

BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO

BỘ NÔNG NGHIỆP VÀ PTNT

VIỆN KHOA HỌC THỦY LỢI VIỆT NAM

MAI TRỌNG LUÂN

NGHIÊN CỨU HIỆU QUẢ GIẢM SÓNG CỦA ĐÊ LẤP GHÉP
CẤU KIỆN CT3N-WIP1, ÁP DỤNG CHO BẢO VỆ BỜ BIỂN
PHÍA TÂY MŨI CÀ MAU

LUẬN ÁN TIẾN SĨ KỸ THUẬT

HÀ NỘI, NĂM 2024

BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO

BỘ NÔNG NGHIỆP VÀ PTNT

VIỆN KHOA HỌC THỦY LỢI VIỆT NAM

MAI TRỌNG LUÂN

NGHIÊN CỨU HIỆU QUẢ GIẢM SÓNG CỦA ĐÊ LẤP GHÉP
CẤU KIỆN CT3N-WIP1, ÁP DỤNG CHO BẢO VỆ BỜ BIỂN
PHÍA TÂY MŨI CÀ MAU

NGÀNH: KỸ THUẬT XÂY DỰNG CÔNG TRÌNH THỦY

Mã số: 9 58 02 02

LUẬN ÁN TIẾN SĨ KỸ THUẬT

CÁN BỘ HƯỚNG DẪN KHOA HỌC:

- GS. TS. Nguyễn Vũ Việt
- GS. TS. Thiều Quang Tuấn

HÀ NỘI, NĂM 2024

LỜI CAM ĐOAN

Tác giả xin cam đoan đây là công trình nghiên cứu của bản thân tác giả. Các kết quả nghiên cứu và các kết luận trong luận án là trung thực, không sao chép từ bất kỳ một nguồn nào và dưới bất kỳ hình thức nào.

Việc tham khảo các nguồn tài liệu đã được thực hiện trích dẫn và ghi nguồn tài liệu tham khảo đúng quy định.

Hà Nội, ngày 20 tháng 11 năm 2024

Tác giả luận án



Mai Trọng Luân

LỜI CẢM ƠN

Tác giả xin chân thành cảm ơn tới hai thầy hướng dẫn khoa học là GS. TS. Nguyễn Vũ Việt và GS.TS. Thiều Quang Tuấn đã chỉ dẫn và đồng hành cùng tác giả trong suốt quá trình tìm hiểu, nghiên cứu và hoàn thiện luận án.

Tác giả xin được gửi lời cảm ơn cơ sở đào tạo Viện Khoa học Thủy lợi Việt Nam và Viện Sinh thái và Bảo vệ công trình đã tạo điều kiện thuận lợi cho tác giả trong suốt quá trình học tập và thực hiện luận án.

Tác giả xin gửi lời cảm ơn chân thành tới Bộ Khoa học và Công nghệ, Ban lãnh đạo Viện Khoa học Thủy lợi Việt Nam đã tin tưởng giao nhiệm vụ chủ nhiệm Đề tài độc lập cấp Quốc gia: “Nghiên cứu giải pháp mềm bảo vệ bờ vùng cửa sông, ven biển bán đảo Cà Mau”, mã số ĐTĐL.CN-49/18. Những kết quả của đề tài này đã cung cấp nguồn tài liệu tham khảo quý giá, đồng thời tạo nền tảng khoa học vững chắc để tác giả tiếp tục phát triển và hoàn thiện các ý tưởng nghiên cứu mới trong khuôn khổ luận án.

Cuối cùng, tác giả xin gửi lời cảm ơn chân thành đến gia đình, bạn bè, đồng nghiệp đã giúp đỡ, tạo mọi điều kiện thuận lợi cho tác giả trong suốt thời gian học tập, nghiên cứu và thực hiện luận án.

Tác giả



Mai Trọng Luân

MỤC LỤC

CHƯƠNG 1. TỔNG QUAN NGHIÊN CỨU VỀ ĐÊ GIẢM SÓNG	8
1.1. Giới thiệu chung về đê giảm sóng.....	8
1.1.1. Khái niệm về đê giảm sóng.....	8
1.1.2. Đặc điểm chính của đê giảm sóng	8
1.2. Tổng quan ứng dụng về đê giảm sóng và các nghiên cứu về tương tác sóng-công trình.....	10
1.2.1. Tổng quan về ứng dụng đê giảm sóng	10
1.2.2. Tổng quan nghiên cứu về tương tác sóng-công trình	17
1.3. Tổng quan các giải pháp giảm sóng tại đồng bằng sông Cửu Long...	36
1.4. Kết luận chương 1	41
CHƯƠNG 2. CƠ SỞ KHOA HỌC NGHIÊN CỨU GIẢI PHÁP CÔNG TRÌNH ĐÊ GIẢM SÓNG LẮP GHÉP CẤU KIỆN CT3N-WIP1.....	43
2.1. Giới thiệu về khu vực nghiên cứu.....	43
2.2. Đê giảm sóng lắp ghép cấu kiện CT3N-WIP1.....	46
2.3. Cân bằng năng lượng sóng.....	49
2.4. Thiết lập phương trình tổng quát về hệ số truyền sóng	50
2.5. Phương pháp nghiên cứu trên mô hình vật lý	53
2.5.1. Lý thuyết tương tự trên mô hình vật lý	53
2.5.2. Thiết kế thí nghiệm	56
2.5. Kết luận chương 2	65
CHƯƠNG 3. KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU SÓNG TRUYỀN QUA ĐÊ GIẢM SÓNG LẮP GHÉP CẤU KIỆN CT3N-WIP1	66

3.1. Sóng truyền qua đê giảm sóng lắp ghép cấu kiện CT3N-WIP1	66
3.1.1. Ảnh hưởng của bề rộng	67
3.1.2. Ảnh hưởng của cao lưu không tương đối.....	69
3.1.3. Ảnh hưởng của chu kỳ sóng.....	70
3.1.4. Ảnh hưởng của độ rỗng.....	72
3.2. Sóng phản xạ.....	75
3.3. Kết quả xây dựng phương pháp tính toán truyền sóng qua đê giảm sóng lắp ghép cấu kiện CT3N-WIP1	79
3.4. Ứng dụng kết quả nghiên cứu bố trí mặt cắt thử nghiệm	86
3.5. Kết luận chương 3	91
KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ.....	93
DANH MỤC CÔNG TRÌNH ĐÃ CÔNG BỐ CỦA TÁC GIẢ.....	97
DANH MỤC TÀI LIỆU THAM KHẢO	98

