS lựa chọn dạng KCR TC1 và được cấp bằng độc quyền giải pháp hữu ích “Cấu kiện giảm sóng bảo vệ bờ biển” số 2710 theo Quyết định số 13026w/QĐ-SHTT ngày 13/8/2021, Cục Sở hữu trí tuệ - Bộ Khoa học và Công nghệ (chi tiết xem Phụ lục 6).

Yêu cầu về chức năng khi thiết kế ĐGS KCR TC1:

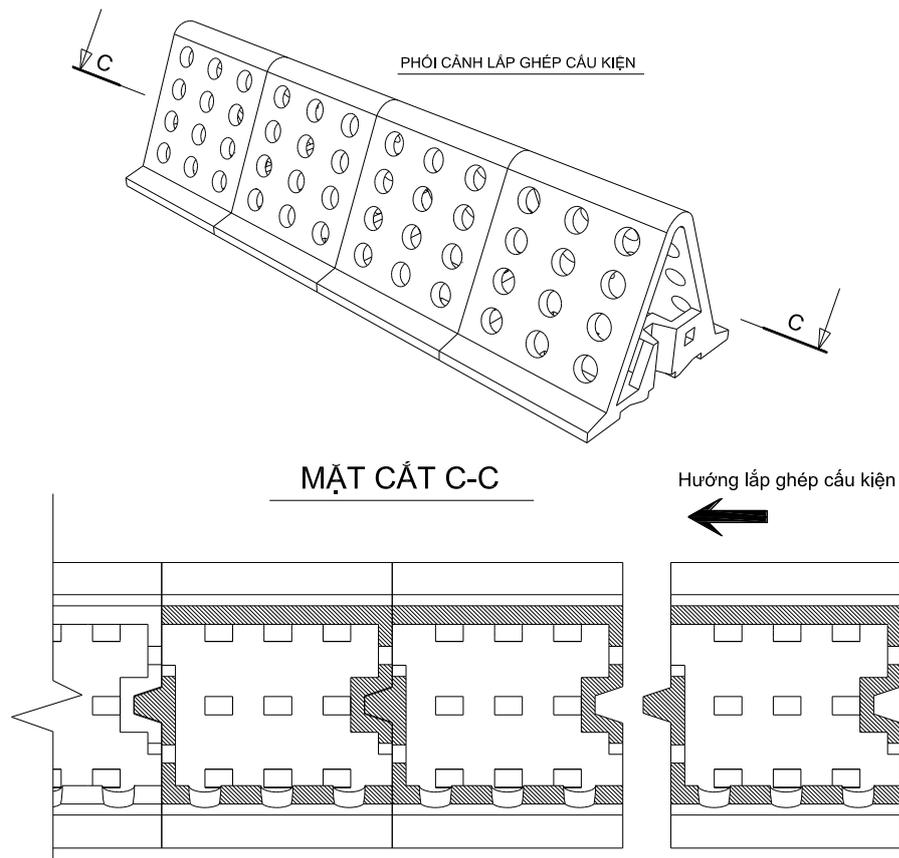
- Thân thiện với môi trường, có độ rỗng để trao đổi môi trường nước, bùn cát và các vật trôi nổi như hạt, quả cây rừng ngập mặn, không làm gián đoạn quá trình trao đổi môi trường, giúp cây rừng và các sinh vật biển có không gian để tồn tại, sinh trưởng và phát triển giúp cải thiện môi trường sinh thái.
- Ổn định và linh động trên nền đất yếu, trọng lượng không quá nặng và ít bị lún để phù hợp với nền đất yếu khu vực ĐBSCL với sức chịu tải thấp ($1 \div 2$ tấn/m²).
- Cấu kiện có tuổi thọ cao, chịu được tác động sóng biển, môi trường nước mặn, không bị hư hỏng, phá hủy do vật trôi nổi và sắc nhọn đâm vào.
- Thi công nhanh, đơn giản: do xây dựng cấu kiện trên biển bị ảnh hưởng bởi thủy triều, sóng gió, việc sản xuất cấu kiện đúc sẵn trong nhà máy sẽ kiểm soát chất lượng tốt, sản xuất làng loạt và lắp đặt trên biển bằng máy móc sẽ thuận lợi và nhanh chóng phù hợp với đặc thù thi công các công trình biển (chỉ có thể thi công trong mùa biển lặng), có thể tái sử dụng cấu kiện để xây dựng ĐGS ở vị trí mới khi công trình hoàn thành nhiệm vụ.

TC1 là cấu kiện bê tông rỗng được thiết kế để giảm sóng và gây bồi phù sa, hoặc tạo thành các rạn ngầm làm nơi trú ẩn cho các loài thủy sinh, với chức năng giảm sóng, chống xói lở bờ, mở rộng và phục hồi đai RNM đã bị xói lở và tái tạo lại hệ sinh thái khu vực ven biển. Các kết cấu này được lắp ghép tạo thành tuyến ĐGS đặt xa bờ, có đỉnh bằng với mực nước triều cao nhất để giảm sóng và che chắn cho cây non sinh trưởng phát triển.

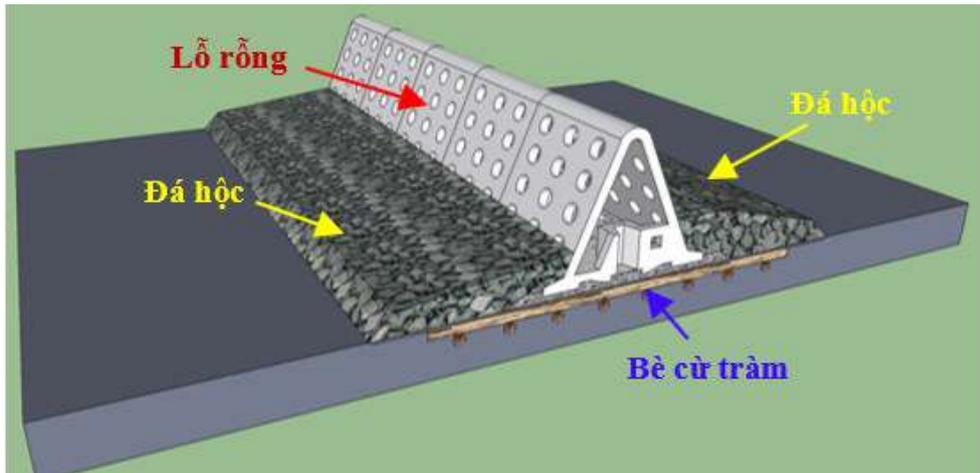
2.2.2. Cấu tạo và ứng dụng của đê kết cấu rỗng TC1

Cấu kiện TC1 được thiết kế hình dạng chữ A tương tự như mặt cắt hình thang của đê đá đổ truyền thống (Hình 2-9, Hình 2-10), với mái nghiêng nhằm giảm sóng phản xạ và tăng ổn định cho cấu kiện nhờ thay đổi hướng lực tác động của sóng lên bề mặt cấu kiện (từ hướng ngang sang hướng xiên truyền xuống phía đáy cấu kiện). Bề mặt cấu kiện phía biển và phía bờ được thiết kế đục lỗ rỗng hình tròn, bố trí thành hàng đều ở cả hai mặt nhằm giảm áp lực sóng lên cấu kiện, tăng cường khả năng tiêu tán sóng. Phần đầu chữ A được thiết kế dạng vòm cong, nhằm giảm ứng suất tập trung. Phần chân cấu kiện được làm mở rộng về hai phía (phía biển và phía bờ) giúp

tăng ổn định, chống lật cho cấu kiện và phân bố đều tải trọng công trình xuống nền. Các cấu kiện được lắp ghép liên kết với nhau bằng ngàm âm dương để các cấu kiện làm việc theo nhóm, chỉ cho phép lún theo phương đứng, không cho phép dịch chuyển theo phương ngang (Hình 2-9). Khoảng rỗng trong lòng cấu kiện được thiết kế với chức năng tiêu hao năng lượng sóng, vì khi sóng chui qua các lỗ tròn trên bề mặt, sóng bị hấp thụ vào trong lòng cấu kiện và các phân tử nước va đập mạnh vào nhau làm giảm năng lượng sóng. Mặt đáy của cấu kiện thiết kế các lỗ rỗng có tác dụng làm giảm áp lực đẩy nổi, từ đó tăng độ ổn định chống lật của cấu kiện. Khi lắp đặt, các cấu kiện được đặt trên móng làm bằng bê tông cốt thép và đá dăm để phân bố đều tải trọng xuống nền, giảm lún. Trước và sau đê được gia cố đá học để chống xói chân tăng ổn định cho cấu kiện không bị dịch chuyển khi sóng tác động.

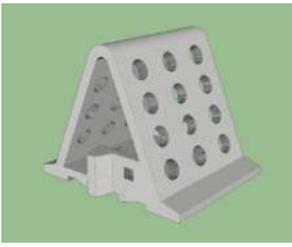
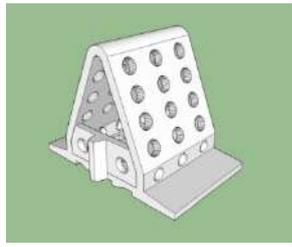
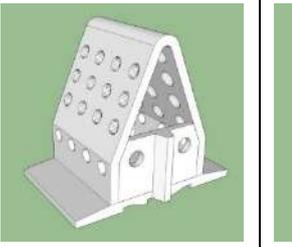
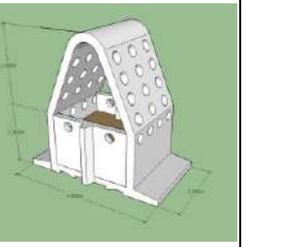


Hình 2-9. Xếp các cấu kiện giảm sóng TC1 liên kết với nhau



Hình 2-10. Sơ họa cấu tạo của ĐGS TC1

Đê KCR TC1 được làm bằng bê tông cốt thép đặc biệt có cường độ bê tông M40 ÷ 60 Mpa để chịu được môi trường biển khắc nghiệt và độ mài mòn cao khi tương tác với sóng biển. TC1 được thiết kế để trọng tâm cấu kiện nằm gần đáy cấu kiện nhằm tăng ổn định trước tác dụng của sóng biển. Thông số kỹ thuật của cấu kiện (H: chiều cao cấu kiện, B_d: chiều rộng bản đáy, G: trọng lượng cấu kiện) với các phiên bản khác nhau trình bày trong Hình 2-11.

TC1 (H= 2.6m, B _d = 3.2m, G= 9 tấn)	TC1-M (H= 3.0m, B _d = 4.0m, G= 13 tấn)	TC1-L (H= 3.5m, B _d = 4.5m, G= 17 tấn)	TC1-G (H= 4.0m, B _d = 4.5m, G= 20 tấn)
			

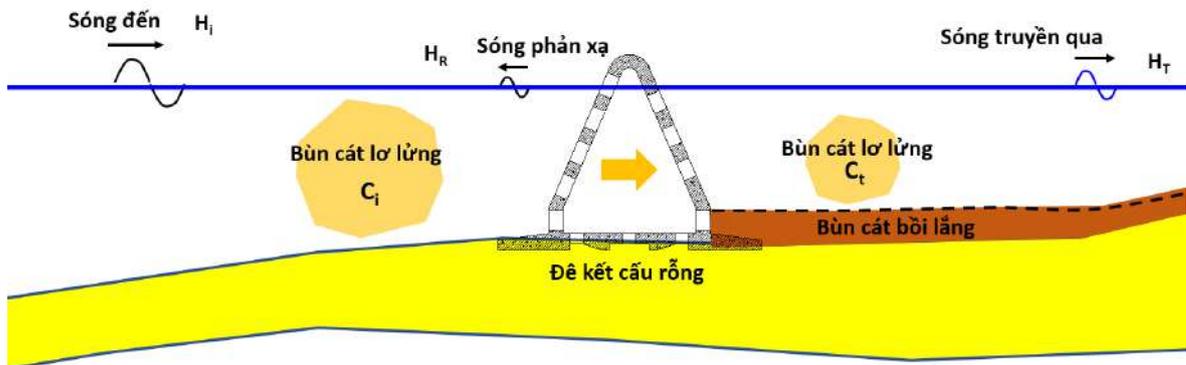
Hình 2-11. Các phiên bản của KCR TC1

Tính ưu việt của KCR TC1 là sự linh hoạt: TC1 có vai trò giúp gây bồi, tạo bãi, tạo môi trường thuận lợi để khôi phục rừng ngập mặn, thi công và lắp đặt nhanh chóng. Tính linh động của TC1 còn thể hiện ở chỗ: TC1 được thiết kế với nhiều hình dạng và kích thước khác nhau để đáp ứng các yêu cầu khác nhau về điều kiện địa hình, địa chất và sóng ở ĐBSCL, kết cấu TC1; TC1-M dùng cho khu vực địa hình

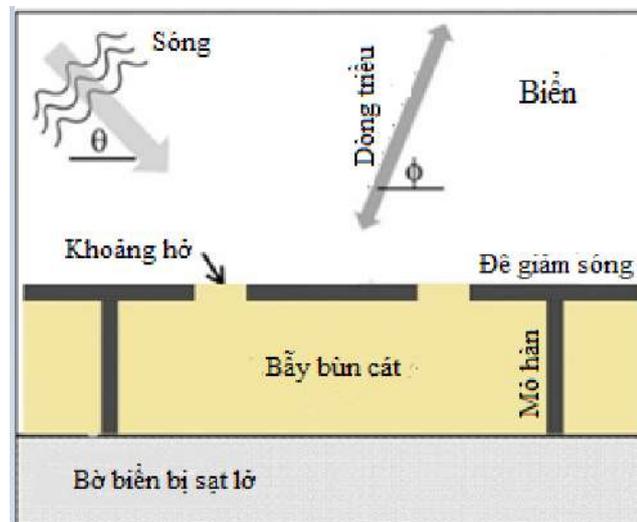
nông, năng lượng sóng nhỏ ($H_s < 1.3\text{m}$), kết cấu TC1-L; TC1-G lớn hơn dùng cho khu vực có địa hình sâu và sóng lớn ($1.3\text{m} < H_s < 1.9\text{m}$) (Hình 2-11).

2.3. Nguyên lý làm việc của kết cấu đê rỗng

ĐGS KCR với các lỗ rỗng trên bề mặt thân đê làm giảm sóng phản xạ và tiêu hao năng lượng sóng, cho phép bùn cát đi qua không làm gián đoạn quá trình vận chuyển bùn cát đột ngột, nguyên lý này được thể hiện trên Hình 2-12.



Hình 2-12. Sơ họa nguyên lý làm việc của đê KCR TC1 trên mặt cắt ngang



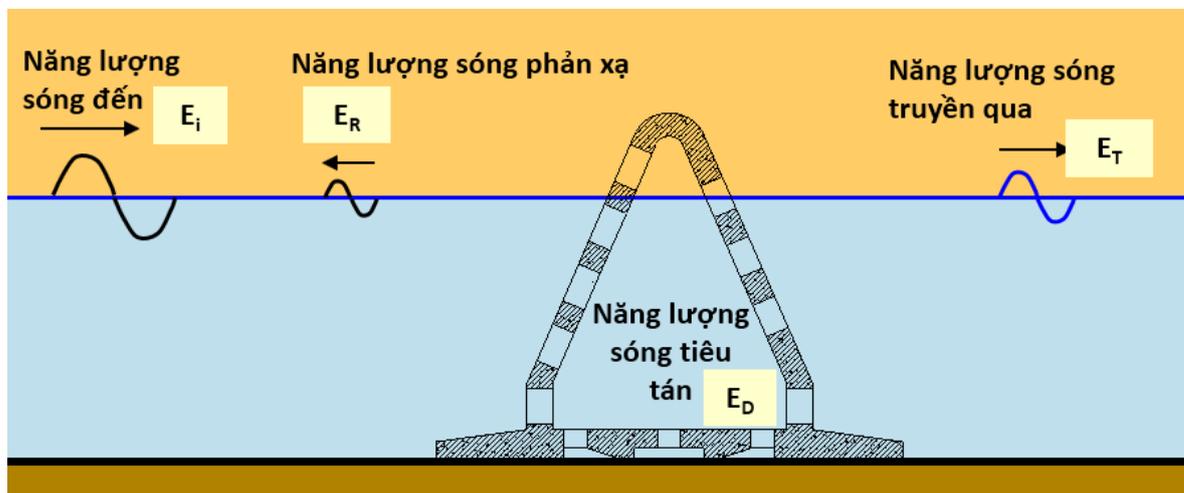
Hình 2-13. Sơ họa bố trí mặt bằng ĐGS KCR TC1

Bố trí mặt bằng công trình với các ĐGS kết hợp mỏ hàn (Hình 2-13) tạo ra các ô riêng biệt nhằm tạo ra các vùng lạng sóng (shelter area) để giảm sóng và dòng chảy tạo điều kiện thuận lợi để bùn cát tích tụ tạo bãi và khôi phục rừng ngập mặn ở khu vực ven biển ĐBSCL.

2.4. Cơ sở khoa học về truyền sóng qua kết cấu đê rộng TC1

2.4.1. Tương tác giữa sóng và kết cấu rộng TC1

Sóng tương tác với đê KCR TC1 thông qua các quá trình vật lý cơ bản như sóng phản xạ, ma sát với KCR, sóng vỡ, dòng chảy rối xuyên qua thân đê KCR. Khi sóng tương tác với đê KCR, sóng sẽ tiếp xúc với mặt ngoài của kết cấu, một phần năng lượng sóng bị phản xạ ngược trở lại về phía biển, một phần năng lượng sóng bị tiêu hao do ma sát với bề mặt các lỗ rỗng và nước va đập vào nhau trong bụng rỗng thân đê. Một phần năng lượng sóng sẽ truyền qua thân đê, thông qua các lỗ rỗng trên bề mặt sau của cấu kiện (xem Hình 2-14).



Hình 2-14. Sơ họa quá trình tương tác của sóng với KCR TC1 trên mặt cắt ngang

2.4.2. Sự cân bằng năng lượng truyền sóng qua KCR

Lý thuyết về sự tương tác giữa sóng với đê KCR cho thấy tổng năng lượng sóng tới KCR được chia thành ba loại (giả thiết bỏ qua ma sát đáy): năng lượng sóng truyền qua, năng lượng sóng phản xạ và năng lượng sóng bị tiêu tán bởi KCR (Hình 2-14). Phương trình cân bằng năng lượng sóng truyền qua một ĐGS ở độ sâu nước không đổi bỏ qua ma sát đáy có thể viết như sau [45], [61]:

$$E_i = E_r + E_t + E_D \quad (2-1)$$

Trong đó: năng lượng sóng đến (E_i), năng lượng sóng phản xạ (E_r), năng lượng sóng truyền qua công trình (E_t) và năng lượng sóng tiêu tán (E_D).

Năng lượng sóng được biểu thị qua chiều cao sóng theo công thức

$$E = \frac{1}{8} \rho g H_s^2 \quad (2-2)$$

Phương trình (2-1) được biến đổi thể hiện dưới dạng chiều cao sóng như (2-2)

$$E_i = \frac{\rho g H_i^2}{8} = \frac{\rho g H_r^2}{8} + \frac{\rho g H_t^2}{8} + E_D \quad (2-3)$$

Trong đó: - H_i , H_r , H_t : lần lượt là chiều cao sóng tới, chiều cao sóng phản xạ, chiều cao sóng truyền qua.

- ρ : khối lượng riêng của chất lỏng
- g : là gia tốc trọng trường.

Kết quả của công thức chuyển hóa năng lượng này có thể được biểu diễn qua hệ số sóng phản xạ (K_r), hệ số sóng tiêu tán (K_D) và hệ số sóng truyền qua (K_t).

$$1 = \left(\frac{H_t}{H_i} \right)^2 + \left(\frac{H_r}{H_i} \right)^2 + \frac{E_D}{E_i} \quad (2-4)$$

$$1 = K_r^2 + K_t^2 + K_D^2$$

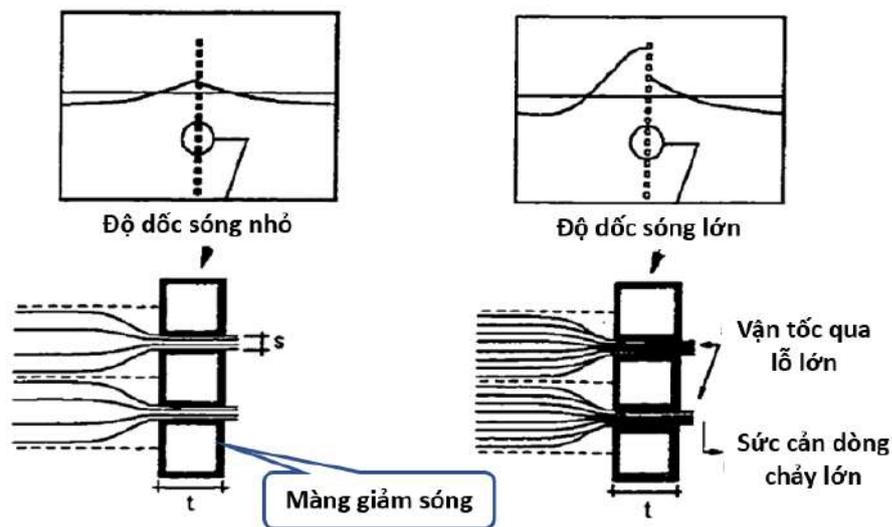
$$K_D = \sqrt{1 - (K_r^2 + K_t^2)} \quad (2-5)$$

Trong đó:

- $K_t = \frac{H_t}{H_i}$: Hệ số truyền sóng được xác định bằng tỷ lệ chiều cao sóng truyền phía sau ĐGS KCR (H_t) và chiều cao sóng tới trước ĐGS KCR (H_i);
- $K_r = \frac{H_r}{H_i}$: Hệ số sóng phản xạ được xác định bằng tỷ lệ chiều cao sóng phản xạ trước ĐGS KCR (H_r) và chiều cao sóng tới trước ĐGS KCR (H_i);
- K_D : được xác định dựa vào kết quả của công thức biến đổi từ công thức (2-5)

2.4.3. Dòng chảy qua KCR

Sóng, dòng chảy truyền qua KCR (các lỗ đục trên bề mặt kết cấu) hay độ rỗng bề mặt tương tự như ảnh hưởng của dòng chảy thấm của môi trường rỗng. Do đó năng lượng và chiều cao sóng sẽ giảm khi sóng truyền qua KCR là do sự chênh lệch áp suất trong và ngoài màng chắn tạo ra vận tốc nước lớn hơn khi đi qua lỗ rỗng (Bergmann và Oumeraci, (1998) [57]) (Hình 2-15), năng lượng sóng bị tiêu tán do dòng tách biệt qua lỗ trên bề mặt tỷ lệ với bình phương vận tốc dòng chảy qua lỗ mở (Kakuno và nnk, (1992) [99]) nên vận tốc lớn hơn dẫn đến sức cản dòng chảy và nhiễu loạn cao hơn tạo ra sức cản dòng chảy bên trong KCR Jacobsen và nnk (2015) [69]; Van Gent (1995) [109]; McDougal (1993) [90];



Hình 2-15. Dòng chảy qua lỗ rỗng trên màng giảm sóng (Bergmann và Oumeraci, 1998 [57])

Dòng chảy qua KCR do sóng truyền qua là ảnh hưởng của độ thấm trong môi trường rỗng, độ thấm này phụ thuộc sức cản dòng chảy của KCR, sức cản này được mô hình hóa theo định luật Darcy-Forchheimer, sự hỗn loạn dòng chảy bên trong một cấu trúc rỗng sẽ tạo ra lực cản. Công thức xác định hệ số ma sát tuyến tính a_p được đưa ra bởi Van Gent (1995) [109].

$$a_p = \alpha_p \frac{(1-n)^2}{n^3} \frac{\nu}{gD_{50}^2}$$

Trong đó:

- $\alpha_p = 1000$;
- v : hệ số nhớt;
- n : độ rỗng vật liệu.
- D_{50} là đường kính danh nghĩa trung bình của vật liệu.

Dựa trên nghiên cứu của Van Gent (1995) [109], McDougal (1993) [90] đưa ra khái niệm độ thấm qua môi trường rỗng ký hiệu P_f phụ thuộc vào hai tham số cơ bản là độ rỗng khối n và đường kính danh nghĩa của vật liệu D_{n50}

$$P_f = 1.643 \times 10^{-7} \left(\frac{D_{n50}}{10} \right)^{1.57} \frac{n^3}{(1-n)^2} \quad (2-6)$$

Từ kết quả nghiên cứu của McDougal (1993) [90], để đơn giản hóa cách xác định P_f , Thiều Quang Tuấn và nnk (2022) [104] đã đưa ra công thức tính độ thấm của môi trường rỗng P_f có dạng như công thức xác định hệ số sức cản tuyến tính a_p nếu coi đường kính của vật liệu là không đổi. P_f đặc trưng cho tính chất sức cản khi chất lỏng truyền qua KCR. Vì là dạng nghịch đảo của hệ số sức cản nên P_f đặc trưng cho khả năng chất lỏng truyền qua KCR.

$$P_f = \frac{(1-n)^2}{n^3} \quad (2-7)$$

Công thức này đã được áp dụng tính hệ số thấm P_f qua cấu kiện rỗng ReefBall trong nghiên cứu của Phạm Thị Thúy (2023) [23] và kết cấu OCT trong nghiên cứu của Mai Trọng Luân (2024) [15].

Áp dụng đối với KCR TC1, khi đó độ thấm hiệu dụng P_f phụ thuộc vào diện tích lỗ rỗng mặt trước và mặt sau với cách bố trí lỗ rỗng phân bố đều trên bề mặt cấu kiện, độ rỗng bề mặt n cấu kiện TC1 tính như sau:

$$n = P_1 + P_2 \quad (2-8)$$

Trong đó:

- P_1 ; P_2 là tỉ lệ độ rỗng mặt trước và mặt sau của cầu kiện TC1 được tính như sau:

$$P_1 = \frac{\text{Số lỗ}}{A_1} \cdot \frac{\pi D_1^2}{4} \cdot 100\%$$

$$P_2 = \frac{\text{Số lỗ}}{A_2} \cdot \frac{\pi D_2^2}{4} \cdot 100\%$$

- D_1, D_2 : Đường kính lỗ hình tròn bố trí trên bề mặt đê phía trước và phía sau

- A_1, A_2 : Diện tích bề mặt đê phía trước và phía sau

Từ yếu tố độ thấm $P_f = f(n)$ kết hợp với chiều rộng hiệu dụng B_{eff} là một đại lượng đặc trưng cho khả năng truyền chất lỏng qua cấu trúc đê rỗng hay (sức cản của dạng kết cấu này) khi sóng tác động. Để xem xét ảnh hưởng của độ rỗng (n), chiều rộng đê hiệu dụng B_{eff} đến quá trình truyền sóng và các đặc tính thủy lực của đê KCR NCS sử dụng mô hình vật lý để đánh giá.

2.4.4. Thiết lập phương trình tổng quát về hệ số truyền sóng cho đê KCR TC1

Dựa trên kết quả phân tích từ phân tổng quan về truyền sóng ở mục 1.2 Chương 1 hệ số truyền sóng qua đê bị chi phối bởi các nhóm tham số chính: nhóm tham số về địa hình phụ thuộc vào bãi biển, nền bùn, cát, nghiên cứu tập trung vào đánh giá ảnh hưởng của các tham số thủy hải văn và tham số hình dạng của kết cấu đê rỗng.

a) Tham số thủy hải văn:

+ Tham số sóng: Chiều cao sóng H_s hay chiều cao sóng tính theo phổ sóng H_{m0} ; Chiều dài sóng L (có thể là lựa chọn là chiều dài L_p tính theo chu kỳ đỉnh phổ T_p hoặc $L_{m-1,0}$ tính theo chu kỳ đặc trưng phổ $T_{m-1,0}$).

+ Độ sâu nước trước đê: d

b) Các đặc trưng hình học mặt cắt ngang đê KCR

+ Chiều cao của đê: h

+ Chiều cao lưu không tương đối của đỉnh đê ($R_c = h - d$) là khoảng cách từ đỉnh đê đến mực nước thí nghiệm, $R_c > 0$ khi đê nhô, $R_c \leq 0$ khi đê ngầm.

+ Độ dốc mái đê: $\tan \alpha$

+ Độ rỗng bề mặt mặt đê (n) hay độ thấm hiệu dụng trong môi trường rỗng P_f

+ Bề rộng hiệu dụng của đê: B_{eff}

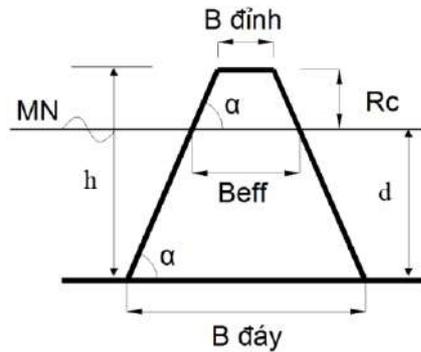
Ảnh hưởng của bề rộng đê đến hệ số truyền sóng là đáng kể theo nghiên cứu Van der Meer và nnk, (1991) [107]; d'Angremond và nnk, (1996) [50]; Oumeraci (2010) [93]; Marcel R.A. van Gent và nnk (2023) [89], trong trường hợp đê ngầm thì sử dụng chiều rộng đỉnh đê $B = B_{đỉnh}$ trong công thức tính toán truyền sóng. Nghiên cứu của Thiều Quang Tuấn và nnk (2022) [104], Kurdistan, S.M. và nnk (2022) [77] cho trường hợp đê nhô thì bề rộng đỉnh đê tính toán cho mặt cắt đê hình thang là “bề rộng hiệu dụng” B_{eff} và bề rộng hiệu dụng là giá trị cố định được tính toán với chiều rộng trung bình mặt cắt đê.

Tuy nhiên, trong nghiên cứu này với đê KCR TC1 là mặt cắt hình thang trong trường hợp đê nhô thì bề rộng hiệu dụng sẽ thay đổi ($B_{eff} > B_{đỉnh}$) do ảnh hưởng mực nước và độ dốc mái đê. Do đó, với dạng KCR mặt trước và mặt sau theo Oumeraci (2010) [93] tính toán là B_{eff} là giá trị thay đổi theo điều kiện làm việc ứng với mực nước khác nhau (hay chiều cao lưu không đỉnh đê R_c biến đổi) các trường hợp làm việc của đê được tính như sau:

$$\begin{aligned} & - \text{Trường hợp đê ngầm: } B_{eff} = B_{đỉnh} \\ & - \text{Trường hợp đê nhô: } B_{eff} = B_{đỉnh} + 2 \cdot R_c \cdot \cotg \alpha \end{aligned} \quad (2-9)$$

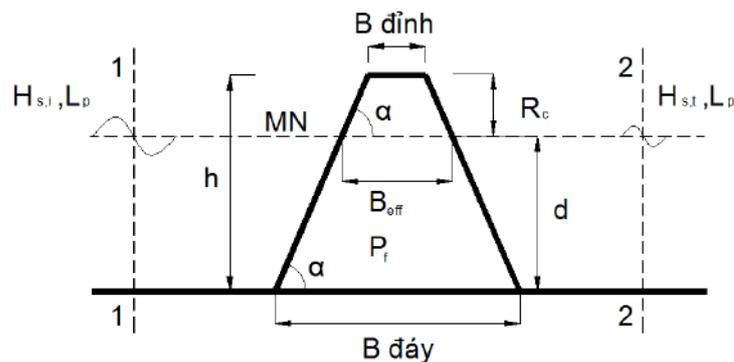
Trong đó: $B_{đỉnh}$ là bề rộng đỉnh; R_c là chiều cao lưu không đỉnh đê tính từ đỉnh đê đến mực nước giá trị này thay đổi ứng với các mực nước khác nhau, α góc nghiêng của mái dốc đê.

Đối với loại ĐGS KCR TC1 sử dụng trong nghiên cứu này có kết cấu đỉnh hẹp ($B/H_s < 1.5$) mặt cắt dạng hình thang.



Hình 2-16. Sơ họa thể hiện chiều rộng hiệu quả đỉnh đê B_{eff}

Bài toán về truyền sóng qua ĐGS sử dụng lý thuyết PI-BUCKINGHAM để thiết lập phương trình tổng quát thể hiện mối quan hệ giữa các tham số chi phối tổ hợp dưới dạng các đại lượng phi thứ nguyên và hệ số truyền sóng K_t . Đây là cơ sở khoa học cho việc thiết kế các trường hợp thí nghiệm trên mô hình vật lý nhằm phân tích các trường hợp, mối quan hệ giữa các đại lượng từ đó đưa ra các công thức thực nghiệm về hệ số truyền sóng K_t . Nghiên cứu này dựa trên phân tích thứ nguyên đã được nghiên cứu bởi d'Angremond và nkk, (1996) [50]; Marcel R.A. van Gent và nkk (2023) [89], Lương Phương Hậu và nkk (2003) [12], Thiệu Quang Tuấn [28], Nguyễn Anh Tiến (2021) [16], Phạm Thị Thúy (2023) [23]...



Hình 2-17. Sơ họa truyền sóng qua đê KCR và các tham số ảnh hưởng

Quá trình truyền sóng qua ĐGS KCR phụ thuộc vào các tham số độc lập như: chiều cao lưu không đỉnh đê (R_c), độ dốc mái KCR ($\tan\alpha$), bề rộng đỉnh đê hiệu dụng (B_{eff}), độ rỗng bề mặt (n) hay độ thấm hiệu dụng (P_f) và đặc tính sóng (H_s, L_D) xem Hình 2-17.

Theo lí thuyết PI- BUCKINGHAM các đại lượng như độ dốc mái KCR ($\tan\alpha$), độ rỗng bề mặt (n) không tham gia vào quá trình phân tích thứ nguyên. Ngoài ra trong trường hợp nghiên cứu thì $\tan\alpha$ và độ rỗng bề mặt (n) hay độ thấm hiệu dụng (P_f) là các tham số được giữ cố định theo cấu tạo của thân đê rỗng nên các biến này được xem là biến chi phối độc lập trong phân tích thứ nguyên và sẽ được bổ sung sau hoặc tích hợp nếu cần thiết.

Phương trình tổng quát xác định các đại lượng phi thứ nguyên cho ĐGS như sau:

$$\Pi = H_{m_o,i}^{x_1} \cdot H_{m_o,t}^{x_2} \cdot R_c^{x_3} \cdot B_{eff}^{x_4} \cdot L_{m-1,0}^{x_5} \quad (2-10)$$

$$\text{Hoặc } \Pi = H_{m_o,i}^{x_1} \cdot H_{m_o,t}^{x_2} \cdot R_c^{x_3} \cdot B_{eff}^{x_4} \cdot d^{x_5} \quad (2-11)$$

Với Π là một đại lượng phi thứ nguyên, x_1, x_2, x_3, x_4, x_5 là các số mũ tương ứng với các biến độc lập được xem xét.

Ma trận thứ nguyên được xác định Bảng 2-2:

Bảng 2-2: Ma trận thứ nguyên

Thứ nguyên	$H_{m_o,i}$	$H_{m_o,t}$	R_c	B_{eff}	L_{m-1} hoặc d	
[L]	1	1	1	1	1	1
[T]	0	0	0	0	0	0
[M]	0	0	0	0	0	0

Ma trận thứ nguyên cho thấy 1 thứ nguyên cơ bản và 4 đại lượng phi thứ nguyên độc lập ($\Pi = 5-1=4$).

Hàm Π tổng quát có dạng:

$$f(\Pi_1, \Pi_2, \Pi_3, \Pi_4) = 0 \quad (2-12)$$

phương trình xác định số mũ:

$$x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_5 = 0 \quad (2-13)$$

Đây là bài toán có 5 ẩn và chỉ có 1 phương trình nên có nhiều tổ hợp các lựa chọn để giải quyết và việc lựa chọn số Π dựa trên bản chất vật lý của số hạng Π . Dựa trên phương trình (2-9, 2-10) chọn trước 4 giá trị số mũ x để xác định số mũ còn lại cho mỗi hàm Π .

Bảng 2-3. Phân tích thứ nguyên cho các tham số

Hàm	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	Hàm Π
Π_1	-1	1	0	0	0	$H_{m_o,i}^{-1} \cdot H_{m_o,t}^1 \cdot R_c^0 \cdot B_{eff}^0 \cdot L_{m-1,0}^0$
Π_2	-1	0	1	0	0	$H_{m_o,i}^{-1} \cdot H_{m_o,t}^0 \cdot R_c^1 \cdot B_{eff}^0 \cdot L_{m-1,0}^0$
Π_3	0	0	0	1	-1	$H_{m_o,i}^0 \cdot H_{m_o,t}^0 \cdot R_c^0 \cdot B_{eff}^1 \cdot L_{m-1,0}^{-1}$ hoặc $H_{m_o,i}^0 \cdot H_{m_o,t}^0 \cdot R_c^0 \cdot B_{eff}^1 \cdot d^{-1}$
Π_4	-1	0	0	0	1	$H_{m_o,i}^{-1} \cdot H_{m_o,t}^0 \cdot R_c^0 \cdot B_{eff}^0 \cdot L_{m-1,0}^1$

Từ bảng phân tích thứ nguyên các tham số, các đại lượng phi thứ nguyên xác định như sau:

Với Π_1 , chọn $x_1 = -1$; $x_3 + x_4 + x_5 = 0 \rightarrow x_2 = 1$

$$\Pi_1 = H_{m_o,i}^{-1} \cdot H_{m_o,t}^1 \cdot R_c^0 \cdot B_{eff}^0 \cdot L_{m-1,0}^0 = \frac{H_{m_o,t}}{H_{m_o,i}} = K_t: \text{Hệ số truyền sóng}$$

Với Π_2 , chọn $x_1 = -1$; $x_2 + x_4 + x_5 = 0 \rightarrow x_3 = 1$

$$\Pi_2 = H_{m_o,i}^{-1} \cdot H_{m_o,t}^0 \cdot R_c^1 \cdot B_{eff}^0 \cdot L_{m-1,0}^0 = \frac{R_c}{H_{m_o,i}}: \text{chiều cao lưu không tương đối}$$

đỉnh đê.