DANH MỤC BẢNG

Bảng 1-1. Thống kê một số thí nghiệm về truyền sóng trên mô hình vật lý ..	23
Bảng 2-1. Ma trận thứ nguyên	51
Bảng 2-2. Bảng phân tích thứ nguyên các tham số.....	52
Bảng 2-3. Tương quan tỷ lệ một số tham số cơ bản theo luật tương tự Froude	56
Bảng 2-4. Các thông số hình học cơ bản của mô hình ĐGS	58
Bảng 2-5. Tổng hợp các kịch bản kiểm định sóng.....	61
Bảng 2-6. Tổng hợp các trường hợp thí nghiệm.....	62
Bảng 3-1. Phạm vi áp dụng của công thức thực nghiệm	86
Bảng 3-2. Ví dụ áp dụng tính toán cho khu vực biển Tây Cà Mau	89

DANH MỤC HÌNH

Hình 1-1. ĐGS ngầm sử dụng khối Aqua tại Nhật Bản.....	10
Hình 1-2. ĐGS ngầm bằng đá đổ tại bờ biển Lido DI Dante, Ý	11
Hình 1-3. Mỏ hàn bằng cọc gỗ đổ đá tại bờ biển Baltic, Ba Lan	11
Hình 1-4. Mỏ hàn bằng cọc tre và gỗ ở Thái Lan.....	12
Hình 1-5. Mỏ hàn bằng Geotube và ĐGS ngầm bằng cấu kiện reefball tại Mỹ	12
Hình 1-6. ĐGS dạng ống vải mới được thi công tại ven biển Cửa Đại	15
Hình 1-7. Kè lắp ghép bảo vệ bờ biển Tiền Hải, Thái Bình.....	16
Hình 1-8. Đê chắn sóng tại Nghi Sơn, Thanh Hóa sử dụng khối Rakuna-iv .	16
Hình 1-9. Hệ số truyền sóng qua đê đỉnh hẹp theo Van de Meer (1991)	21
Hình 1-10. Các trường hợp sắp xếp cấu kiện thí nghiệm	26
Hình 1-11. Quan hệ giữa độ dốc sóng và K_t trong các PA sắp xếp cấu kiện.....	27
Hình 1-12. Quan hệ giữa K_t và độ dốc sóng khi tỉ lệ d/h thay đổi.....	27
Hình 1-13. Mô hình sự truyền sóng qua ĐGS dạng tường mỏng, tiết diện hình chữ nhật (Nguyễn Khắc Nghĩa, 2009)	30
Hình 1-14. Mô hình đê chắn sóng nổi sử dụng trong thí nghiệm	31
Hình 1-15. Dữ liệu hồi quy với $T_{m-1,0}$ và T_P	32
Hình 1-16. Mô hình thí nghiệm truyền sóng qua ĐGS kết cấu rỗng.....	32
Hình 1-17. Bố trí các phương án thí nghiệm	34
Hình 1-18. So sánh về hiệu quả truyền sóng (a) và sóng phản xạ (b)	35
Hình 1-19. So sánh về khả năng trao đổi bùn cát của 03 PA.....	35
Hình 1-20. ĐGS dạng ống Geotube tại ven biển Bạc Liêu.....	36
Hình 1-21. Kè chữ T bằng cọc tre do tổ chức GIZ xây dựng tại tỉnh Bạc Liêu	37
Hình 1-22. Đê giảm sóng kết cấu rỗng tại Tiền Giang	38

Hình 1-23. Đê chắn sóng bằng đá đổ tại Kiên Giang (Trái) và Cà Mau (Phải)	38
Hình 1-24. Đê trụ rỗng được áp dụng tại Cà Mau (trái) và Bạc Liêu (phải)	39
Hình 1-25. Kè BUSADCO được lắp đặt tại tỉnh Cà Mau	40
Hình 1-26. Kè bê tông ly tâm đổ đá học tại tỉnh Cà Mau	40
Hình 2-1. Xu thế bồi, xói khu vực ven biển Cà Mau	43
Hình 2-2. ĐGS lắp ghép cấu kiện CT3N-WIP1 (CK1)	48
Hình 2-3. Sơ đồ bố trí thí nghiệm sóng truyền qua công trình ĐGS	57
Hình 2-4. Mô hình ĐGS trong máng sóng	58
Hình 2-5. Chế tạo cấu kiện và lắp đặt các đầu đo trong máng sóng	63
Hình 2-6. Quy trình hiệu chỉnh và kiểm định các đầu đo sóng	64
Hình 2-7. Thực hiện các kịch bản không có công trình	64
Hình 2-8. Thí nghiệm truyền sóng qua ĐGS	64
Hình 3-1. Minh họa về các phương án xếp cấu kiện CT3N-WIP1	66
Hình 3-2. Ảnh hưởng của bề rộng đỉnh đê tương đối B/H_{m0} và B/D đến sóng truyền	67
Hình 3-3. Hệ số truyền sóng qua đê: $K_t \sim R_c/H_{m0i}$ và bề rộng đê đỉnh B	70
Hình 3-4. Phổ sóng tại các vị trí khác nhau ở trên bãi bồi: (a) Nước sâu WG1 (b) Trên bãi WG2 (c) Trước công trình WG3 (d) Sau công trình WG4	71
Hình 3-5. Ảnh hưởng của chu kỳ sóng đến hệ số truyền sóng	72
Hình 3-6. Minh họa CK1 (a) và CK2 (b)	73
Hình 3-7. Ảnh hưởng của độ rỗng đến hệ số truyền sóng qua đê và hệ số phản xạ giữa hai loại cấu kiện CK1 và CK2	73
Hình 3-8. Ảnh hưởng của độ rỗng đến hệ số truyền sóng qua đê và hệ số phản xạ giữa cấu kiện CK1 khi không có và có hào bám	74
Hình 3-9. Số liệu thực nghiệm hệ số sóng phản xạ: (a) Đê nhô (b) Đê thấp	76

Hình 3-10. Đê đỉnh thấp $R_c/H_{m0} \leq 0,50$: (a) Hệ số suy giảm sóng phản xạ f_R	
(b) So sánh (tính toán-thực đo) hệ số phản xạ	77
Hình 3-11. So sánh hệ số phản xạ: (a) Thay đổi cách xếp (b) Thay đổi độ rộng	
(c) Có và không có hào bảm	78
Hình 3-12. Xác định các số mũ c_1 và c_2	81
Hình 3-13. Kết quả hồi quy so sánh với số liệu thực nghiệm: (a) khi không xét	
chiều cao lưu không tương đối phân giới η ; (b) khi xét $\eta = 0,75$	82
Hình 3-14. Kết quả hồi quy thực nghiệm: xếp thẳng và xếp chéo	83
Hình 3-15. So sánh kết quả hệ số truyền sóng khi đê có sự thay đổi độ rộng	84
Hình 3-16. Quan hệ giữa chu kỳ đặc trưng phổ $T_{m-1,0}$ và độ nông của bãi	84
Hình 3-17. Kết quả quan hệ ($K_t \sim B_f$) cho trường hợp đê đỉnh cao và đê đỉnh	
thấp.....	87
Hình 3-18. Áp dụng bố trí mặt cắt ĐGS trong trường hợp đê cao (a) và đê thấp	
(b)	88