Với Π_3 , chọn $x_1 + x_2 + x_3 = 0$, $x_4 = 1 \rightarrow x_5 = -1$

$$\Pi_3 = H_{m_o,i}^0 \cdot H_{m_o,t}^0 \cdot R_c^0 \cdot B_{eff}^1 \cdot L_{m-1,0}^{-1} = \frac{B_{eff}}{L_{m-1,0}}$$

$$\text{hoặc } \Pi_3 = H_{m_o,i}^0 \cdot H_{m_o,t}^0 \cdot R_c^0 \cdot B_{eff}^1 \cdot d^{-1} = \frac{B_{eff}}{d}; \text{ đặc trưng chiều rộng tương}$$

đối đỉnh đê

Với Π_4 , chọn $x_1 = 1$, $x_2 + x_3 + x_4 = 0 \rightarrow x_5 = -1$

$$\Pi_4 = H_{m_o,i}^{-1} \cdot H_{m_o,t}^0 \cdot R_c^0 \cdot B_{eff}^0 \cdot L_{m-1,0}^1 = \frac{L_{m-1,0}}{H_{m_o,i}} \sim S_{om}^{-1}; \text{ đặc trưng cho độ dốc sóng}$$

Như vậy hàm PI-Buckingham tổng quát cho hệ số truyền sóng như sau:

$$K_t = \frac{H_{m0,i}}{H_{m0,t}} = f\left(\frac{R_c}{H_{m0,i}}, \frac{B_{eff}}{L_{m-1,0}}, S_{0m}\right) \quad (2-14)$$

Hoặc
$$K_t = \frac{H_{m0,i}}{H_{m0,t}} = f\left(\frac{R_c}{H_{m0,i}}, \frac{B_{eff}}{d}, S_{0m}\right) \quad (2-15)$$

Từ kết quả phân tích thứ nguyên cho thấy đại lượng cần xác định là hệ số truyền sóng sẽ phụ thuộc vào: (i) Độ ngập sâu tương đối ($R_c/H_{m0,i}$), R_c là chiều cao lưu không đỉnh đê; (ii) Bề rộng hiệu dụng ($B_{eff}/L_{m-1,0}$ hoặc B_{eff}/d); (iii) Độ dốc sóng tại vị trí công trình (S_{0m}). Tham số độ rỗng bề mặt của kết cấu (n) hay độ thấm hiệu dụng trong môi trường rỗng (P_f) là đại lượng không thứ nguyên sẽ được tích hợp cùng với bề rộng hiệu dụng B_{eff} đặc trưng cho tham số hình dạng và độ rỗng của kết cấu TC1 để xây dựng công thức thực nghiệm.

Từ đó qua phân tích nhận được phương trình dạng tổng quát hệ số truyền sóng có các dạng là:

$$K_t = \frac{H_{m0,i}}{H_{m0,t}} = f\left(\frac{R_c}{H_{m0,i}}, P_f \frac{B_{eff}}{L_{m-1,0}}, S_{0m}\right) \quad (2-16)$$

$$K_t = \frac{H_{m0,i}}{H_{m0,t}} = f\left(\frac{R_c}{H_{m0,i}}, P_f \frac{B_{eff}}{d}, S_{0m}\right) \quad (2-17)$$

Các biểu thức (2-16), (2-17) thể hiện mối quan hệ và ảnh hưởng các tham số đến hệ số truyền sóng qua đê KCR sẽ được phân tích chi tiết ở mục 3.2, 3.3 Chương 3 dựa trên kết quả thí nghiệm mô hình vật lý.

2.5. Thiết lập thí nghiệm mô hình vật lý trên máng sóng

Để phục vụ cho nội dung nghiên cứu trong luận án, nghiên cứu sinh sử dụng mô hình vật lý, số liệu từ thí nghiệm và tham khảo các đề tài Khoa học Công nghệ cấp nhà nước về xói lở bờ biển ĐBSCL [9] do NCS làm chủ nhiệm và [20] là thư ký đề tài.

2.5.1. Cơ sở lý thuyết về tương tự

Trong tự nhiên chất lỏng chuyển động chịu sự tác động của nhiều loại lực khác nhau như trọng lực, lực ma sát, sức căng mặt ngoài,... Với mô hình vật lý được thiết lập dựa trên lý thuyết tương tự. Khi các điều kiện tương tự lý thuyết được thỏa mãn thì sẽ tương tự về mô hình, nguyên hình và khi đó kết quả mô phỏng từ mô hình vật lý có thể sử dụng để tính toán các thông số tương tự từ nguyên hình. Theo lý thuyết mô hình vật lý, để mô hình tương tự với nguyên hình thì cần phải đầy đủ 3 đặc trưng tương tự: hình học, động học và động lực học (Lương Phương Hậu và nnk (2003) [12], Thiều Quang Tuấn [28], Nguyễn Anh Tiến (2021) [16], Phạm Thị Thúy (2023) [23]).

- *Tương tự hình học*: mô hình (kí hiệu là M) và nguyên hình (kí hiệu là N) là tương tự về hình dạng hình học thì bất kỳ độ dài tuyến tính tương ứng nào giữa nguyên hình và mô hình phải có cùng tỷ lệ.

$$\frac{l_{N1}}{l_{M1}} = \frac{l_{N2}}{l_{M2}} = \dots = \frac{l_{Nn}}{l_{Mn}} = \lambda_l \quad (2-18)$$

Trong đó: $l_{N1}, l_{N2}, \dots, l_{Nn}$ là các độ dài tuyến tính của nguyên hình

$l_{M1}, l_{M2}, \dots, l_{Mn}$ là các độ dài tuyến tính của mô hình

λ_l là hệ số tỷ lệ độ dài.

- *Tương tự động học*: của mô hình đồng dạng hình học là tỉ số của các vec tơ chuyển động của tất cả các phần tử là như nhau tại mọi thời điểm.

$$\frac{V_{N1}}{V_{M1}} = \frac{V_{N2}}{V_{M2}} = \dots = \frac{V_{Nn}}{V_{Mn}} = \lambda_v; \quad \frac{a_{N1}}{a_{M1}} = \frac{a_{N2}}{a_{M2}} = \dots = \frac{a_{Nn}}{a_{Mn}} = \lambda_a \quad (2-19)$$

Trong đó: V và a lần lượt là vận tốc và gia tốc chuyển động của phần tử;

λ_v, λ_a là hệ số tỷ lệ của vận tốc và gia tốc.

- *Tương tự về động lực học*: của mô hình đồng dạng hình học và động học là tỉ số của các vec tơ lực của tất cả các phần tử là như nhau tại mọi thời điểm:

$$\frac{F_{N1}}{F_{M1}} = \frac{F_{N2}}{F_{M2}} = \dots = \frac{F_{Nn}}{F_{Mn}} = \lambda_F \quad (2-20)$$

Trong đó: F là lực tác dụng; λ_F là hệ số tỷ lệ về lực.

Từ các điều kiện tương tự trên có thể thấy, các đại lượng của mô hình tìm được bằng cách lấy các đại lượng tương ứng của nguyên hình chia cho tỷ lệ mô hình. Các đại lượng của nguyên hình tính được bằng cách lấy các đại lượng của mô hình vật lý nhân với tỷ lệ mô hình thiết lập. Các đại lượng khác nhau có tỷ lệ tương tự khác nhau, nhưng tỷ lệ tương tự của một đại lượng (ví dụ như: chiều dài, vận tốc, ...) trong mô hình là một hằng số. Các tỷ lệ tương tự là đại lượng không thứ nguyên.

Áp dụng phương pháp mô hình vật lý để mô phỏng tương tác giữa sóng với công trình cần thỏa mãn điều kiện tương tự thủy lực thì giữa nguyên hình và mô hình phải đạt được các điều kiện sau:

- Điều kiện thứ nhất là mô hình chính thái, tỉ lệ mô hình $\lambda_l \leq 60$; hằng số tỉ lệ giữa chiều dài λ_l và chiều cao λ_h phải như nhau:

$$\frac{\lambda_l}{\lambda_h} = 1$$

- Mô hình phải tuân theo luật Froude – thể hiện ảnh hưởng tương đối giữa lực quán tính và trọng lực cho dòng chảy có mặt thoáng. Đây là tiêu chuẩn quan trọng của mô hình thủy lực và dòng chảy chất lỏng có mặt thoáng [28].

$$Fr = \frac{V}{\sqrt{gL}} \quad (2-21)$$

Do đó:

$$\lambda_{Fr} = \frac{\lambda_V}{\sqrt{\lambda_g \cdot \lambda_L}} = 1 \quad (2-22)$$

Với bài toán truyền sóng áp dụng luật Froude thì tất cả các đại lượng trong phương trình chuyển động đều thỏa mãn điều kiện tương tự, ứng suất rối (Reynolds), sóng khúc xạ, nhiễu xạ cũng đều thỏa mãn. Tuy nhiên, cần phải giảm ảnh hưởng của lực nhớt, trong đó ảnh hưởng của lực nhớt chỉ có thể được mô phỏng trong mô hình khi cả hai luật Froude và Reynolds đồng thời được thỏa mãn, do đó trong mô hình thí nghiệm cần giảm thiểu ảnh hưởng của lực nhớt bằng cách tăng số Reynolds đủ lớn ($>10^4$). Theo kiến nghị của O.Kirchmer độ sâu nước trong mô hình khi thí nghiệm lớn hơn 5cm và chiều cao sóng lớn hơn 2cm để giảm sự suy giảm sóng do lực nhớt gây ra [12].

2.5.2. Lựa chọn thông số đầu vào thí nghiệm



Hình 2-18. Sơ họa vị trí S1, S2, S3 trích xuất thông số sóng nước sâu

Điều kiện sóng dùng làm thí nghiệm được phân tích từ 3 điểm sóng nước sâu dọc ngoài phía biển ĐBSCL tại các vị trí S1, S2, S3 (Hình 2-18) trong vòng 34 năm từ năm 1990 ÷ 2024 từ nguồn số liệu tái phân tích sóng toàn cầu ERA5 [63]. Kết quả phân tích thống kê trong Bảng 2-4 và Bảng 2-5 cho thấy sóng khu vực ngoài khơi với chiều cao $H_s = 0.5 \div 1.9$ m xuất hiện với tần suất từ 96.3% ÷ 99.7% và chu kỳ sóng $T_p = 3 \div 7$ s xuất hiện với tần suất 86.2% ÷ 99.04%.

Bảng 2-4. Thống kê chiều cao sóng và tần suất xuất hiện tại vị trí S1, S2, S3

STT	Hs	Số sóng	Tần suất xuất hiện (%)	Số sóng	Tần suất xuất hiện (%)	Số sóng	Tần suất xuất hiện (%)
		S1		S2		S3	
1	0.5-0.7	46697	20.9	56756	27.1	62087	43.3
2	0.7-0.9	41502	18.6	48462	23.2	38942	27.2
3	0.9-1.1	38108	17.1	37271	17.8	22291	15.5
4	1.1-1.3	29900	13.4	26529	12.7	11318	7.9
5	1.3-1.5	24415	10.9	17863	8.5	5125	3.6
6	1.5-1.7	18164	8.1	12092	5.8	2374	1.7
7	1.7-1.9	14207	6.4	6933	3.3	864	0.6
8	>1.9	10434	4.7	3248	1.6	369	0.3
	Tổng	223427	100	209154	100	143370	100

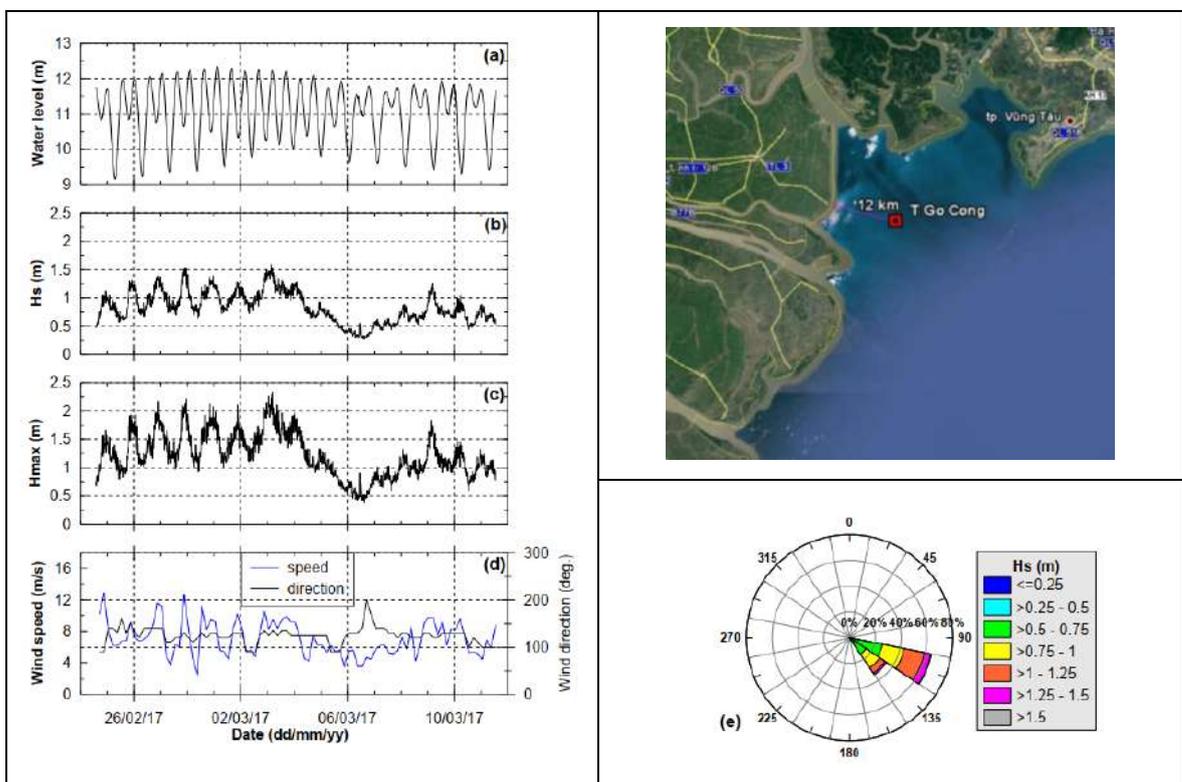
Bảng 2-5. Thống kê chu kỳ sóng và tần suất xuất hiện tại vị trí S1, S2, S3

STT	Tp (s)	Số chu kỳ	Tần suất xuất hiện (%)	Số chu kỳ	Tần suất xuất hiện (%)	Số chu kỳ	Tần suất xuất hiện (%)
		S1		S2		S3	
1	2-3	2469	0.8	7986	2.7	38656	13.0
2	3-4	35016	12.0	64638	21.9	114068	38.3
3	4-5	86001	29.4	118884	40.2	104923	35.2
4	5-6	78439	26.8	74247	25.1	35509	11.9
5	6-7	50389	17.2	21035	7.1	4728	1.6
6	7-8	25254	8.6	5816	2.0	120	0.0
7	8-9	9966	3.4	2045	0.7	11	0.0
8	9-10	5159	1.8	952	0.3	0	0.0
	Tổng	292693	100	295603	100	298015	100

Mặt khác, điều kiện sóng cũng được xác định tại các vị trí dọc theo bờ biển theo số liệu thực đo tại các khu vực ven biển ở ĐBSCL (được trình bày trong Hình 2-19 với điểm điển hình Gò Công), Bảng 2-6, Bảng 2-7, Bảng 2-8. Theo kết quả nghiên cứu trong từ đề tài sạt lở bờ biển ĐBSCL [20], [31], dự án AFD [95] điều kiện sóng và mực nước xác định tại các vị trí gần bờ dọc theo bờ biển phía Đông từ Tiền Giang tới mũi Cà Mau kết quả đo sóng trong thời kỳ gió mùa Đông Bắc tại vị trí Gò Công – Tiền Giang, Gành Hào- Bạc Liêu và Đá Bạc- Cà Mau. Kết quả cho thấy giá trị chiều cao sóng ý nghĩa (H_s) tại tất cả các vị trí cách bờ từ 0.5 ÷ 5.0km phần lớn dao động trong khoảng 0.5÷1.5m xuất hiện trong mùa gió Đông Bắc ở biển Đông; Kết quả tại

các vị trí gần bờ dọc theo bờ biển phía Tây từ mũi Cà Mau đến Kiên Giang cho thấy giá trị chiều cao sóng ý nghĩa (H_s) tại tất cả các vị trí điển hình phần lớn đều dao động từ $0.25 \div 0.75$ (m).

Kết hợp các số liệu phân tích thống kê và đo đạc thực tế từ các đề tài/dự án nghiên cứu thì khoảng giá trị chiều cao sóng $H_s = 0.7 \div 1.9\text{m}$ và chu kỳ sóng $T_p = 3 \div 7\text{s}$ là những thông số phù hợp để lựa chọn biên cho thí nghiệm mô hình vật lý phục vụ nghiên cứu ĐGS ở ĐBSCL.



Hình 2-19. Biểu đồ theo thời gian của các tham số thủy động lực học đo được tại trạm AWAC Gò Công từ ngày 24/02-12/03/2017

Bảng 2-6. Số liệu thống kê các tham số sóng đo được tại Gò Công (từ ngày 24/02-11/03/2017) Biển Đông

Giá trị	H _{mo} (m)	H _s (m)	H _{max} (m)	H _{mean} (m)	T _{mo} (s)	T _p (s)
Max	1.60	1.59	2.32	1.05	5.85	7.00
Min	0.30	0.27	0.38	0.18	3.91	4.58
Mean	0.89	0.83	1.22	0.56	4.47	5.73

Bảng 2-7. Số liệu thống kê các tham số sóng đo được tại Gành Hào (từ ngày 12/02-16/02/2020 Biển Đông [20])

Giá trị	H _{mo} (m)	H _s (m)	H _{max} (m)	H _{mean} (m)	T _{mo} (s)	T _p (s)
Max	1.60	1.49	2.40	0.91	4.2	7.0
Min	0.26	0.22	0.34	0.14	2.4	3.0
Mean	0.69	0.62	0.99	0.39	3.2	5.4

Bảng 2-8. Thống kê các đặc trưng sóng tại trạm ngoài khơi (từ ngày 6-9/7/2019 tại khu vực Đá Bạc, Biển Tây Cà Mau [20])

Thông số	H _s (m)	H _{max} (m)	H _{mean} (m)	Chu kỳ (s)
Lớn nhất	1.4/1.05	1.9/1.77	0.8/0.62	4.7/3.2
Nhỏ nhất	0.4/0.37	0.5/0.52	0.2/0.21	2.5/2.1
Trung bình	0.6/0.6	0.9/0.9	0.4/0.3	3.5/2.5

Phổ sóng lựa chọn đại diện cho phổ sóng khu vực ĐBSCL dựa trên số liệu thực đo trong các đề tài, dự án và các nghiên cứu trước đây: [2] ; [8] ; [9] ; [20]; [30] ... và phổ sóng đặc trưng JONSWAP dùng cho thí nghiệm là phù hợp.

Khu vực biển Đông chịu chi phối bởi chế độ bán nhật triều không đều, biên độ triều lớn khoảng 2.5 ÷ 3.5 m. Chế độ triều khu vực biển Tây chịu chi phối bởi chế độ nhật triều không đều là chính, với biên độ triều thấp hơn nhiều so với triều biển Đông, chỉ khoảng 0.7 ÷ 1.0 m. Theo kết quả phân tích số liệu quan trắc mực nước cực trị nhiều năm (từ năm 1983÷2022) tại 8 vị trí (Vàm Kênh, Bến Trai, Bình Đại, An Thuận, Mỹ Thanh, Gành Hào, Sông Đốc, Rạch Giá) ven biển từ Tiền Giang đến Kiên Giang cho thấy với tần suất P = 3.33% thì mực nước triều cực trị tại các trạm dọc biển Đông ĐBSCL dao động từ +1.78m ÷ +2.46m, biển Tây từ +1.1m ÷ +1.23m và độ sâu bãi biển vị trí đặt công trình dao động từ -0.5m đến -1.0m, do đó độ sâu mực nước lựa chọn thí nghiệm thay đổi từ d = 1.4 ÷ 3.5m.

2.5.3. Năng lực máng sóng và điều kiện thí nghiệm

Thí nghiệm được thực hiện trong máng sóng của phòng thí nghiệm thủy động lực sóng biển - Viện Khoa học Thủy lợi Miền Nam (VKHTLMN) (Hình 2-20). Các

cơ sở thiết bị máy móc được cung cấp bởi HR Wallingford. Chiều dài máng sóng là 35m, chiều rộng 1.2 m và cao 1.5 m. Hệ thống máy tạo sóng được trang bị khả năng hấp thụ sóng phản xạ (Active Reflection Compensation), có thể tạo ra sóng ngẫu nhiên hoặc sóng đều với chiều cao lên đến 0.40 m và chu kỳ đỉnh 3.0 s. Sóng được đo bởi kim đo sóng với tần số lên tới 100Hz và độ chính xác $\pm 0,1\text{mm}$.

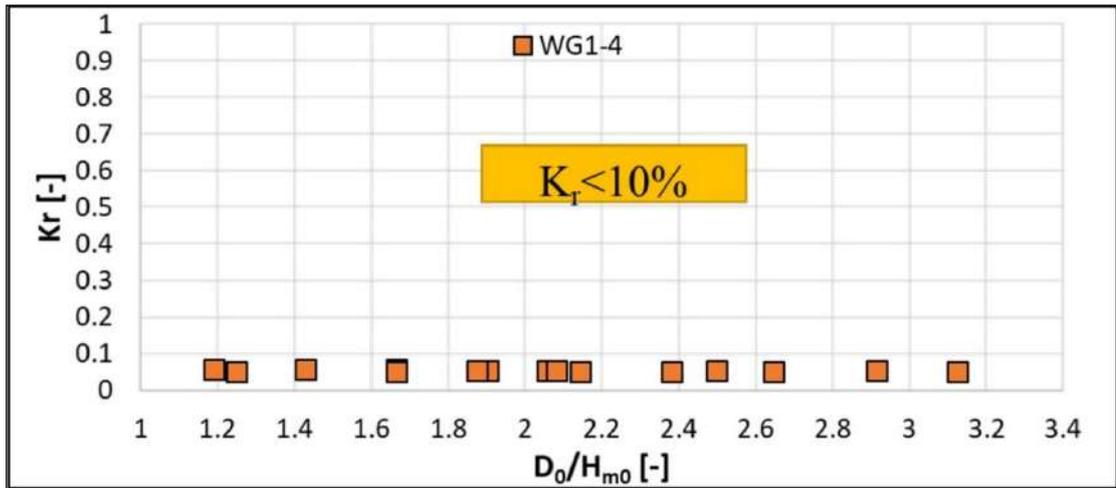
Trong thí nghiệm này, mái hấp thụ sóng được bố trí cuối máng sóng, sử dụng vật liệu mat nhôm được đặt trong lồng sắt với độ dốc mái 1/5 (Hình 2-21). Kết quả kiểm định khả năng hấp thụ sóng và làm việc của mái hấp thụ được thể hiện trong Hình 2-22, ứng với tất cả các trường hợp thí nghiệm (thay đổi mực nước, tham số sóng) thì kết quả kiểm định đều cho hệ số sóng phản xạ từ mái hấp thụ sóng nhỏ hơn 10% (xem Hình 2-22).



Hình 2-20. Máng sóng thí nghiệm của VKHTLMN



Hình 2-21. Mái hấp thụ sóng trong máng sóng



Hình 2-22. Hệ số sóng phản xạ kiểm định trên mái hấp thụ sóng

Tỷ lệ mô hình được lựa chọn căn cứ vào các điều kiện biên thủy động lực đầu vào ở ĐBSCL (địa hình, sóng, độ sâu nước) và năng lực của bể sóng (chiều cao sóng có thể khởi tạo và kích thước của máng sóng (rộng, dài và độ sâu). Ngoài ra, mô hình được làm chính thái và tuân theo luật Froude để đảm bảo các điều kiện tương tự về thủy động lực. Với chức năng chính là giảm sóng, gây bồi trong điều kiện thủy động lực trung bình, do vậy điều kiện sóng theo chế độ khí hậu được lựa chọn làm cơ sở cho xây dựng mô hình thí nghiệm. Đối với máng sóng, chiều cao sóng tối thiểu phải đảm bảo lớn hơn hoặc bằng 5cm và tối đa là 40 cm, chu kỳ sóng tối thiểu lớn hơn hoặc bằng 1s và tối đa là 3s, độ sâu nước thí nghiệm lớn hơn 20cm và nhỏ hơn 60cm để đảm bảo tính chính xác cao từ số liệu đo đạc và không vượt quá giới hạn năng lực máng sóng.

2.5.4. Lựa chọn tỷ lệ mô hình

Tỷ lệ của mô hình vật lý được lựa chọn dựa trên năng lực máng sóng và thông số điều kiện biên được trình bày trong mục 2.3.2 và Bảng 2-9. Về nguyên tắc, mô hình có tỷ lệ càng lớn thì độ tin cậy trong kết quả thí nghiệm càng cao. Kết quả từ điều kiện sóng ở khu vực ĐBSCL được tóm tắt như trình bày ở cột (1) của Bảng 2-9, cùng với năng lực của phòng thí nghiệm (cột (2)) có thể xác định được tỷ lệ mô hình tương ứng ở cột (3). Trong cột (3), tỷ lệ λ_l ở mỗi hàng là giá trị giới hạn mà nó đáp ứng được điều kiện biên đầu vào và thỏa mãn điều kiện năng lực của máng sóng. Từ

kết quả tính toán có thể chọn được một tỷ lệ λ_l thỏa mãn đồng thời các giá trị giới hạn ở các hàng trong cột (3), ở Bảng 2-9 thì giá trị chọn được là $\lambda_l = 7$.

Bảng 2-9. Thông số tỉ lệ mô hình

Yếu tố	Điều kiện biên đầu vào (1)	Năng lực máng sóng (2)	(1)/(2)	Tỷ lệ dài λ_l (3)
Độ sâu nước max tại CT (m)	3.5	≤ 0.6	3.5/0.6	≥ 5.8
Độ sâu nước min (m)	1.4	≥ 0.2	1.4/0.2	≤ 7
Chiều cao sóng max (m)	1.5	≤ 0.35	1.5/0.35	≥ 4.3
Chu kỳ sóng max (s)	7.0	≤ 3.0	7/3	≥ 2.33
Chiều cao công trình max (m)	3.0	≤ 0.6	3.0/0.6	≥ 5.0

Từ kết quả ở Bảng 2-9 tỷ lệ mô hình lựa chọn cho nghiên cứu này là $N_L=7$ (tỷ lệ chiều dài dài), $N_t = \sqrt{N_L} = 2.65$ (tỷ lệ thời gian), $N_v = \sqrt{N_L} = 2.65$ (tỷ lệ vận tốc).

Việc lựa chọn tỷ lệ, kích thước mô hình phải đảm bảo tương tự về số Froude: $F=V/(gd)^{0.5}$ (V là vận tốc sóng; d là đường kính lỗ rỗng).

2.5.5. Kiểm tra sự hợp lý của mô hình thí nghiệm và tỷ lệ mô hình

- Đặc tính sóng tự nhiên tại khu vực nghiên cứu thuộc loại sóng ngắn (sóng trọng lực đang phát triển do gió). Do đó, với mô hình cần được làm chính thái (tức là $\lambda_l = \lambda_h$), tỷ lệ mô hình $\lambda_l = \lambda_h = 7 < 60$ là hoàn toàn phù hợp (Lương Phương Hậu, 2016) [13].

- Dòng chảy mô phỏng trong máng sóng là dòng chảy rối, với số Re xác định theo điều kiện thí nghiệm giới hạn nhỏ nhất.

$$Re = \frac{vd}{\nu} \quad (2-23)$$

Trong đó: ν là vận tốc sóng chảy qua lỗ rỗng, d là đường kính lỗ rỗng, ν là hệ số nhớt động học của nước được xác định ở nhiệt độ 20°C (0.0101 cm²/s).

Kết quả tính toán cho thấy $Re \geq 6.3 \times 10^4 > [Re] = 10^4$

Với các đường kính lỗ rỗng nhỏ nhất được thiết lập trong thí nghiệm là 4.1cm thì hoàn toàn đảm bảo dòng chảy qua lỗ rỗng là dòng chảy rối (xem phụ lục PL3.3).

- Chiều cao sóng thí nghiệm $H_s \geq 0.07m$, độ sâu nước thí nghiệm $d \geq 0.20m$ phù hợp khuyến nghị của O.Kirchmer để chuyển động sóng không bị ảnh hưởng của lực căng bề mặt.

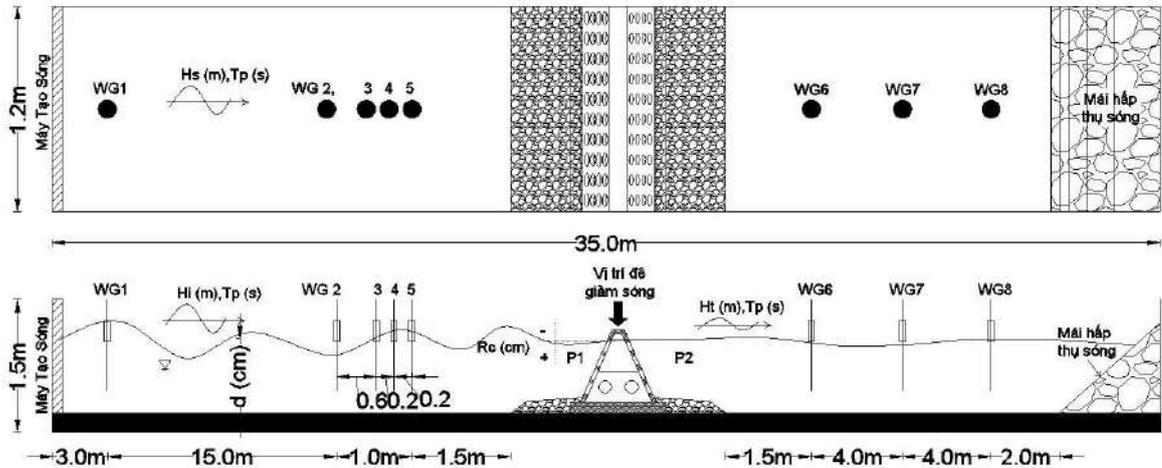
- Máng sóng thí nghiệm (HR Wallingford - Anh) có thể tạo sóng đều hoặc sóng ngẫu nhiên có chiều cao tối đa $H_s = 0.40m$ và chu kỳ dài nhất $T_p = 3.0s$ với các phổ tần chuẩn như JONSWAP, Peirson - Moskowitz,... Như vậy, máng sóng hoàn toàn đáp ứng được các điều kiện cần thí nghiệm và đặc trưng sóng khu vực nghiên cứu.

Kết luận: Tỷ lệ tương tự mô hình lựa chọn để nghiên cứu là $\lambda_l = \lambda_h = 7$ là hợp lý, đảm bảo độ chính xác trong thí nghiệm.

2.5.6. Sơ đồ bố trí thí nghiệm

Để tạo phổ sóng nước nông đặc trưng cho bờ biển ĐBSCL, máng sóng được thiết kế với hai độ sâu khác nhau và có mái chuyển tiếp (1/25). Ở khu vực trước khi có mái chuyển tiếp, độ sâu của nước là lớn đảm bảo sóng tạo ra ở khu vực này là sóng nước sâu. Sau đó, sóng bị vỡ ở phần mái chuyển tiếp (1/25) và tạo ra sóng nước nông trước khi tương tác với công trình.

Thông số sóng trước và sau công trình được đo bằng 8 đầu kim đo. Ngoài ra trước công trình được bố trí đầu đo vận tốc E40 nhằm đo vận tốc dòng chảy trước chân công trình cũng như kết hợp với số liệu kim đo sóng để phân tách sóng tới và sóng phản xạ. Dải tần số của sóng tạo ra được cắt và lấy trong khoảng 0.01Hz đến 1.5Hz với độ chia điểm tính toán là 0.01 giây/giá trị. Vị trí giữa các kim đo sóng và đầu đo vận tốc E40 được bố trí như trong sơ đồ Hình 2-16. Kim đo sóng được bố trí trước và sau công trình bao gồm 5 kim đo trước công trình (WG1, 2, 3, 4, 5) dùng để xác định sóng đến phía trước công trình và 2 kim đo (WG6, 7) sau công trình được dùng để xác định chiều cao sóng sau khi qua công trình. Trong đó 4 kim (WG1, 2, 3, 4) được bố trí để tách sóng phản xạ và sóng tới trước công trình dựa trên phương pháp Bình Phương tối thiểu (Mansard và Funke (1980) [88]).



Hình 2-26. Mặt cắt dọc và mặt bằng bố trí thí nghiệm trong máng sóng

2.5.8. Các kịch bản thí nghiệm

Để giới hạn số lượng kịch bản thí nghiệm dựa trên các nghiên cứu trước đây về tỉ lệ lỗ rỗng bề mặt của đê KCR có hệ số truyền sóng và hiệu quả giảm sóng tốt cho dạng tương tự như hình Thang, hình Bán nguyệt (Dhinakaran và nnk, (2008; 2009, 2011); Oumeraci (2010); Hee Min Teh và nnk (2011)) thay đổi từ 12÷25% do đó NCS lựa chọn độ rỗng TC1 mặt phía biển thay đổi $P_1=11.8\div36.6\%$ và mặt phía bờ thay đổi $P_2=11.8\div22.5\%$ để thí nghiệm.

Bảng 2-11. Các kịch bản thí nghiệm độ rỗng khác nhau phía bờ và phía biển.

Kịch bản	Phía biển		Phía bờ	
	P_1 (%)	d_1 (m)	P_2 (%)	d_2 (m)
KH0	Không có đê chắn sóng			
KH1	11.8	0.041	11.8	0.041
KH2	22.5	0.057	11.8	0.041
KH3	36.6	0.073	11.8	0.041
KH4	36.6	0.073	22.5	0.057
KH5	22.5	0.057	22.5	0.057
KH6	20.7	0.050	15.2	0.041

- Vòng 1 với tổng số kịch bản được thực hiện là 36 để đánh giá ảnh hưởng của độ rỗng kết cấu đến hệ số truyền sóng. Trường hợp KH0 tương ứng với kịch bản không

có đê chắn sóng, trường hợp KH1 đến KH6 thay đổi tỉ lệ độ rỗng mặt trước P1 và mặt sau P2 (xem Bảng 2-11). Tất cả các kịch bản đều được thí nghiệm với hai độ sâu mực nước: $h = 0.33$ m và 0.47 m (chiều cao lưu không $R_c = 0.14$ m và 0 m). Đối với $h = 0.33$ m, hai thông số sóng $H_{m0} = 0.1$ m và $T_p = 1.5$ và 2.5 s được tạo ra. Đối với $h = 0.47$ m, hai thông số sóng với $H_{m0} = 0.14$ m và $T_p = 1.5$ và 2.5 s xem Bảng 2-12.

Bảng 2-12. Các điều kiện biên về sóng và mực nước thí nghiệm.

Rc (m)	H_{m0} (m)	T_p (s)
0.14	0.1	1.5
0.14	0.1	2.5
0.0	0.14	1.5
0.0	0.14	2.5

Độ rỗng của bề mặt đê chắn sóng được điều chỉnh bằng cách thay đổi đường kính của các lỗ tròn và số hàng lỗ. Độ rỗng của mặt phía biển (P_1 , mặt trước) được thay đổi từ 11.8%, 20.7%, 22.5% và 36.6%. Độ rỗng của phía bờ (P_2 , mặt sau) được thay đổi từ 11.8%, 15.2% và 22.5%. Thí nghiệm bao gồm 2 mực nước (cao và trung bình) đây là mực nước đê thường xuyên làm việc. Có 4 thông số sóng thay đổi chiều cao và chu kỳ sóng tương ứng với mực nước cao và 2 thông số sóng tương ứng với mực nước trung bình.

- Vòng 2 là kịch bản thí nghiệm truyền sóng cho kết cấu TC1 với độ rỗng hợp lý lựa chọn từ vòng 1, được đặt trên thềm có mái dốc tạo ra phổ sóng nước nông cho phù hợp với phổ sóng ở ĐBSCL, bao gồm 70 kịch bản. Trong đó, thay đổi mực nước (cho cả trường hợp đê nhô và đê ngầm) hay thay độ sâu nước trước chân công trình (d) hoặc là thay đổi chiều cao lưu không đỉnh đê (R_c) đều thể hiện cùng ý nghĩa vật lý với 7 kịch bản và thay đổi thông số sóng (chiều cao và chu kỳ sóng) 10 giá trị để đánh giá ảnh hưởng của thông số mực nước, sóng đến hệ số truyền sóng K_t thể hiện trong Bảng 2-13.

Bảng 2-13. Kích bản và các trường hợp thí nghiệm kết cấu TC1 trong máng sóng

Kịch Bản	Độ sâu d (cm) tại chân công trình hoặc chiều cao lưu không R_c (cm)	Tham số sóng
Công trình TC1	$d=20\text{cm}$ ($R_c=+20\text{cm}$)	$H_s=12\text{cm}$; $T_p=1.51\text{s}$
	$d=25\text{cm}$ ($R_c=+15\text{cm}$)	$H_s=12\text{cm}$; $T_p=1.89\text{s}$
	$d=30\text{cm}$ ($R_c=+10\text{cm}$)	$H_s=12\text{cm}$; $T_p=2.27\text{s}$
	$d=35\text{cm}$ ($R_c=+5\text{cm}$)	$H_s=12\text{cm}$; $T_p=2.65\text{s}$
	$d=40\text{cm}$ ($R_c=+0\text{cm}$)	$H_s=17\text{cm}$; $T_p=1.89\text{s}$
	$d=45\text{cm}$ ($R_c=-5\text{cm}$)	$H_s=17\text{cm}$; $T_p=2.27\text{s}$
	$d=50\text{cm}$ ($R_c=-10\text{cm}$)	$H_s=17\text{cm}$; $T_p=2.65\text{s}$
		$H_s=22\text{cm}$; $T_p=2.27\text{s}$
		$H_s=22\text{cm}$; $T_p=2.65\text{s}$
	$H_s=27\text{cm}$; $T_p=2.65\text{s}$	

2.5.9. Các yếu tố đo đạc tính toán trong phòng thí nghiệm

2.5.9.1 Đo đạc các thông số về sóng

Các tham số sóng đo đạc trực tiếp từ thí nghiệm là chiều cao sóng H_s và chu kỳ sóng T_p tại các vị trí nước sâu. Đối với vùng nước nông phổ sóng có xu thế bị biến dạng (duỗi ra về phạm vi dải tần số ngắn), lúc này thay vì sử dụng chiều cao sóng H_s và chu kỳ T_p thường dùng chiều cao sóng mô men H_{m0} và chu kỳ phổ sóng đặc trưng $T_{m-1,0}$ tính toán từ các phổ sóng đo đạc sử dụng chương trình HR Wallingford. Chương trình tính toán phân tách sóng phản xạ của phần mềm dựa trên phương pháp Mansard và Funke (phân tách sóng phản xạ) để xác định sóng tới ($H_{m0,i}$) và sóng phản xạ ($H_{m0,r}$) trước ĐGS KCR sử dụng 4 đầu đo sóng (WG2, 3, 4, 5).