DANH MỤC TỪ VIẾT TẮT

BĐKH	Biến đổi khí hậu
BTCT	Bê tông cốt thép
CSDL	Cơ sở dữ liệu
ĐBSCL	Đồng bằng sông Cửu Long
ĐGS	Đê giảm sóng
ĐKTN	Điều kiện tự nhiên
GIS	Hệ thống thông tin địa lý
GIZ	Tổ chức Hợp tác Quốc tế CHLB Đức
HST	Hệ sinh thái
KBS	Kịch bản sóng
KDTSQ	Khu dự trữ sinh quyển
KHCN	Khoa học công nghệ
SIWRR	Viện Khoa học thủy lợi miền Nam
KTB	Kỹ thuật biển
KT-XH	Kinh tế - xã hội
PA	Phương án
PTBV	Phát triển bền vững
RNM	Rừng ngập mặn
VQG	Vườn Quốc gia
WG	Đầu đo sóng
YCGS	Yêu cầu giảm sóng

DANH MỤC CÁC KÝ HIỆU

Ký hiệu	Định nghĩa
B	Bề rộng đỉnh của ĐGS
B_f	Bề rộng trung bình của ĐGS
D	Độ sâu nước tại vị trí ĐGS
D_{50}	Đường kính danh nghĩa của vật liệu
h	Chiều cao ĐGS
$H_{m0,i}$	Chiều cao sóng tới trước ĐGS
$H_{m0,t}$	Chiều cao sóng tới sau ĐGS
k	Số sóng
K_r	Hệ số phản xạ
K_t	Hệ số truyền sóng
L	Chiều dài bước sóng
n	Độ rỗng khối của thân đê
P_f	Tham số đặc trưng độ thấm của ĐGS
R_c	Cao lưu không
s_{0m}	Độ dốc sóng
T	Chu kỳ sóng
ξ_{0p}	Chỉ số sóng vỡ Iribarren
λ_L	Tỷ lệ bước sóng
λ_h	Tỷ lệ chiều cao sóng
λ_t	Tỷ lệ thời gian
η	giá trị chiều cao lưu không tương đối phân giới

MỞ ĐẦU

1. Tính cấp thiết

Sạt lở bờ biển và suy thoái hệ sinh thái rừng ngập mặn (RNM) đang là những vấn đề cấp bách không chỉ ở Việt Nam mà còn trên toàn thế giới. Tại khu vực đồng bằng sông Cửu Long, đặc biệt là vùng biển Tây tỉnh Cà Mau, vấn đề này đã trở thành thách thức nghiêm trọng, ảnh hưởng trực tiếp đến kinh tế, môi trường và đời sống của hàng triệu cư dân ven biển. Theo số liệu của Viện Khoa học Thủy lợi miền Nam (SIWRR), trên 280 km đường bờ đã bị xói lở với tốc độ từ 1 đến 20 m/năm, dẫn đến mất diện tích đất canh tác, hủy hoại hạ tầng ven biển và suy giảm RNM – tuyến phòng thủ tự nhiên quan trọng trước tác động của sóng biển, bão, và biến đổi khí hậu.

Các giải pháp bảo vệ bờ biển hiện nay bao gồm từ công trình cứng như đê bê tông, kè đá, đến các giải pháp mềm như hàng rào cọc tre, trồng cây RNM. Tuy nhiên, mỗi giải pháp đều có những hạn chế riêng. Các công trình cứng thường đòi hỏi chi phí đầu tư lớn, gây tác động tiêu cực đến môi trường tự nhiên và thiếu tính bền vững trong dài hạn. Ngược lại, các giải pháp mềm, mặc dù thân thiện với môi trường, lại thường có tuổi thọ thấp và hiệu quả giảm sóng bị suy giảm nhanh chóng trước các tác động thủy động lực học khắc nghiệt của biển.

Trong bối cảnh đó, việc nghiên cứu và triển khai các giải pháp giảm sóng hiệu quả, vừa đảm bảo tính bền vững, vừa hỗ trợ khôi phục hệ sinh thái RNM là yêu cầu cấp bách. Cấu kiện CT3N-WIP1 – một thiết kế mới với dạng lắp ghép, rỗng xốp, đã được đề xuất như một giải pháp tiên tiến nhằm khắc phục các nhược điểm trên. Đặc điểm nổi bật của cấu kiện này là khả năng hấp thụ và tiêu tán năng lượng sóng, giảm phản xạ, đồng thời cho phép trao đổi bùn cát qua thân đê, tạo điều kiện thuận lợi cho việc gây bồi, tái sinh RNM và bảo vệ hệ sinh thái ven biển.

Mặc dù có tiềm năng ứng dụng cao, hiệu quả thực tiễn của cấu kiện CT3N-WIP1 cần được đánh giá một cách chi tiết thông qua nghiên cứu tương tác giữa sóng và công trình, đặc biệt trong điều kiện tự nhiên phức tạp tại biển Tây Cà Mau. Đây là khu vực có đặc thù địa hình bùn yếu, sóng mạnh, và thủy triều thay đổi liên tục, đặt ra những thách thức lớn trong việc thiết kế và triển khai các giải pháp công trình giảm sóng.

Luận án này không chỉ đóng góp vào việc làm sáng tỏ cơ chế tương tác giữa sóng và công trình lắp ghép dạng rỗng xốp, mà còn cung cấp các cơ sở khoa học để xây dựng công thức thực nghiệm và hướng dẫn thiết kế cho các công trình giảm sóng tương tự. Kết quả nghiên cứu sẽ giúp tối ưu hóa thiết kế công trình, đảm bảo hiệu quả giảm sóng, bảo vệ bờ biển, và khắc phục xói lở bờ biển tại vùng biển Tây tỉnh Cà Mau. Ngoài ra, nghiên cứu còn mở ra khả năng ứng dụng rộng rãi cho các vùng ven biển khác tại Việt Nam và trên thế giới có điều kiện tương tự.

Về mặt thực tiễn, luận án có thể góp phần nâng cao năng lực ứng phó với biến đổi khí hậu, bảo vệ sinh kế cho cộng đồng ven biển, và phục hồi hệ sinh thái RNM – một yếu tố quan trọng trong việc phát triển bền vững tại đồng bằng sông Cửu Long. Từ đó, nghiên cứu không chỉ mang ý nghĩa khoa học mà còn có giá trị thực tiễn cao, giúp xây dựng một hướng đi mới trong công tác bảo vệ bờ biển tại Việt Nam.