Các tham số được đo trực tiếp từ thí nghiệm là:

- ❖ Chiều cao sóng (phổ mô men bậc 0) H_{m0}

Chiều cao sóng H_{m0} có giá trị xấp xỉ chiều cao sóng ý nghĩa H_s và được xác định từ mô men bậc 0 của phổ mật độ năng lượng sóng như sau:

$$H_s \approx H_{m0} = 4,004 \sqrt{m_0} = 4,004 \sqrt{\int_{f_{min}}^{f_{max}} S(f) \cdot df} \quad (2-24)$$

- $S(f)$ là giá trị mật độ năng lượng của phổ sóng tương ứng với tần số f ;
- m_0 là giá trị mô-men bậc 0 của phổ sóng;
- ❖ Chu kỳ đỉnh phổ T_p và $T_{m-1,0}$ được sử dụng trong trường hợp sóng nước nông

$$T_{m-1,0} = \frac{m_{-1}}{m_0} = \frac{\int_{f_{min}}^{f_{max}} S^{-1}(f) df}{\int_{f_{min}}^{f_{max}} S(f) \cdot df} \quad (2-25)$$

- $S(f)$ là giá trị mật độ năng lượng của phổ sóng tương ứng với tần số f ;
- m_0, m_{-1} là giá trị mô-men bậc 0 và bậc 1 của phổ sóng;

2.5.9.2 Đo đạc các thông số về dòng chảy

Để xem xét quá trình vận tốc dòng chảy biến đổi trước và sau ĐGS KCR đầu đo dòng chảy E40 được sử dụng bố trí kết hợp với kim đo sóng cùng một vị trí tại WG5 và WG6 để đo vận tốc dòng chảy.

2.6. Đo đạc kiểm định công trình thực tế tại hiện trường

2.6.1. Bố trí thiết bị đo đạc hiện trường

Khảo sát đo đạc được thực hiện tại bờ biển Tân Thành, tỉnh Tiền Giang, trong thời gian gió mùa Đông Bắc chiếm ưu thế. Kết quả đo đạc tập trung phân tích các số liệu về các yếu tố thủy động lực (sóng, dòng chảy) và bùn cát lơ lửng khu vực ĐGS. Sơ đồ bố trí các trạm đo đạc và các thiết bị được trình bày trên Hình 2-27.

Với 4 vị trí đo đạc: ST1, ST2, ST3, ST4 được thiết lập để thu thập các yếu tố thủy động lực (gồm dòng chảy và sóng), bùn cát lơ lửng (OBS) và các tham số khác như

hiệt độ và độ mặn (CTD). Trong đó, các số liệu khảo sát được tiến hành trên bãi triều ở một mặt cắt từ bờ xuyên qua ĐGS KCR. Trên mặt cắt này 2 trạm đo chính được đặt sau ĐGS KCR (trạm ST2, cách ĐGS 30 m và cách bờ khoảng 80 m) và một trạm phía trước ĐGS KCR (ST1, cách ĐGS 30 m và cách ST2 60 m) nhằm khảo sát khả năng triệt giảm sóng của ĐGS KCR. Giữa các đoạn hở của ĐGS KCR, một vị trí đo dòng chảy (ST3) được bố trí để xem xét trao đổi dòng qua khoảng hở giữa tuyến ĐGS KCR.



Hình 2-27. Sơ đồ thiết lập các trạm đo và các thiết bị được lắp đặt tại khu vực bờ biển Tân Thành, tỉnh Tiền Giang.

Các yếu tố được đo đạc và phân tích bao gồm:

- 1) Sóng tại trạm ST1, ST2, máy OSSI-010-022 do Ocean Sensor Systems Inc (Mỹ) ;

2) Dòng chảy tại trạm ST1, ST2, và ST,3 máy đo hướng và tốc độ dòng chảy tự ghi INFINITY (Nhật Bản).

3) Bùn cát lơ lửng tại ST1 và ST2 bằng máy OBS

4) Các tham số nhiệt độ và độ mặn tại ST4, bằng máy CTD, OBS

Mục đích của việc đo đạc, khảo sát hiện trường nhằm so sánh, kiểm định lại kết quả nghiên cứu về sóng, dòng chảy trong mô hình vật lý và đánh giá các yếu tố ngoài hiện trường như mức độ bồi lắng, trao đổi trầm tích trong ngoài đê và phục hồi rừng ngập mặn., Thông số của các thiết bị đo trình bày trong Phụ lục 1.

2.6.2. Các yếu tố đo đạc ngoài hiện trường

2.6.2.1 Đo đạc các thông số về sóng

Để đánh giá công thức thiết lập với kết quả đo đạc hiện trường sử dụng bộ số liệu đo đạc tại công trình ĐGS TC1 tại Tân Thành. Trong đó, đánh giá hệ số truyền sóng K_t qua kết cấu TC1, công thức được sử dụng như sau:

$$K_t = \frac{H_{m0,t}}{H_{m0,i}}$$

Hệ số truyền sóng được xác định bằng tỷ lệ chiều cao sóng truyền phía sau công trình ($H_{m0,t}$) tại ST2 và chiều cao sóng tới trước công trình ($H_{m0,i}$) tại ST1 (xem Hình 2-27);

2.6.2.2 Đo đạc các thông số về dòng chảy

Để xem xét quá trình biến đổi vận tốc trước và sau công trình hệ số truyền vận tốc trung bình $K_{V_{mean}}$ được đưa ra để xem xét.

$$K_{V_{mean}} = \frac{V_t}{V_i}$$

Trong đó: V_t : Vận tốc dòng chảy trung bình sau ĐGS tại tại ST2

V_i : Vận tốc dòng chảy trung bình trước ĐGS tại tại ST1

2.7. Kết luận Chương 2

Chương này đã trình bày cơ sở khoa học về vùng nghiên cứu, đề xuất được giải pháp tổng thể bảo vệ bờ biển đa tầng, từ đó phân tích đề xuất cấu kiện TC1 lắp ghép

làm ĐGS. Nguyên lý, chức năng làm việc của đê KCR TC1 và áp dụng cho khu vực bờ biển ĐBSCL cũng được phân tích.

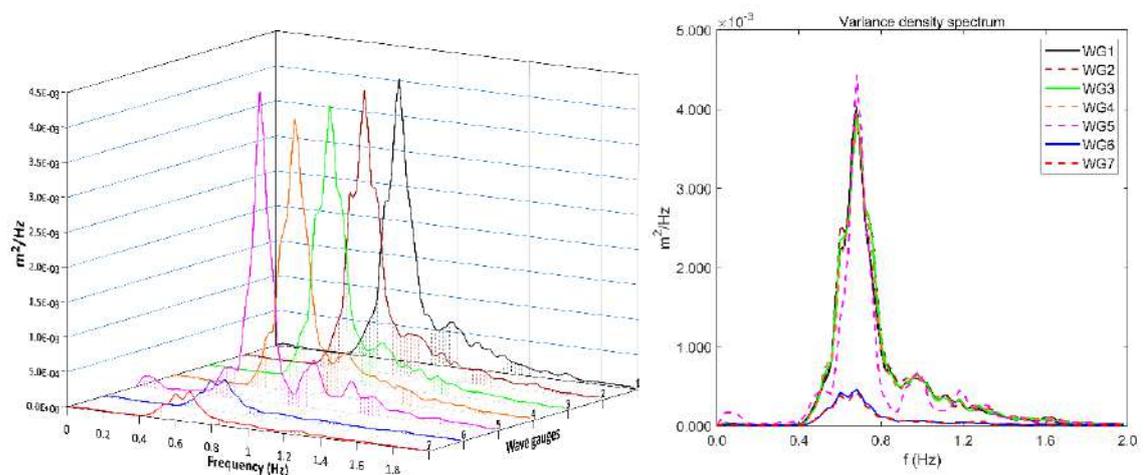
Luận án dựa trên lý thuyết PI-BUCKINGHAM và phương pháp phân tích thứ nguyên để thiết lập phương trình tổng quát các tham số chi phối hệ số truyền sóng K_t cho đê KCR TC1, xác định các thông số liên quan đến hệ số truyền sóng, biến đổi vận tốc, thiết lập và bố trí mô hình vật lý để thí nghiệm xác định các yếu tố ảnh hưởng đến hệ số truyền sóng, thiết kế bố trí đo đạc hiện trường để kiểm định công thức truyền sóng K_t , quá trình biến đổi vận tốc trước và sau công trình.

CHƯƠNG 3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. Quá trình biến đổi phổ sóng

3.1.1. Sự biến đổi phổ sóng trong thí nghiệm mô hình vật lý máng sóng

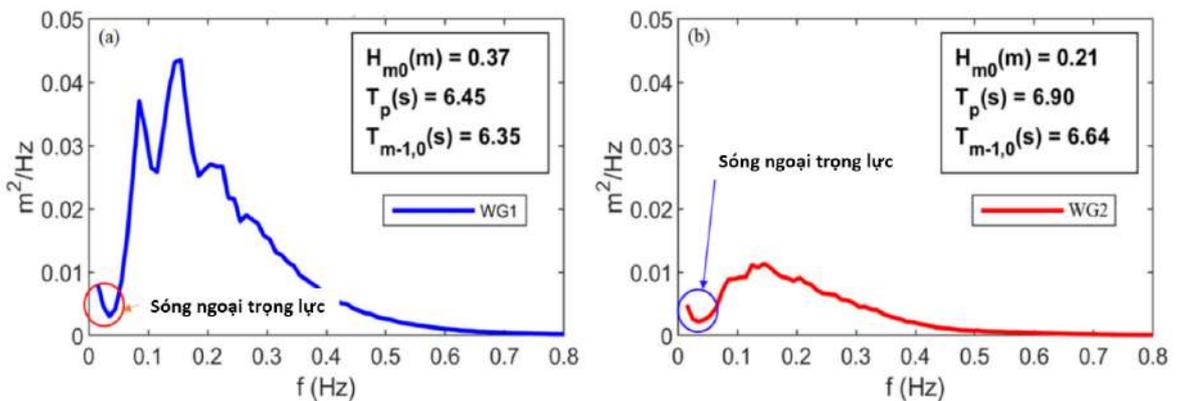
Hình 3-1 cho thấy tại đầu đo WG1, WG2, WG3, WG4 trước công trình có phổ năng lượng sóng dạng đỉnh nhọn, hình dạng phổ sóng khá tương đồng đặc trưng cho sóng khu vực nước sâu. Kết quả cho thấy năng lượng sóng cực đại phân bố từ tần số 0.5Hz đến 0.8Hz. Sau tần số 0.8Hz, hình dạng phổ sóng khá thoải, chỉ có các dao động nhỏ. Tại đầu đo sóng WG5 trước công trình phổ sóng có sự thay đổi hình dạng với tần số nhỏ hơn 0.2Hz, sự xuất hiện sóng dài rõ nét do ảnh hưởng của mái dốc đã làm thay đổi phổ sóng tại khu vực nước nông, khi sóng truyền từ khu vực nước sâu lên thêm nông bị vỡ và đã hình thành các con sóng dài. Với phổ sóng tần số lớn hơn 0.8Hz có sự thay đổi và xuất hiện nhiều đỉnh phổ của sóng ngắn so với các kim đo tại biên nước sâu (tại đầu đo WG1, WG2, WG3, WG4). Trong khi đó, sóng sau công trình (tại các đầu đo WG6, WG7) thì phổ năng lượng sóng có hình dạng đỉnh bẹt xuất hiện nhiều đỉnh phổ. Đỉnh phổ sóng có năng lượng cực đại không còn được duy trì như ở phía trước ĐGS và chia thành nhiều đỉnh, năng lượng sóng với tần số lớn hơn 0.8Hz (sóng ngắn) hầu hết bị tiêu tán mạnh so với các vị trí trước công trình. Các kết quả này chứng minh rằng khi tương tác với ĐGS trong quá trình truyền sóng, sóng bị phản xạ hoặc tiêu tán làm suy giảm năng lượng sóng và biến đổi hình dạng phổ sóng khi truyền từ nước sâu vào khu vực nước nông.



Hình 3-1. Sự thay đổi của phổ sóng tại các kim đo WG1-WG7 kích bản D30H12T151.

3.1.2. Sự biến đổi phổ sóng từ kết quả đo đạc thực địa

Hình 3-2 cho thấy phổ năng lượng sóng đo được tại một vị trí ở phía ngoài ĐGS (ST1) và trong đê (ST2) thu được từ đo đạc thực địa như bố trí ở mục 2.6.1. Đỉnh phổ sóng tới là $0.045 \text{ m}^2/\text{Hz}$ (Hình 3-2a) trong khi đỉnh phổ sóng sau đê chắn sóng là $0.012 \text{ m}^2/\text{Hz}$ (Hình 3-2b). Rõ ràng là sự giảm đáng kể của sóng tới đạt xấp xỉ 60% và dạng phổ sóng là dạng đường cong dẹt với phổ năng lượng rất nhỏ do quá trình tiêu tán năng lượng khi sóng truyền qua ĐGS. Từ Hình 3-2 cho thấy sự xuất hiện của phổ đa đỉnh trên vùng nước nông tại ĐBSCL. Do đó, chu kỳ phổ $T_{m-1,0}$ cũng được xem xét để đánh giá hệ số truyền sóng. Từ Hình 3-2 có thể quan sát thấy rằng tại vị trí trước khi xây dựng ST1, phổ năng lượng sóng thể hiện rõ ràng nhiều đỉnh và hình dạng dốc với phân bố năng lượng cao trong dải tần số $f = 0.1 \div 0.4 \text{ Hz}$ tương ứng với chu kỳ sóng $T_p = 2.5 \div 10 \text{ s}$ (Hình 3-2a). Phía bờ ST2, phổ sóng bị dẹt năng lượng đỉnh phổ giảm đi đáng kể (Hình 3-2b). Nguyên nhân là do khi sóng truyền vào vùng nước nông, sóng bị vỡ liên tục và nhiều lần do tương tác sóng ba sóng và bốn sóng (due triad and quadruplet wave-wave interactions), sóng bạc đầu (white-capping), sóng vỡ (surf – breaking), độ sâu nước nông, địa hình đáy biển bị ma sát (Leo H. Holthuijen (2010) [82]). Điều này dẫn đến sự biến đổi đáng kể của phổ sóng, tạo ra các đỉnh nhỏ với các tần số rộng khác nhau và tạo ra sóng ngoại trọng lực (infragravity wave).



Hình 3-2. Phổ sóng phía trước công trình ST1 (a) và phía sau công trình ST2 (b) Sự xuất hiện của sóng ngoại trọng lực (tức là sóng Infragravity waves) cũng được tìm thấy ở cả phía biển và phía bờ với dải tần từ $0.025 \div 0.05 \text{ Hz}$. Đáng chú ý là các sóng

tần số thấp hoặc sóng Infragravity xuất hiện và được tạo ra bởi các quá trình sóng vỡ trên thềm nông (Baldock, (2012) [44]). Ngoài ra, các sóng dài được tạo ra bởi các nhóm sóng khi vỡ cũng được giải phóng dưới dạng sóng Infragravity. Sự tồn tại của những sóng Infragravity này là kết quả từ quá trình động lực học của sóng trên một bãi biển nông. Khi những con sóng ngắn khi vỡ làm gia tăng năng lượng của sóng dài Infragravity. Xu hướng này phù hợp với nghiên cứu của Baldock (2012) [44]. Do đó, năng lượng sóng dài có thể chiếm một phần trong tổng năng lượng sóng trong vùng nước nông của bờ biển (Horstmann, 2012; Phan nnk, 2015) [96]. Hình 3-2b minh họa sự chuyển đổi phổ sóng qua đê chắn sóng trong trường hợp đê nhô, cho thấy năng lượng sóng ngắn tiêu hao đáng kể trong khi năng lượng sóng dài vẫn còn. Do đó, đê chắn sóng này hoạt động với chức năng như một bộ lọc cho hầu hết các sóng ngắn (sóng do gió tạo ra) và sóng dài vẫn đi qua với một mức độ nhất định.

Quan sát trên về sự biến đổi phổ sóng cho thấy tầm quan trọng của sóng dài trong quá trình truyền sóng qua đê KCR ở vùng biển nông. Những con sóng chu kỳ dài đóng vai trò quan trọng trong việc vận chuyển bùn cát lơ lửng (Wright & Short (1984) [113], Kriebel et Dean (1993) [75]) và phân phối lại đến khu vực sau đê chắn sóng, gây bồi lắng tạo điều kiện phục hồi hệ sinh thái. Sóng ngắn là nguyên nhân dẫn đến xói mòn bờ biển, phần lớn bị tiêu tán khi tương tác với đê chắn sóng. Do đó, đê KCR TC1 được thiết kế để hướng tới những mục tiêu này.

3.2. Đánh giá các yếu tố ảnh hưởng đến hệ số truyền sóng qua KCR TC1

3.2.1. Ảnh hưởng độ rộng đến hệ số truyền sóng, phản xạ và tiêu tán sóng

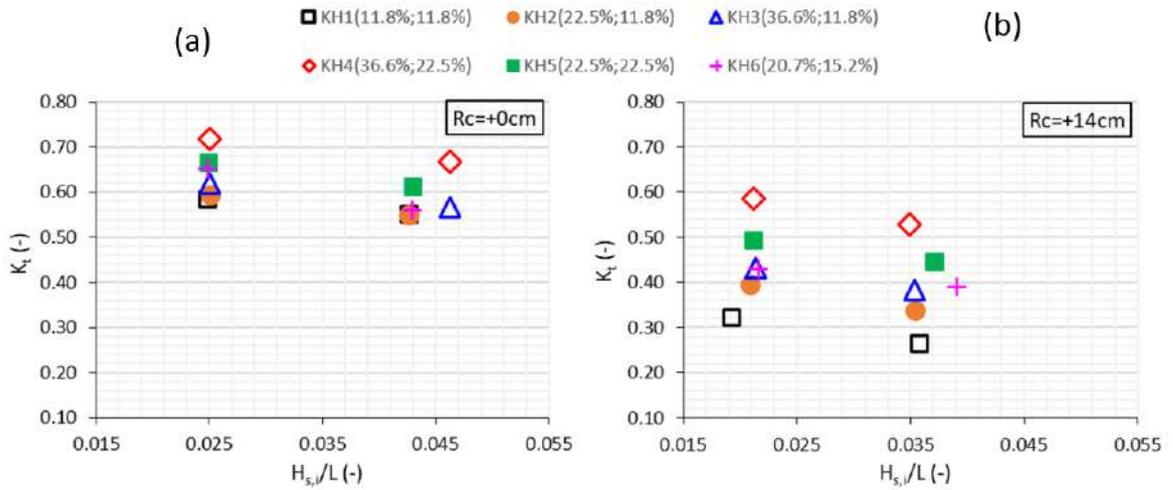
Từ phân tích cơ sở khoa học về truyền sóng qua đê KCR ở Chương 2, để đánh giá, phân tích ảnh hưởng của độ rộng bề mặt cấu kiện. NCS đã tiến hành các kịch bản thí nghiệm để đánh giá sự thay đổi độ rộng bề mặt thân đê đến các hệ số truyền sóng, phản xạ và tiêu tán sóng.

Hình 3-3 thể hiện mối quan hệ giữa hệ số truyền sóng K_t và độ dốc sóng H_s/L_p với trường hợp $R_c = 0$ cm hình (a) và $R_c = +14$ cm hình (b). Quan sát hai hình (a) và (b) nhận thấy sự thay đổi độ dốc sóng từ 0.02 đến 0.05 cho thấy khi đê chắn sóng nhô

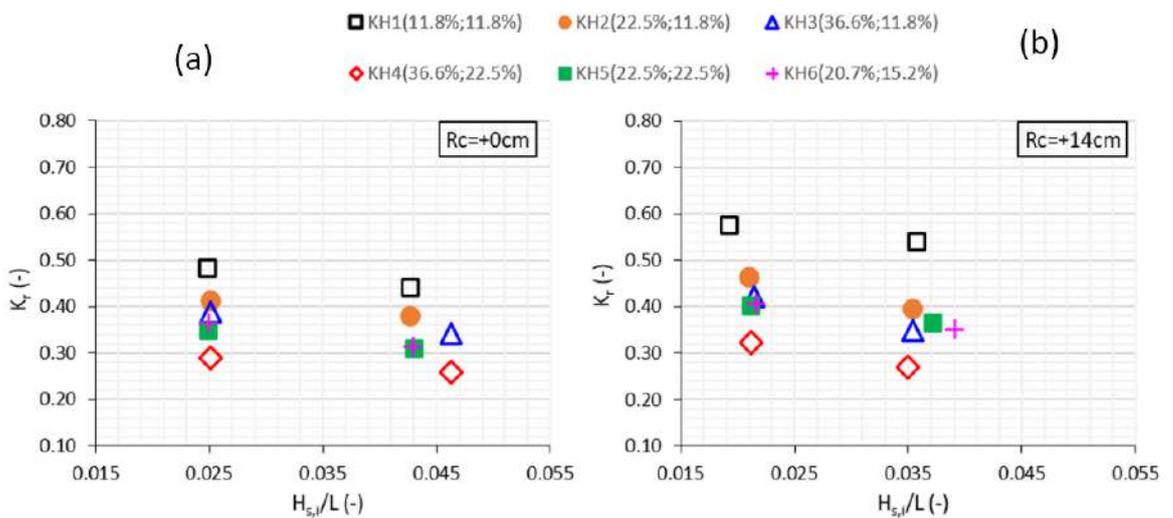
lên với $R_c = +14$ cm thì sự phân tán của hệ số truyền sóng giữa các kích bản độ rỗng khác nhau nhiều hơn ($K_t = 0.25 \div 0.6$) so với trường hợp mực nước ngang mặt đỉnh đê $R_c = 0$ cm ($K_t = 0.55 \div 0.72$). Kết quả cho thấy kích bản KH4 ($P_1 = 36.6\%$; $P_2 = 22.5\%$) có hệ số truyền sóng lớn nhất do kích bản này có độ rỗng bề mặt lớn nhất, kích bản KH1 ($P_1 = 11.8\%$; $P_2 = 11.8\%$) có hệ số truyền sóng thấp nhất do kích bản này có độ rỗng bề mặt nhỏ nhất. Sự khác biệt này được nhận thấy trong cả trường hợp sóng dài và trường hợp sóng ngắn.

Khi so sánh 3 kích bản KH1, KH2 và KH3 có cùng độ rỗng mặt phía bờ và độ rỗng mặt phía biển lớn dần thì xu hướng hệ số truyền sóng tăng lên. Điều tương tự được nhìn thấy khi so sánh 2 kích bản KH4 và KH5. Đối với trường hợp cùng độ rỗng mặt phía biển và độ rỗng mặt phía bờ tăng dần khi so sánh 2 cặp kích bản KH2 ($P_1=22.5\%$; $P_2=11.8\%$) với KH5 ($P_1=22.5\%$; $P_2=22.5\%$) và KH3 ($P_1=36.6\%$; $P_2=11.8\%$) với KH4 ($P_1=36.6\%$; $P_2=22.5\%$) cũng cho thấy xu hướng đồng biến giữa độ rỗng mặt phía bờ và hệ số truyền sóng.

Khi so sánh các kích bản KH1, KH2 và KH3 cho thấy hệ số truyền sóng tăng khi độ rỗng bề mặt trước giữ nguyên và mặt sau tăng. Có thể nhận ra sự tương đồng khi so sánh 2 kích bản KH4 và KH5. - Khi xem xét trường hợp độ rỗng bề mặt phía biển cố định và độ rỗng mặt phía bờ tăng dần bằng cách so sánh hai cặp kích bản là KH2 ($P_1 = 22.5\%$; $P_2 = 11.8\%$) với KH5 ($P_1 = 22.5\%$; $P_2 = 22.5\%$) và KH3 ($P_1 = 36.6\%$; $P_2 = 11.8\%$) với KH4 ($P_1 = 36.6\%$; $P_2 = 22.5\%$); và KH6 ($P_1 = 20.7\%$; $P_2 = 15.2\%$) cũng cho thấy trong trường hợp độ rỗng mặt phía biển không đổi thì độ rỗng mặt phía bờ tăng sẽ cho hệ số truyền sóng tăng, điều này thể hiện rõ nét nhất trong trường hợp đê nhô ($R_c = 14$), trong trường hợp đê ngầm ($R_c = 0$) thì ảnh hưởng của sự thay đổi độ rỗng các kích bản đến hệ số truyền sóng không lớn. Mối quan hệ này phù hợp với kết quả nghiên cứu trước đó của Oumeraci (2010).



Hình 3-3. Hệ số truyền sóng ở 2 mực nước khác nhau

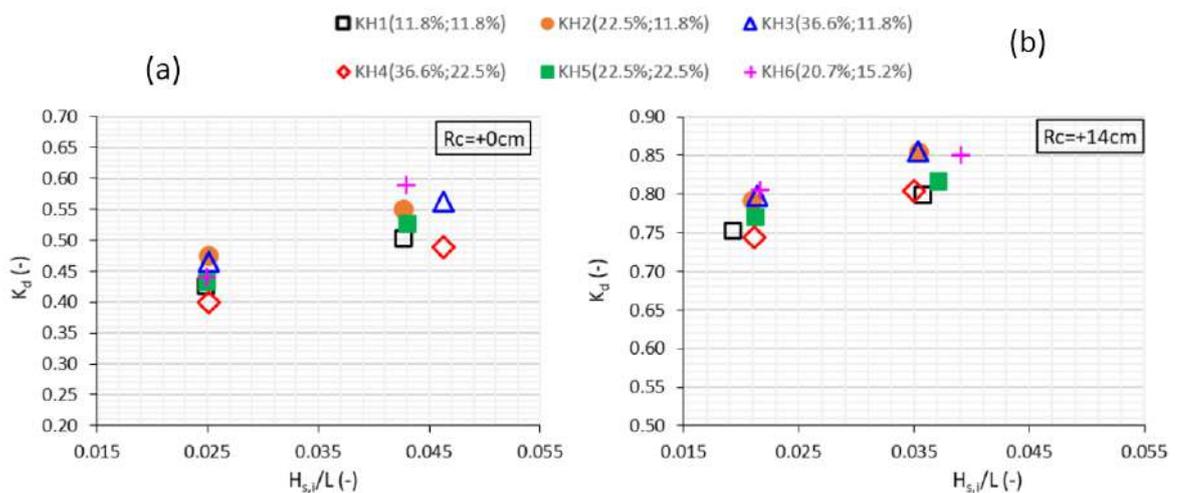


Hình 3-4. Hệ số phản xạ sóng ở 2 mực nước khác nhau

Ngược lại với hệ số truyền sóng thì Hình 3-4 thể hiện quan hệ giữa hệ số sóng phản xạ K_r và độ dốc sóng tới H_{si}/L . Quan sát thấy hệ số phản xạ sóng K_r lớn nhất ứng với kích bản có độ rộng bề mặt nhỏ nhất KH1 ($P_1 = 11.8\%$, $P_2 = 11.8\%$) và hệ số sóng phản xạ K_r nhỏ nhất ứng với kích bản có độ rộng lớn nhất KH4 ($P_1 = 36.6\%$; $P_2 = 22.5\%$). Khi độ rộng phía bờ không thay đổi và tăng dần độ rộng mặt phía biển trong các kích bản KH1 ($P_1 = 11.8\%$, $P_2 = 11.8\%$), KH2 ($P_1 = 22.5\%$; $P_2 = 11.8\%$) và KH3 ($P_1 = 36.6\%$; $P_2 = 11.8\%$) hoặc kích bản KH4 ($P_1 = 36.6\%$; $P_2 = 22.5\%$) và KH5 ($P_1 = 22.5\%$; $P_2 = 22.5\%$) hệ số phản xạ sóng giảm, chứng tỏ rằng độ rộng phía biển

càng lớn thì hệ số phản xạ sóng càng nhỏ. Xu hướng quan sát này phù hợp với nghiên cứu trước đó của Dhinakaran (2011) [54] cho đê hình bán nguyệt.

Hình 3-5 cho thấy mối quan hệ giữa hệ số tiêu tán năng lượng sóng K_d và độ dốc của sóng tới $H_{s,i}/L$. Với đê chắn sóng nhô ($R_c = +14$ cm) năng lượng sóng bị tiêu tán nhiều hơn so với khi mực nước bằng đỉnh đê (tức là $R_c = 0$ cm). Hệ số tiêu tán năng lượng sóng thấp trong kịch bản có độ rỗng bề mặt nhỏ nhất KH1 ($P_1 = 11.8\%$; $P_2 = 11.8\%$) và kịch bản độ rỗng lớn nhất KH4 ($P_1 = 36.6\%$; $P_2 = 22.5\%$). Ngược lại, đối với ba kịch bản KH2 ($P_1 = 22.5\%$; $P_2 = 11.8\%$) và KH3 ($P_1 = 36.6\%$; $P_2 = 11.8\%$), KH6 ($P_1 = 20.7\%$; $P_2 = 15.2\%$) độ rỗng mặt phía biển lớn hơn độ rỗng mặt phía bờ của đê chắn sóng điều này mang lại hệ số tiêu tán năng lượng sóng cao nhất. Xu hướng này phù hợp với các nghiên cứu trước đó của Oumeraci (2010) [93] và Dhinakaran (2011) [54]. Hệ số tiêu tán năng lượng sóng (K_d) tỷ lệ với sự gia tăng của độ dốc sóng và chiều cao lưu không tương đối. Độ dốc sóng càng lớn tỷ lệ thuận với sự tiêu tán năng lượng sóng lớn hơn, đặc biệt ở trạng thái nhô lên ($R_c = +14$), do đó $K_d = 0.6 \div 0.7$.

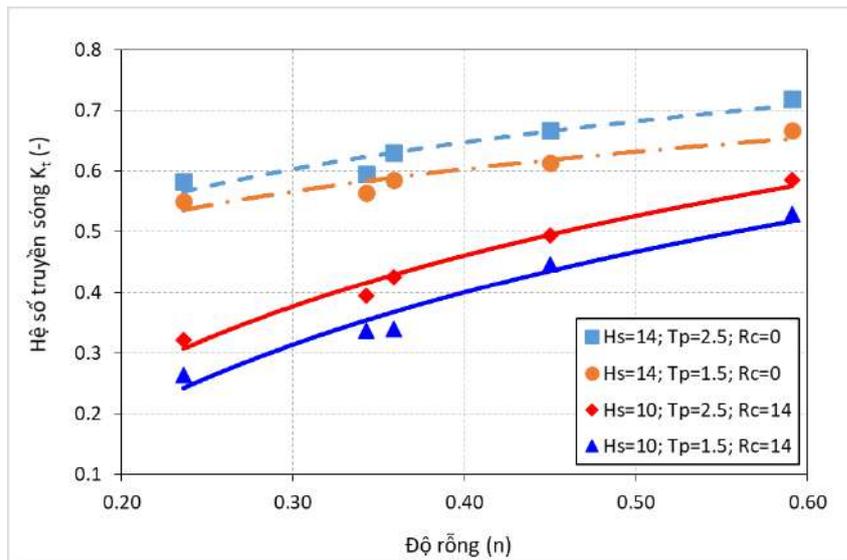


Hình 3-5. Hệ số tiêu tán sóng ở 2 mực nước khác nhau

Khi kết cấu có phần trăm độ rỗng bề mặt khối n lớn (trường hợp KH4) hệ số truyền sóng là lớn nhất, sự phản xạ sóng nhỏ nhất. Tuy nhiên, do độ rỗng lớn nên hệ số tiêu tán năng lượng K_d nhỏ. Khi độ rỗng khối n nhỏ như trường hợp KH1 sự truyền sóng qua KCR tương đối nhỏ, nhưng sóng phản xạ lại rất lớn do sự tương tác mạnh

của sóng với mặt trước kết cấu, tổng hợp lại thì hệ số tiêu tán năng lượng của KCR lại nhỏ, kết cấu có độ rỗng nhỏ (trường hợp KH1) ngăn chặn thay vì hấp thụ sóng và chỉ một phần năng lượng sóng bị tiêu tán qua kết cấu.

KCR có độ rỗng mặt trước lớn hơn mặt sau (trường hợp KH2, KH3, KH4, KH6) cho xu thế giảm sóng phản xạ và tăng hệ số tiêu tán năng lượng sóng tốt hơn so với độ rỗng các trường hợp còn lại. Như vậy, độ rỗng bề mặt kết cấu đóng vai trò là tham số điều chỉnh chuyển đổi cân bằng năng lượng sóng từ các thành phần năng lượng phản xạ sang thành phần năng lượng tiêu tán và năng lượng sóng truyền qua bởi KCR. Từ kết quả phân tích về sự thay đổi tỉ lệ độ rỗng khác nhau đến các đặc trưng về truyền sóng, sóng phản xạ và sóng tiêu tán cho thấy với tỉ lệ độ rỗng mặt trước lớn hơn mặt sau cho hệ số tiêu tán sóng tốt hơn và sóng phản xạ nhỏ hơn.



Hình 3-6. Quan hệ giữa hệ số K_t và độ rỗng (n)

Hình 3-6 thể hiện quan hệ giữa hệ số truyền sóng K_t và độ rỗng (n) ứng với trường hợp sóng và mực nước khác nhau. Với trường hợp đê làm việc ở trạng thái ngập thì ảnh hưởng của sự thay đổi độ rỗng bề mặt đến hệ số K_t là rất nhỏ. Khi độ rỗng tăng từ $n=0.236$ lên $n=0.591$ tương đương 2.5 lần thì hệ số K_t chỉ tăng từ 0.55 đến 0.67 tương đương 1.2 lần, nguyên nhân là do đê ngầm và sóng tràn qua đỉnh đê và truyền về phía sau nên ảnh hưởng của độ rỗng bề mặt thân đê đến hệ số truyền sóng là nhỏ. Ngược lại, khi đê làm việc ở trạng thái đê khô ($R_c=14$) thì độ rỗng tăng

lên tuyến tính với hệ số truyền sóng K_t . Khi độ rỗng tăng từ $n=0.236$ lên $n=0.591$ thì hệ số K_t cũng tăng từ 0.26 đến 0.53 tương đương 2.0 lần, điều này cho thấy khi đê làm việc ở trạng thái đê nhô sóng chỉ truyền qua thân đê thông qua tỉ lệ độ rỗng bề mặt, tỉ lệ độ rỗng bề mặt càng lớn hệ số truyền sóng càng lớn và ngược lại. Sóng có chu kỳ càng lớn thì hệ số truyền sóng cũng tăng theo.

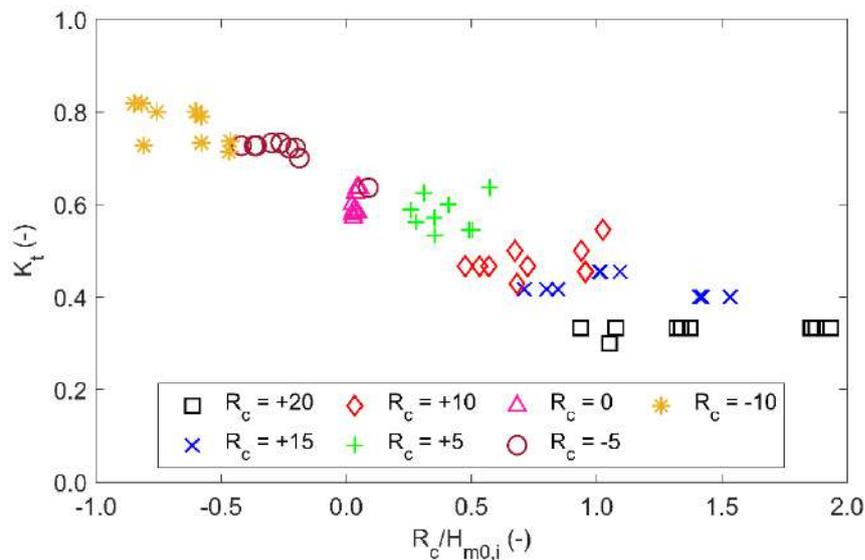
Do đó, việc xác định độ rỗng phù hợp căn cứ vào yêu cầu giảm sóng sau công trình để gây bồi tạo bãi và duy trì môi trường cho rừng ngập mặn phát triển, không phải là độ rỗng nhỏ nhất để hệ số truyền sóng K_t là nhỏ nhất. Ngoài ra, đối với khu vực ĐBSCL để giảm sóng sau công trình $H_s \leq 0.4m$ (TCVN 10405-2020: Đai cây ngập mặn giảm sóng - Khảo sát và thiết kế [27]) để giảm sạt lở và khôi phục rừng ngập mặn thì công trình giảm sóng chỉ cần giảm khoảng 50 ÷ 70% chiều cao sóng trong điều kiện gió mùa là đáp ứng yêu cầu và không nhất thiết phải giảm triệt để sóng mà phải để duy trì một lượng sóng nhất định để duy trì môi trường sau đê. Ngoài ra, để thuận lợi cho việc chế tạo, lắp ghép kết cấu của cấu kiện đúc sẵn, NCS lựa chọn KH6 trường hợp độ rỗng ($P1=20.7\%$; $P2=15.2\%$) đảm bảo hệ số tiêu tán sóng lớn, hệ số sóng phản xạ nhỏ và phù hợp với yêu cầu giảm sóng. Do đó, các thông số ảnh hưởng đến truyền sóng của cấu kiện TC1 sẽ được phân tích đánh giá, trình bày ở nội dung tiếp theo.

3.2.2. Ảnh hưởng của chiều cao lưu không tương đối của đỉnh đê ($R_c/H_{m0,i}$) đến hệ số truyền sóng K_t

Hình 3-7 thể hiện quan hệ giữa hệ số truyền sóng K_t và chiều cao tương đối đỉnh đê $R_c/H_{m0,i}$. Kết quả cho thấy $R_c/H_{m0,i}$ có ảnh hưởng chi phối mạnh mẽ đến K_t , và quan hệ là nghịch biến, tương tự như các trường hợp làm việc của các ĐGS khác. Do cấu tạo thân đê rỗng nên khi đê làm việc ở trạng thái đê ngầm $R_c/H_{m0,i} < 0$ hệ số truyền sóng $K_t = 0.6-0.8$ điều này cho thấy hiệu quả giảm sóng không cao (20 ÷ 40%). Trường hợp $0 \leq R_c/H_{m0,i} < 1$ hệ số truyền sóng K_t giảm một cách tuyến tính từ 0.6 đến 0.5 tức là hiệu quả giảm sóng tăng dần từ (40 ÷ 50%). Khi $R_c/H_{m0,i} > 1$ tương ứng với trạng thái đê nhô, trường hợp ĐGS không có sóng tràn qua đỉnh, toàn bộ con sóng khi tương tác công trình truyền vào trong lòng thân đê rỗng qua qua các lỗ trên

bề mặt do đó trường hợp này đề làm việc như buồng tiêu năng, tiêu tán năng lượng sóng là lớn nhất nên hệ số $K_t = 0.34 \div 0.4$ giảm rất nhẹ hoặc hầu như là không đổi. Trong trường hợp này, hiệu quả giảm sóng của kết cấu đề chắn sóng phụ thuộc vào tỷ lệ phần trăm của độ rỗng bề mặt 2 bên và đạt khoảng 66%.

Như vậy, để đề KCR có hiệu quả tốt theo chức năng giảm sóng, bảo vệ rừng ngập mặn thì giá trị của chiều cao lưu không đỉnh đề nên: $R_c > 0.5H_{m0}$



Hình 3-7. Ảnh hưởng của độ ngập sâu tương đối ($R_c/H_{m0,i}$) đến K_t .