2. Mục tiêu nghiên cứu

a) Mục tiêu tổng quát

Đánh giá cơ chế tương tác giữa sóng và ĐGS lắp ghép cấu kiện CT3N-WIP1, xác định cơ sở khoa học để đánh giá hiệu quả giảm sóng của công trình trong điều kiện thủy động lực đặc thù tại khu vực biển Tây tỉnh Cà Mau. Trên

cơ sở đó, đề xuất các phương án thiết kế mặt cắt công trình giảm sóng phù hợp để bảo vệ bờ biển và hỗ trợ phục hồi rừng ngập mặn.

b) Mục tiêu cụ thể

- Phân tích quá trình truyền sóng qua ĐGS lắp ghép cấu kiện CT3N-WIP1 để làm rõ mối tương quan giữa các tham số đặc trưng hình học của ĐGS và hệ số truyền sóng qua công trình.

- Xây dựng công thức thực nghiệm để tính toán hệ số truyền sóng (K_t) của ĐGS lắp ghép cấu kiện CT3N-WIP1.

3. Đối tượng và phạm vi nghiên cứu

Đối tượng nghiên cứu: Sóng và quá trình truyền sóng qua đê giảm sóng lắp ghép cấu kiện CT3N-WIP1 trong điều kiện thủy động lực đặc thù tại khu vực biển Tây tỉnh Cà Mau.

Phạm vi nghiên cứu: Đê giảm sóng lắp ghép cấu kiện CT3N-WIP1 xây dựng trên bãi biển bùn phía trước đai rừng ngập mặn bị xói lở ở khu vực biển Tây mũi Cà Mau.

4. Nội dung nghiên cứu

Để giải quyết mục tiêu nghiên cứu đề ra, trong khuôn khổ một luận án tiến sĩ, nghiên cứu sinh (NCS) sẽ tập trung giải quyết các nội dung nghiên cứu như sau:

- Tổng quan nghiên cứu về cấu kiện giảm sóng, ứng dụng của các cấu kiện giảm sóng và quá trình lan truyền sóng qua các loại cấu kiện giảm sóng.

- Nghiên cứu cơ sở khoa học của giải pháp ĐGS lắp ghép cấu kiện CT3N-WIP1.

- Nghiên cứu sóng truyền qua ĐGS lắp ghép cấu kiện CT3N-WIP1 bằng thí nghiệm trên mô hình vật lý trong máng sóng.

- Nghiên cứu xây dựng công thức thực nghiệm để xác định hiệu quả giảm sóng của đê giảm sóng lắp ghép cấu kiện CT3N-WIP1 với điều kiện tự nhiên của biển Tây mũi Cà Mau.

5. Cách tiếp cận và phương pháp nghiên cứu

Cách tiếp cận: Nghiên cứu tổng quan tài liệu trong và ngoài nước cho cái nhìn tổng quan về các kết quả nghiên cứu đã có, các phương pháp đã sử dụng và ưu, nhược điểm của từng phương pháp. Từ đó, kế thừa và xây dựng các nội dung, phương pháp nghiên cứu, kỹ thuật sẽ áp dụng trong quá trình thực hiện luận án để đảm bảo tính khoa học, đầy đủ và hiệu quả của các nội dung cần nghiên cứu.

Phương pháp nghiên cứu: Để đạt được mục tiêu và giải quyết các nội dung nghiên cứu của luận án, NCS sử dụng các phương pháp nghiên cứu chính như sau:

- Phương pháp nghiên cứu tổng quan: Trên cơ sở các tài liệu thu thập được, tổng hợp, phân tích, kế thừa những tài liệu liên quan đến luận án trên thế giới và ở Việt Nam. Tìm hiểu những vấn đề mà các tác giả đi trước đã làm cũng như khu trú lại, chỉ ra những vấn đề mà luận án cần tập trung nghiên cứu, giải quyết.

- Phương pháp chuyên gia: Trong quá trình nghiên cứu tham khảo và xin ý kiến của các chuyên gia, các đồng nghiệp có kinh nghiệm về quản lý, bảo vệ bờ biển, về kỹ thuật xây dựng công trình Biển và về thí nghiệm mô hình vật lý thông qua các buổi trao đổi học thuật, hội thảo.

- Phương pháp phân tích thứ nguyên: Là một công cụ toán học và vật lý, được sử dụng để phân tích và xây dựng mối quan hệ giữa các biến số trong quá trình tương tác sóng-công trình. Từ đó thiết lập phương trình tổng quát tính toán hệ số truyền sóng qua đê giảm sóng lắp ghép cấu kiện CT3N-WIP1.

- Phương pháp nghiên cứu thực nghiệm trên mô hình vật lý: Thực hiện thí nghiệm trên mô hình vật lý máng sóng. Đo đạc, xử lý, phân tích kết quả thí

nghiệm, đánh giá và xây dựng tương quan giữa các tham số chi phối đến hiệu quả giảm sóng của ĐGS và thiết lập công thức thực nghiệm về hiệu quả giảm sóng của ĐGS.

- Phương pháp phân tích hồi quy: Trong luận án, phương pháp hồi quy phi tuyến được áp dụng để xây dựng công thức thực nghiệm tính toán hệ số truyền sóng của đê giảm sóng lắp ghép cấu kiện CT3N-WIP1 dựa trên dữ liệu đầu vào được thu thập từ thí nghiệm trên mô hình vật lý.

- Phương pháp nghiên cứu ứng dụng: Vận dụng các vấn đề nghiên cứu và đặc trưng thủy động lực học tại khu vực biển Tây mũi Cà Mau để đề xuất một số mặt cắt ngang phù hợp cho đê giảm sóng lắp ghép cấu kiện CT3N-WIP1 tại khu vực này.

6. Ý nghĩa khoa học và thực tiễn

a) Ý nghĩa khoa học:

Làm rõ cơ chế tương tác sóng - công trình: Luận án đã nghiên cứu và phân tích chi tiết cơ chế truyền sóng và giảm sóng của cấu kiện CT3N-WIP1 trong các điều kiện thủy động lực học khác nhau. Kết quả nghiên cứu đóng góp vào việc hiểu rõ hơn về mối quan hệ giữa sóng, độ rộng công trình, và hiệu quả tiêu tán năng lượng sóng.

Phát triển công thức thực nghiệm: Luận án đã đề xuất và kiểm nghiệm các công thức thực nghiệm, giúp mô tả và tính toán hệ số truyền sóng (K_t) của cấu kiện CT3N-WIP1. Những công thức này bổ sung cho kho tàng lý thuyết về thiết kế và đánh giá công trình giảm sóng dạng xấp xỉ.

Góp phần hoàn thiện lý thuyết thiết kế công trình giảm sóng: Kết quả nghiên cứu góp phần bổ sung các yếu tố thiết kế quan trọng như độ rộng, chiều cao đỉnh, và độ rộng đỉnh của đê giảm sóng lắp ghép cấu kiện CT3N-WIP1 trong điều kiện thủy thạch động lực đặc thù tại khu vực biển Tây Việt Nam.

b) Ý nghĩa thực tiễn:

Cung cấp giải pháp thiết kế bền vững: Cấu kiện CT3N-WIP1 được chứng minh là giải pháp công trình hiệu quả trong việc giảm sóng, gây bồi và tạo điều kiện phục hồi rừng ngập mặn. Xây dựng được công thức tính toán hệ số truyền sóng làm cơ sở tính toán hiệu quả giảm sóng phục vụ thiết kế công trình bảo vệ bờ. Thiết kế này phù hợp với các vùng ven biển có nền địa chất yếu và cần tích tụ bùn cát để tái tạo hệ sinh thái tự nhiên.

Hỗ trợ ứng phó biến đổi khí hậu: Luận án cung cấp cơ sở khoa học và kỹ thuật để triển khai các công trình bảo vệ bờ biển, góp phần giảm thiểu tác động của biến đổi khí hậu và nước biển dâng tại vùng ĐBSCL, đặc biệt là khu vực biển Tây tỉnh Cà Mau.

Mở ra hướng nghiên cứu và ứng dụng mới: Những kết quả từ luận án tạo nền tảng cho các nghiên cứu tiếp theo trong lĩnh vực công trình thủy và bảo vệ bờ biển, từ đó áp dụng rộng rãi cho các khu vực ven biển khác tại Việt Nam.

7. Đóng góp mới của luận án

- Luận án đã xác định và làm sáng tỏ các yếu tố cơ bản ảnh hưởng đến hiệu quả giảm sóng của công trình ĐGS lắp ghép cấu kiện CT3N-WIP1, bao gồm: Chiều cao lưu không tương đối của đỉnh đê (R_c/H_{m0}); Bề rộng tương đối của đê (B_f/D); Sóng phản xạ (K_r) và Đặc trưng độ thấm của đê (P_f).

- Xây dựng được công thức thực nghiệm (3.10) tính toán hệ số truyền sóng qua ĐGS lắp ghép cấu kiện CT3N-WIP1 tại vùng bãi bồi trước đai rừng ngập mặn thuộc khu vực ven biển Tây mũi Cà Mau. Công thức này tích hợp đầy đủ các yếu tố kích thước hình học của công trình, đặc trưng thủy động lực của sóng tới và đặc trưng độ thấm:

$$K_t = -0,30 \cdot \min\left(0,75, \frac{R_c}{H_{m0,i}}\right) + 0,63 \left(P_f \cdot \frac{B_f}{D}\right)^{-0,29} \left[1 - \exp\left(-\frac{0,30}{\sqrt{S_{0m}}}\right)\right]$$

8. Cấu trúc luận án

Ngoài phần mở đầu, kết luận và kiến nghị, toàn bộ nội dung, kết quả nghiên cứu được trình bày trong 3 chương cụ thể là:

Chương 1: Tổng quan nghiên cứu về đề giảm sóng

Chương 2: Cơ sở khoa học nghiên cứu giải pháp công trình đề giảm sóng lắp ghép cấu kiện CT3N-WIP1

Chương 3: Kết quả nghiên cứu sóng truyền qua ĐGS lắp ghép cấu kiện CT3N-WIP1

CHƯƠNG 1. TỔNG QUAN NGHIÊN CỨU VỀ ĐÊ GIẢM SÓNG

1.1. Giới thiệu chung về đê giảm sóng

1.1.1. Khái niệm về đê giảm sóng

ĐGS là một loại công trình thủy lợi được thiết kế và xây dựng nhằm mục đích giảm năng lượng sóng khi sóng tiến vào gần bờ. Công trình này có thể được đặt ở nhiều vị trí khác nhau như vùng biển, cửa sông, hoặc các khu vực ven bờ, nhằm bảo vệ bờ biển, công trình hạ tầng, và hệ sinh thái ven bờ khỏi tác động xói lở và phá hủy của sóng. ĐGS đóng vai trò quan trọng trong việc bảo vệ các khu vực ven biển khỏi tác động của sóng biển, đặc biệt trong bối cảnh biến đổi khí hậu và nước biển dâng. Đây là một giải pháp hiệu quả và bền vững trong việc bảo vệ bờ biển, duy trì hệ sinh thái, và hỗ trợ sinh kế cho cộng đồng ven biển.

1.1.2. Đặc điểm chính của đê giảm sóng

a) Cơ chế hoạt động

Đê giảm sóng làm tiêu tán một phần năng lượng sóng thông qua quá trình truyền qua (wave transmission), phản xạ (wave reflection), hoặc tán xạ sóng (wave dissipation).

Một số loại đê giảm sóng còn hỗ trợ tích tụ bùn cát và phục hồi hệ sinh thái, như rừng ngập mặn hoặc bãi bồi ven biển.

b) Phân loại đê giảm sóng

- Theo cấu trúc:

+ Đê ngầm (Submerged Breakwaters): Đặt dưới mặt nước, thường không lộ ra khi thủy triều cao. Làm giảm năng lượng sóng thông qua quá trình truyền qua và tán xạ sóng. Ít ảnh hưởng đến cảnh quan môi trường và giảm tác động đến hệ sinh thái ven bờ. Tuy nhiên hiệu quả giảm sóng thấp hơn so với đê nổi khi sóng lớn và khó bảo trì và kiểm tra sau khi xây dựng.

+ Đê nhô (Emergent Breakwaters): Phần thân đê lộ trên mặt nước, có khả năng chắn sóng trực tiếp. Có hiệu quả giảm sóng cao, thích hợp cho khu vực có sóng lớn và cần bảo vệ hạ tầng quan trọng. Tuy nhiên có thể gây gián đoạn dòng chảy tự nhiên, ảnh hưởng tiêu cực đến bùn cát và chi phí xây dựng cao.

- Theo vật liệu và kết cấu:

+ Đê giảm sóng sử dụng cấu kiện bê tông đúc sẵn (Đê trụ rỗng, reef ball...): Sử dụng cấu kiện bê tông với thiết kế đặc hoặc rỗng, giúp tiêu tán năng lượng sóng, hỗ trợ tích tụ bùn cát, phục hồi rừng ngập mặn và ít gây ảnh hưởng đến môi trường xung quanh. Độ bền cao, tuổi thọ dài và dễ dàng kiểm soát kích thước và hình dạng theo thiết kế. Tuy nhiên chi phí xây dựng cao và một số loại cấu kiện đặc hoặc có độ rỗng thấp có thể gây ảnh hưởng tiêu cực đến dòng chảy tự nhiên và bùn cát.

+ Đê đá đổ: Sử dụng đá tự nhiên hoặc nhân tạo, được đổ và xếp chồng thành ĐGS. Có chi phí xây dựng thấp hơn so với đê bê tông và thích hợp cho khu vực có nền địa chất yếu.

+ Đê sử dụng vật liệu thân thiện với môi trường (Geotube, hàng rào cọc tre...): Là loại ĐGS thường được sử dụng các loại vật liệu tự nhiên như cát, gỗ... có giá thành thấp, ít gây ảnh hưởng đến môi trường xung quanh tuy nhiên độ bền không cao.