3.2.3. Ảnh hưởng bề rộng tương đối của đỉnh đề (B_{eff}/L_{m0-1}), B_{eff}/d đến K_t

Bề rộng đỉnh đề là một trong những tham số ảnh hưởng tới hiệu quả giảm sóng của kết cấu, bề rộng càng lớn hiệu quả giảm sóng càng cao và ngược lại (d'Angremond và nnk, 1996 [50]). Tuy nhiên, với đề KCR TC1 là loại đề đỉnh hẹp làm việc trong cả trường hợp đề nhô và đề ngầm, do đó ảnh hưởng của bề rộng đến hệ số truyền sóng. Theo nghiên cứu Marcel R.A. van Gent và nnk (2023) [89], Kurdistani, S.M. và nnk (2022) [77] thì bề rộng đỉnh đề tính toán cho mặt cắt đề hình thang là “bề rộng hiệu dụng”. B_{eff} tính toán cho mặt cắt hình thang như sau:

- Trường hợp đề ngầm: $B_{eff} = B_{đỉnh}$
- Trường hợp đề nhô: $B_{eff} = B_{đỉnh} + 2 \cdot R_c \cdot \cotg \alpha$

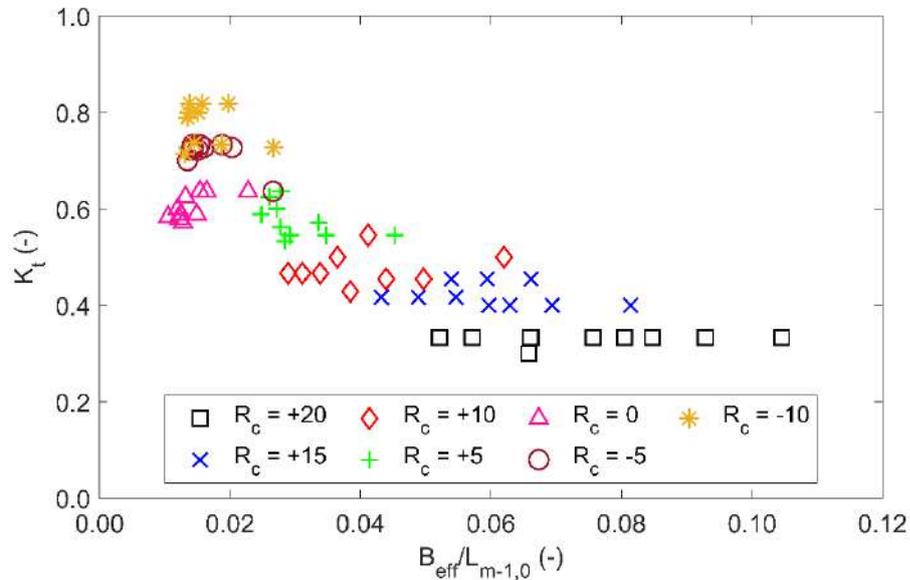
Trong đó $B_{\text{đỉnh}}$: là bề rộng đỉnh; $R_c = h-d$ là chiều cao lưu không đỉnh đê tính từ đỉnh đê đến mực nước, như vậy chiều cao lưu không R_c càng lớn thì bề rộng hiệu dụng B_{eff} càng lớn, α góc nghiêng của mái dốc đê.

Ảnh hưởng của bề rộng tương đối $B_{\text{eff}}/L_{m-1,0}$ với hệ số K_t được thể hiện trên Hình 3-8.

- Ảnh hưởng của bề rộng tương đối $B_{\text{eff}}/L_{m-1,0}$ yếu hơn so với độ ngập nước tương đối $R_c/H_{m0,i}$.

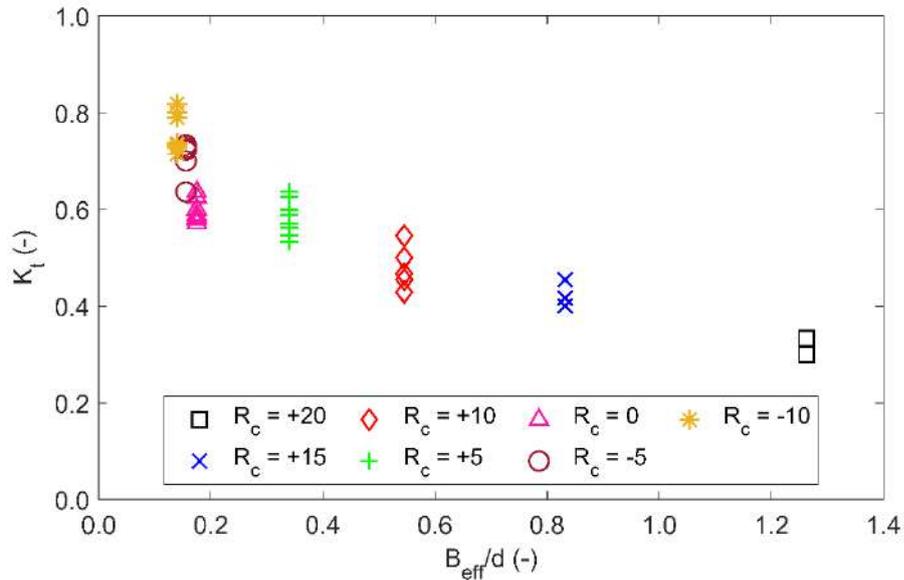
- Quan hệ là nghịch biến.

- Ảnh hưởng của bề rộng tương đối $B_{\text{eff}}/L_{m-1,0}$ đến K_t trở nên yếu dần khi đê làm việc ở trạng thái ngà, với độ ngập lớn ($R_c = -5$ và -10 cm) thì $B_{\text{eff}}/L_{m-1,0}$ hầu như ảnh hưởng rất ít.



Hình 3-8. Ảnh hưởng của bề rộng tương đối $B_{\text{eff}}/L_{m-1,0}$ đến K_t .

Ảnh hưởng của bề rộng tương đối B_{eff}/d đến K_t thể hiện khá rõ xu thế (Hình 3-9), khi B_{eff}/d càng lớn thì hệ số K_t càng nhỏ, quan hệ là nghịch biến. Khi bề rộng tương đối lớn ($B_{\text{eff}}/d > 0.8$), khi đó bề rộng tương đối ảnh hưởng nhiều tới hệ số truyền sóng K_t , hệ số K_t nhỏ ($0.3 \div 0.6$). Khi bề rộng tương đối quá nhỏ ($B_{\text{eff}}/d < 0.4$) thì hệ số truyền sóng K_t lớn ($0.6 \div 0.8$). Đê KCR làm việc ở trạng thái ngà hiệu quả giảm sóng không cao là do bề rộng đỉnh đê KCR nhỏ, sóng tràn qua đỉnh đê tiếp tục truyền vào khu vực phía sau.



Hình 3-9. Ảnh hưởng của bề rộng tương đối B_{eff}/d đến K_t .

3.2.4. Ảnh hưởng của độ dốc sóng (S_{0m})

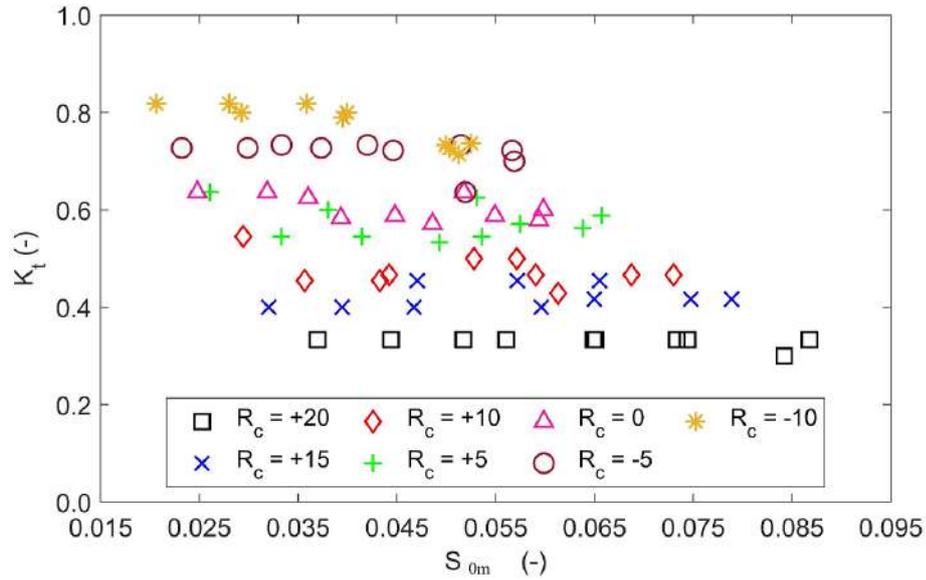
Sự tương tác sóng và công trình KCR liên quan đến sóng vỡ trên mái của kết cấu. Sự tương tác này được thể hiện bằng tham số sóng vỡ do Iribarren đề xuất:

$\zeta_0 = \frac{\tan \theta}{\sqrt{S_0}}$. Tuy nhiên, khi độ dốc của kết cấu đê chắn sóng $\alpha=66^\circ$ là một hằng số

trong nghiên cứu này, ảnh hưởng của chỉ số này có thể được thay thế bằng ảnh hưởng của độ dốc của sóng tới (S_{0m}).

$$S_{0m} = \frac{2 \Pi H_{m0,i}}{g T_{m-1,0}^2} \quad (3-1)$$

Hình 3-10 mô tả mối quan hệ giữa hệ số truyền sóng và độ dốc của sóng tới S_{0m} và K_t cho các trường hợp độ sâu ngập khác nhau. Nhìn chung xu thế ảnh hưởng của S_{0m} đến K_t là rất yếu, khi đê làm việc ở trạng thái ngập ($R_c < 0$) K_t có xu thế nghịch biến đặc biệt là với độ ngập nước lớn ($R_c=-10$), cho thấy độ dốc sóng càng nhỏ thì không gây ảnh hưởng đến hệ số truyền sóng K_t , nguyên nhân là do sóng ngắn bị tiêu hao năng lượng nhiều hơn khi truyền qua KCR đục lỗ so với sóng dài (Bergmann và Oumeraci, 1998) [57]. Khi đê làm việc ở trạng thái đê khô thì quan hệ này không rõ nét ứng với các độ dốc sóng khác nhau.



Hình 3-10. Tương quan $S_{0m} \sim K_t$.

3.3. Xây dựng công thức truyền sóng qua đê KCR TC1

3.3.1. Xây dựng công thức hệ số truyền sóng qua KCR TC1 từ kết quả thí nghiệm mô hình vật lý

Từ các phân tích nêu trên cho thấy hệ truyền sóng qua đê rỗng TC1 chịu sự chi phối chủ yếu của các tham số đó là: (i) Độ ngập sâu tương đối ($R_c/H_{m0,i}$); (ii) Bề rộng tương đối ($B_{eff}/L_{m-1,0}$; B_{eff}/d); (iii) Độ dốc sóng (S_{0m}), (iv) độ rỗng bề mặt của kết cấu (n) hay độ thấm hiệu dụng trong môi trường rỗng (P_f). Theo kết quả phân tích thứ nguyên theo lý thuyết PI-PUCKINGHAM cho đê KCR được trình bày trong mục 2.4.4 Chương 2 công thức (2-16; 2-17) dạng tổng quát hệ số truyền sóng cho đê rỗng TC1. Dựa trên các phân tích từ kết quả thí nghiệm mô hình vật lý của các yếu tố ảnh hưởng trên cho thấy:

- Chiều cao lưu không tương đối đỉnh đê ($\frac{R_c}{H_{m0,i}}$) nghịch biến và tuyến tính với hệ số truyền sóng (K_t).
- Bề rộng tương đối ($\frac{B_{eff}}{L_{m-1,0}}$ hoặc $\frac{B_{eff}}{d}$) nghịch biến và phi tuyến với hệ số truyền sóng (K_t).

- Độ rộng thân đê (n) đồng biến với K_t hay Độ thấm hiệu dụng P_f nghịch biến với hệ số truyền sóng (K_t).

- Độ dốc sóng (S_{0m}) nghịch biến và phi tuyến và với hệ số truyền sóng (K_t).

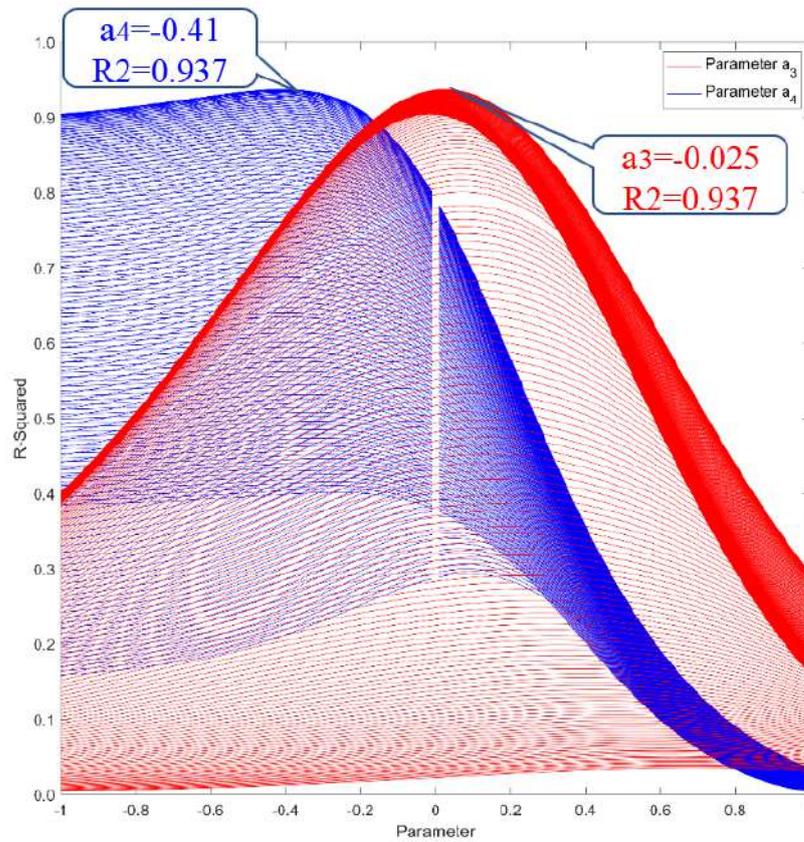
Từ những phân tích trên và tương tự như với các dạng ĐGS đã được nghiên cứu tổng quan ở trình bày trong mục 2.4.4 Chương 2, hệ số truyền sóng qua ĐGS rộng có dạng tổng quát như những nghiên cứu của Angremond và nnk, (1996); Van der Meer và nnk, (2005); Thiệu Quan Tuấn nnk, (2022); Marcel R.A. van Gent và nnk, (2023) [89] đều có dạng chung thể hiện mối quan hệ các yếu tố ảnh hưởng và với mỗi loại kết cấu sẽ tích hợp các thông số đặc trưng cho loại đê đó vào công thức. Như vậy, NCS có thể ứng dụng các dạng công thức tương tự công thức Thiệu Quang Tuấn nnk, (2022) để phát triển các công thức trong đó có xét đến độ thấm qua đê rộng P_f và bề rộng hiệu dụng B_{eff} đặc trưng cho hình dạng cho đê KCR TC1:

$$K_t = a_1 \frac{R_c}{H_{m0}} + a_2 \left(P_f \frac{B_{eff}}{L_{m-1,0}} \right)^{a_3} \left[1 - \exp \left(\frac{a_4}{\sqrt{S_{0m}}} \right) \right] \quad (3-2)$$

$$K_t = a_1 \frac{R_c}{H_{m0}} + a_2 \left(P_f \frac{B_{eff}}{d} \right)^{a_3} \left[1 - \exp \left(\frac{a_4}{\sqrt{S_{0m}}} \right) \right] \quad (3-3)$$

Trong đó: Các hằng số thực nghiệm a_1 , a_2 , được xác định bằng phương pháp hồi quy với các số liệu thí nghiệm từ mô hình vật lý với 70 thí nghiệm - xem Phụ lục 3. Giá trị a_3 , a_4 là các giá trị xác định bằng phương pháp dò tìm thử dần theo các tổ hợp để công thức (3-2); (3-3) phù hợp nhất với bộ số liệu thí nghiệm. Ứng với mỗi giá trị a_4 sẽ có một chuỗi giá trị a_3 giả thiết để phân tích hồi quy và chọn cặp có giá trị tương quan R^2 là lớn nhất (xem chi tiết Phụ lục 2).

Với công thức (3-2) được xác định như sau: Các giá trị a_3 , a_4 được thử dần với khoảng dao động $[-1 \div 1]$ kết quả xác định các số mũ a_3 , a_4 được trình bày trên hình 3-11 trong đó các giá trị số mũ được xác định tương ứng với giá trị phối hợp giữa chúng xác định hệ số a_1 , a_2 đem lại mức độ phù hợp nhất với mô hình với các số liệu thực nghiệm ($a_3 = -0.025$, $a_4 = -0.41$) đem lại hệ số hồi quy R^2 là lớn nhất ($R^2=0.937$).



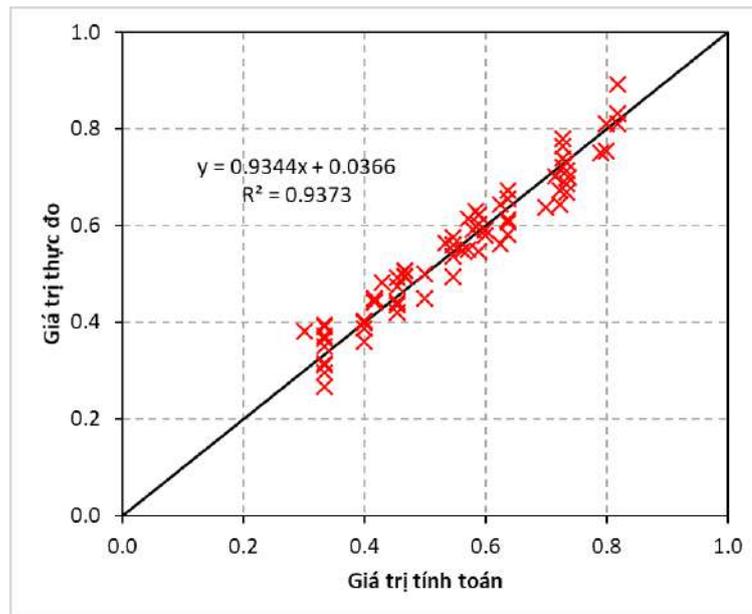
Hình 3-11. Xác định số mũ a_3, a_4

Với cặp số mũ $a_3 = -0.025$, $a_4 = -0.41$ có được dựa trên kết quả phân tích hồi quy cho giá trị R^2 là lớn nhất tìm được hệ số a_1, a_2 trong đó khoảng tin cậy 95% đối với các hệ số a_1, a_2 là: $a_1 = [-0.175 \div 0.200]$, $a_2 = [0.763 \div 0.788]$. Kết quả xác định các hệ số a_1, a_2 với giá trị trung bình $a_1 = -0.187$, $a_2 = 0.775$

Các hằng số thực nghiệm được xác định lần lượt là: $a_1 = -0.187$, $a_2 = 0.775$, $a_3 = -0.025$, $a_4 = -0.41$ cho công thức (3-4).

Như vậy công thức (3-2) trên có dạng như sau:

$$K_t = -0.187 \frac{R_c}{H_{m0}} + 0.775 \left(P_f \frac{B_{eff}}{L_{m-1,0}} \right)^{-0.025} \left[1 - \exp \left(\frac{-0.41}{\sqrt{S_{0m}}} \right) \right] \quad (3-4)$$



Hình 3-12. So sánh K_t tính toán theo công thức và số liệu thực nghiệm.

Kết quả so sánh hệ số truyền sóng qua đê rồng TC1 giữa tính toán theo công thức (3-6) và các số liệu thí nghiệm được thể hiện trên Hình 3-12 với mức độ phù hợp cao ($R^2 = 0.9373$).

Phạm vi ứng dụng của công thức:

$$\frac{R_c}{H_{m0,i}} = -1.07 \div 1.93$$

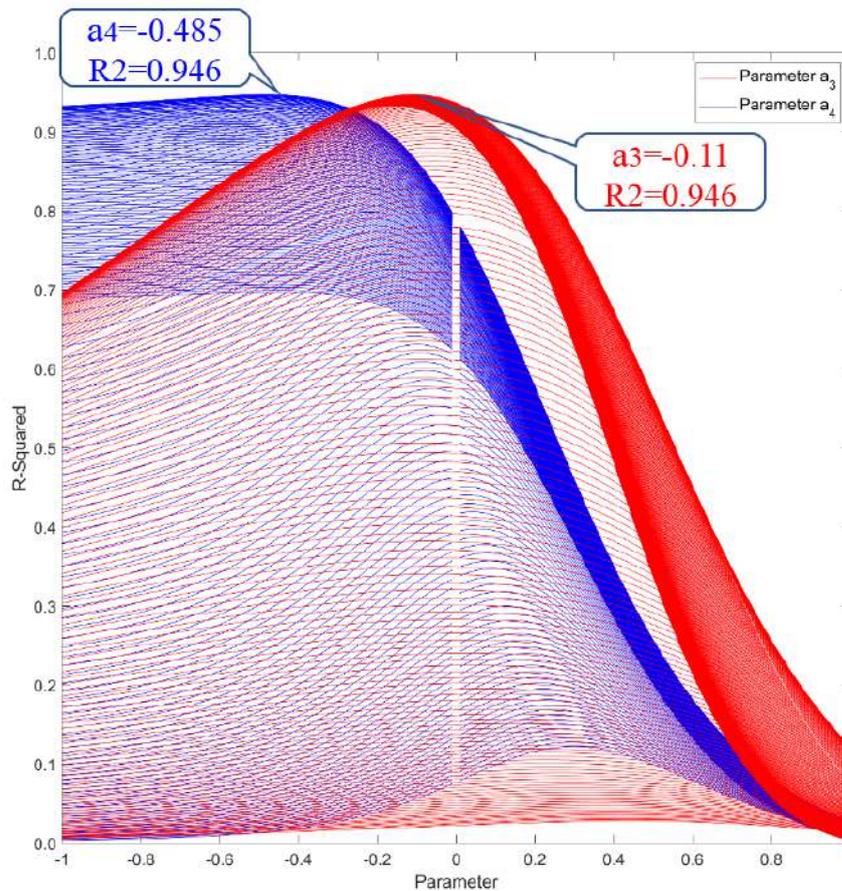
$$S_{0m} = 0.021 \div 0.087$$

$$\frac{B_{eff}}{L_{m-1,0}} = 0.011 - 0.105$$

$$K_t = 0.3 \div 0.80$$

$$P_1=20.7\%; P_2=15.2\%$$

Cách làm tương tự như vậy với công thức công thức (3-3). Các giá trị a_3, a_4 được thử dần và xác định ứng với giá trị phối hợp giữa chúng xác định hệ số a_1, a_2 cho hệ số hồi quy R^2 là lớn nhất (Hình 3-13)



Hình 3-13. Xác định số mũ a_3 , a_4

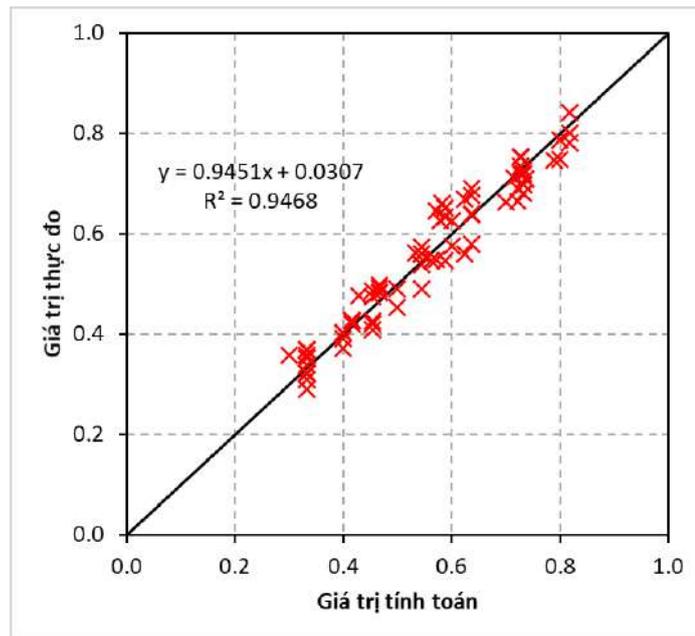
Với cặp số mũ $a_3 = -0.11$; $a_4 = -0.485$ có được dựa trên kết quả phân tích hồi quy cho giá trị R^2 là lớn nhất tìm được hệ số a_1 , a_2 trong đó khoảng tin cậy 95% đối với các hệ số a_1 , a_2 là: $a_1 = [-0.123 \div 0.101]$, $a_2 = [0.754 \div 0.777]$. Kết quả xác định các hệ số a_1 , a_2 với giá trị trung bình $a_1 = -0.112$, $a_2 = 0.765$

Với công thức (3-3) Các hằng số thực nghiệm được xác định lần lượt là: $a_1 = -0.112$, $a_2 = 0.765$, $a_3 = -0.11$, $a_4 = -0.485$.

Như vậy công thức (3-3) trên có dạng như sau:

$$K_t = -0.112 \frac{R_c}{H_{m0}} + 0.765 \left(P_f \frac{B_{eff}}{d} \right)^{-0.11} \left[1 - \exp \left(\frac{-0.485}{\sqrt{S_{0m}}} \right) \right] \quad (3-5)$$

Kết quả so sánh hệ số truyền sóng qua đê rỗng TC1 giữa tính toán theo công thức (3-7) và các số liệu thí nghiệm được thể hiện trên Hình 3-14 với mức độ phù hợp cao ($R^2 = 0.9468$).



Hình 3-14. So sánh K_t tính toán theo công thức và số liệu thực nghiệm.

Phạm vi ứng dụng của công thức:

$$\frac{R_c}{H_{m0,i}} = -1.07 \div 1.93$$

$$S_{0m} = 0.021 \div 0.087$$

$$\frac{B_{eff}}{d} = 0.14 - 1.263$$

$$K_t = 0.3 \div 0.80$$

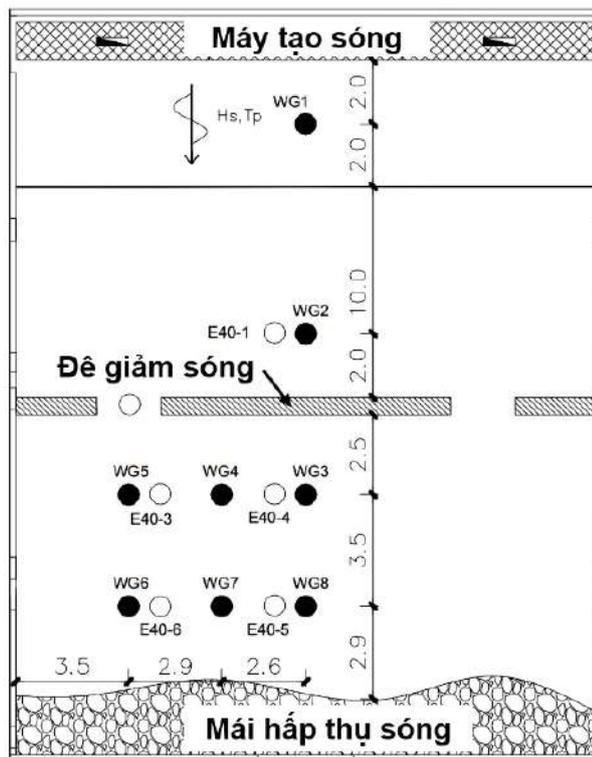
$$P1=20.7\%; P2=15.2\%$$

3.3.2. Kiểm định công thức với số liệu thí nghiệm trong bể sóng

Để kiểm định độ tin cậy của công thức thiết lập ở mục 3.3.1 với bộ số liệu kết quả đo thí nghiệm trong bể sóng tại phòng thí nghiệm thủy động lực sông biển - Viện Khoa học Thủy lợi Miền Nam trong Đề tài cấp nhà nước “Nghiên cứu đề xuất giải pháp công nghệ chống xói lở, bảo vệ bờ biển hợp lý cho vùng đồng bằng sông Cửu Long dựa trên mô hình vật lý” - Mã số 47/2018 trong đó NCS là thư ký đề tài.

3.3.2.1 Mô hình thí nghiệm bể sóng

Bể sóng của phòng thí nghiệm thủy động lực sóng biển (Hình 3-15). Các cơ sở thiết bị máy móc được cung cấp bởi HR Wallingford. Chiều dài của bể sóng là 40 m, chiều rộng 18 m và cao 1,1m. Hệ thống máy tạo sóng được trang bị khả năng hấp thụ sóng phản xạ (Active Reflection Compensation), có thể tạo ra sóng ngẫu nhiên hoặc sóng đều với chiều cao lên đến $H_s = 0.25$ m và chu kỳ từ $T_p = 0.5 \div 3.0$ s. Hệ thống gồm 03 máy tạo sóng, mỗi máy có cánh rộng 6m ($6 \cdot 3 = 18$ m), cao: 1m; sai cánh: 1m. Hệ thống kim đo sóng gồm 8 kim đo. Bộ xử lý tín hiệu có 16 kênh. Sóng được đo với tần số 100Hz (độ chính xác ± 0.1 mm). Tỷ lệ mô hình bể sóng là 1/10; độ rỗng bề mặt cấu kiện TC1 là $P_1 = 20.7\%$; $P_2 = 15.2\%$, được chế tạo với tỷ lệ 1/10 đảm bảo theo tiêu chuẩn Froude.



Hình 3-15. Mặt bằng bố trí đầu đo sóng trong bể sóng

Trên mặt bằng bố trí không gian công trình thì đầu đo sóng được bố trí tại 8 vị trí đo trong đó có WG1 vị trí tại vị trí biên nước sâu, WG2 vị trí trước chân công trình và 6 vị trí sau công trình phân bố đều trên không gian tại các vị trí giữa tuyến đê, giữa khoảng hở và sau đầu đoạn đê (Hình 3-15). Sóng lan truyền từ máy tạo sóng truyền

qua tuyến đê và vào bờ. Số liệu đo đạc truyền sóng đo qua các kim đo WG2 trước đê và WG3 sau đê sẽ được dùng để kiểm định công thức thiết lập. Để đánh giá hệ số truyền sóng K_t qua kết cấu TC1, công thức được sử dụng như sau:

$$K_t = \frac{H_{m0,t}}{H_{m0,i}}$$

Hệ số truyền sóng được xác định bằng tỷ lệ chiều cao sóng truyền phía sau công trình ($H_{m0,t}$) tại WG3 và chiều cao sóng tới trước công trình ($H_{m0,i}$) tại WG2;

Các kịch bản được lựa chọn để kiểm định trên mô hình bể sóng cho kết cấu TC1 bao gồm 24 kịch bản. Các giá trị độ sâu mực nước và thông số sóng thay đổi như sau:

- 4 độ sâu nước (d) ứng với chiều cao lưu không $R_c = + 0; 4; 8; 12$ cm;
- 6 tham số sóng ($H_s; T_p$) trong mỗi kịch bản giá trị mực nước (d).

Bảng 3-1. Kịch bản thí nghiệm bể sóng

Kịch Bản	Độ sâu d (cm) (tương ứng với chiều cao lưu không R_c (cm))	Tham số sóng
TC1	($d=14\text{cm}/R_c=+12\text{cm}$)	$H_s = 10\text{cm}; T_p = 1.71\text{s}$
	($d=18\text{cm}/R_c=+8\text{cm}$)	$H_s = 10\text{cm}; T_p = 1.96\text{s}$
	($d=22\text{cm}/R_c=+4\text{cm}$)	$H_s = 14\text{cm}; T_p = 1.45\text{s}$
	($d=26\text{cm}/R_c=+0\text{cm}$)	$H_s = 14\text{cm}; T_p = 1.71\text{s}$
		$H_s = 14\text{cm}; T_p = 1.96\text{s}$
		$H_s = 18\text{cm}; T_p = 1.96\text{s}$

Trong đó: d là độ sâu nước tại vị trí công trình

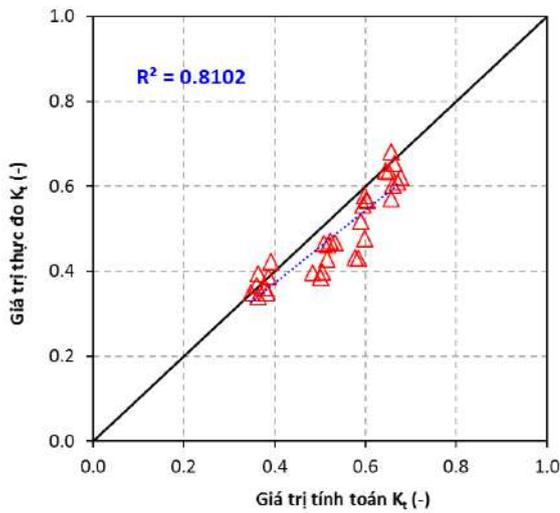
3.3.2.2 Kiểm định công thức thiết lập

Sử dụng số liệu 24 kịch bản từ thí nghiệm truyền sóng qua KCR TC1 trong bể sóng (xem Bảng 3-2) để kiểm định công thức (3-4); (3-5) bằng cách thay các số liệu đo đạc từ thí nghiệm như R_c/H_{m0} ; B_{eff}/d ; $B_{eff}/L_{m-1,0}$; P_f và S_{mo} vào công thức cho thấy giá trị K_t , tính toán tính theo công thức và $K_{t, thực}$ đo với chỉ số đánh giá R^2 và RMSE (xem Phụ lục 2) kết quả cho độ tin cậy thể hiện Bảng 3-3 và Hình 3-16. Từ kết quả tính toán kiểm định cho thấy công thức (3-5) cho kết quả tốt nhất với $R^2 = 0.8523$ lớn nhất

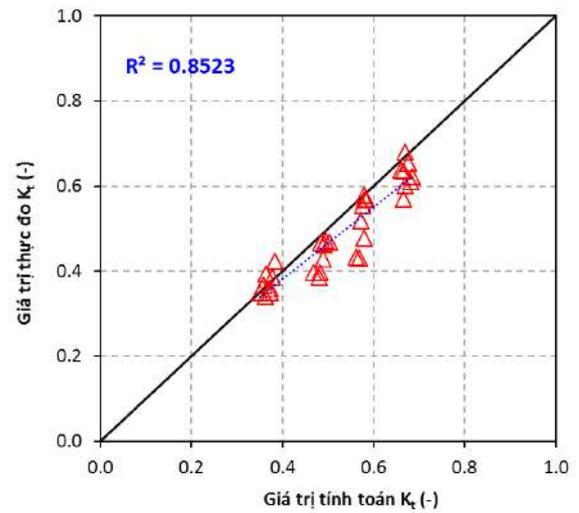
và sai số $RMSE = 0.057$ là nhỏ nhất, đồng thời thể hiện rõ mối quan hệ B_{eff}/d và bản chất vật lý truyền sóng qua dạng đê KCR TC1.

Bảng 3-2. Kết quả đo đạc trong bể sóng và tính toán với công thức xây dựng

Kịch bản	d [m]	Rc [m]	Hm0 [m]	Tm0-1 [s]	Rc/Hm0 [-]	B _{eff} [m]	B _{eff} /d [-]	B _{eff} /L _{m-1,0} [-]	Som	Kt thực đo	Kt tính công thức (3-4)	Kt tính công thức (3-5)
TC1-D62H18T196	0.26	0.00	0.14	2.29	0.000	0.05	0.19	0.014	0.039	0.636	0.644	0.660
TC1-D62H14T196	0.26	0.00	0.13	2.33	0.000	0.05	0.19	0.014	0.036	0.635	0.651	0.666
TC1-D62H14T171	0.26	0.00	0.11	2.39	0.000	0.05	0.19	0.014	0.031	0.654	0.664	0.676
TC1-D62H14T145	0.26	0.00	0.11	2.04	0.000	0.05	0.19	0.016	0.035	0.681	0.657	0.668
TC1-D62H10T196	0.26	0.00	0.11	2.40	0.000	0.05	0.19	0.013	0.028	0.610	0.671	0.681
TC1-D62H10T171	0.26	0.00	0.09	2.30	0.000	0.05	0.19	0.014	0.026	0.621	0.677	0.685
TC1-D62H10T145	0.26	0.00	0.10	1.85	0.000	0.05	0.19	0.018	0.034	0.602	0.659	0.669
TC1-D62H10T120	0.26	0.00	0.09	1.74	0.000	0.05	0.19	0.019	0.036	0.570	0.656	0.666
TC1-D58H18T196	0.22	0.04	0.12	2.42	0.333	0.09	0.39	0.025	0.035	0.568	0.601	0.581
TC1-D58H14T196	0.22	0.04	0.12	2.30	0.345	0.09	0.39	0.026	0.035	0.578	0.598	0.579
TC1-D58H14T171	0.22	0.04	0.11	2.17	0.367	0.09	0.39	0.028	0.035	0.555	0.595	0.576
TC1-D58H14T145	0.22	0.04	0.10	1.99	0.385	0.09	0.39	0.030	0.037	0.518	0.589	0.571
TC1-D58H10T196	0.22	0.04	0.10	2.36	0.412	0.09	0.39	0.025	0.029	0.567	0.603	0.583
TC1-D58H10T171	0.22	0.04	0.09	2.20	0.444	0.09	0.39	0.027	0.029	0.477	0.598	0.580
TC1-D58H10T145	0.22	0.04	0.09	1.84	0.435	0.09	0.39	0.033	0.036	0.430	0.585	0.568
TC1-D58H10T120	0.22	0.04	0.09	1.68	0.449	0.09	0.39	0.037	0.038	0.433	0.577	0.562
TC1-D54H18T196	0.18	0.08	0.09	2.78	0.851	0.12	0.67	0.033	0.026	0.468	0.534	0.503
TC1-D54H14T196	0.18	0.08	0.09	2.44	0.879	0.12	0.67	0.038	0.029	0.471	0.523	0.495
TC1-54H14T171	0.18	0.08	0.09	2.32	0.909	0.12	0.67	0.040	0.029	0.463	0.517	0.490
TC1-D54H14T145	0.18	0.08	0.09	2.16	0.941	0.12	0.67	0.043	0.030	0.466	0.508	0.484
TC1-D54H10T196	0.18	0.08	0.09	2.22	0.889	0.12	0.67	0.042	0.031	0.428	0.515	0.489
TC1-D54H10T171	0.18	0.08	0.08	2.13	0.964	0.12	0.67	0.044	0.030	0.398	0.505	0.482
TC1-D54H10T145	0.18	0.08	0.08	2.11	1.000	0.12	0.67	0.044	0.029	0.385	0.501	0.480
TC1-D54H10T120	0.18	0.08	0.08	1.82	1.067	0.12	0.67	0.052	0.032	0.396	0.483	0.467
TC1-D50H18T196	0.14	0.12	0.07	4.00	1.791	0.16	1.12	0.034	0.014	0.423	0.392	0.384
TC1-D50H14T196	0.14	0.12	0.07	2.95	1.765	0.16	1.12	0.046	0.020	0.386	0.386	0.378
TC1-D50H14T171	0.14	0.12	0.06	2.65	1.875	0.16	1.12	0.051	0.021	0.394	0.364	0.364
TC1-D50H14T145	0.14	0.12	0.07	2.27	1.714	0.16	1.12	0.060	0.027	0.360	0.380	0.372
TC1-D50H10T196	0.14	0.12	0.07	2.15	1.667	0.16	1.12	0.064	0.029	0.350	0.383	0.373
TC1-D50H10T171	0.14	0.12	0.07	2.09	1.818	0.16	1.12	0.065	0.028	0.366	0.359	0.359
TC1-D50H10T145	0.14	0.12	0.07	2.00	1.765	0.16	1.12	0.069	0.030	0.340	0.364	0.361
TC1-D50H10T120	0.14	0.12	0.07	1.78	1.818	0.16	1.12	0.078	0.033	0.350	0.348	0.351



Công thức (3-4)



Công thức (3-5)

Hình 3-16. So sánh K_t tính toán theo công thức và số liệu thực đo.Bảng 3-3. Hệ số tương quan R^2 , RMSE

STT	Công thức	Các chỉ số đánh giá	
		R^2	RMSE
1	Công thức (3-4)	0.8102	0.067
2	Công thức (3-5)	0.8523	0.058

Nhận xét: Công thức (3-5) đã được kiểm định bằng bộ số liệu đo đạc trên bề sóng cho thấy độ tin cậy của công thức tương đối tốt. Do đó, công thức (3-5) có thể áp dụng tính toán truyền sóng cho KCR TC1 có điều kiện và phạm vi áp dụng tương tự.