- Theo vị trí xây dựng:

+ Đê giảm sóng gần bờ (Nearshore Breakwaters): Được xây dựng gần bờ, thường kết hợp với các công trình khác như kè hoặc mỏ hàn.

+ Đê giảm sóng xa bờ (Offshore Breakwaters): Được xây dựng cách xa bờ và thường song song với đường bờ giúp giảm năng lượng sóng trước khi sóng tiến vào vùng bờ. Giúp giảm xói lở và hỗ trợ tích tụ bùn cát ở bãi bồi, có hiệu quả bảo vệ bờ biển cao.

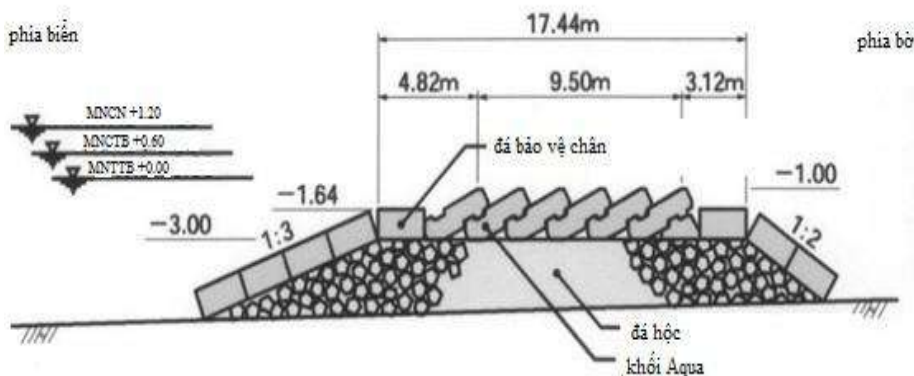
1.2. Tổng quan ứng dụng về đê giảm sóng và các nghiên cứu về tương tác sóng-công trình

1.2.1. Tổng quan về ứng dụng đê giảm sóng

a) Trên thế giới

Trên thế giới, nhiều quốc gia đã nghiên cứu và áp dụng các loại đê giảm sóng với thiết kế và vật liệu đa dạng, phù hợp với điều kiện tự nhiên và kinh tế của từng khu vực.

Nhật Bản đã triển khai nhiều loại đê ngầm giảm sóng (submerged breakwater) để bảo vệ bờ biển và cảng. Các đê này thường được xây dựng bằng bê tông hoặc đá, đặt ngầm dưới mực nước biển để giảm năng lượng sóng trước khi chúng tiếp cận bờ. Ngoài ra, Nhật Bản còn sử dụng các đê giảm sóng kết hợp với rạn san hô nhân tạo để bảo vệ bờ biển và duy trì hệ sinh thái biển.



Hình 1-1. ĐGS ngầm sử dụng khối Aqua tại Nhật Bản

Italia đã áp dụng đê ngầm giảm sóng để bảo vệ các bãi biển du lịch quan trọng như bãi biển Lido DI Dante (Hình 1-2). Các đê này được thiết kế để giảm thiểu xói lở bờ biển và duy trì bãi cát, đồng thời không gây cản trở tầm nhìn và hoạt động du lịch.



a) Năm 2011



b) Năm 2024

Hình 1-2. ĐGS ngàm bằng đá đổ tại bờ biển Lido DI Dante, Ý

Ba Lan đã xây dựng các mỏ hàn, đê ngàm giảm sóng dọc theo bờ biển Baltic để chống xói lở và bảo vệ các khu vực dân cư ven biển (Hình 1-3). Các đê này thường được kết hợp với việc trồng rừng ngập mặn và xây dựng các công trình mềm khác để tăng hiệu quả bảo vệ.



Hình 1-3. Mỏ hàn bằng cọc gỗ đổ đá tại bờ biển Baltic, Ba Lan

Thái Lan đã áp dụng các giải pháp đê giảm sóng kết cấu mềm, thân thiện với môi trường bằng các cọc tre, gỗ và chèn các bó cành cây để bảo vệ bờ biển khỏi xói lở. Các công trình này không chỉ giảm sóng mà còn giúp bồi tụ bùn cát, tạo điều kiện cho việc trồng rừng ngập mặn và phục hồi hệ sinh thái ven biển.



Hình 1-4. Mỏ hàn bằng cọc tre và gỗ ở Thái Lan

Tại Mỹ, một số bang ven biển như Texas, công nghệ ống vải địa kỹ thuật đã được sử dụng để xây dựng đê giảm sóng mềm (Hình 1-5a), giúp bảo vệ bờ biển khỏi xói lở và bão. Các công trình này có ưu điểm là thi công nhanh chóng, chi phí thấp và thân thiện với môi trường. Một số dạng công trình đã áp dụng khá thành công như dạng công trình “Reef ball” mới xuất hiện gần đây được sử dụng để làm đê ngầm, vừa có tác dụng giảm sóng, gây bồi vừa có tác dụng tích cực về mặt môi trường (Hình 1-5b). “Reef Ball” là các kết cấu bê tông cốt thép hình bán cầu rỗng phỏng theo cấu trúc của san hô tự nhiên, tạo ra môi trường sống phù hợp cho nhiều loài sinh vật biển. Các khối 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 các phao nổi đặt ở bên trong.



a)

b)

Hình 1-5. Mỏ hàn bằng Geotube và ĐGS ngầm bằng cấu kiện reefball tại Mỹ

Để bảo vệ bờ biển, chống lại tác động phá hoại của sóng biển, các nước trên thế giới đã sử dụng nhiều giải pháp khác nhau. Theo truyền thống, những giải pháp bảo vệ bờ biển bằng biện pháp công trình cứng (đê biển, kè lát mái, mỏ hàn, đê phá sóng, ...) vẫn được áp dụng nhưng mỗi lúc lại được cải tiến nhiều hơn như vật liệu tốt, hình dạng cấu trúc giảm sóng tốt. Cùng với đó, những giải pháp thân thiện với môi trường tự nhiên như công trình đê giảm sóng dạng xấp rỗng, nuôi bãi nhân tạo, trồng cây, ... đang ngày càng được ưu tiên áp dụng.