3.3.3. Kiểm định công thức với số liệu đo đạc công trình thực tế

Để đánh giá công thức thiết lập với kết quả đo đạc hiện trường sử dụng bộ số liệu đo đạc tại công trình ĐGS TC1 tại Tân Thành từ ngày 13÷15/01/2021 đây là thời điểm gió mùa Đông Bắc hoạt động mạnh kết hợp với triều cường.

Để đánh giá hệ số truyền sóng K_t qua kết cấu TC1, công thức được sử dụng như sau:

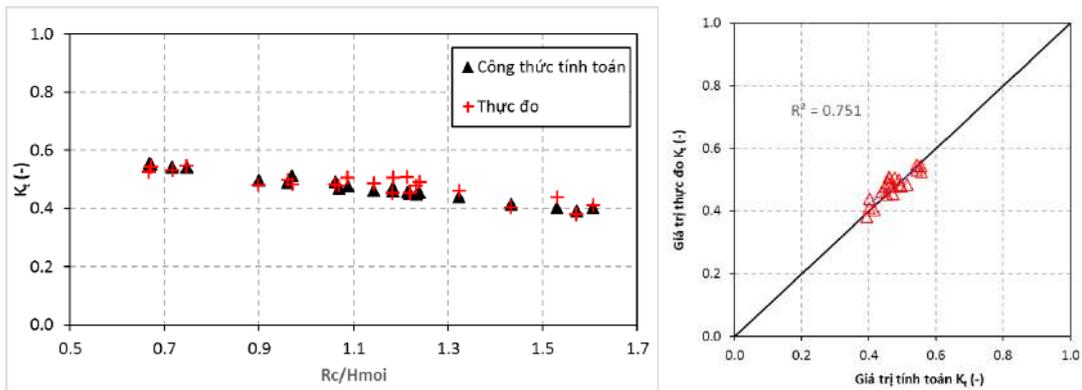
$$K_t = \frac{H_{m0,t}}{H_{m0,i}}$$

Hệ số truyền sóng được xác định bằng tỷ lệ chiều cao sóng truyền phía sau công trình ($H_{m0,t}$) tại ST2 và chiều cao sóng tới trước công trình ($H_{m0,i}$) tại ST1 (xem Hình 2-27);

Kết quả so sánh hệ số truyền sóng từ công thức tính toán với số liệu phân tích từ đo đạc cho thấy kết quả tính toán hệ số truyền sóng từ công thức thực nghiệm và thực đo khá phù hợp với chỉ số tương quan $R^2 = 0.751$ và sai số $RMSE = 0.024$ chấp nhận được theo chỉ số đánh giá ở Phụ lục 2 mặc dù hệ số tương quan $R^2 = 0.751$ nhỏ hơn hệ số kiểm định trong bể sóng. Tuy nhiên, điều này thể hiện các yếu tố khi mô thí nghiệm trong máng sóng và thực đo ngoài hiện trường là khác nhau do ảnh hưởng của các yếu tố bên ngoài thực địa như: hướng sóng, gió, địa hình, nồng độ bùn cát, nước mặn, hiện tượng nhiễu xạ, khúc xạ sóng ...

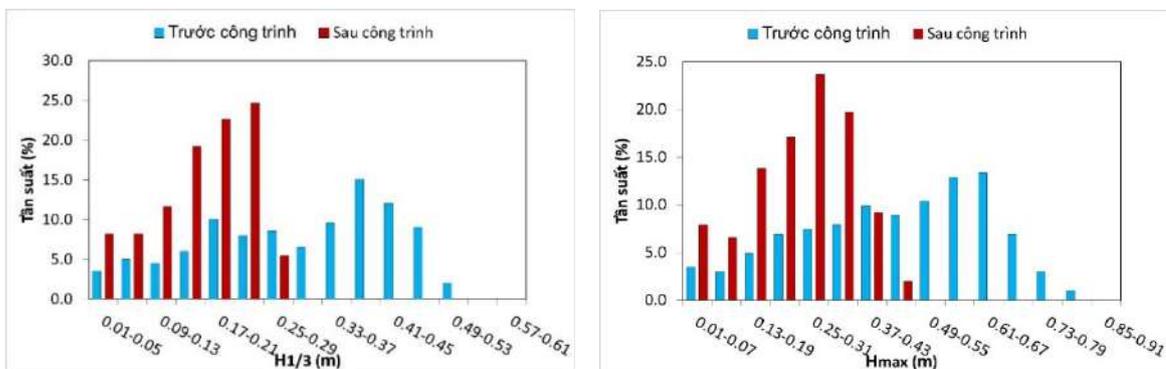
Bảng 3-4. Tính toán hệ số truyền sóng K_t tính toán và thực đo

Thời gian	H_{m0i} [m]	H_{m0t} [m]	T_{m0-1} [s]	d (m)	R_c (m)	R_c/H_{m0i}	B_{eff} [m]	B_{eff}/d [-]	S_{om}	K_t tính toán	K_t thực đo
1/13/21 1:30 PM	0.66	0.29	4.39	1.29	1.01	1.53	1.6	1.24	0.022	0.39	0.44
1/13/21 2:00 PM	0.67	0.33	4.64	1.47	0.83	1.24	1.4	0.98	0.020	0.45	0.49
1/13/21 2:30 PM	0.76	0.38	4.55	1.57	0.73	0.96	1.4	0.86	0.024	0.48	0.50
1/13/21 3:00 PM	0.79	0.38	4.59	1.59	0.71	0.90	1.3	0.84	0.024	0.49	0.48
1/13/21 3:30 PM	0.69	0.35	4.57	1.55	0.75	1.09	1.4	0.88	0.021	0.47	0.51
1/13/21 4:00 PM	0.71	0.36	4.76	1.46	0.84	1.18	1.4	0.99	0.020	0.45	0.51
1/13/21 4:30 PM	0.67	0.27	4.28	1.34	0.96	1.43	1.6	1.16	0.023	0.41	0.40
1/13/21 11:00 PM	0.66	0.30	5.1	1.52	0.78	1.18	1.4	0.92	0.016	0.46	0.45
1/13/21 11:30 PM	0.66	0.32	5.58	1.66	0.64	0.97	1.3	0.77	0.014	0.50	0.48
1/14/21 12:00 AM	0.75	0.41	5.51	1.74	0.56	0.75	1.2	0.69	0.016	0.53	0.55
1/14/21 12:38 AM	0.78	0.41	5.66	1.78	0.52	0.67	1.2	0.65	0.016	0.54	0.53
1/14/21 1:08 AM	0.79	0.43	5.6	1.77	0.53	0.67	1.2	0.66	0.016	0.54	0.54
1/14/21 1:38 AM	0.81	0.43	5.49	1.72	0.58	0.72	1.2	0.71	0.017	0.53	0.53
1/14/21 2:00 AM	0.66	0.32	5.11	1.6	0.7	1.06	1.3	0.83	0.016	0.48	0.48
1/14/21 2:08 PM	0.61	0.25	4.45	1.32	0.98	1.61	1.6	1.19	0.020	0.39	0.41
1/14/21 2:38 PM	0.69	0.33	4.42	1.45	0.85	1.23	1.5	1.01	0.023	0.44	0.48
1/14/21 3:08 PM	0.73	0.35	4.33	1.52	0.78	1.07	1.4	0.92	0.025	0.46	0.48
1/14/21 3:38 PM	0.7	0.34	4.31	1.5	0.8	1.14	1.4	0.94	0.024	0.45	0.49
1/14/21 4:08 PM	0.65	0.30	4.32	1.44	0.86	1.32	1.5	1.02	0.022	0.43	0.46
1/14/21 4:38 PM	0.63	0.24	3.94	1.31	0.99	1.57	1.6	1.21	0.026	0.38	0.38
1/15/21 1:08 AM	0.61	0.31	4.01	1.56	0.74	1.21	1.4	0.87	0.024	0.45	0.51
1/15/21 2:08 AM	0.64	0.29	3.98	1.52	0.78	1.22	1.4	0.92	0.026	0.44	0.45



Hình 3-17. So sánh hệ số truyền sóng K_t giữa tính toán và thực đo tại Tân Thành.

3.3.4. Kết quả đánh giá thông số sóng từ đo đạc hiện trường

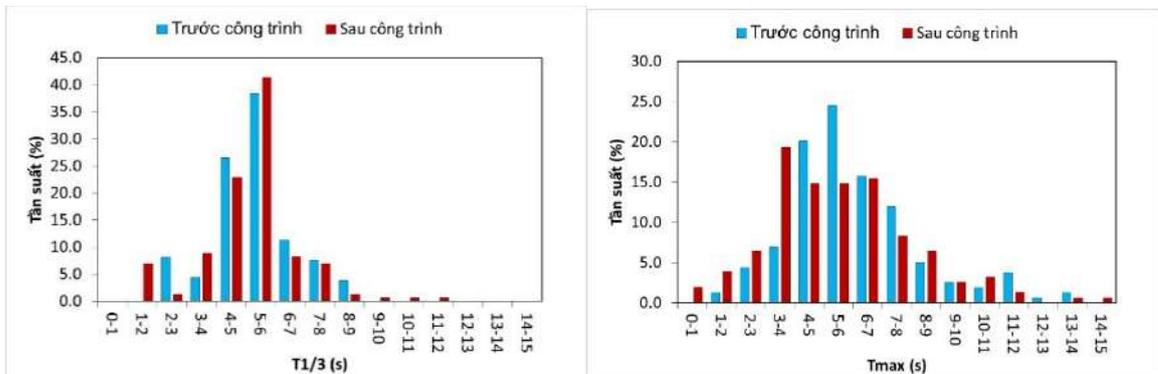


Hình 3-18. Tần suất xuất hiện chiều cao sóng $H_{1/3}$ và H_{max} trước và sau công trình

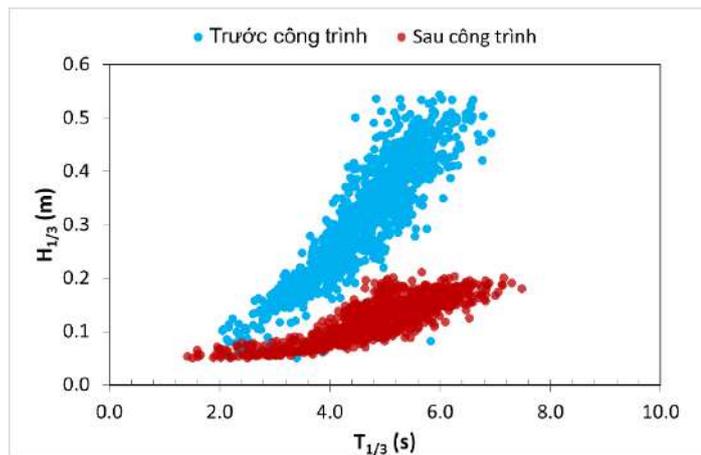
Hình 3-18 thể hiện tần suất xuất hiện của các con sóng tại điểm đo trước và sau công trình, kết quả cho thấy tại điểm đo sóng trước công trình (ST1) với chiều cao sóng lớn nhất từ $H_{max}=0.85\div 0.91m$, với chiều cao từ $H_s=0.37\div 0.67m$ xuất hiện với tần suất lớn nhất từ 7÷15%; tại điểm đo sóng sau công trình (ST2) chiều cao sóng gần như nhỏ hơn 0.4m, con sóng với chiều cao từ $H_s=0.19\div 0.37m$ xuất hiện với tần suất lớn nhất từ 10÷24%. Điều này cho thấy chiều cao sóng trước công trình thay đổi theo sự thay đổi mực nước thủy triều và tần suất xuất hiện trái đều với chiều cao sóng khác nhau, ngược lại tại điểm đo sau công trình chiều cao sóng chủ yếu thay đổi từ $H_s=0.19\div 0.37m$ xuất hiện với tần suất lớn nhất, điều này cho thấy loại đê KCR này như một bộ lọc sóng, triệt tiêu những con sóng lớn hơn 0.4m và chỉ duy trì những con sóng sau công trình nhỏ hơn 0.4m trong đó sóng có chiều cao từ 0.25÷0.31 xuất hiện với tần suất lớn nhất là 24%, với chiều cao sóng sau công trình nhỏ hơn 0.4m sẽ làm

giảm mức độ xói lở bờ biển, tuy nhiên loại công trình này cũng không chặn hoàn toàn những con sóng nhỏ mà vẫn cho những con sóng với chiều cao từ $0.25 \div 0.31$ đi qua để duy trì động lực ven bờ và môi trường sinh thái phù hợp cho sự phát triển của rừng ngập mặn và các loài thủy sinh ven bờ.

Hình 3-19 thể hiện chu kỳ sóng tại điểm đo trước và sau công trình ứng với tần suất xuất hiện, kết quả cho thấy sóng với chu kỳ $4 \div 7$ s xuất hiện nhiều nhất, điều này cho thấy sóng tại khu vực này chủ yếu là sóng do gió mùa sinh ra và truyền vào khu vực này. Mặt khác, chu kỳ sóng tại điểm đo trước và sau công trình không có sự thay đổi lớn, điều này cho thấy với loại KCR đục lỗ ít thay đổi chu kỳ sóng trước và sau công trình.



Hình 3-19. Chu kỳ sóng $T_{1/3}$ và T_{max} trước và sau công trình



Hình 3-20. Quan hệ giữa chiều cao sóng và chu kỳ sóng

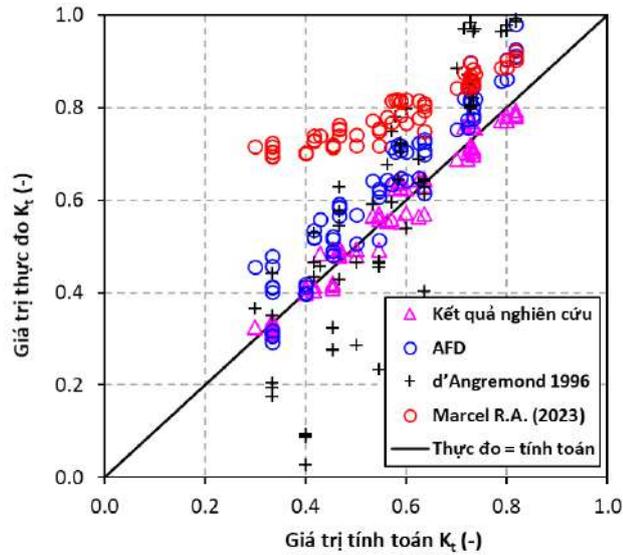
Hình 3-20 cho thấy thêm sự khác biệt rõ ràng về chiều cao sóng có ý nghĩa trước và sau công trình, sóng sau công trình dao động gần như nhỏ hơn 0.3m, trong khi đó

sóng trước công trình chiều cao tới 0.55m, ngoài ra chu kỳ sóng vẫn không có sự biến đổi nhiều từ 2÷7s.

3.3.5. So sánh công thức thiết lập với công thức khác

Hình 3-21 thể hiện so sánh giữa công thức nghiên cứu hiện tại với các nghiên cứu trước đây của d'Angremond và nnk (1996) cho loại đê chắn sóng đá đổ truyền thống, của Thiều Quang Tuấn và nnk (2018) trong dự án AFD và Marcel R.A. van Gent và nnk (2023) cho ĐGS dạng thân rộng đục lỗ.

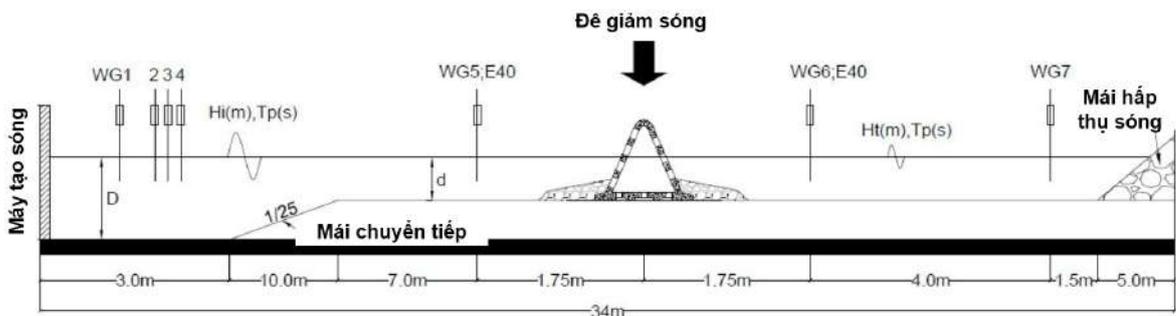
Có thể thấy công thức thực nghiệm tính toán xác định hệ số truyền sóng theo nghiên cứu của Thiều Quang Tuấn và nnk (2018) trong dự án AFD cho trường hợp ĐGS có KCR đỉnh hẹp cho kết quả và xu thế khá gần với kết quả nghiên cứu của NCS, tuy nhiên kết quả đánh giá cho thấy giá trị K_t của nghiên cứu AFD thiên lớn. Nguyên nhân là do sự tương đồng về kết cấu đê rộng đục lỗ và đỉnh hẹp, điều kiện sóng và mô hình bãi biển thí nghiệm tương tự nhau trên cùng một máng sóng, tuy nhiên độ rộng bề mặt đê trong dự án AFD lớn hơn và chưa xét đến bề rộng đỉnh đê và độ thấm trong môi trường rỗng nên kết quả thiên lớn nhưng xu thế là khá tương đồng. So sánh kết quả của NCS với kết quả của Marcel R.A. van Gent và nnk (2023) cho ĐGS dạng thân rộng đục lỗ, có sự khác biệt lớn hơn mặc dù là đê thân rộng đục lỗ nhưng hình dạng đê trong nghiên cứu của Marcel R.A. van Gent và nnk (2023) là dạng đê ngầm và mái dốc thoải hơn (1:2) so với kết cấu đê TC1 thí nghiệm nên hệ số K_t cũng thiên lớn. Ngược lại với giá trị K_t của kết cấu đê đá đổ trong nghiên cứu của d'Angremond và nnk (1996) cho giá trị khá thấp và phân bố khá phân tán không có xu thế rõ ràng, điều này là do kết cấu đê đá đổ nên sự tiêu tán năng lượng sóng cao hơn. Như vậy, có thể thấy rằng sự tương đồng về hệ số truyền sóng của 2 dạng đê kết cấu thân rộng đục lỗ đỉnh hẹp trong nghiên cứu hiện tại và với nghiên cứu của Thiều Quang Tuấn và nnk (2018) trong dự án AFD thể hiện sự tương đồng rõ nét. Trường hợp đê kết cấu đá đổ và đê thân rộng đục lỗ mái thoải hệ số tương quan khá phân tán so với số liệu nghiên cứu của NCS.



Hình 3-21. So sánh hệ số truyền sóng giữa công thức trong nghiên cứu hiện tại và các công thức nghiên cứu trước đây.

3.4. Biến đổi vận tốc qua đê KCR TC1

Để xem xét ảnh hưởng của đê KCR TC1 với độ rỗng bề mặt ($P_1=20.7\%$; $P_2=15.2\%$) đến sự biến đổi vận tốc trước và sau đê KCR, NCS so sánh vận tốc tức thời và vận tốc trung bình trước đê tại WG5 và vận tốc sau đê tại WG6 để so sánh. Đối với loại ĐGS KCR là loại đê rỗng và đục lỗ trên bề mặt thân đê nên khi sóng truyền qua thân đê dẫn đến sự thay đổi vận tốc dòng chảy do sóng trước và sau công trình, loại đê này có nhiệm vụ giảm sóng và tạo điều kiện để bùn cát đi qua, do đó việc xem xét sự thay đổi vận tốc dòng chảy trước và sau đê là cần thiết để đánh giá khả năng vận chuyển bùn cát và bồi lắng sau đê, đồng thời đây cũng là yếu tố quan trọng để đánh sự thay đổi môi trường và hệ sinh thái sau ĐGS.



Hình 3-22. Sơ đồ bố trí vị trí đo vận tốc trước và sau công trình tại WG5, WG6

Hệ số truyền vận tốc K_{Vmean} là tỷ số giữa vận tốc trung bình phía sau so với vận tốc trung bình trước KCR TC1.

$$K_{Vmean} = \frac{V_{mean,t}}{V_{mean,i}}$$

Hiệu quả giảm dòng chảy ε_v % được xác định theo công thức:

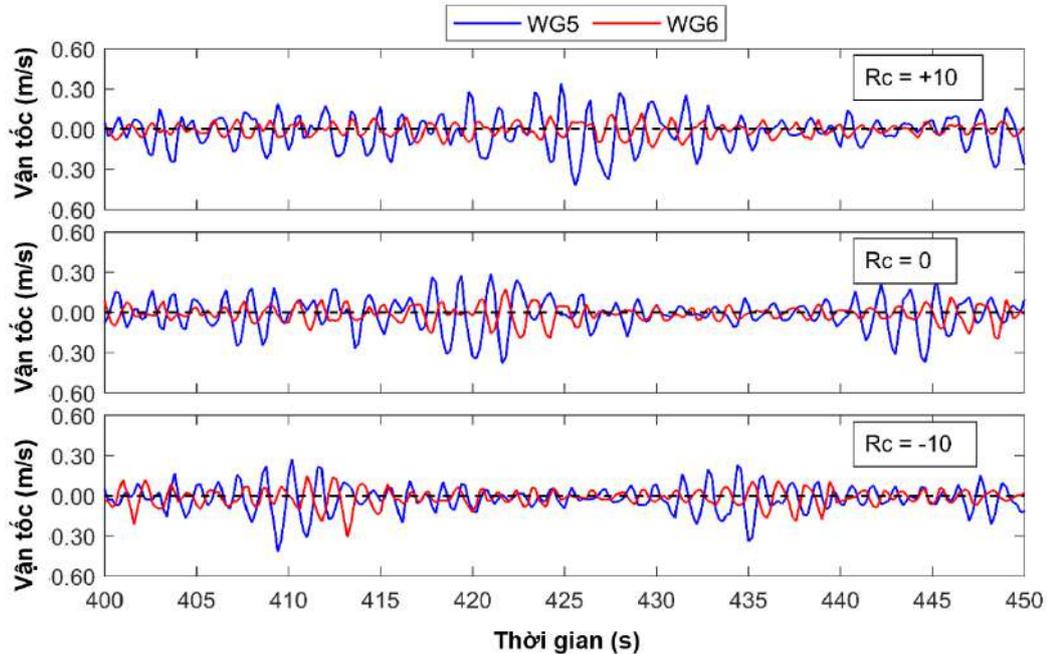
$$\varepsilon_v = (1 - K_{Vmean}) * 100\% = \left(1 - \frac{V_{mean,t}}{V_{mean,i}}\right) * 100\%$$

Với: K_{Vmean} là hệ số truyền dòng chảy qua KCR ($0 \leq K_{tv} \leq 1,0$)
 ε_v là hiệu quả giảm dòng chảy qua KCR ($0 \leq \varepsilon_v \leq 100\%$)
 $V_{mean,i}$ và $V_{mean,t}$ lần lượt là vận tốc trung bình phía trước và sau KCR trong thời gian thí nghiệm .

3.4.1. Quá trình biến đổi vận tốc tức thời ứng với các trạng thái làm việc của ĐGS

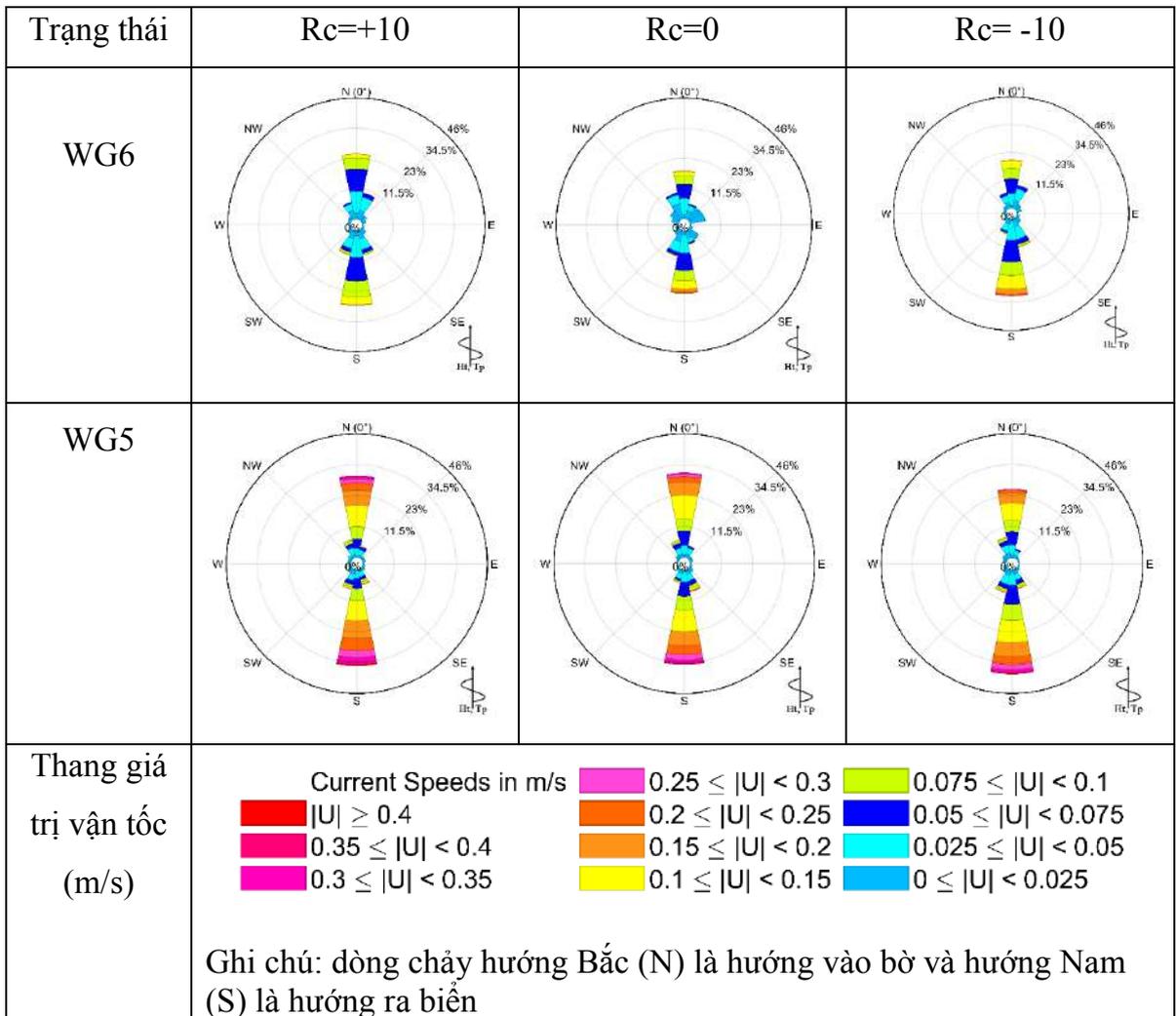
Để xem xét ảnh hưởng ĐGS KCR đến sự thay đổi vận tốc trước KCR (tại vị trí WG5) và sau KCR (tại vị trí WG6), Hình 3-23 trình bày sự biến đổi giá trị vận tốc ứng với 3 giá trị mực nước tương ứng 3 điều kiện làm việc điển hình của đê là đê nhô ($R_c=10$), mực nước bằng mặt ($R_c=0$) và đê ngầm ($R_c=-10$) cho một thông số sóng H12T15. Kết quả cho thấy khi sóng truyền qua đê rộng đã làm biến đổi giá trị vận tốc, vận tốc sau công trình giảm đáng kể và nhiều nhất ứng với trường hợp đê nhô $R_c=+10$ giá trị vận tốc nhỏ hơn 0.15m/s so với giá trị vận tốc trước công trình dao động từ 0.25÷0.4m/s; điều này cho thấy khi đê làm việc ở trạng thái nhô thì hiệu quả giảm dòng chảy là khá lớn (40÷63%). Trường hợp mực nước bằng cao trình đỉnh ($R_c=0$) vận tốc sau công trình tăng đáng kể so với trường hợp đê nhô, dao động lớn nhất khoảng 0.25m/s so với vận tốc trước công trình là 0.5m/s. Trường hợp đê làm việc ở trạng thái ngầm $R_c=-10$ chênh lệch vận tốc trước và sau công trình khá nhỏ điều này là do sóng tràn qua đỉnh đê nên không có sự suy giảm nhiều về vận tốc so với 2 trường hợp còn lại. Điểm đáng chú ý là tại WG5, vận tốc tại những thời điểm sóng rút có giá trị vận tốc

lớn hơn thời điểm sóng truyền điều này cho thấy ảnh hưởng sóng phản xạ trước công trình đã làm gia tăng dòng chảy trước đê.



Hình 3-23. Sự biến đổi giá trị vận tốc tại WG5, WG6 ứng với 3 trạng thái làm việc của ĐGS với trường hợp H12T151.

Hình 3-24 thể hiện hoa dòng chảy tại WG5 (trước KCR) và WG6 (sau KCR) ứng với 3 trạng thái làm việc của ĐGS cho trường hợp sóng H12T15, hoa dòng chảy tại vị trí WG5 trước KCR vận tốc dòng chảy tức thời khá lớn dao động từ 0.1-0.4m/s và biến đổi rất ít ứng với 3 trường hợp mực nước khác nhau, tuy nhiên tại vị trí WG6 sau KCR có sự biến đổi rõ nét vận tốc dòng chảy nhỏ nhất ứng với trường hợp đê nhô $R_c=10$ dao động $0.025 \div 0.1$ m/s khi mực nước tăng dần tương ứng $R_c=0$ và $R_c=-10$ thì vận tốc dòng chảy cũng tăng lên đáng kể từ 0.1-0.2m/s điều này cho thấy khi sóng tràn qua đỉnh đê (overtopping) thì vận tốc dòng chảy sau công trình gia tăng đáng kể. Điều đáng chú ý là dòng chảy tại WG5 thể hiện dòng chảy ngược có xu thế lớn hơn dòng chảy xuôi cả về cường độ và giá trị điều này càng làm rõ thêm rằng sóng phản xạ trước công trình đã một phần ảnh hưởng tạo ra dòng chảy ngược làm dòng chảy ngược gia tăng cường độ và tần suất.

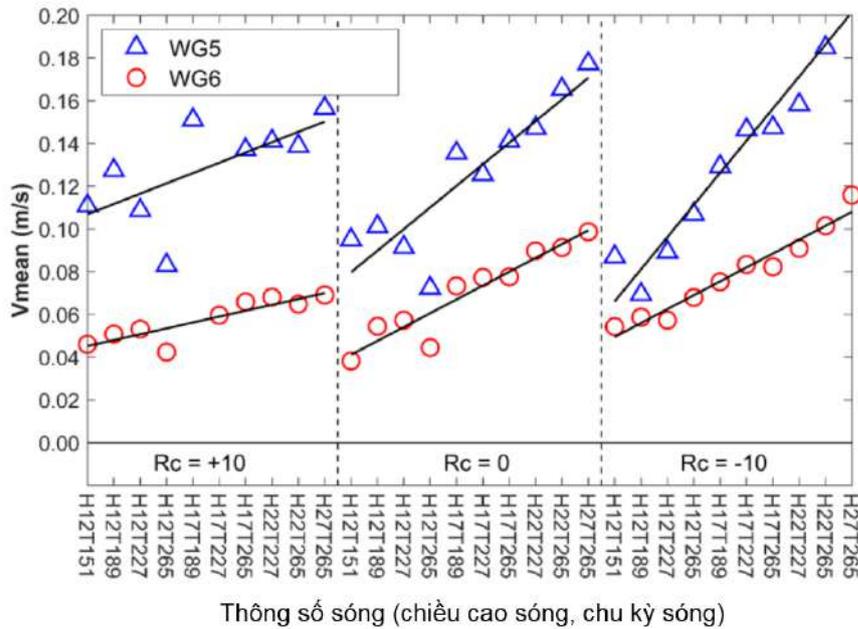


Hình 3-24. Hoa dòng chảy tại WG5 và WG6 cho trường hợp sóng H12T151.

3.4.2. Quá trình biến đổi vận tốc trung bình ứng với các trạng thái làm việc của ĐGS

Để xem xét ảnh hưởng của các thông số sóng ứng với 3 trạng thái làm việc của đề KCR TC1 đến quá trình biến đổi giá trị vận tốc trung bình trước và sau công trình. Hình 3-25 thể hiện sự biến đổi vận tốc trung bình rất rõ nét, khi chiều cao sóng và chu kỳ sóng càng gia tăng thì vận tốc trước và sau công trình cũng gia tăng tương ứng trong đó với trường hợp đề nhô ($R_c=+10$) khi sóng tăng chiều cao từ $H_s=12\text{cm}$ đến $H_s=27\text{cm}$ thì vận tốc trung bình tại trước công trình (WG5) tăng đáng kể từ $V_{\text{mean}}=0.115\text{cm/s}$ đến 0.17cm/s , ngược lại vận tốc sau công trình (WG6) gần như tăng rất ít từ 0.045 đến 0.055m/s , hệ số suy giảm dòng chảy trước và sau công trình lên đến

trên $\varepsilon_v = 50\%$. Điều này một lần nữa khẳng định khả năng giảm dòng chảy khá lớn khi đê làm việc ở trạng thái nhô và lỗ rỗng trên bề mặt thân đê có vai trò quan trọng trong suy giảm dòng chảy và như một bộ lọc làm vận tốc sau công trình biến đổi rất nhỏ dù sóng tăng lên đáng kể.

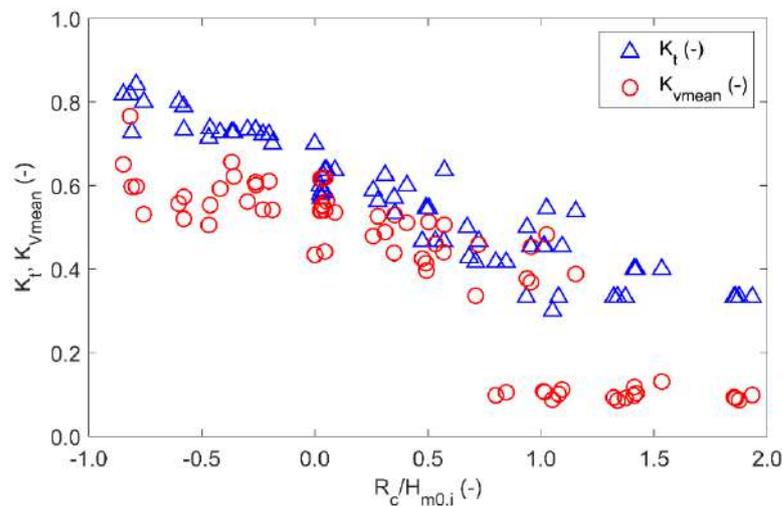


Hình 3-25. Sự biến đổi giá trị vận tốc trung bình tại WG5, WG6.

Trường hợp đê ngầm ($R_c < 0$) và mực nước bằng -đỉnh đê ($R_c = 0$) sóng một phần truyền qua thân đê và tràn qua đỉnh đê, do đó sự biến đổi vận tốc cả trước và sau công trình rất rõ nét, trong trường hợp đê ngầm ($R_c = -10$) thì khi chiều cao sóng tăng từ 12cm đến 27cm vận tốc sau công trình tăng lên từ $0,06 \div 0,12 \text{ m/s}$ (gấp gần 2 lần trường hợp đê nhô) và vận tốc trước công trình tăng khá nhanh từ $0,08 \div 0,17 \text{ m/s}$. Điều đặc biệt là ứng với trường hợp đê ngầm ($R_c = -10$) sóng gần như tràn qua đỉnh đê thì vận tốc sau công trình lớn hơn so với trường hợp đê nhô và sự gia tăng này có sự tuyến tính với gia tăng chiều cao sóng. Tuy nhiên, vận tốc trước công trình (WG5) có sự giảm nhẹ đối với những con sóng nhỏ $H_s = 0,12 \text{ m}$ trong khi những con sóng lớn $H_s \geq 17 \text{ cm}$ thì vận tốc vẫn tăng đồng biến với sự gia tăng chiều cao sóng, điều này có thể giải thích khi trường hợp đê nhô ($R_c = +10$) do sóng phản xạ trước công trình lớn do đó đã làm gia tăng vận tốc dòng chảy khi sóng rút tại vị trí trước công trình so với hai trường hợp còn lại.