Các nghiên cứu về đê giảm sóng trên thế giới đã chứng minh rằng công trình giảm sóng có vai trò quan trọng trong việc bảo vệ bờ biển và giảm tác động của sóng đến hệ sinh thái ven bờ. Nhiều quốc gia phát triển như Mỹ, Hà Lan, Nhật Bản đã tập trung vào các công trình như đê ngầm, đê trụ rỗng và đê chắn sóng dạng rỗng. Những nghiên cứu này chỉ ra hiệu quả giảm sóng phụ thuộc vào các yếu tố như độ dốc mái, độ rỗng thân đê và bề rộng đỉnh đê.

b) Ở Việt Nam

Ở Việt Nam, các dạng công trình bảo vệ bờ cũng được chia thành hai nhóm giải pháp chủ động và giải pháp bị động. Giải pháp bảo vệ bờ bị động có thể kể đến như kè lát mái, tường chắn sóng Kết cấu dạng kè mái nghiêng có độ dốc mái thoải, có tính ổn định cao, hiện tượng phản xạ sóng trước đê và kè nhỏ, bề rộng đáy lớn dẫn tới sự phân bố ứng suất nền đều, dễ thích ứng với biến dạng thân công trình. Dạng kết cấu mái nghiêng thi công tương đối đơn giản, vật liệu sử dụng có nhiều lựa chọn, dễ duy tu sửa chữa. Nhược điểm của dạng kết cấu mái nghiêng là khối lượng vật liệu lớn, chiếm nhiều diện tích. Một số ứng dụng có thể kể đến như kè rọ đá, kè lát mái bằng tấm bê tông đúc sẵn....

Trước tình hình xói lở bờ biển ngày càng nghiêm trọng, nhiều dạng công trình giảm sóng bằng nhiều loại hình vật liệu và kết cấu khác nhau đã được áp dụng và thử nghiệm để bảo vệ đê biển, bờ biển và RNM bị xói lở như ĐGS

bằng kết cấu khối Tetrapod, ĐGS bằng túi vải Geotube... đặc biệt ở khu vực ĐBSCL hiện nay rất nhiều giải pháp công trình đã được đưa vào áp dụng như: ĐGS dạng cọc bê tông ly tâm đổ đá học tại Cà Mau và Bạc Liêu, ĐGS dạng bán nguyệt (đê trụ rỗng) tại Cà Mau và ĐGS dạng kết cấu rỗng tại Cà Mau, Kè giảm sóng rọ đá học tại Kiên Giang, Cà Mau, Hàng rào cọc tre tại Sóc Trăng, Bạc Liêu, Cà Mau và Kiên Giang.

Trong khoảng hơn 10 năm trở lại đây, cùng với sự phát triển và đưa các công nghệ tiên tiến của thế giới vào áp dụng ở nước ta, đã có một số công trình bảo vệ bờ biển đã được đưa vào sử dụng là dạng công trình có kết cấu mềm. Điển hình về các công trình mềm đã được ứng dụng vào thực tế tại ven biển Việt Nam có thể kể ra như: hệ thống Stabiplate ở Phú Thuận - Thừa Thiên Huế (2008), Vũng Tàu (2004), Phan Thiết (2006), ... Hầu hết các công trình này là dạng mỏ hàn biển vuông góc với bờ, chúng có các tính năng hoạt động như những mỏ hàn cứng, chủ yếu làm nhiệm vụ ngăn dòng bùn cát dọc bờ, chống xói, về khả năng giảm sóng của chúng là rất hạn chế. Hay một vài công trình lát mái, chống sạt lở bờ (ven biển Hội An) có sử dụng các bao tải cát, nhưng đây không phải là dạng công trình giảm sóng.

Năm 2015, tại ven biển Cửa Đại - Quảng Nam, để đảm bảo tính mạng và tài sản của nhân dân cũng như bảo vệ các công trình bên trong trước tình trạng sạt lở bờ biển ngày càng nghiêm trọng, các cấp chính quyền địa phương đã đưa ra giải pháp sử dụng ĐGS dạng ống cát bố trí song song với bờ biển để phá sóng, giảm tác động của sóng vào bờ biển (Hình 1-6). Do đây là công trình mới được đưa vào sử dụng nên vẫn chưa có những nghiên cứu, đánh giá về hiệu quả của hệ thống công trình này.

Trong năm 2015 nghiên cứu sinh Lê Thị Hương Giang trong luận án tiến sĩ “Nghiên cứu đánh giá ổn định của khối phủ Rakuna IV cho đê chắn sóng đá

đồ mái nghiêng” đã tiến hành tính toán và thí nghiệm đối với khối phủ Rakuna IV [12].



Hình 1-6. ĐGS dạng ống vải mới được thi công tại ven biển Cửa Đại

Nghiên cứu của PGS.TS. Nguyễn Khắc Nghĩa - Viện Khoa học Thủy lợi Việt Nam trong đề tài cấp Nhà nước “Nghiên cứu cơ sở khoa học và đề xuất các giải pháp tổng thể để ổn định vùng bờ biển Nam Định từ cửa Ba Lạt đến cửa Đáy” cũng chỉ đưa ra đề xuất dạng cấu kiện Geotube thay thế cho đá hộc dùng để đắp đê ngầm giảm sóng ven biển Hải Hậu, Nam Định, tuy nhiên tác giả cũng chưa đi sâu nghiên cứu kỹ về dạng công trình này [30].

Một số vùng ven biển đã mạnh dạn ứng dụng giải pháp, công nghệ mới để xây dựng các công trình giảm sóng, gây bồi bảo vệ bãi, bờ biển thay thế cho các dạng truyền thống (đá đổ, ống buy, Tetrapod) như: Kè lắp ghép bảo vệ bờ biển Tiên Hải, Thái Bình bằng cấu kiện bê tông cốt sợi đúc sẵn của Công ty TNHH thoát nước & phát triển đô thị tỉnh Bà Rịa - Vũng Tàu (Hình 1-7); Ứng dụng khối bê tông đúc sẵn Rakuna-iv do Nhật Bản sáng chế để xây dựng đê chắn sóng cho cảng Nghi Sơn, Thanh Hóa (Hình 1-8).

Các giải pháp được triển khai ở nước ta hiện nay chủ yếu dưới dạng thử nghiệm, chưa có nhiều nghiên cứu chuyên sâu và nghiên cứu đầy đủ cơ sở khoa học cho việc tính toán kích thước ĐGS theo yêu cầu sử dụng. Vấn đề này hiện nay chưa được thực hiện phổ biến ở Việt Nam, nên rất cần thiết phải tiến hành nghiên cứu.



Hình 1-7. Kè lắp ghép bảo vệ bờ biển Tiên Hải, Thái Bình



Hình 1-8. Đê chắn sóng tại Nghi Sơn, Thanh Hóa sử dụng khối Rakuna-iv

Tại Việt Nam, các giải pháp đê giảm sóng (ĐGS) đã được nghiên cứu và áp dụng rộng rãi, kế thừa hầu hết các loại ĐGS phổ biến trên thế giới. Từ các công trình truyền thống như đê đá đổ, đê bê tông đến những cấu trúc hiện đại như đê dạng rỗng và đê ngầm, nước ta đã không ngừng cải tiến để phù hợp với điều kiện tự nhiên và nhu cầu thực tế. Các ĐGS này không chỉ góp phần giảm sóng, bảo vệ bờ biển mà còn giúp ngăn chặn xói lở, bảo vệ sinh kế của cộng đồng ven biển.