3.4.3. Ảnh hưởng của chiều cao lưu không tương đối của đỉnh đê ($R_c/H_{m0,i}$) đến hệ số truyền vận tốc K_{Vmean}

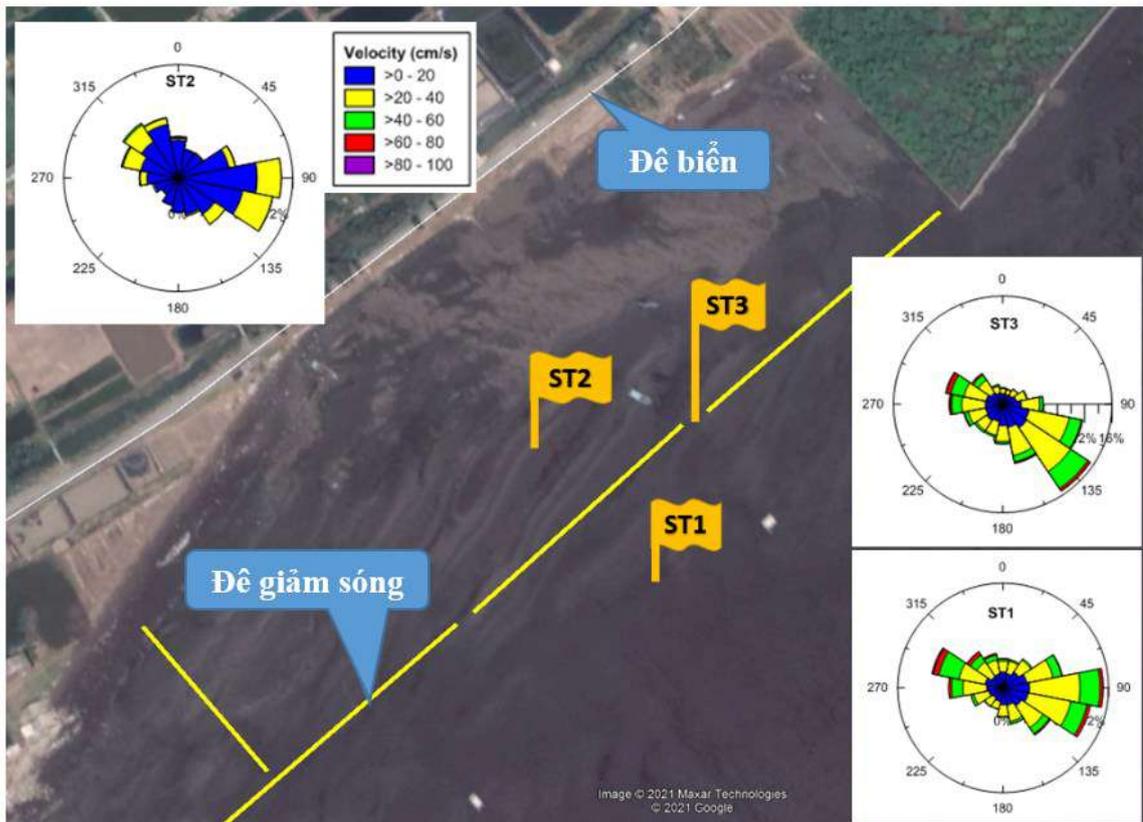
Hệ số truyền vận tốc trung bình K_{Vmean} được tính bằng tỉ số vận tốc trung bình sau công trình (WG6) / vận tốc trung bình trước công trình (WG5). Hình 3-26 thể hiện xu thế khi đê làm việc trạng thái đê nhô ($R_c > 0$) thì hệ số K_{Vmean} khá nhỏ dao động từ $K_{Vmean} = 0.15 \div 0.4$ tương ứng hệ số suy giảm vận tốc $\varepsilon_v = 60 \div 85\%$. Khi đê làm việc ở trạng thái ngầm ($R_c < 0$) sóng tràn qua đỉnh đê hệ số K_{Vmean} tăng lên đáng kể từ $K_{Vmean} = 0.4 \div 0.7$ tương ứng $\varepsilon_v = 30 \div 60\%$ điều này khá tương đồng với hệ số truyền sóng K_t . Hình 3-26 cũng cho thấy có sự tương quan khá cao về xu thế giữa hệ số truyền sóng và hệ số truyền vận tốc ứng với các chiều cao lưu không khác nhau.



Hình 3-26. Quan hệ hệ số truyền sóng, vận tốc trung bình và chiều cao lưu không R_c . Hệ số truyền sóng K_t và hệ số truyền vận tốc K_{Vmean} là những đặc trưng thủy lực của kết cấu đê rỗng khi sóng truyền qua KCR đục lỗ không ngăn cản hoàn toàn sóng và vận tốc dòng chảy mà vẫn cho phép sóng, vận tốc dòng chảy truyền qua với một mức độ nhất định với hệ số giảm vận tốc dao động từ $\varepsilon_v = 30 \div 85\%$.

3.4.4. Quá trình biến đổi vận tốc dựa trên kết quả đo đạc từ hiện trường

Để xem xét ảnh hưởng của ĐGS đến sự thay đổi vận tốc dòng chảy trước, sau công trình và ngay khoảng hở giữa 2 đê, ba trạm đo vận tốc được bố trí như Hình 3-27.



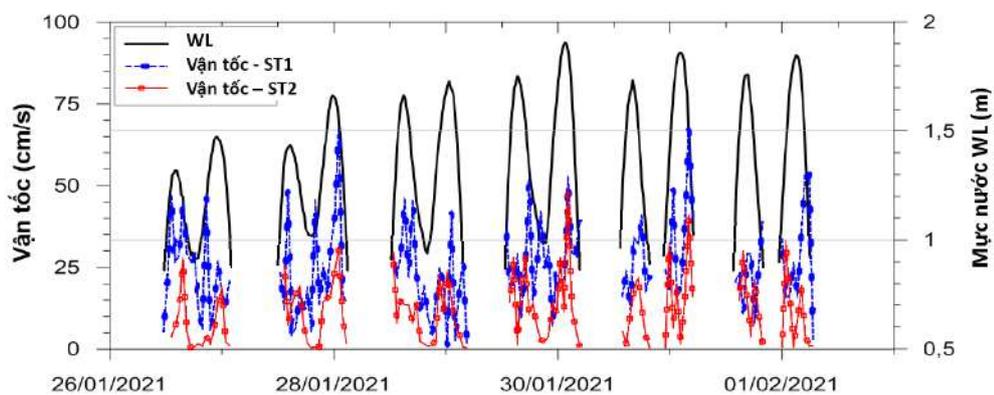
Hình 3-27. Phân bố vận tốc dòng chảy theo hướng tại vị trí đo ST1, ST2, ST3

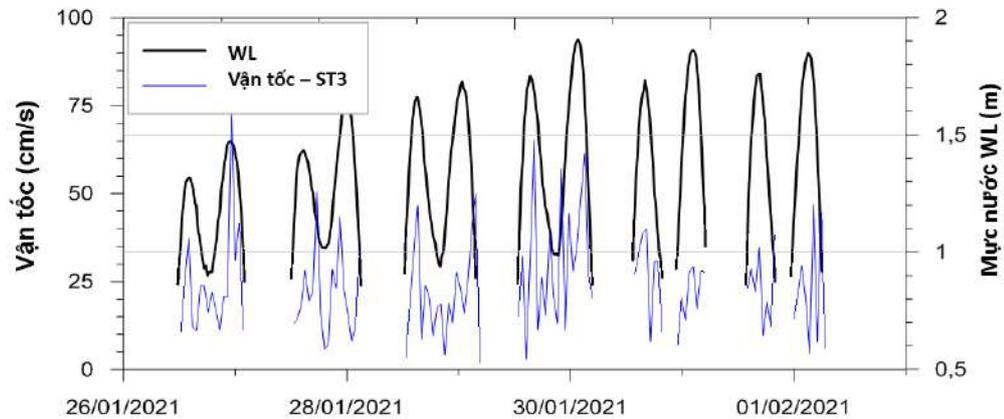
Các kết quả đo đạc dòng chảy tại trạm ST1 trước công trình, ST3 giữa các tuyến công trình và ST2 sau công trình được thể hiện trên Hình 3-27 và Hình 3-28. Các kết quả này cho thấy dòng chảy tuy khá nhỏ với các giá trị biên thiên mang tính ngẫu nhiên và hầu như không diễn tả một xu hướng rõ ràng của các đặc trưng dòng chảy do thủy triều chi phối ở các pha nước lớn và nước ròng. Các giá trị vận tốc dòng chảy đạt cực đại tại cả đỉnh và chân triều (Hình 3-28). Dưới các điều kiện sóng lớn, vận tốc dòng chảy trên bãi triều khu vực nghiên cứu chủ yếu do tác động của sóng. Mặc dù vận tốc dòng chảy và hướng dòng chảy có sự phân tán, nhưng các hướng thịnh hành của dòng khi triều dâng và khi triều rút cũng thể hiện kết quả tác động của thủy triều. Tại vị trí ST1, ST2 (Hình 3-28), dòng triều ở pha nước lớn và nước ròng hầu như ngược nhau với hướng thịnh hành Tây- Tây Bắc ở pha triều dâng và hướng Đông ở pha triều rút; Trong khi đó, tại ST3, dòng chảy hướng Tây -Tây Bắc là hướng thịnh hành khi triều dâng, cũng tương tự như hướng dòng tại ST1. Tuy nhiên hướng dòng chảy thịnh hành trong pha triều rút tại ST3 là hướng Đông Nam, hơi khác so với hướng chính tại ST1.

Sự lệch hướng dòng chảy khi triều rút tại ST3 so với tại ST1 là do sự chi phối bởi hướng dòng chảy hình thành tại cửa đê (giữa khoảng hở của các đoạn ĐGS).

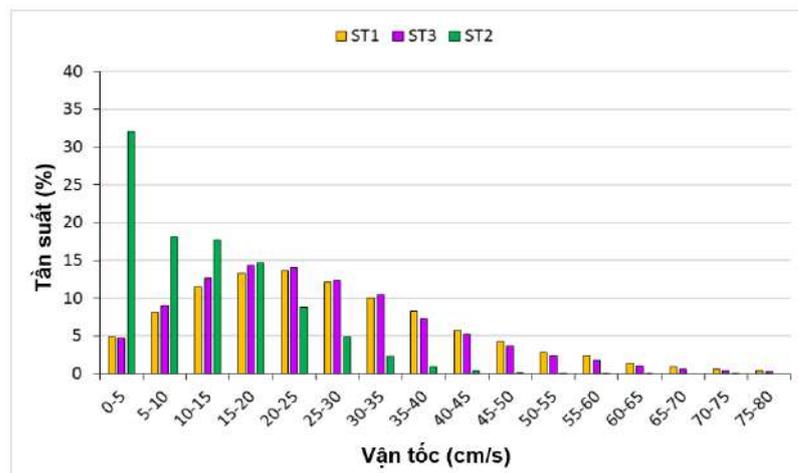
Tại ST2 (Hình 3-28) sau công trình, mặc dù giá trị vận tốc dòng chảy khá nhỏ (hầu hết nhỏ hơn 30 cm/s) và các hướng dòng chảy khá phân tán, nhưng hướng chính của dòng chảy trong pha triều dâng và pha triều rút cũng khá tương đồng với các hướng chính tại trạm ST1. Nguyên nhân là do kết cấu đê này là rỗng với lỗ rỗng phân bố đều trên mặt đê do đó ảnh hưởng của đê đến hướng dòng chảy là rất nhỏ và chủ yếu làm suy giảm vận tốc dòng chảy sau đê, ĐGS đã làm suy giảm vận tốc dòng chảy khoảng trên 50% điều này phù hợp với kết quả mô hình vật lý trong mục 3.2 và mô phỏng mô hình toán trong nghiên cứu Lê Xuân Tú và nnk (2022c) [81], vận tốc tại khu vực sau công trình xuống còn 20-30cm/s so với vận tốc dòng chảy trước công trình từ 50÷60cm/s. Do đó dòng chảy sau đê gần như không thay đổi hướng so với trước đê mà chỉ suy giảm cường độ tạo điều kiện gây bồi lắng. Điều này chứng tỏ ĐGS rỗng ít ảnh hưởng đến môi trường khu vực phía sau.

Vận tốc dòng chảy tại điểm ST3 Hình 3-28 tại cửa đê cũng không thay đổi nhiều so với tại điểm ST1 trước công trình, giá trị dòng chảy lớn nhất cũng dao động từ 0.5-0.6m/s. Điều này khá thú vị đối với loại đê KCR là không làm gia tăng lớn vận tốc dòng chảy tại cửa đê cả khi triều lên và triều rút. Đối với những loại ĐGS kết cấu đê đặc thì vận tốc dòng chảy tại cửa đê khá lớn tăng 1.25 lần so với hiện trạng (Lê Xuân Tú và nnk (2022c) [81]).





Hình 3-28. Biểu đồ theo thời gian của dao động mực nước tại vị trí ST1 và vận tốc dòng chảy tại vị trí ST1 (phía trước công trình), ST2 (phía sau công trình) và ST3 (khoảng trống giữa các tuyến công trình).



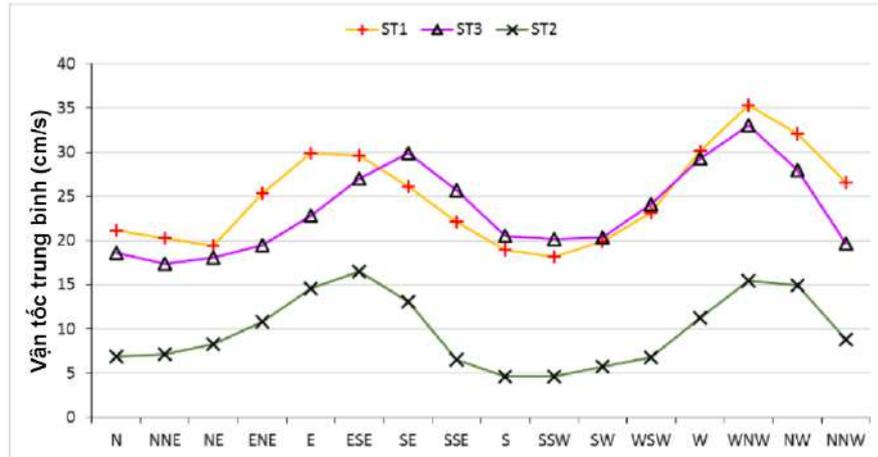
Hình 3-29. Tần suất xuất hiện vận tốc dòng chảy tại vị trí đo ST1, ST2, ST3
 Hình 3-29 thể hiện tần suất xuất hiện vận tốc dòng chảy tại vị trí đo ST1, ST2, ST3, có thể thấy rõ ràng tại điểm ST2 sau công trình hiệu quả giảm dòng chảy là rất lớn, tần suất xuất hiện nhiều nhất 32% với vận tốc $V < 5$ (cm/s) và vận tốc $V < 30$ (cm/s) là chiếm tần suất xuất hiện lớn từ 5÷17%. Trong khi vận tốc dòng chảy tại các vị trí ST1, ST3 là khá tương đồng về giá trị và tần suất xuất hiện, tần suất xuất hiện lớn nhất là 5÷17% cho các vận tốc $15 < V < 25$ (cm/s).

Để xem xét quá trình biến đổi vận tốc trước và sau công trình, hệ số truyền vận tốc trung bình $K_{V_{mean}}$ được đưa ra để xem xét.

$$K_{Vmean} = \frac{V_t}{V_i}$$

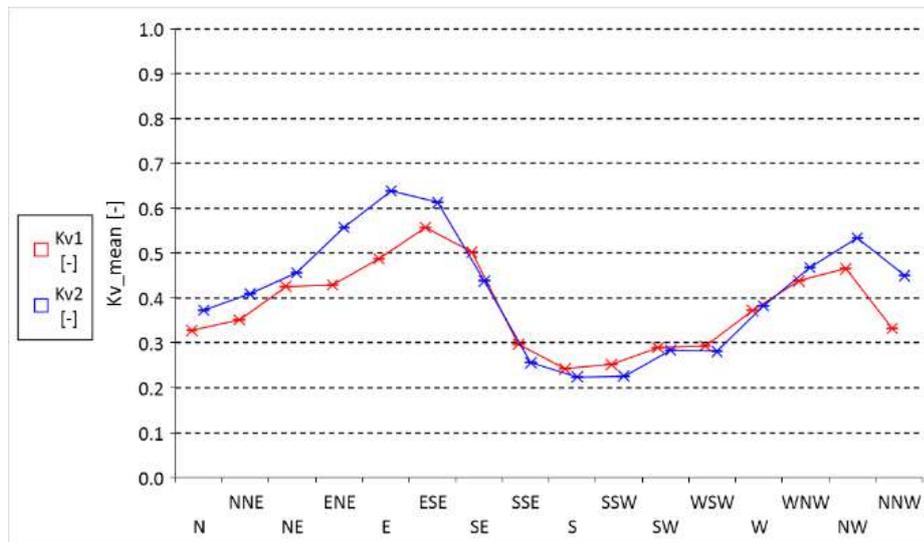
Trong đó: V_t : Vận tốc dòng chảy trung bình sau công trình

V_i : Vận tốc dòng chảy trung bình trước công trình



Hình 3-30. Biểu đồ vận tốc dòng chảy trung bình theo các hướng

Kết quả trên Hình 3-30 cho thấy vận tốc trung bình tại các trạm đo trước công trình (ST1) dao động từ $0.2 \div 0.35 \text{ m/s}$, vận tốc dòng chảy trung bình sau công trình (ST2) giảm đáng kể chỉ còn $0.05 \div 0.15 \text{ m/s}$.



Hình 3-31. Biểu đồ hệ số truyền vận tốc theo các hướng

Hình 3-31 thể hiện hệ số truyền vận tốc K_v theo các hướng dòng chảy khác nhau, đánh giá cho số liệu đo đạc vận tốc tại các vị trí:

- $K_{V1} = V_{(ST2)}/V_{(ST1)}$; tính cho điểm trước công trình ST1 và sau công trình ST2

- $K_{V2} = V_{(ST3)}/V_{(ST1)}$; tính cho điểm cửa đê giảm sóng ST3 so sánh với vị trí sau công trình ST2 .

Kết quả phân tích cho thấy hệ số truyền vận tốc tính toán dao động từ $K_{Vmean} = 0.25 \div 0.65$. Điều này thể hiện khi sóng tương tác với công trình vận tốc dòng chảy trước và sau công trình bị giảm đáng kể trung bình gần 50% kết quả này cũng phù hợp với kết quả phân tích từ đo đạc thí nghiệm mô hình vật lý. Điều này cho thấy hiệu quả giảm vận tốc dòng chảy sau công trình tạo điều kiện để bùn cát bồi lắng sau công trình.

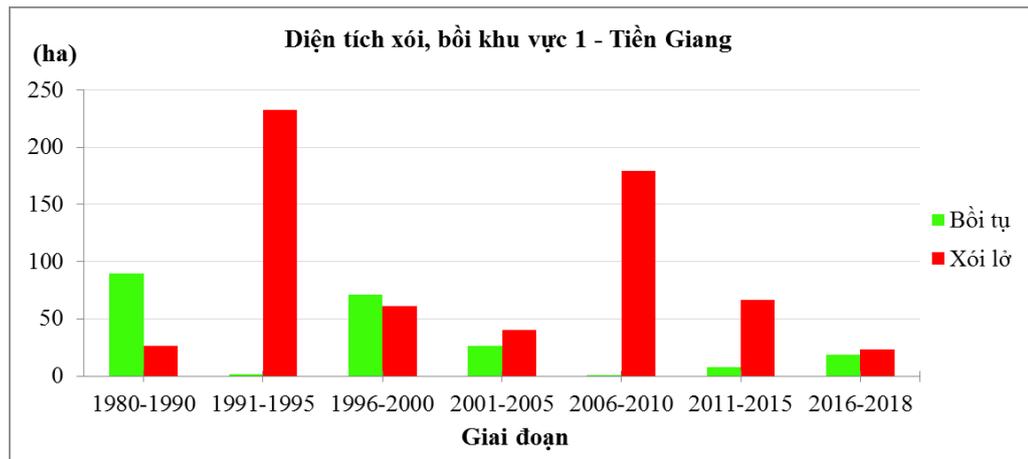
3.5. Ứng dụng ĐGS KCR TC1 tại Tiền Giang

3.5.1. Điều kiện tự nhiên khu vực bờ biển Tiền Giang

Khu vực ven biển Gò Công- Tiền Giang có cao trình đáy biển vùng ven bờ dao động trong khoảng -0.5m đến -1.5m, bãi có độ dốc thoải khoảng 1/2000. Khu vực này kẹp giữa 2 sông Cửa Tiểu và sông Soài Rạp đây là nguồn cung cấp phù sa cho bờ biển này. Sóng tác động vào bờ biển theo hướng Đông, Đông Bắc với chiều cao $H_s = 0.5 \div 1.5m$ đây là hướng hướng tác động của mùa gió chướng và là một trong những nguyên nhân chính khiến cho bờ biển khu vực này bị xâm thực mạnh mẽ. Theo số liệu thống kê mực nước khu vực này (Trạm Vàm Kênh) mực nước triều cao nhất +1.73m và thấp nhất -2.1m. Địa chất công trình khu vực này như sau: Lớp 1a: Cát màu xám xanh bề dày khoảng 1.0÷1.2m và diện phân bố đều trên bề mặt; Lớp 1: Bùn đất sét bình thường, dẻo trung bình, màu xám nâu, xám xanh, đôi chỗ có lẫn cát, bề dày khoảng 10÷11.0m, góc ma sát trong $\varphi = 02^\circ 50' \div 03^\circ 02'$; lực dính $C = 0.054 \div 0.056 \text{ kG/cm}^2$ đây là lớp đất yếu. Lớp 2: Đất sét bình thường lẫn cát, dẻo trung bình, màu nâu vàng, xám trắng, xám xanh, nâu đỏ, trạng thái dẻo mềm đến nửa cứng góc ma sát trong $\varphi = 13^\circ 15' \div 13^\circ 51'$; lực dính $C = 0.228 \div 0.242 \text{ kG/cm}^2$.

Khu vực bờ biển Gò Công Đông từ cửa sông Soài Rạp đến cửa Tiểu, có chiều dài khoảng 20 km, là đoạn bờ có hình thái khá đặc biệt, tuyến bờ khá thẳng và có hướng bờ hướng Bắc – Nam. Kết quả phân tích diễn biến bờ biển Bảng 3-1 cho thấy

trong khoảng thời gian từ năm 1980-2018 hầu hết đoạn bờ biển Gò Công Đông - Tiền Giang xảy ra xói lở mạnh chiếm ưu thế so với bồi lắng, diện tích xói lở là hơn 600ha, đường bờ bình quân đã lấn sâu vào đất liền gần 500 m, tốc độ xói lở trung bình khoảng hơn 15 m/năm làm mất rừng ngập mặn ven biển và đe dọa đến an toàn và ổn định tuyến đê biển Gò Công.



Hình 3-32. Diện tích xói, bồi khu vực bờ biển Gò Công Đông tỉnh Tiền Giang



Hình 3-33. Diễn biến bờ biển từ 1990-2018 (trái) và sạt lở bờ biển Gò Công (phải)
Do đó, cần thiết phải có giải pháp công trình bảo vệ bờ biển và khôi phục rừng ngập mặn cho khu vực này.

3.5.2. Phân tích lựa chọn giải pháp bảo vệ bờ biển Tiền Giang

Đối với khu vực bờ biển Gò Công – Tiền Giang bên trong là tuyến đê biển đã xây dựng, nâng cấp với cao trình +3.5 ÷ +4.0m, phía ngoài biển rừng phòng hộ đang bị sạt lở và suy giảm đai rừng ngập mặn. Do đó, với khu vực này áp dụng giải pháp bảo vệ bờ biển đa tầng như trình bày mục 2.2.1 bao gồm các thành phần: ĐGS phía ngoài,

rừng ngập mặn và tuyến đê biển hiện hữu bên trong, sau khi rừng ngập mặn được phục hồi tiếp tục mở rộng diện tích rừng ngập mặn ra phía biển và dời tuyến ĐGS ra phía ngoài theo các giai đoạn trên hình Hình 3-34. Trong nghiên cứu này, sẽ đưa ra bài toán tính toán thiết kế ĐGS xa bờ thành phần đầu tiên trong hệ thống bảo vệ bờ biển đa tầng.



Hình 3-34. Sơ hoạ các giai đoạn phục hồi và mở rộng rừng ngập mặn ven biển kết hợp ĐGS xa bờ

3.5.3. Tính toán cao trình đỉnh ĐGS

Cao trình đỉnh ĐGS tính theo yêu cầu giảm sóng xác định theo công thức sau:

$$Z_d = Z_{tp} + R_c \quad (3-6)$$

Trong đó: - Z_{tp} là cao trình mực nước biển thiết kế trong điều kiện gió mùa

- R_c là chiều cao lưu không từ đỉnh đê đến mực nước thiết kế được tính toán thử dần từ công thức thiết lập K_t ;

$$K_t = -0.112 \frac{R_c}{H_{m0}} + 0.765 \left(P_f \frac{B_{eff}}{d} \right)^{-0.11} \left[1 - \exp \left(\frac{-0.485}{\sqrt{S_{0m}}} \right) \right]$$

- Trường hợp đê ngầm: $B_{eff} = B_{đỉnh}$

- Trường hợp đê nhô: $B_{eff} = B_{đỉnh} + 2 \cdot R_c \cdot \cot \alpha$

Với điều kiện sóng, mực nước tại khu vực bờ biển Tiền Giang các thông số để tính toán và thiết kế cao trình đê được thể hiện trong Bảng 3-5, Bảng 3-6 và Phụ lục 4 đính kèm.

Bảng 3-5. Tổng hợp các thông số thiết kế ĐGS

Thông số tính toán thiết kế	Giá trị	Ghi chú
Mực nước thiết kế (m)	+1.55	Theo phụ lục tính toán PL4
Độ sâu nước trước đê d (m)	1.7	Mực nước thiết kế - cao trình bãi
Chiều cao sóng ở nước sâu H_{mo} (m)	1.5	Sóng gió mùa Đông Bắc PL4
Chu kỳ sóng ở nước sâu T_p (s)	5.0	
Chiều cao sóng thiết kế trước đê H_{moi} (m)	0.9	Tính truyền sóng từ nước sâu vào chân công trình PL4
Chiều cao sóng lớn nhất trước đê H_{max} (m)	1.38	$H_{max} = 1.53 H_{moi}$
Chiều cao sóng sau đê $H_{mo,t}$ (m) < $[H_{mo,t}]$	0.4	Yêu cầu giảm sóng để trồng rừng ngập mặn theo TCVN-10405-2020.
Hệ số truyền sóng cho phép $[K_t]$	0.44	$= H_{mot} / H_{moi}$

Bảng 3-6. Tính toán cao trình đê

H_{m0i} trước công trình [m]	H_{m0t} sau công trình [m]	$T_{m0} -1$ [s]	R_c [m]	R_c/H_{m0} [-]	P_f	B_{eff} [m]	B_{eff}/d [-]	Som	K_t tính toán	$[K_t]$ cho phép	Z_d [m]	Ghi chú
0.9	0.4	5.0	-0.50	-0.56	8.88	0.70	0.41	0.023	0.70	0.44	1.05	Không đạt
0.9	0.4	5.0	0.00	0.00	8.88	0.70	0.41	0.023	0.64	0.44	1.55	Không đạt
0.9	0.4	5.0	0.30	0.33	8.88	0.97	0.57	0.038	0.55	0.44	1.85	Không đạt
0.9	0.4	5.0	0.50	0.56	8.88	1.15	0.67	0.038	0.51	0.44	2.05	Không đạt
0.9	0.4	5.0	0.92	1.02	8.88	1.52	0.89	0.038	0.44	0.44	2.47	Đạt
0.9	0.4	5.0	1.00	1.11	8.88	1.59	0.94	0.038	0.43	0.44	2.55	Đạt
0.9	0.4	5.0	1.50	1.67	8.88	2.04	1.20	0.038	0.35	0.44	3.05	Đạt
0.9	0.4	5.0	2.00	2.22	8.88	2.48	1.46	0.038	0.28	0.44	3.55	Đạt

Dựa vào kết quả tính toán ở Bảng 3-6, cao trình đê lựa chọn là +2.5m

3.5.4. Thiết kế mặt cắt ngang

Xác định chiều dài bảo vệ chân công trình

Kích thước chiều dài bảo vệ chống xói chân đê được tính theo công thức VanderMeer:

$$L = \max \{3H_{\max}; 0,4h\}$$

Trong đó:

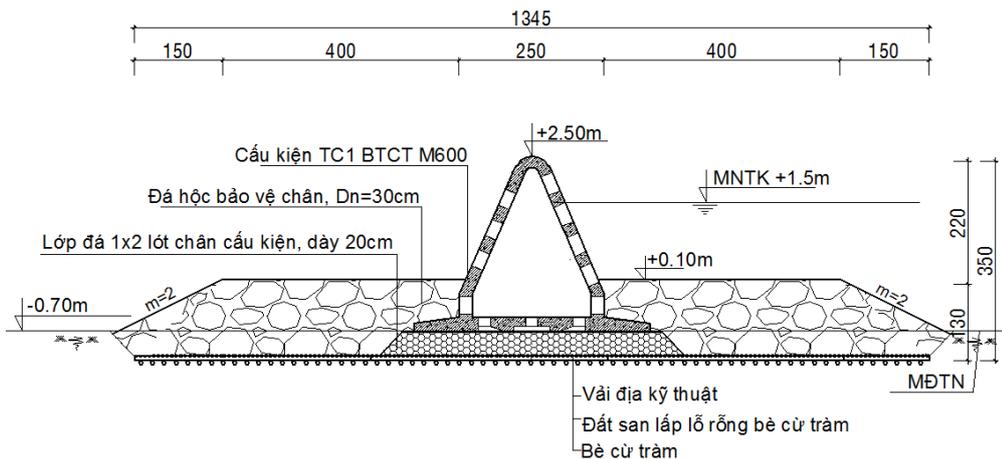
L : chiều rộng phạm vi gia cố đá chân công trình

h : Chiều sâu nước tại chân công trình

Hs : Chiều cao sóng thiết kế lớn nhất

$$L = \max \{3 \cdot 1.38; 0.4 \cdot 1.93\} = 4.14 \text{ m}$$

Chọn chiều rộng bảo vệ chân công trình $L = 5.5 \text{ m}$



Hình 3-35. Mặt cắt ngang đại diện KCR TC1

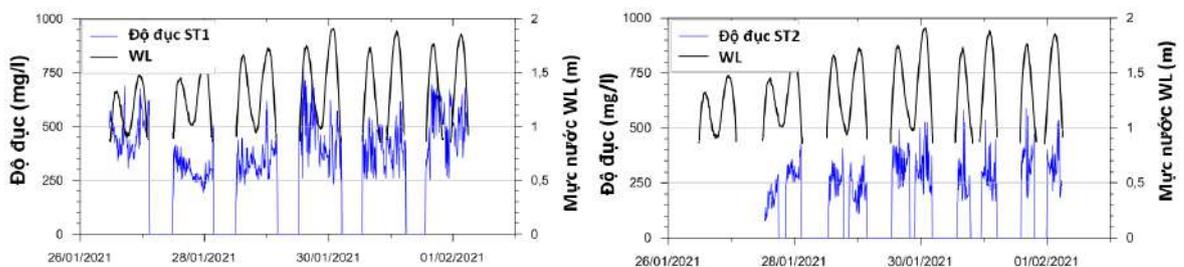


Hình 3-36. Bố trí tuyến công trình

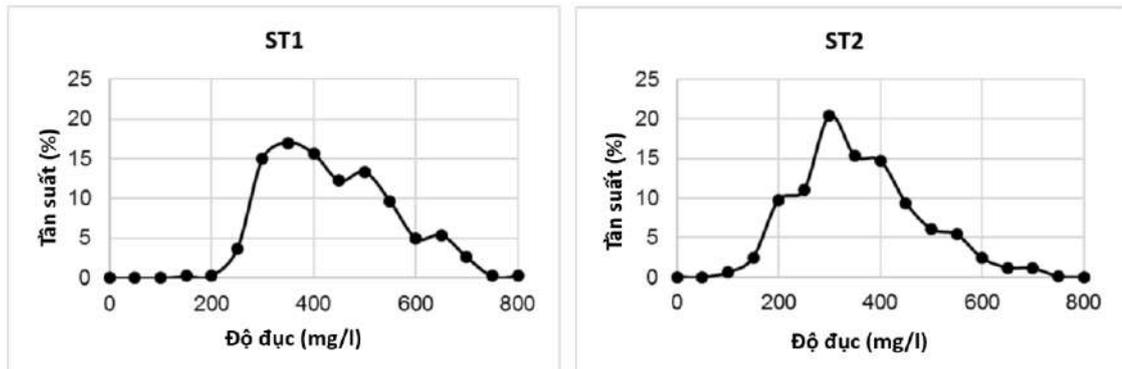
3.5.5. Kết quả đo đạc về trao đổi trầm tích lơ lửng

Đê KCR được thiết kế cho trầm tích đi qua để đẩy nhanh quá trình lắng đọng trầm tích sau đê và phục hồi rừng ngập mặn, ngoài ra tăng cường khả năng trao đổi môi trường nước đảm bảo chất lượng nước trước và sau công trình được tuần hoàn. Sơ đồ bố trí vị trí khảo sát thực địa tại xem Hình 2-27.

Hình 3-37 và Hình 3-38 cho thấy trên trạm đo phía trước (ST1) và sau công trình (ST2), các giá trị độ đục tại trạm ST1 và ST2 có sự chênh lệch khá rõ mặc dù dải độ đục chiếm ưu thế tại hai trạm đều ở mức cao, từ $300 \div 350$ mg/l tại ST1 và từ $250 \div 300$ mg/l tại ST2. Giá trị độ đục trạm ST1 dao động trong khoảng $126 \div 776$ mg/l; trong khi đó độ đục tại trạm ST2 thay đổi trong dải $79 \div 704$ mg/l. Giá trị độ đục trung bình tại ST1 và ST2 lần lượt vào khoảng 411 mg/l và 333 mg/l. Các số liệu này minh chứng rõ ràng, cùng với sự suy giảm năng lượng sóng giữa hai vị trí trước và sau công trình, bùn cát lơ lửng cũng có xu thế suy giảm. Sự suy giảm hàm lượng bùn cát lơ lửng tại vị trí sau công trình cho thấy khả năng bùn cát lơ lửng bị bẫy lại phía sau công trình. Điều này có thể được minh chứng từ sự bồi lắng của cao độ địa hình bãi ở phía trước và sau công trình và trong quá trình quan trắc thực địa với loại trầm tích tích đáy ở phía sau công trình chủ yếu bùn-sét, chiều dày bồi lắng sau công trình dày $0.3 \div 0.5$ m.



Hình 3-37. Sự biến đổi theo thời gian của hàm lượng bùn cát lơ lửng (độ đục) và dao động mực nước tại trạm ST1 và ST2.



Hình 3-38. Phân bố tần suất của bùn cát lơ lửng tại trạm ST1 và ST2.

Phân bố tần suất của bùn cát lơ lửng tại trạm ST1 và ST2 trên Hình 3-37 cho thấy dải độ đục chiếm ưu thế trong khoảng 300÷350 mg/l tại cả hai trạm đo.

Bảng 3-7. Các giá trị thống kê về bùn cát lơ lửng (độ đục, đơn vị mg/l) đo được tại trạm ST1 (trước công trình) và ST2 (sau công trình).

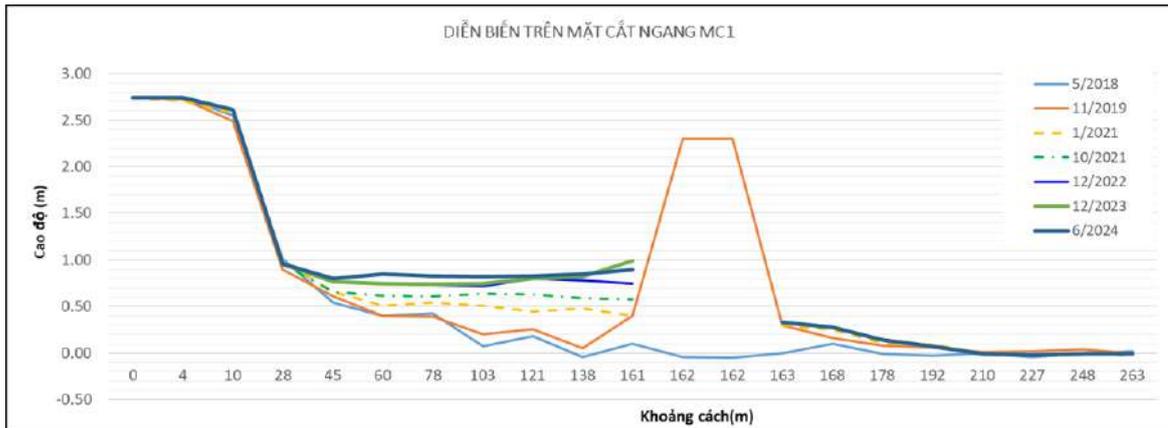
Giá trị thống kê	Độ đục (ST1, mg/l)	Độ đục (ST2, mg/l)
Lớn nhất	776	704
Nhỏ nhất	126	79
Trung bình	411	333

Với hàm lượng bùn cát truyền qua đê rộng và bồi lắng bên trong cho thấy chức năng phù hợp của loại đê cấu rộng trong việc cho bùn cát ngoài biển đi xuyên qua công trình và bồi lắng phù sa ở phía sau với chiều dày khá lớn, đây là điều kiện thuận lợi để cải tạo đất và khôi phục rừng ngập mặn sau công trình. Theo nghiên cứu của (Wenterwerp và nnk (2013) [112]; Trương Hồng Sơn và nnk (2017) [105]) thì chiều dày bùn cát tích tụ trong khoảng 30-50cm là phù hợp cho sự duy trì và phát triển rừng ngập mặn. Cao trình bãi bồi phía sau ĐGS trung bình từ 0.2 ÷ 0.6m đây là cao trình nằm trong khoảng từ mực nước biển trung bình đến mực nước triều cao nhất rất thuận lợi cho rừng ngập mặn phát triển theo nghiên cứu Alongi, (2009) [41].

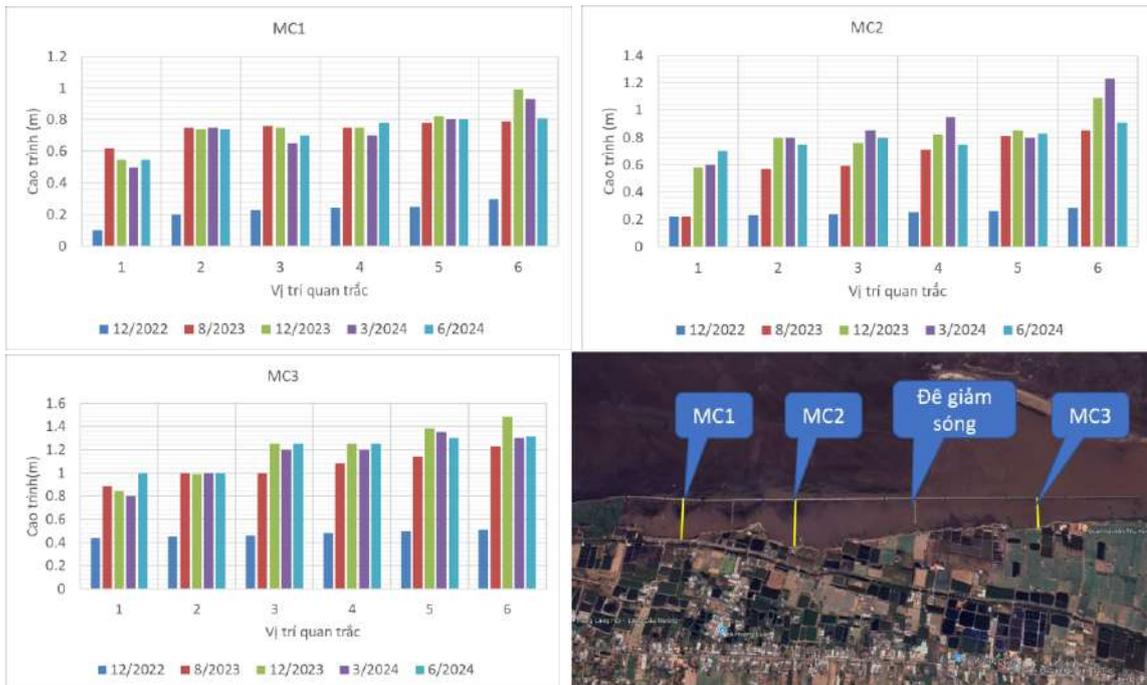
3.5.6. Hiệu quả gây bồi tạo bãi

Để đánh giá mức độ bồi lắng sau công trình, Hình 3-39 thể hiện số liệu đo địa hình tại mặt cắt MC1 trong 6 đợt khảo sát cho thấy xu thế bồi tụ diễn ra ở phía sau công

trình rõ rệt. Chiều dày bồi lắng sau 5 năm từ $0.8 \div 0.9\text{m}$, trong khi khu vực phía trước công trình, cao trình đáy hầu như ít thay đổi. Điều này minh chứng rõ ràng công trình đã phát huy tác dụng trong việc bẫy trầm tích và gây bồi phía sau công trình và đặc biệt là sự hiện diện của công trình dường như không làm ảnh hưởng đến cao trình bãi triều ở phía ngoài.



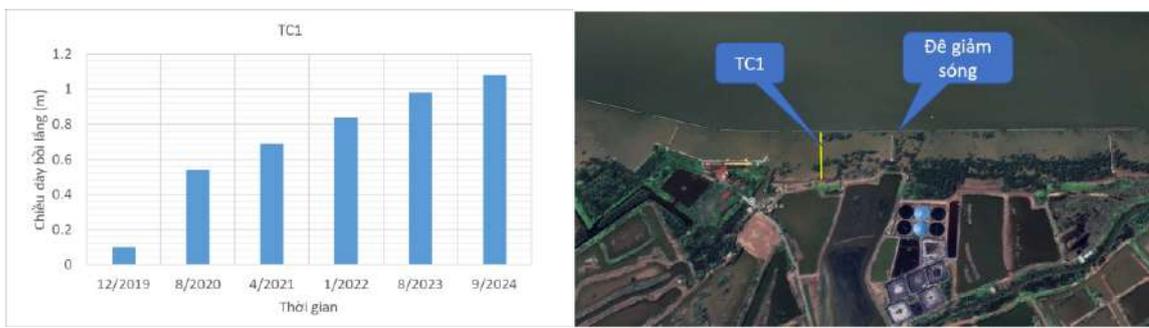
Hình 3-39. Diễn biến địa hình đáy theo trên mặt cắt ngang giữa các lần đo



Hình 3-40. Cao trình bãi biến đổi tại các mặt cắt sau ĐGS ở Tân Thành

Hình 3-40 thể hiện sự biến đổi cao trình bãi phía sau công trình tại 6 điểm (1-6 là từ bờ ra công trình giảm sóng) trên 3 mặt cắt quan trắc ở Tân Thành sau 5 thời điểm khảo sát ($12/2022 \div 6/2024$) kết quả cho thấy cao trình bãi bồi tăng lên khá nhanh sau

năm đầu xây dựng và dần ổn định ở các năm tiếp theo tại cao trình $+0.8 \div 1.2\text{m}$. Tại vị trí 5, 6 ngay sau công trình cao trình bồi lắng cao hơn, so với các điểm còn lại, cao trình bồi lắng có xu thế giảm dần từ phía gần công trình vào đến bờ biển. Với cao trình bãi ổn định $+0.8 \div 1.2\text{m}$ đảm bảo thời gian phơi bãi $> 8 \div 12\text{h}$ có thể tiến hành trồng và khôi phục rừng ngập mặn để tăng khả năng bảo vệ bờ biển và giảm sóng. Kết quả quan trắc bồi lắng sau công trình ở Cồn Cống cho thấy (Hình 3-41) sau 5 năm đưa vào sử dụng chiều dày bồi lắng đạt 1.08m, trong đó chiều dày bồi lắng sau năm đầu khá lớn 0.54m các năm sau chiều dày bồi lắng tăng dần đến cao trình bãi ổn định.



Hình 3-41. Chiều dày bồi lắng sau ĐGS ở Cồn Cống sau 5 năm



Hình 3-42. Hiệu quả gây bồi tạo bãi của ĐGS Tân Thành theo thời gian

Hình 3-42 cho thấy hiệu quả gây bồi tạo bãi sau công trình theo thời gian 3/2022 công trình vừa hoàn thành sau 3 tháng và tháng 6/2023 sau 1.5 năm công trình đi vào sử dụng, bãi bồi hình thành ngay sau ĐGS và phía gần bờ là rõ nét nhất, hình dạng bãi bồi cũng phân bố khá đều do thân đê rộng và bùn cát xuyên qua đê bồi phía sau công trình trên toàn tuyến, điều này cho thấy dạng KCR này cho hình dạng bãi bồi khác hẳn với những loại đê kết cấu đá đổ truyền thống cho dạng đường bờ sau công trình hình "Tombolo" hay "Sallent" là do sóng nhiều xạ tại các cửa đê tạo ra những hình dạng này. Mặt khác, với bãi bồi sau đê KCR phân bố đều thì việc trồng và khôi phục rừng ngập mặn rất thuận lợi và phân bố đều trên toàn bộ diện tích bãi sau ĐGS làm gia tăng diện tích và hiệu quả giảm sóng của giải pháp bảo vệ bờ biển đa tầng trình bày ở mục 2.2.1 tổ hợp đê và rừng ngập mặn nhằm giảm xói lở bờ biển.

3.5.7. Hiệu quả khôi phục rừng ngập mặn và hệ sinh thái

Về khía cạnh môi trường sinh thái, cấu kiện giảm sóng không chỉ giảm thiểu tối đa xói lở bờ biển nhưng vẫn phải đảm bảo quá trình trao đổi môi trường cho các loại sinh vật biển gần bờ, các loài phù du và nhuyễn thể như cua, ốc, hào...có thể sinh sống ở các khu vực bãi bồi có sự trao đổi về nước và thức ăn.

Ngoài ra, cấu kiện đảm bảo mức độ lưu động của nước để các mầm cây ngập mặn có thể di chuyển và cắm vào bãi bồi để sinh trưởng và phát triển. Nếu cấu kiện quá kín và không có khả năng trao đổi và làm giàu dinh dưỡng cho nền phù sa bồi sau đê thì cây ngập mặn cũng không phát triển được. Một yếu tố khác là bãi bồi sau đê bao gồm cả thành phần bùn và cát nên tính cố kết cao, các cây ngập mặn cũng dễ dàng bám rễ và sinh trưởng tốt, ngoài ra chiều cao đê đủ cao để bảo vệ cây non khi bị sóng đánh vào mùa biển động. Do vậy khi tính toán thiết kế cấu kiện giảm sóng, ngoài các yêu cầu về giảm sóng, ổn định công trình làm việc trong điều kiện cực đoan cần phải tính đến yếu tố trao đổi môi trường, khôi phục hệ sinh thái và làm giàu dinh dưỡng các bãi bồi dựa trên yếu tố lâm sinh của rừng ngập mặn. Việc bố trí công trình giảm sóng đảm bảo năng lượng sóng tới bờ không gây sạt lở bờ nhưng vẫn đảm bảo vận chuyển bùn cát vào bãi gần phía bờ, không chỉ bồi đắp sau công trình cần được nghiên cứu chi tiết. Việc khôi phục rừng ngập mặn và hệ sinh thái không chỉ phụ thuộc vào ĐGS

xa bờ mà cần kết hợp các giải pháp khác một cách tổng thể như thiết kế bảo vệ đa tầng, như hàng rào tre, rừng ngập mặn mỗi tầng có chức năng riêng sẽ phát huy tổng thể quản lý bờ biển. Loại cấu kiện rỗng này đáp ứng một cách đầy đủ khả năng kết hợp với các giải pháp khác trên cùng tuyến.

Kết quả phục hồi rừng ngập mặn ở Cồn Công và Tân Thành sau khi xây dựng công trình cho thấy hệ sinh thái dưới nước đang dần phục hồi nhiều loài thủy sinh đang dần phát triển dưới tán rừng ngập mặn, là tín hiệu tích cực cho thấy hiệu quả của công trình trong việc phục hồi hệ sinh thái ven biển (xem hình ảnh Phụ lục 5).



Hình 3-43. Cây mắm đang phục hồi phía sau ĐGS Tân Thành sau 2 năm



Hình 3-44. Quá trình phục hồi rừng ngập mặn và hệ sinh thái ở Cồn Công – Tiên Giang sau 4 năm xây dựng.

3.6. Kết luận Chương 3

Chương 3 thể hiện kết quả nghiên cứu sau:

1. Đánh giá được sự biến đổi phổ sóng khi có công trình ĐGS KCR TC1, ảnh hưởng của các yếu tố đến hệ số truyền sóng K_t qua đê KCR TC1 bao gồm: Chiều cao lưu không tương đối ($R_c/H_{m0,i}$); (ii) Bề rộng tương đối (B_{eff}/d); (iii) Độ dốc sóng (S_{0m}), (iv) độ rỗng bề mặt của kết cấu (n) hay độ thấm hiệu dụng trong môi trường rỗng (P_f). Nghiên cứu đã phân tích được quá trình biến đổi vận tốc dòng chảy (vận tốc tức thời và vận tốc trung bình) do sóng truyền qua đê KCR TC1, hiệu quả của đê KCR TC1 làm suy giảm vận tốc dòng chảy $\varepsilon_v = 30 \div 85\%$.

2. Nghiên cứu xây dựng được công thức thực nghiệm tính toán hệ số truyền sóng qua công trình đê KCR TC1 sử dụng phương pháp phân tích hồi qui với bộ số liệu thí nghiệm (70 kịch bản). Phương trình (3-5) được xây dựng có sở khoa học, được kiểm định với số liệu thực đo trong bể sóng (3D), so sánh đánh giá với các kết quả đo đặc hiện trường mô hình tỉ lệ 1:1, đảm bảo độ tin cậy và có thể ứng dụng vào trong thực tiễn để tính toán thiết kế đê KCR ở ĐBSCL.

3. Ứng dụng công thức thiết lập tính toán thiết kế đê KCR TC1 tại Tân Thành, Gò Công, Tiền Giang, từ đó đo đạc đánh giá hiện trường cho thấy KCR TC1 đã thực hiện chức năng giảm sóng, dòng chảy, chống xói lở bờ và cho phép các loại bùn cát hạt mịn đi qua cấu kiện nhằm tạo bãi sau công trình, từ đó để tái sinh rừng ngập mặn.

KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

1. Kết luận

1.1. Luận án đã tổng quan những thành tựu nghiên cứu trên thế giới, trong nước về các giải pháp bảo vệ bờ biển trong đó trọng tâm là ĐGS KCR, tổng quan về công thức truyền sóng qua một số dạng KCR, từ đó đề ra hướng tiếp cận của luận án đi sâu vào việc nghiên cứu truyền sóng, đặc tính thủy lực của loại ĐGS KCR TC1.

1.2. Luận án đã xây dựng được cơ sở khoa học cho tính toán truyền sóng qua đê KCR TC1 bằng phương pháp thí nghiệm mô hình vật lý trong máng sóng (2D) và bể sóng (3D) và đo đạc hiện trường kiểm định kết quả, xây dựng công thức tổng quát về truyền sóng qua đê KCR TC1.

1.3. Kết quả nghiên cứu đã phân tích được thông số liên quan đến hệ số truyền sóng như đặc tính hình dạng đê KCR, thông số sóng, sự biến đổi vận tốc dòng chảy trước và sau KCR xây dựng được công thức truyền sóng qua KCR TC1, ứng dụng giải pháp đê KCR TC1 cho bờ biển ĐBSCL. Luận án cũng đã đo đạc hiện trường đánh giá hiệu quả công trình về giảm sóng, dòng chảy, bồi lắng và phục hồi hệ sinh thái rừng ngập mặn ở bờ biển Tân Thành - Gò Công, Cồn Cống – Tân Phú Đông tỉnh Tiền Giang với đầy đủ cơ sở khoa học minh chứng, đảm bảo độ tin cậy và có khả năng ứng dụng kết cấu TC1 vào trong thực tiễn cho khu vực ven biển ở ĐBSCL.

2. Những đóng góp mới của luận án

2.1. Đánh giá được ảnh hưởng của các yếu tố đến hệ số truyền sóng K_t qua đê KCR TC1 bao gồm: Chiều cao lưu không tương đối ($R_c/H_{m0,i}$); (ii) Bề rộng tương đối (B_{eff}/d); (iii) Độ dốc sóng (S_{0m}), (iv) độ rỗng bề mặt của kết cấu (n) hay độ thấm hiệu dụng trong môi trường rỗng (P_f), sự thay đổi vận tốc dòng chảy khi sóng truyền qua đê đê KCR;

2.2 Xây dựng được công thức thực nghiệm tính hệ số truyền sóng (K_t) qua KCR TC1 cho khu vực ven biển ĐBSCL từ kết quả thí nghiệm mô hình vật lý trên máng sóng 2D và kiểm định trên bể sóng 3D, mô hình thực tế tỉ lệ 1:1.

$$K_t = -0.112 \frac{R_c}{H_{m0}} + 0.765 \left(P_f \frac{B_{eff}}{d} \right)^{-0.11} \left[1 - \exp \left(\frac{-0.485}{\sqrt{S_{0m}}} \right) \right]$$

Phạm vi ứng dụng của công thức:

$$\frac{R_c}{H_{m0,i}} = -1.07 \div 1.93; S_{0m} = 0.021 \div 0.087$$

$$\frac{B_{eff}}{d} = 0.14 \div 1.263; K_t = 0.3 \div 0.80$$

$$P_1=20.7\%; P_2=15.2\%$$

3. Kiến nghị

Trong nghiên cứu luận án, xây dựng công thức truyền sóng qua KCR TC1 dựa trên thí nghiệm trong máng sóng và bể sóng với phương truyền sóng vuông góc với công trình., Thực tế hiện trường sóng tác động vào công trình theo nhiều hướng khác nhau, có nhiều động , do đó, cần nghiên cứu tác động của hướng sóng xiên đến công trình để xây dựng công thức truyền sóng với nhiều hướng khác nhau.

Nghiên cứu mới hạn chế bố trí các loại lỗ rỗng trên bề mặt đê với đường kính hình tròn và xếp theo hàng, do đó cần có nghiên cứu bố hình dạng khác nhau (hình tam giác, chữ nhật...) và cách bố trí khác nhau trên bề mặt cấu kiện, với các độ rỗng bề mặt khác để đánh giá hệ số truyền sóng, sóng phản xạ, tiêu tán.

Cần nghiên cứu hình thái bồi lắng sau công trình ĐGS KCR TC1, quá trình phát triển đường bờ, bãi, hình dạng bãi bồi sau công trình so sánh với các dạng ĐGS truyền thống như đê đá đổ, thùng chìm thân đê đặc.

Nghiên cứu đánh giá quá trình thay đổi môi trường, hệ sinh thái động thực vật dưới nước, hệ sinh thái rừng ngập mặn trước và sau khi xây dựng công trình. Từ đó có kế hoạch triển khai trồng rừng và di dời tuyến đê ra ngoài để tiếp tục mở rộng diện tích rừng ngập mặn.

DANH MỤC CÁC CÔNG TRÌNH ĐÃ CÔNG BỐ

1. **Lê Xuân Tú**, Trần Bá Hoàng, Lê Mạnh Hùng, 2023. Giải pháp tổng thể bảo vệ bờ biển, phục hồi rừng ngập mặn trong điều kiện biến đổi khí hậu và nước biển dâng vùng ven biển Đồng bằng sông Cửu Long. Tuyển tập nghiên cứu khoa học Viện khoa học Thủy lợi miền Nam 2023.
2. **Lê Xuân Tú**, Trần Bá Hoàng, Lê Thanh Chương, Lê Mạnh Hùng, Lê Thị Hiền. Ứng dụng đê giảm sóng kết cấu rỗng TC1, TC2 bảo vệ bờ biển vùng đồng bằng sông Cửu Long. Tạp chí Khoa học công nghệ Thủy lợi. Số 67 (8/2021).
3. **Tu Le Xuan**, Hoang Thai Duong Vu, Peter Oberle, Thanh Duc Dang, Hoang Tran Ba, Hung Le Manh, 2024. Hydrodynamics and wave transmission through a hollow triangle breakwater, Estuarine, Coastal and Shelf Science, Volume 302, 108765.
4. **Le Xuan Tu**, Le Manh, H., Ba, H.T., Do Van, D., Vu, H.T.D., Wright, D., Hieu, B.V., Anh, D.T., 2022. Wave energy dissipation through a hollow triangle breakwater on the coastal Mekong Delta. Ocean Eng. 245, 110419
5. **Le Xuan Tu**, Ba, H.T., Thanh, V.Q., Wright, D.P., Tanim, A.H., Anh, D.T., 2022. Evaluation of coastal protection strategies and proposing multiple lines of defense under climate change in the Mekong Delta for sustainable shoreline protection. Ocean Coast Manag. 228, 106301.
6. Báo cáo tại hội nghị quốc tế “Water Security and Climate Change Conference (WSCC2022)” do AIT tổ chức từ ngày 01-03 tháng 12 năm 2022, Thailand, Với chủ đề “Adaptation for sustainable and resilient development”. Bài báo cáo “Holistic coastal protection strategies with nature-based solution for climate change adaptation in coastal Mekong Delta”. <https://www.youtube.com/watch?v=BURR2Sm35NA>
7. Sách chuyên khảo “Bờ biển Đồng bằng sông Cửu Long sạt lở và các giải pháp phòng chống”, Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật năm 2022. PGS.TS. Trần Bá Hoàng, PGS.TS. Đinh Công Sản, ThS. Lê Thanh Chương, **ThS. Lê Xuân Tú**.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

Tiếng Việt

- [1] Albers, T., Schmitt, K., Dinh, C.S. (2013): Hướng dẫn quản lý bờ biển - Bảo vệ bờ biển ở đồng bằng sông Cửu Long. Xuất bản bởi Cơ quan Hợp tác Phát triển Đức (GIZ) GmbH. ISBN 978-604-59-0630-9.Vietnam. http://daln.gov.vn/r/files//ICMP-CCCEP/tai_lieu/Document/Soc-trang/Shoreline-Management-Guidelines.pdf
- [2] Báo cáo kết quả dự án “BẢO VỆ VÙNG VEN BIỂN ĐỒNG BẰNG SÔNG CỬU LONG (CPMD)” 2018.
- [3] Bộ Tài nguyên và Môi trường (2016), *Kịch bản biến đổi khí hậu và nước biển dâng cho Việt Nam*, Nhà xuất bản Tài nguyên Môi trường và bản đồ Việt Nam, Hà Nội.
- [4] Doãn Tiến Hà, 2015. Nghiên cứu biến động bãi do tác động của công trình giảm sóng, tạo bồi cho khu vực Hải Hậu – Nam Định. Luận án Tiến sĩ kỹ thuật, Viện Khoa học Khí tượng Thủy văn và Biến đổi khí hậu, Hà Nội.
- [5] Hội thảo về giải pháp xử lý sạt lở bờ sông, bờ biển vùng Đồng bằng sông Cửu Long, tháng 4/2019 tại Cà Mau, Bộ Nông nghiệp và Phát triển nông thôn.
- [6] <https://1thegioi.vn/rung-ngap-man-bai-5-thach-thuc-trong-viec-phuc-hoi-rung-ngap-man-o-dbscl-207332.html>
- [7] <https://phongchongthientai.mard.gov.vn/Pages/ve-cong-trinh-giam-song-bao-ve-de-bien-o-bien-tay--vai-nhan-xet-ve-de-tru-rong--.aspx>
- [8] Lê Thanh Chương và nnk (2017). Báo cáo tổng hợp đề tài cấp Bộ “Nghiên cứu đề xuất giải pháp công nghệ chống xói lở bờ biển, cửa sông phù hợp vùng từ Tp Hồ Chí Minh đến Kiên Giang”, Viện Khoa học Thủy lợi miền Nam
- [9] Lê Xuân Tú và nnk (2022). Báo cáo tổng hợp đề tài cấp nhà nước “Nghiên cứu giải pháp hợp lý và công nghệ thích hợp phòng chống xói lở, ổn định giải bờ biển và các cửa sông Cửu Long, đoạn từ Tiền Giang đến Sóc Trăng”, mã số ĐTĐL.CN-07/17, Viện Khoa học Thủy lợi Việt Nam.
- [10] Lê Xuân Tú, Lê Thanh Chương, Trần Bá Hoàng, Lê Mạnh Hùng, Lê Thị Hiền,

2021. Ứng dụng đê giám sóng kết cấu rỗng TC1, TC2 bảo vệ bờ biển vùng đồng bằng sông cửu long. Tạp chí khoa học công nghệ thủy lợi. Số 67 (8/2021).
- [11] Lê Xuân Tú, Trần Bá Hoàng 2020. Đê giám sóng kết cấu rỗng: Công nghệ mới bảo vệ bờ biển Đồng bằng sông Cửu Long. Tạp chí khoa học công nghệ Việt nam. Số 5 năm 2020.
- [12] Lương Phương Hậu and Trần Đình Hợi, "Lý thuyết thí nghiệm công trình thủy", Hà Nội: Nhà xuất bản xây dựng, 2003.
- [13] Lương Phương Hậu, Nguyễn Ngọc Quỳnh, Nguyễn Thành Trung, 2016. Công trình phòng hộ và tôn tạo bờ biển. Nhà xuất bản Nông Nghiệp, Hà Nội.
- [14] Lương Phương Hậu. Các sáng tạo khoa học công nghệ trong công trình chính trị luồng tàu qua cửa Trường giang, Trung Quốc.
- [15] Mai Trọng Luân, 2024. "Nghiên cứu hiệu quả giảm sóng của đê lắp ghép cấu kiện CT3N-WIP1, áp dụng cho bảo vệ bờ biển phía Tây mũi Cà Mau". Luận án tiến sỹ kỹ thuật, Viện Khoa học Thủy lợi Việt Nam.
- [16] Nguyễn Anh Tiến, 2021. "Nghiên cứu đề xuất giải pháp và đánh giá chức năng giảm sóng của công trình đê rỗng phức hợp bảo vệ bờ biển từ Cà Mau đến Hà Tiên". Luận án tiến sỹ kỹ thuật, Viện Khoa học Thủy lợi Việt Nam.
- [17] Nguyễn Hoàng Hanh và nnk (2020). Báo cáo tổng hợp đề tài cấp nhà nước "Nghiên cứu xây dựng mô hình sinh thái bền vững trên vùng triều ven biển đồng bằng sông Cửu Long" Mã số đề tài: ĐTDL.CN-10/17, Viện Sinh thái và Bảo vệ công trình
- [18] Nguyễn Khắc Nghĩa và nnk, 2009. Nghiên cứu giải pháp khoa học công nghệ xây dựng đê biển chống được bão cấp 12, triều cường. Đề tài NCKH cấp Bộ Nông nghiệp và Phát triển Nông thôn.
- [19] Nguyễn Khắc Nghĩa và nnk, 2013. Nghiên cứu cơ sở khoa học và đề xuất giải pháp tổng thể để ổn định vùng bờ biển Nam định từ cửa Ba Lạt đến cửa Đáy. Đề tài nghiên cứu khoa học cấp Nhà nước, mã số ĐTDL.2010T/28.
- [20] Nguyễn Nguyệt Minh và nnk (2022). Báo cáo tổng hợp đề tài cấp nhà nước "Nghiên cứu đề xuất giải pháp công nghệ chống xói lở, bảo vệ bờ biển hợp lý

cho vùng đồng bằng sông Cửu Long dựa trên mô hình vật lý”- Mã số 47/2018-ĐTĐL.CN.XNT. Viện Khoa học Thủy lợi Việt Nam.

- [21] Nguyễn Thành Trung và nnk, 2014. Nghiên cứu thực nghiệm xác định nguyên tắc bố trí không gian hợp lý công trình ngăn cát giảm sóng bảo vệ đê biển và bờ biển Bắc Bộ và Bắc Trung Bộ. Đề tài NCKH cấp Bộ Nông nghiệp và Phát triển Nông thôn.
- [22] Phạm Đức Hưng, 2024. “Nghiên cứu đề xuất kết cấu đê giảm sóng dạng cọc rồng hình móng ngựa bảo vệ bờ biển Tây đồng bằng sông Cửu Long”. Luận án tiến sĩ kỹ thuật, Viện Khoa học Thủy lợi Việt Nam.
- [23] Phạm Thị Thúy, 2023. “Nghiên cứu hiệu quả giảm sóng của kết cấu ngầm REEF BALL™ trên thềm đảo nổi xa bờ”. Luận án tiến sĩ kỹ thuật, Trường Đại học Thủy lợi.
- [24] Phan nguyên Hồng, Vũ Thục Hiền, Lê Xuân Tuấn, Nguyễn Hữu Thọ, Vũ Đoàn Thái, 2005. "Vai trò của rừng ngập mặn trong việc bảo vệ các vùng ven biển", Vai trò của hệ sinh thái RNM và rạn san hô trong việc giảm nhẹ thiên tai và cải thiện cuộc sống ở vùng ven biển, nhà xuất bản nông nghiệp, Hà Nội, tr 57-70.
- [25] Nguyễn Việt Thanh, 2014. Nghiên cứu ứng dụng kết cấu đê bán nguyệt trong xây dựng công trình chính trị cửa sông ở Việt nam. Báo cáo tổng kết đề tài cấp Bộ. Viện khoa học và công nghệ giao thông vận tải.
- [26] Nguyễn Việt Tiến, 2015. Nghiên cứu hiệu quả của đê ngầm đến quá trình tiêu hao năng lượng sóng tác động vào bờ biển Việt Nam. Luận án Tiến sĩ kỹ thuật, Trường đại học Thủy lợi Hà Nội.
- [27] TCVN-10405-2020. Đai cây ngập mặn giảm sóng - Khảo sát và thiết kế.
- [28] Thiều Quang Tuấn, "Bài giảng mô hình vật lý trong Kỹ thuật Biển", Hà Nội, 2021.
- [29] Thiều Quang Tuấn, 2021. Công trình giảm sóng, gây bồi hỗ trợ trồng rừng ở vùng ven biển ĐBSCL: Nguyên lý chung và lựa chọn dạng kết cấu.
- [30] Thiều Quang Tuấn, Đinh Công Sản, Lê Xuân Tú Tú và Đỗ Văn Dương, "Nghiên

- cứu hiệu quả giảm sóng của đê kết cấu rỗng trên mô hình máng sóng", Tạp chí Khoa học và Công nghệ Thủy lợi số 49, tr. 1-8, 2018.
- [31] Trần Bá Hoàng và nnk (2020). Báo cáo tổng hợp đề tài cấp nhà nước “Nghiên cứu đánh giá tổng thể qua trình xói lở và dự báo diễn biến bờ biển đồng bằng sông Cửu Long phục vụ đề xuất giải pháp nhằm ổn định vùng ven biển”, mã số ĐTĐL.CN-06/17, Viện Khoa học Thủy lợi Việt Nam.
- [32] Trần Văn Thái, Nguyễn Hải Hà, Phạm Đức Hưng, Nguyễn Duy Ngọc (2018). Đê trụ rỗng - Giải pháp mới ngăn sạt lở bờ biển. Tạp chí Khoa học Công nghệ Việt Nam Số 9- 2018.
- [33] Trần Văn Tiếng, Nguyễn Việt Khánh, Nguyễn Phương Dung, 2021. Nghiên cứu hiệu quả giảm sóng của kết cấu đê chắn sóng rỗng bằng phương pháp mô phỏng số. Tạp chí Xây Dựng Số. 04 (2021).
- [34] Vương Văn Quỳnh, Tổng kết đề tài cấp Nhà nước KC08/06-10 “Nghiên cứu các giải pháp sử dụng rừng ngập mặn chắn sóng ven biển và giảm lũ ở Việt Nam

Tiếng Anh

- [35] "<https://reefballfoundation.org/>," [Online].
- [36] A Community Resource Guide for Planning Living Shorelines Projects New Jersey Resilient Coastlines Initiative, 3/2016.
- [37] A. Lamberti, R. Archetti, M. Kramer, D. Paphitis, C. Mosso, M. Di Risio, 2005. European experience of low crested structures for coastal management. Coastal Engineering 52 (2005) 841–866.
- [38] Aburatani, S., Koizuka, T., Sasayama, H., Tanimoto, K. and Namerikawa, N., 1996. Field test on a semi-circular caisson breakwater. Coastal Engineering in Japan, 39(1), pp.59-78.
- [39] Ahrens, John P, "Characteristics of Reef Breakwaters", Coastal Engineering Research Center Vicksburg ms, 1987.
- [40] Allsop, N. W. H, "Low-crest breakwaters, studies in random waves", Coastal Structures 83. ASCE, 1983.

- [41] Alongi D. (2009). The energetics of mangrove forests. Springer Science & Business Media. ISBN 978-1-4020-4271-3. <https://www.springer.com/gp/book/9781402042706>
- [42] Anthony, E., Brunier, G., Besset, M. et al, 2015. Linking rapid erosion of the Mekong River delta to human activities. *Sci Rep* 5, 14745. <https://doi.org/10.1038/srep14745>
- [43] Armono, H.D. and Hall, K.R., 2003, June. Wave transmission on submerged breakwaters made of hollow hemispherical shape artificial reefs. In Canadian coastal conference (pp. 313-322).
- [44] Baldock, T.E. (2012). Dissipation of incident forced long waves in the surf zone—Implications for the concept of “bound” wave release at short wave breaking. *Coastal Engineering*, 60, pp.276-285.
- [45] Bouws, E "Spectra of Extreme Wave Conditions in the Southern North sea", *Climatologie de la mer* 34, 1979.
- [46] Buccino, Mariano, Ilaria Del Vita, and Mario Calabrese, "Predicting wave
- [47] Caires, Sofia, and Marcel RA Van Gent, "Wave height distribution in constant and finite depths" *Coastal Engineering Proceedings* 1.33 , 2012.
- [48] Celik, I. B., U. Ghia, and P. J. Roache. 2008. Procedure for estimation and reporting of uncertainty due to discretization in CFD applications. *J. Fluids Eng.* 130 (7): 1–4. <https://doi.org/10.1115/1.2960953>.
- [49] Daemrich, Karl-Friedrich, Winfried Kahle, and Hans-Werner Partenscky "Schutzwirkung von Unterwasserwellenbrechern unter dem Einfluß unregelmäßiger Seegangswellen. EV," 1985.
- [50] d'Angremond, Kees, Jentsje W. Van Der Meer, and Rutger J. De Jong, "Wave transmission at low-crested structures", In *Coastal Engineering*, pp. 2418-2427, 1996.
- [51] Dao, . H. T. ., Hofland, B., Suzuki, T., Stive, M. J. F. ., Mai, . T., & Tuan, L. X. (2021). Numerical and small-scale physical modelling of wave transmission

- by wooden fences. *Journal of Coastal and Hydraulic Structures*, 1. <https://doi.org/10.48438/jchs.2021.0004>.
- [52] Dao, H.T.; Hofland, B.; Stive, M.J.F.; Mai, T. (2020). "Experimental Assessment of the Flow Resistance of Coastal Wooden Fences" *Water* 12, no. 7: 1910. <https://doi.org/10.3390/w12071910>.
- [53] DELOS-US, 2004. Environmental design of low-crested coastal defence structures, Final Project Report. EU fifth framework program 1998÷2002 (DELOS - US, 2004).
- [54] Dhinakaran, G. 2011. Hydrodynamic characteristics of semi-circular breakwaters. *Sciences*, 4(1), pp.1-21.
- [55] Eslami, S., van der Vegt, M., Minderhoud, P., Nguyen Trung, N., Hoch, J., Sutanudjaja, E., Do Doc, D., Tran Quang, T., Voepel, H. and Woillez, M.N., (2021). The past and future dynamics of salt intrusion in the Mekong Delta. In EGU General Assembly Conference Abstracts (pp. EGU21-2069).
- [56] Gomes, A., Pinho, J.L., Valente, T., Antunes do Carmo, J.S. and V Hegde, A. 2020. Performance Assessment of a Semi-Circular Breakwater through CFD Modelling. *Journal of Marine Science and Engineering*, 8(3), p.226.
- [57] H. Bergmann, H. Oumeraci, Wave Pressure Distribution on Permeable Vertical Walls. In Edge B. L. (Ed), *Coast. Eng.* 1998 2042 – 2055 (1998).
- [58] H., Hein, B., Hein, T. Pohlmann (2013), Recent sediment dynamics in the region of Mekong water influence. 2013. *Global and Planetary Change*. Vol. 110, 183-194. Doi : 10.1016/j.gloplacha.2013.09.008.
- [59] Hattori, M "Wavetransmissions from horizontal perforated plates", In *Proceedings of the 22nd Conference on Coastal Engineering*, pp. 513-517, 1975
- [60] Hirt, C.W.; Nichols, B.D. (1981): Volume of fluid (VOF) method for the dynamics of free boundaries. In *Journal of Computational Physics* 39, page 201-225. DOI: 10.1016/0021-9991(81)90145-5.
- [61] Hofland, B., Chen, X., Altomare, C., & Oosterlo, P, "Prediction formula for the

- [62] Horner-Devine, A.R., Hetland, R.D. and MacDonald, D.G., 2015. Mixing and transport in coastal river plumes. *Annual Review of Fluid Mechanics*, 47, pp.569-594.
- [63] <https://cds.climate.copernicus.eu/datasets/reanalysis-era5-single-levels?tab=download>
- [64] <https://precast.org/2014/12/precast-concrete-shore-thing-coastal-protection/>
- [65] <https://smithmidland.com/products-services/products-by-type/beach-prisms/>
- [66] <https://www.flow3d.com/>," FLOW Science, 2020-2021
- [67] <https://www.tetrattech.com/en/projects/living-shoreline-demonstration-project-louisiana>
- [68] IUCN, 2021. Nature-based Solutions. Accessed on Mar. 10 2021). <https://www.iucn.org/theme/nature-based-solutions>.
- [69] Jacobsen, Niels G., Marcel RA van Gent, and Guido Wolters, "Numerical analysis of the interaction of irregular waves with two dimensional permeable coastal structures", *Coastal Engineering* 102 , pp. 13-29, 2015
- [70] John B. Herbich, 1999. Offshore (Detached) Breakwaters. *Hanbook of Coastal Engineering*, Chapter 5.
- [71] Jonh R.Hsu, Takaaki Uda, Richard Silvester, 1999. Shoreline Protection Methods - Japanese Exeperience. *Hanbook of Coastal Engineering*, Chapter 9.
- [72] Juan Manuel Barragán, María de Andrés, 2015. Analysis and trends of the world's coastal cities and agglomerations. *Ocean & Coastal Management*, Volume 114, Pages 11-20.
- [73] Karim, Mohammed Fazlul, Katsutoshi Tanimoto, and Phung Dang Hieu, "Modelling and simulation of wave transformation in porous structures using VOF based two-phase flow model", *Applied Mathematical Modelling* 33.1, pp. 343- 360, 2009.
- [74] Kim, D.-S.; Kim, M.C. (2013). The changes in marine environment and biological community in sea areas around an artificial upwelling structure during the summer. *Anim. Cells Syst.* 17, 357–365.

- [75] Kriebel, D. L.; Dean, R. G. Convolution method for time-dependent beach-profile response (1993). *Journal of Waterway, Port, Coastal, and Ocean Engineering*, 119: 205-226
- [76] Pickering, H.; Whitmarsh, D. (1997). Artificial reefs and fisheries exploitation: A review of the 'attraction versus production' debate, the influence of design and its significance for policy. *Fish. Res.* 31, 39–59.
Publications-Delft Hydraulics, 1991.
- [77] Kurdistani, S.M., Tomasicchio, G.R., D'Alessandro, F., and Francone, A. (2022). Formula for wave transmission at submerged homogeneous porous breakwaters, *Ocean Engineering*, 266.
<https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2022.113053>.
- [78] Le Xuan T., Thanh, V.Q., Reynolds, J., Van, S.P., Anh, D.T., Dang, T.D. and Roelvink, D., 2019. Sediment transport and morphodynamical modeling on the estuaries and coastal zone of the Vietnamese Mekong Delta. *Continental Shelf Research*, 186, pp.64-76.
- [79] Le Xuan Tu, Ba, H.T., Le Manh, H., Do Van, D., Nguyen, N.M., Wright, D.P., Bui, V.H., Mai, S.T., Anh, D.T., 2020. Hydraulic performance and wave transmission through pile-rock breakwaters. *Ocean Eng.* 218, 108229.
- [80] Le Xuan Tu, Ba, H.T., Thanh, V.Q., Wright, D.P., Tanim, A.H., Anh, D.T., 2022b. Evaluation of coastal protection strategies and proposing multiple lines of defense under climate change in the Mekong Delta for sustainable shoreline protection. *Ocean Coast Manag.* 228, 106301.
- [81] Le Xuan, T., Nguyen Cong, P., Vo Quoc, T., Tran, Q.Q., Wright, D.P., Tran Anh, D., 2022. Multi-scale modelling for hydrodynamic and morphological changes of breakwater in coastal Mekong Delta in Vietnam. *J. Coast Conserv.* 26 (3), 1–18
- [82] Leo H. Holthuijsen, 2010. *Waves in Oceanic and Coastal Waters*.

- [83] Liu, 2012. Analysis of wave performance through pile–rock breakwaters. *Proc ImechE Part M: J Engineering for the Maritime Environment* 228 (3), 284–292. <https://doi.org/10.1177/1475090212462951>. IMechE 2014.
- [84] Lorenzo Mentaschi, Michalis I. Vousdoukas, Jean-Francois Pekel, Evangelos Voukouvalas & Luc Feyen -2018. Global long-term observations of coastal erosion and accretion.
- [85] Madsen, Ole Secher, and Stanley M. White, "Reflection and Transmission Characteristics of Porous Rubble-Mound Breakwaters, No. 76. Department of Civil Engineering, Massachusetts Institute of Technology, 1975.
- [86] Mai Van C, Ngo A, Mai T and Dao HT, 2021. "Bamboo Fences as a Nature-Based Measure for Coastal Wetland Protection in Vietnam". *Front. Mar. Sci.* 8:756597. Doi: 10.3389/fmars.2021.756597.
- [87] Mai, S., Wilhelmi, J., & Barjenbruch, U, "Wave height distributions in shallow waters" *Coastal Engineering* , 2010.
- [88] Mansard, E., Funke, E., (1980). The measurement of incident and reflected spectra using a least square method. *Proceedings of the 17th International Conference on Coastal Engineering*, vol. 2, pp. 154–172.
- [89] Marcel R.A. van Gent , Lisanne Buis, Jeroen P. van den Bos, Davide Wüthrich, "Wave transmission at submerged coastal structures and artificial reefs". *Coastal Engineering Volume 184*, September 2023, 104344.
- [90] McDougal, W. G. "State of the art practice in coastal engineering", in *Lecture Notes*, National Cheng Kung University, Taiwan, 1993, pp. 10-25.
- [91] New Jersey Resilient Coastlines Initiative, 2016. *A Community Resource Guide for Planning Living Shorelines Projects* accessed on May 17, 2021). <https://www.conservationgateway.org/ConservationPractices/Marine/crr/library/Documents/ACommunityResourceGuideforPlanningLivingShorelinesProjects.pdf>

- [92] Oanh T. T. K., Lap N. V., Tateishi M., Kobayashi I., Tanabeb S., and Saito Y., 2002. "Holocene delta evolution and sediment discharge of the Mekong River, southern Vietnam". *Quaternary Science Reviews*, 21, pp. 1807–1819.
- [93] Oumeraci, Hocine. 2010. "Nonconventional wave damping structures." In *Handbook of Coastal and Ocean Engineering*, pp. 287-315.
- [94] Patarapanich, M "Maximum and zero reflection from submerged plate" *Journal of waterway, port, coastal, and ocean engineering*, vol. 110(2), pp. 171-181, (1984)
- [95] Patrick Marchesiello and Dinh Cong San (2017), "The erosion process in the Lower Mekong Delta Coastal Zones (LMDCZ) and the measures for protecting Go-Cong and U-Minh from coastal erosion" Final Report, SIWRR (Contract No: AFD-SIWRR 2016).
- [96] Phan, L.K., van Thiel de Vries, J.S. and Stive, M.J., 2015. Coastal mangrove squeeze in the Mekong Delta. *Journal of Coastal Research*, 31(2), pp.233-243.
- [97] Schoonees, T., Gijón Mancheño, A., Scheres, B. et al. Hard Structures for Coastal Protection, Towards Greener Designs. *Estuaries and Coasts* 42, 1709–1729 (2019).
- [98] Seelig, William N, "Two-Dimensional Tests of Wave Transmission and Reflection Characteristics of Laboratory Breakwaters", Coastal Engineering Research Center Fort Belvoir Va, 1980.
- [99] Shohachi Kakuno, Kazuki Oda, Philip L.F. Liu (1992). SCATTERING OF WATER WAVES BY VERTICAL CYLINDERS WITH A BACKWALL. *Coastal Engineering Proceedings*, 1(23).
- [100] Sollitt, Charles K., and Ralph H. Cross, "Wave transmission through permeable breakwaters", In *Coastal Engineering* , pp. 1827-1846, 1973.
- spectral wave period $T_{m-1, 0}$ on mildly sloping shallow foreshores", *Coastal Engineering* 123 , pp. 21-28., 2017.

- [101]Tanimoto, K., Namerikawa, N., Ishimaru, Y., & Sekimoto, T. (1989). "A hydraulic experimental study on semi-circular caisson breakwaters". Rep., Port and Harbour Research Institute, 23(2), 3-32
- [102]Teh, H.M., Venugopal, V. and Bruce, T., 2012. Hydrodynamic characteristics of a free-surface semicircular breakwater exposed to irregular waves. *Journal of waterway, port, coastal, and ocean engineering*, 138(2), pp.149-163.
- [103]Thieu Quang Tuan, Mai Trong Luan, "Monsoon wave transmission at bamboo fences protecting mangroves in the lower mekong delta", *Applied Ocean Research*, 2020.
- [104]Thieu Quang Tuan, Mai Trong Luan, Le Ngoc Cuong, "Laboratory study of wave damping by porous breakwaters on mangrove mudflats in the Mekong River Delta", *Ocean Engineering* , vol. 111846, p. 258, 2022.
- [105]Truong, S. H., Ye, Q., and Stive, M. J. (2017). Estuarine mangrove squeeze in the MeKong delta, Vietnam. *Journal of Coastal Research*, pages 747-763.
- [106]Van der Meer, J. W., Briganti, R., Zanuttigh, B., & Wang, B "Wave transmission and reflection at low-crested structures: Design formulae, oblique wave attack and spectral change", *Coastal Engineering*, 52(10-11), pp. 915-929, 2005.
- [107]Van der Meer, Jentsje W, "Stability and transmission at low-crested structures",
- [108]van der Meer, Jentsje W, and Ivar FR Daemen, "Stability and wave transmission at low-crested rubble-mound structures", *Journal of Waterway, port, coastal, and ocean engineering*, 120(1), pp. 1-19, 1994.
- [109]Van Gent, M. R, "Wave interaction with permeable coastal structures", in PhD thesis, Delft University, Delft, The Netherlands, 1995.
- [110]Vu, H.T.D.; Zemann, M.; Oberle, P.; Seidel, F.; Nestmann, F. (2022b): Investigating wave transmission through curtain wall breakwaters under variable conditions. *Journal of Coastal and Hydraulic Structures*, 2, p. 19. <https://doi.org/10.48438/jchs.2022.0019>.

- [111] Waterman R.E., (2008). Towards an integrated coastal policy via Building with Nature.
- [112] Winterwerp J.C., P.L.A. Erftemeijer, N. Suryadiputra, P. van Eijk and Liquan Zhang, 2013: Defining Eco-Morphodynamic Requirements for Rehabilitating Eroding Mangrove-Mud Coasts. *Wetlands*, 33, 515–526.
- [113] Wright L.D., Short A. D. (1984). *Marine Geology*. Morphodynamic variability of surf zones and beaches: A synthesis, 56, 93-118.

PHỤ LỤC

Phụ lục 1. Thông số máy đo đặc hiện trường

		
<p>Máy đo sóng nước nông</p>	<p>Máy đo hướng và tốc độ dòng chảy</p>	<p>Bố trí máy đo hiện trường</p>

- Máy đo sóng nước nông: Máy tự ghi sóng sử dụng 2 đầu đo Wave Gauge Blue (WGB), Máy đo các thông số về sóng (độ cao, chu kỳ, biên độ) với tần số từ 1Hz đến 32Hz và đo mực nước, độ chính xác: $\pm 0.05\%$ của giá trị đo.

- Máy đo hướng và tốc độ dòng chảy tự ghi INFINITY EM. Model:AEM-USB (<https://www.jfe-advantech.co.jp/eng/products/ocean-infinity.html>)

Hãng sx: JFE Advantech – Nhật. Infinity EM là một thiết bị ghi dòng điện từ. Thiết bị cho phép đo dòng 2-D chính xác cao ngay cả ở điều kiện tán xạ thấp. Phạm vi đo vận tốc từ 0 đến ± 500 cm/s.

Bảng 1. Bảng thông số máy và sai số cho phép khi đo đạc

Model	AEM-USB/CAR/CAD		
Parameter	Velocity	Direction	Temperature
Principle	2-D electromagnetic velocity sensor	Hole element	Thermistor
Range	0 to ± 500 cm s ⁻¹	0 to 360°	-3 to 45 °C
Resolution	0.02 cm s ⁻¹	0.01°	0.001 °C
Accuracy	± 1 cm s ⁻¹ or $\pm 2\%$ (0 to ± 60 cm s ⁻¹)	$\pm 2^\circ$	± 0.02 °C (3 to 31 °C)

- Máy đo tổng lượng trầm tích lơ lửng (TSS) được thực hiện bằng cách sử dụng hai cảm biến độ đục (cảm biến VisoTurb® 700 IQ và ViSolid® 700 IQ, WTW).

Phụ lục 2. Phương pháp phân tích hồi quy và các thông số đánh giá độ chính xác của kết quả tính toán và thực đo.

1. Cơ sở lý thuyết của phân tích hồi quy trong luận án

Trong các bài toán thủy lực – công trình biển, nhiều hiện tượng vật lý có quan hệ phi tuyến, đa tham số và chịu ảnh hưởng đồng thời của hình học, sóng và đặc tính kết cấu, hình dạng, độ rỗng. Do đó, việc xây dựng các công thức giải tích thuần túy thường gặp nhiều hạn chế. Do đó, trong nghiên cứu này sử dụng phương pháp phân tích hồi quy.

Phân tích hồi quy là một phương pháp thống kê cho phép:

- Xác định mối quan hệ định lượng giữa biến phụ thuộc và các biến độc lập
- Ước lượng các hệ số của mô hình dựa trên số liệu thực nghiệm
- Đánh giá mức độ phù hợp và độ tin cậy của công thức thực nghiệm

Trong nghiên cứu này, hồi quy được sử dụng để xây dựng công thức thực nghiệm xác định hệ số truyền sóng K_t dựa trên dữ liệu thí nghiệm.

2. Lựa chọn dạng hàm hồi quy

2.1. Biến phụ thuộc

- K_t : hệ số truyền sóng, đặc trưng cho tỷ lệ năng lượng sóng truyền qua công trình.

2.2. Các biến độc lập

Dựa trên phân tích thứ nguyên, cơ sở vật lý và các nghiên cứu trước, các tham số ảnh hưởng chính được lựa chọn gồm:

- R_c/H_{m0} : cao trình tương đối của công trình
- $P_f.B/d$: tham số tổng hợp hình dạng kết cấu – độ rỗng
- S_{m0} : độ dốc sóng đặc trưng

2.3. Dạng hàm đề xuất

Dựa trên:

- Xu thế tuyến tính của K_t theo R_c/H_{m0}
- Ảnh hưởng phi tuyến của các tham số kết cấu ($P_f \cdot B/d$) và sóng (S_{m0})

Mô hình hồi quy phi tuyến được đề xuất dưới dạng:

$$K_t = a_1 \frac{R_c}{H_{m0}} + a_2 \left(P_f \frac{B_{eff}}{d} \right)^{a_3} \left[1 - \exp \left(- \frac{a_4}{\sqrt{S_{0m}}} \right) \right]$$

Trong đó: Các hằng số thực nghiệm a_1, a_2 , được xác định bằng phương pháp hồi quy với các số liệu thí nghiệm từ mô hình vật lý với 70 thí nghiệm. Giá trị a_3, a_4 là các giá trị xác định bằng phương pháp dò tìm thử dần theo các tổ hợp để công thức phù hợp nhất với bộ số liệu thí nghiệm. Ứng với mỗi giá trị a_4 sẽ có một chuỗi giá trị a_3 giả thiết để phân tích hồi quy và chọn cặp có giá trị tương quan R^2 là lớn nhất.

3. Phương pháp hồi quy phi tuyến

Hồi quy phi tuyến nhằm tìm bộ tham số $\theta = (a_1, a_2, a_3, a_4)$ sao cho tổng bình phương sai số giữa giá trị đo và giá trị tính toán là nhỏ nhất:

$$\min_{\theta} \sum_{i=1}^n [K_{t,i}^{\text{đo}} - K_{t,i}^{\text{tính}}(\theta)]^2$$

n : số kích bản thí nghiệm

i : là số lần thí nghiệm

Đây là bài toán tối ưu bình phương nhỏ nhất (nonlinear least squares).

4. Các thông số đánh giá độ phù hợp của mô hình hồi quy

Để kiểm định độ chính xác của kết quả tính toán và thí nghiệm mô hình vật lý, số liệu thực đo các thông số sau được tính toán để xem xét:

- R^2 là hệ số thể hiện tính chặt chẽ giữa biến phụ thuộc và biến độc lập. R^2 được sử dụng với mục đích cung cấp một thông số về mức độ kết quả quan sát giữa mô hình và số liệu thực đo. Giá trị của R^2 nằm giữa 0 và 1. Giá trị R^2 càng cao thì có thể kết luận mối liên hệ giữa các kết quả từ thực đo và tính toán càng chặt chẽ.

$$R^2 = 1 - \frac{SSE}{SST} = \frac{\sum_i (Y_i - Y_i^*)^2}{\sum_i (Y_i - \bar{Y}_i)^2}$$

Trong đó: SSE: tổng bình phương độ sai lệch tính toán và thực đo

SST: tổng bình phương độ sai lệch tính toán và giá trị trung bình

Y_i : là giá trị thực đo

\bar{Y}_i : là giá trị trung bình số liệu thực đo, tính như sau:

$$\bar{Y}_i = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Y_i$$

Y_i^* : là giá trị tính toán

- RMSE (Root Mean Square Error) đo lường sai số của mô hình và số liệu thực tế. Giá trị RMSE càng nhỏ (càng gần 0) thì hiệu quả tính toán càng tốt so với số liệu thực đo

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Y_i - Y_i^*)^2}$$

Bảng 2. Tiêu chí đánh giá các chỉ số

Phân loại	Các chỉ số đánh giá	
Xuất sắc	$R^2 \geq 0.93$	$0 < RMSE \leq 0.1$
Tốt	$0.8 \leq R^2 < 0.93$	$0.1 < RMSE \leq 0.2$
Khá	$0.6 \leq R^2 < 0.8$	$0.2 < RMSE \leq 0.3$
Trung Bình	$0.3 \leq R^2 < 0.6$	$0.3 < RMSE \leq 0.5$
Kém	$R^2 < 0.3$	$RMSE > 0.5$

Phụ lục 3. Quá trình vận hành và thu thập số liệu thí nghiệm trích xuất từ kết quả đo đạc mô hình vật lý.

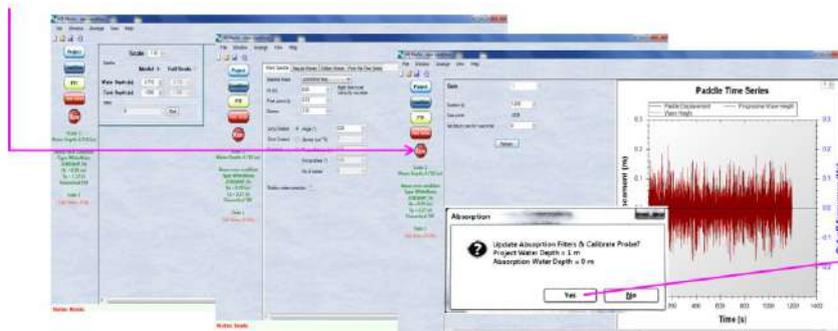
PL3.1 Quá trình thiết lập vận hành thí nghiệm

3.1.1 Các bước tiên quyết

- Bước i. Thiết lập vị trí kim đo sóng, trải dây kết nối, lắp đặt máy tính đo sóng.
- Bước ii. Khóa cấp nước phải ở trạng thái mở. Tiến hành bơm nước vào máng/bể sóng.
- Bước iii. Tắt máy bơm. Điều chỉnh mực nước theo đúng mực nước thí nghiệm → đóng khóa cấp nước.
- Bước iv. Khởi động máy tính tạo và thu tín hiệu sóng.

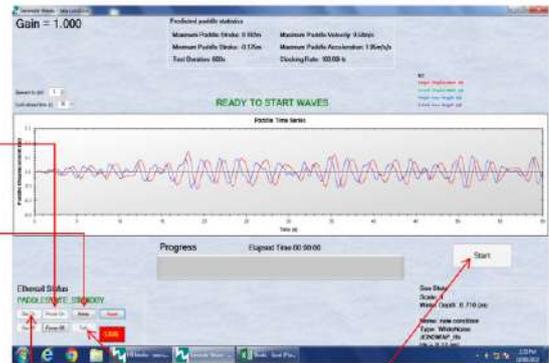
3.1.2 Các bước thao tác với máy tạo sóng

- Bước 1. Bật nguồn máy tạo sóng.
- Bước 2. Mở đầu dùng khăn cấp.
- Bước 3. Mở phần mềm tạo sóng.
- Bước 4. Tạo "new project" và nhập các thông số cần thiết.
→ ấn "Run".



Hộp thoại hiển thị, chọn Yes, chọn mực nước phù hợp với mực nước đã setup

- Bước 5. Khởi chạy dự án. Ở lần khởi động đầu tiên trong ngày, tại giao diện chạy dự án → ấn “power-on” đèn vàng hiển thị.
- Bước 6. Ấn “Home” để đưa cánh sóng vào vị trí sẵn sàng, chờ tín hiệu đèn chuyển sang trạng thái xanh hoàn toàn là có thể sẵn sàng cho máy hoạt động. Ở các lần khởi chạy dự án tiếp theo không cần thực hiện bước này.
- Bước 7. Khi kết thúc thí nghiệm trong ngày, từ giao diện ấn “Park” đưa cánh sóng về chế độ nghỉ, đèn nháy xanh dương đến khi đèn xanh hoàn toàn → ấn “power-off”. Tắt phần mềm tạo sóng và tắt lần lượt các thiết bị còn lại theo thứ tự ngược lại.



Chọn "Abs on" bật chức năng hấp thụ sóng

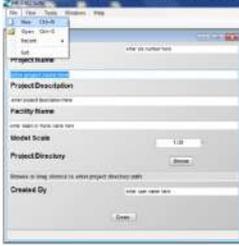
Chọn "Park" đưa cánh tạo sóng về vị trí nghỉ

Chọn "Start" khởi chạy dự án

3.1.3 Các bước thao tác với máy và phần mềm thu tín hiệu sóng



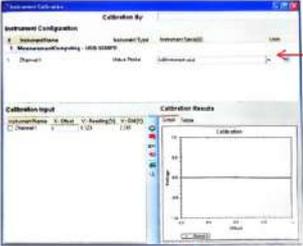
Bước 1. Mở nguồn đầu thu tín hiệu sóng



Bước 2. Khởi chạy phần mềm HR DAQ



Bước 3. Tạo project mới và nhập các thông tin cần thiết



Bước 4. Tạo một cấu hình hiệu chuẩn mới cho kim đo sóng.





Bước 5. Tạo một cấu hình thu thập dữ liệu mới.

Ấn "Start" để tiến hành thu thập số liệu

Chọn đúng file calibration ở bước 4

Instrument Name	Instrument Type	Instrument SerialID	Calibration File
Channel 1	Wave Probe	0001	020300000000
Channel 2	None	None	None
Channel 3	None	None	None
Channel 4	None	None	None
Channel 5	None	None	None
Channel 6	None	None	None
Channel 7	None	None	None
Channel 8	None	None	None

Bước 6. Tạo một cấu hình thu thập dữ liệu mới.

Ấn "Process" để xử lý và xuất kết quả

PL3.2. Số liệu thí nghiệm trích xuất từ kết quả đo đặc mô hình vật lý và phân tích.

TEN KICH BAN	Depth [m]	Rc [m]	Hm _{0,i} [m]	Tm-1,0 [s]	Tp [s]	Lm _{0,1} [m]	Sm ₀ [-]	Sp [-]
TC1-D60H12T151	0.200	0.205	0.109	1.380	1.471	2.415	0.065	0.037
TC1-D60H12T189	0.200	0.205	0.110	1.707	1.852	2.720	0.052	0.024
TC1-D60H12T227	0.200	0.205	0.111	2.003	2.174	2.980	0.044	0.018
TC1-D60H12T265	0.200	0.205	0.106	2.272	2.632	3.138	0.037	0.013
TC1-D60H17T189	0.200	0.205	0.153	1.693	1.852	2.980	0.073	0.034
TC1-D60H17T227	0.200	0.205	0.155	1.959	2.174	3.339	0.065	0.026
TC1-D60H17T265	0.200	0.205	0.149	2.191	2.632	3.825	0.056	0.020
TC1-D60H22T227	0.200	0.205	0.195	1.930	2.174	3.839	0.084	0.034
TC1-D60H22T265	0.200	0.205	0.190	2.148	2.632	4.422	0.074	0.026
TC1-D60H27T265	0.200	0.205	0.219	2.133	2.632	4.847	0.087	0.031
TC1-D65H12T151	0.250	0.155	0.109	1.376	1.471	2.556	0.060	0.037
TC1-D65H12T189	0.250	0.155	0.110	1.708	1.852	2.999	0.047	0.024
TC1-D65H12T227	0.250	0.155	0.110	2.000	2.174	3.308	0.039	0.018
TC1-D65H12T265	0.250	0.155	0.101	2.232	2.632	3.486	0.032	0.013
TC1-D65H17T189	0.250	0.155	0.153	1.700	1.852	3.146	0.066	0.034
TC1-D65H17T227	0.250	0.155	0.153	1.966	2.174	3.502	0.057	0.025
TC1-D65H17T265	0.250	0.155	0.142	2.183	2.632	3.856	0.047	0.019
TC1-D65H22T227	0.250	0.155	0.194	1.936	2.174	3.808	0.075	0.033
TC1-D65H22T265	0.250	0.155	0.183	2.114	2.632	4.257	0.065	0.026
TC1-D65H27T265	0.250	0.155	0.218	2.088	2.632	4.816	0.079	0.032
TC1-D70H12T151	0.300	0.105	0.112	1.374	1.471	2.638	0.057	0.038
TC1-D70H12T189	0.300	0.105	0.110	1.709	1.852	3.292	0.043	0.024
TC1-D70H12T227	0.300	0.105	0.110	2.019	2.174	3.722	0.036	0.017
TC1-D70H12T265	0.300	0.105	0.102	2.249	2.632	3.971	0.029	0.013
TC1-D70H17T189	0.300	0.105	0.154	1.699	1.852	4.255	0.061	0.034
TC1-D70H17T227	0.300	0.105	0.156	1.977	2.174	4.484	0.053	0.026
TC1-D70H17T265	0.300	0.105	0.145	2.185	2.632	5.659	0.044	0.019
TC1-D70H22T227	0.300	0.105	0.197	1.951	2.174	4.836	0.069	0.033
TC1-D70H22T265	0.300	0.105	0.184	2.135	2.632	5.257	0.059	0.026
TC1-D70H27T265	0.300	0.105	0.221	2.099	2.632	5.659	0.073	0.032
TC1-D75H12T151	0.350	0.055	0.111	1.379	1.471	2.630	0.054	0.038
TC1-D75H12T189	0.350	0.055	0.112	1.706	1.852	3.427	0.041	0.025
TC1-D75H12T227	0.350	0.055	0.109	2.006	2.174	4.070	0.033	0.017
TC1-D75H12T265	0.350	0.055	0.096	2.205	2.632	4.283	0.026	0.013
TC1-D75H17T189	0.350	0.055	0.157	1.718	1.852	3.545	0.057	0.034
TC1-D75H17T227	0.350	0.055	0.155	1.968	2.174	4.186	0.049	0.026
TC1-D75H17T265	0.350	0.055	0.135	2.166	2.632	4.379	0.038	0.018
TC1-D75H22T227	0.350	0.055	0.197	1.951	2.174	4.283	0.064	0.033

TEN KICH BAN	Depth [m]	Rc [m]	Hm0,i [m]	Tm-1,0 [s]	Tp [s]	Lm0,1 [m]	Sm0 [-]	Sp [-]
TC1-D75H22T265	0.350	0.055	0.177	2.095	2.632	4.571	0.053	0.026
TC1-D75H27T265	0.350	0.055	0.213	2.065	2.632	4.801	0.066	0.032
TC1-D80H12T151	0.400	0.005	0.113	1.379	1.471	3.074	0.052	0.038
TC1-D80H12T189	0.400	0.005	0.112	1.707	1.852	6.657	0.039	0.025
TC1-D80H12T227	0.400	0.005	0.110	1.999	2.174	4.260	0.032	0.018
TC1-D80H12T265	0.400	0.005	0.096	2.197	2.632	4.551	0.025	0.013
TC1-D80H17T189	0.400	0.005	0.158	1.717	1.852	4.695	0.055	0.034
TC1-D80H17T227	0.400	0.005	0.155	1.996	2.174	5.640	0.045	0.025
TC1-D80H17T265	0.400	0.005	0.136	2.170	2.632	5.313	0.036	0.019
TC1-D80H22T227	0.400	0.005	0.198	1.965	2.174	5.701	0.059	0.033
TC1-D80H22T265	0.400	0.005	0.175	2.114	2.632	5.456	0.049	0.025
TC1-D80H27T265	0.400	0.005	0.212	2.101	2.632	5.824	0.060	0.031
TC1-D85H12T151	0.400	0.010	0.113	1.359	1.471	2.631	0.052	0.039
TC1-D85H12T189	0.450	-0.040	0.112	1.713	1.852	3.449	0.037	0.024
TC1-D85H12T227	0.450	-0.040	0.109	2.002	2.174	4.375	0.030	0.017
TC1-D85H12T265	0.450	-0.040	0.096	2.207	2.632	4.863	0.023	0.013
TC1-D85H17T189	0.450	-0.040	0.154	1.710	1.852	3.723	0.051	0.034
TC1-D85H17T227	0.450	-0.040	0.153	2.004	2.174	4.554	0.042	0.024
TC1-D85H17T265	0.450	-0.040	0.134	2.184	2.632	4.908	0.033	0.018
TC1-D85H22T227	0.450	-0.040	0.198	1.971	2.174	4.642	0.057	0.033
TC1-D85H22T265	0.450	-0.040	0.175	2.155	2.632	4.996	0.045	0.024
TC1-D85H27T265	0.450	-0.040	0.214	2.109	2.632	5.194	0.057	0.031
TC1-D90H12T151	0.500	-0.090	0.111	1.357	1.471	2.621	0.050	0.039
TC1-D90H12T189	0.500	-0.090	0.110	1.701	1.852	3.546	0.036	0.024
TC1-D90H12T227	0.500	-0.090	0.106	1.990	2.174	4.460	0.028	0.017
TC1-D90H12T265	0.500	-0.090	0.084	2.103	2.500	5.073	0.021	0.012
TC1-D90H17T189	0.500	-0.090	0.156	1.713	1.852	3.741	0.050	0.034
TC1-D90H17T227	0.500	-0.090	0.150	1.976	2.174	4.649	0.040	0.025
TC1-D90H17T265	0.500	-0.090	0.119	2.099	2.500	5.119	0.029	0.017
TC1-D90H22T227	0.500	-0.090	0.194	1.966	2.174	4.814	0.052	0.032
TC1-D90H22T265	0.500	-0.090	0.155	2.066	2.500	5.189	0.040	0.023
TC1-D90H27T265	0.500	-0.090	0.192	2.017	2.500	5.329	0.051	0.030

PL3.3. Bảng đánh giá chỉ số Reynold tính toán và cho phép

Độ nhớt động học của nước ở 20 độ (m ² /s)	Đường kính lỗ (m)	Vận tốc sóng (m/s)	Số Reynolds tính toán	[Re]	Ghi chú
0.00000101	0.041	1.781	72295	10000	Đạt
0.00000101	0.041	1.934	78513	10000	Đạt
0.00000101	0.041	1.815	73682	10000	Đạt
0.00000101	0.041	1.934	78513	10000	Đạt
0.00000101	0.041	2.026	82257	10000	Đạt
0.00000101	0.041	1.960	79560	10000	Đạt
0.00000101	0.041	1.635	66379	10000	Đạt
0.00000101	0.041	1.719	69797	10000	Đạt
0.00000101	0.041	1.635	66379	10000	Đạt
0.00000101	0.041	1.719	69797	10000	Đạt
0.00000101	0.041	1.719	69797	10000	Đạt
0.00000101	0.041	1.834	74437	10000	Đạt
0.00000101	0.041	1.603	65068	10000	Đạt
0.00000101	0.041	1.728	70144	10000	Đạt
0.00000101	0.041	1.562	63413	10000	Đạt
0.00000101	0.041	1.621	65789	10000	Đạt
0.00000101	0.041	2.039	82787	10000	Đạt
0.00000101	0.041	2.039	82787	10000	Đạt
0.00000101	0.041	2.099	85221	10000	Đạt

Phụ lục 4. Thông số tính toán thiết kế đê giảm sóng

- *Xác định mực nước thiết kế*

Công trình đê giảm sóng xa bờ được thiết kế với chức năng giảm sóng trong điều kiện sóng khí hậu hàng năm ứng với gió mùa Đông Bắc.

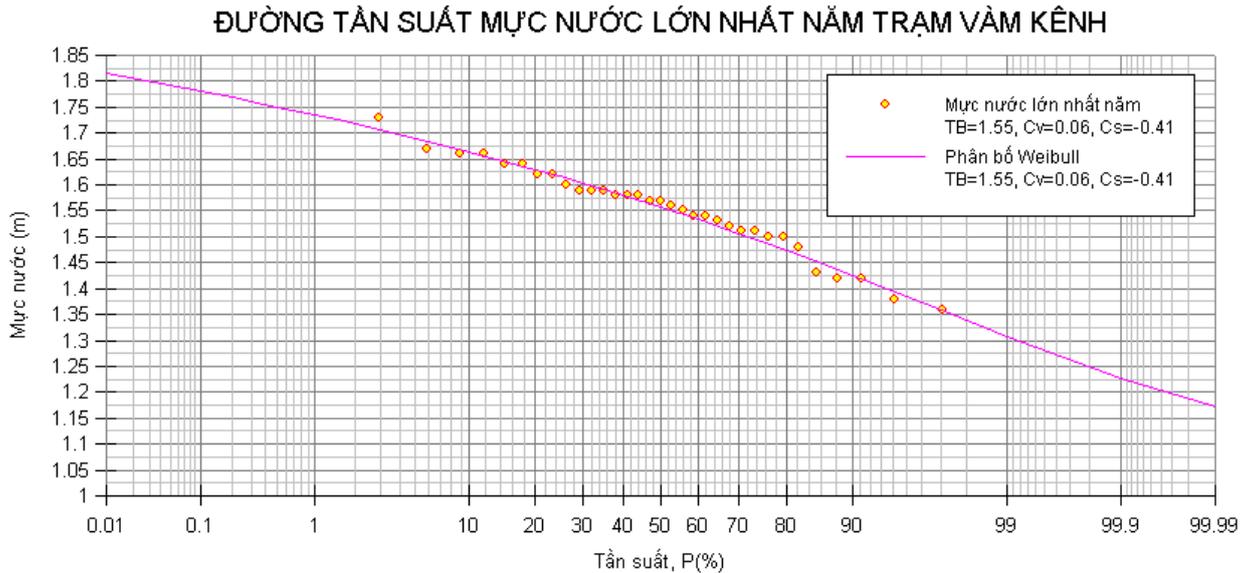
Mực nước để tính cao trình đỉnh đê

Dựa trên thống kê mực nước triều tại khu vực tính toán từ số liệu đo đạc thực tế mực nước tại trạm Vàm Kênh trong vòng 32 năm (từ năm 1985 đến năm 2017).

Bảng 1. Thống kê mực nước biển cao nhất năm tại trạm Vàm Kênh (1985-2017)

Năm	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995
Z _{Mn} (m)	1.42	1.51	1.43	1.36	1.54	1.38	1.5	1.66	1.42	1.5	1.48
Năm	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006

Z Mn (m)	1.59	1.73	1.54	1.57	1.57	1.59	1.67	1.55	1.51	1.58	1.62
Năm	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Z Mn (m)	1.56	1.64	1.64	1.6	1.66	1.62	1.58	1.53	1.52	1.58	1.59



Hình 1. Phân bố tần suất Weibull mực nước lớn nhất năm trạm Vàm Kênh

Mức nước triều trung bình lớn nhất được xác định theo chuỗi số liệu thực đo tại trạm Vàm Kênh là: +1.55m. Giá trị mực nước này sẽ được lấy làm giá trị mực nước tính toán thiết kế chức năng đê giảm sóng.

Sóng trong điều kiện gió mùa

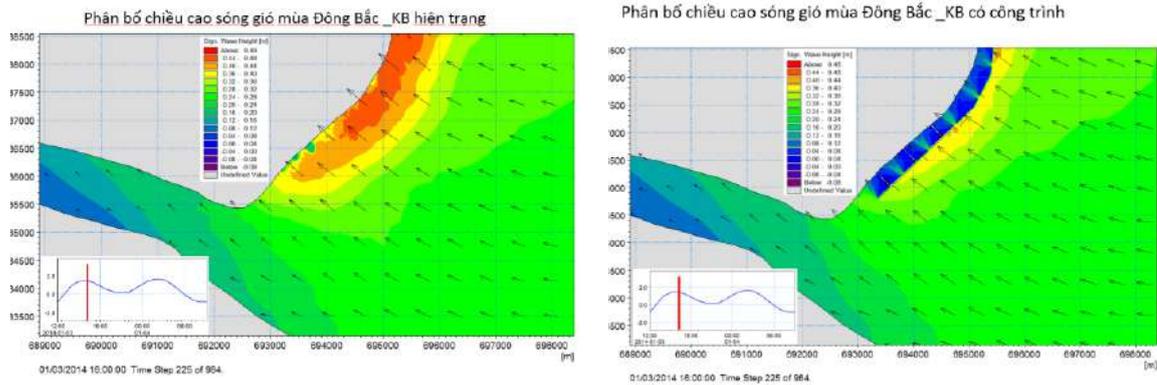
Số liệu sóng nước sâu được trích xuất từ mô hình toán (Mike 21SW) cho vị trí cách bờ khoảng 30km. Thông số sóng từ mô hình MIKE 21SW được sử dụng làm tham số thiết kế trong điều kiện gió mùa, giá trị chiều cao sóng lớn nhất năm trong điều kiện gió mùa: Chiều cao sóng: $H_{s,0} = 1.5\text{m}$; Chu kỳ sóng $T_p = 6.80\text{ (s)}$.



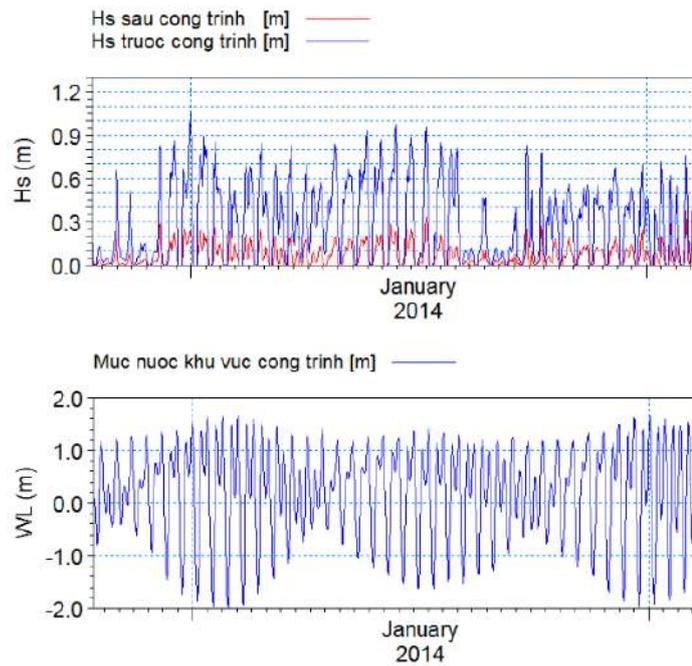
Hình 2. Hoa sóng ngoài khơi vị trí xây dựng công trình

Tham số sóng thiết kế tại chân công trình

Tham số sóng thiết kế được tính toán theo phương pháp sử dụng mô hình hai chiều MIKE21 SW; Vị trí tính toán tham số sóng thiết kế công trình sẽ lấy tại vị trí cách chân công trình một khoảng bằng chiều dài sóng tại vùng nước nông:



Hình 3. Phân bố trường sóng trong gió mùa Đông Bắc



Hình 4. Chiều cao sóng trước và sau công trình mùa Đông Bắc

Bảng 1. Kết quả truyền sóng đến trước công trình trong điều kiện gió mùa ứng với sóng nước sâu $H_s = 1.5\text{m}$, $T = 6.80\text{ s}$

Mức nước tính toán	Mức nước (m)	H_s (m)	T_p(s)	L_s (m)
Mức nước triều lớn nhất	+1.55	0.9	5.0	18.3

Phụ lục 5. Hình ảnh khôi phục hệ sinh thái rừng ngập mặn theo thời gian

Hình 5. Quá trình phục hồi rừng ngập mặn và hệ sinh thái ở Cồn Cống – Tiền Giang sau 4 năm xây dựng.

Phụ lục 6. Bảng độc quyền giải pháp hữu ích cấu kiện giảm sóng bảo vệ bờ biển



 BỘ KHOA HỌC VÀ CÔNG NGHỆ
 CỤC SỞ HỮU TRÍ TUỆ

CỘNG HÒA XÃ HỘI CHỦ NGHĨA VIỆT NAM
 Độc lập - Tự do - Hạnh phúc

**BẢNG ĐỘC QUYỀN
 GIẢI PHÁP HỮU ÍCH**
Số: 2710

Tên giải pháp hữu ích: CẤU KIỆN GIẢM SÓNG BẢO VỆ BỜ BIỂN
Chủ Bảng độc quyền: Viện Khoa học Thủy lợi Miền Nam (VN)
 658 Võ Văn Kiệt, phường 1, quận 5, thành phố Hồ Chí Minh
Tác giả: 1. Lê Xuân Tú (VN)
 2. (Danh sách kèm theo)
Số đơn: 2-2021-00172
Ngày nộp đơn: 14/06/2018
Số điểm yêu cầu bảo hộ: 02 **Số trang mô tả:** 11
 Cấp theo Quyết định số: 13026w/QĐ-SHTT, ngày: 13/08/2021
 Có hiệu lực từ ngày cấp đến hết 10 năm tính từ ngày nộp đơn (Hiệu lực bảo hộ của đây từ hàng năm).

KT. CỤC TRƯỞNG
 PHÓ CỤC TRƯỞNG


 Phan Ngân Sơn


 VN 2 2710



**BẢN MÔ TẢ GIẢI PHÁP HỮU ÍCH THUỘC BẢNG ĐỘC QUYỀN
 GIẢI PHÁP HỮU ÍCH**

(19) Cộng hòa xã hội chủ nghĩa Việt Nam (VN) (11) 
 CỤC SỞ HỮU TRÍ TUỆ **2-0002710**

(51) E02B 3/06 (13) Y
 2026/01

(21) 2-2021-00172 (22) 14/06/2018
 (67) 1-2018-02552
 (45) 25/09/2021 402 (43) 25/09/2018 366A
 (73) Viện Khoa học Thủy lợi Miền Nam (VN)
 658 Võ Văn Kiệt, phường 1, quận 5, thành phố Hồ Chí Minh
 (72) Lê Xuân Tú (VN); Trần Bá Hoàng (VN); Đinh Công Sơn (VN); Nguyễn Duy Khang (VN); Đỗ Văn Dương (VN).

(54) CẤU KIỆN GIẢM SÓNG BẢO VỆ BỜ BIỂN
 (57) Giải pháp hữu ích đề cập đến cấu kiện giảm sóng có tiết diện chữ A được lắp ghép tạo thành tuyến để có chức năng giảm sóng, gây bồi tạo bãi, bảo vệ và phát triển rừng ngập mặn ven biển Đồng bằng sông Cửu Long. Cấu kiện được thiết kế với các lỗ rỗng có dạng hình tròn hướng tâm so le nhau cả hai mặt trước và sau; phần đầu chữ A được thiết kế dạng vòm cong tron; chân cấu kiện được làm mở rộng về hai phía (phía biển và phía bờ); buồng tiêu năng được hình thành bên trong cấu kiện, mặt đáy của khoang tiêu năng thiết kế với các lỗ rỗng được bố trí đối xứng nhau qua trục cấu kiện; liên kết giữa các cấu kiện theo kiểu ngàm âm - dương, ngàm liền kết theo dạng hình thang có thể dễ dàng lắp ghép, di chuyển.