Trong những năm gần đây, theo xu hướng phát triển bền vững và ứng dụng các công trình dựa vào thiên nhiên, Việt Nam đã tiến hành nhiều nghiên cứu về các loại ĐGS dạng rỗng và xếp rỗng. Các công trình này tận dụng tính năng tiêu tán năng lượng sóng của các cấu kiện rỗng, đồng thời hỗ trợ quá trình

bồi tụ bùn cát, tạo điều kiện thuận lợi cho phục hồi rừng ngập mặn phía sau đê. Một số mô hình ĐGS đã được thử nghiệm thành công tại Đồng bằng sông Cửu Long, đặc biệt ở các vùng chịu tác động mạnh của xói lở như biển Tây Cà Mau hay Gò Công (Tiền Giang). Hiệu quả giảm sóng của các loại ĐGS này đạt từ 40–70%, phù hợp với điều kiện sóng ngắn và nền bùn yếu ở khu vực này.

Không chỉ đạt được những thành tựu kỹ thuật, việc ứng dụng các loại ĐGS dạng rỗng còn mang ý nghĩa lớn về mặt kinh tế và môi trường. Những công trình này giúp giảm chi phí xây dựng so với các công trình cứng truyền thống, đồng thời giảm thiểu tác động tiêu cực đến hệ sinh thái ven biển. Hướng đi này không chỉ phù hợp với điều kiện đặc thù của Việt Nam mà còn thể hiện sự hòa nhập với xu hướng phát triển bền vững toàn cầu.

1.2.2. Tổng quan nghiên cứu về tương tác sóng-công trình

a) Trên thế giới

Trên thế giới đã có rất nhiều các nghiên cứu về quá trình truyền sóng qua các dạng công trình bảo vệ bờ với các loại vật liệu và kết cấu khác nhau, các nghiên cứu thường áp dụng phương pháp mô hình hóa trong đó có việc sử dụng mô hình vật lý và mô hình toán.

Ở thập kỷ 70 của thế kỷ trước các nghiên cứu tập trung vào mỏ hàn biển, trong những năm 1980 đến nay đê giảm sóng được nghiên cứu và ứng dụng rộng rãi. Đặc biệt những năm từ 2001 đến 2004, hội đồng châu Âu tiến hành chương trình nghiên cứu lớn về công trình đê giảm sóng đỉnh thấp (Environmental Design of Low Crested Coastal Defence Structure- DELOS) [75]. Anh quốc cũng đã thực hiện dự án LEACOAST2 (2005-2009) trong đó trọng tâm nghiên cứu về đê giảm sóng. Do tính chất phức tạp trong cơ chế tương tác giữa sóng, dòng chảy, dòng vận chuyển bùn cát với công trình bảo vệ bờ nên hầu như các nghiên cứu lý thuyết được thực hiện rất ít trong những

thời gian trước. Các nghiên cứu về hiệu quả của công trình bảo vệ bờ chủ yếu được thực hiện bằng phương pháp thực nghiệm từ các công trình thực tế đã xây dựng, một số nghiên cứu trên mô hình vật lý bề sóng và máng sóng. Chính những kết quả từ những nghiên cứu này là tiền đề cho sự ra đời của các công thức kinh nghiệm, kiểm định mô hình toán và giúp giải thích những hiện tượng vật lý phức tạp. Từ đó đưa ra được các giải pháp bảo vệ bờ phù hợp cho từng vùng với chế độ thủy động lực học khác nhau.

Nghiên cứu hiệu quả giảm sóng qua thân đê, đã có hàng trăm nghiên cứu được thực hiện và đề xuất hàng chục công thức thực nghiệm để tính toán hệ số truyền sóng (K_t). Nổi bật có các công trình của các tác giả Johnson et al. (1951), Goda (1969, 2008), Seelig (1980), Allsop (1983), Van der Meer (1991,1996), Seabrook & Hall (1998), Buccino và Calabrese (2007, 2012), ... [60], [65], [83], [99], [112], [113]. Về nghiên cứu hiệu quả gây bồi, nổi bật có các tác giả như Nir (1982), Dally và cộng sự (1986), Hanson và Kraus (1990), Mc Cormick (1993), Wen - Juinn và Ching -Ton (1995), Silvester và Hsu (1997), Black và Andrews (2001), Ranasinghe (2006), Johnson (2010), [74], [79], [102], [97], [98]

Một số nghiên cứu tiêu biểu có thể kể ra như:

Johnson & cộng sự (1951) là các tác giả tiên phong đã đề xuất công thức tính hệ số truyền sóng qua dải ngầm dựa vào kết quả các thí nghiệm trên mô hình vật lý và lý thuyết dòng năng lượng sóng [83].

$$K_t = \sqrt{1 - \frac{\sinh 2k(D-S) + 2k(D-S)}{\sinh(2kh) + 2kD}} \quad (1.1)$$

Trong đó:

k là số sóng,

D là độ sâu nước tại dải ngầm,

S là độ ngập của đỉnh dải ngầm so với mực nước,

h là chiều cao của dải ngầm.

Goda & cộng sự (1969) đã phân tích kết quả của một loạt các thí nghiệm trong máng sóng với sóng đều để xây dựng các công thức tính toán hệ số truyền sóng qua đê chắn sóng dạng thùng chìm thẳng đứng và đê hỗn hợp đứng [76].

$$K_t = 0,5(1 - \sin \frac{\pi}{2\alpha} (\beta + \frac{S}{Hi})) \quad (1.2)$$

Trong đó:

S là chiều cao lưu không của đỉnh phía trên mực nước tính toán,

Hi là chiều cao sóng tới trước đê.

Với $\alpha = 2,2$, $\beta = 0,5$ và khoảng áp dụng là $0,14 \leq D/L \leq 0,5$.

Tiếp theo nghiên cứu của Goda (1969), đã có rất nhiều nghiên cứu thực nghiệm khác như Seelig (1980), phát triển nghiên cứu với điều kiện của sóng đều lẫn sóng ngẫu nhiên cho đê không thấm [100]. Allsop (1983) thực hiện thí nghiệm với sóng ngẫu nhiên cho đê ngầm đá đổ đồng nhất (thấm nước) dạng mặt cắt hình thang và đưa ra công thức tính toán có dạng tương đồng với Goda (1969) [60].

Van der Meer (1991) [117] đề xuất công thức hệ số truyền sóng ngẫu nhiên qua đê ngầm có mặt cắt dạng hình thang, đỉnh hẹp, kết cấu là đá đổ, nghiên cứu với sóng ngẫu nhiên:

$$\begin{aligned} -2,0 < R_c/H_s < -1,13 & \quad K_t = 0,8 \\ -1,13 < R_c/H_s < 1,2 & \quad K_t = 0,46 - 0,3R_c/H_s \\ 1,2 < R_c/H_s < 2,0 & \quad K_t = 0,1 \end{aligned} \quad (1.3)$$

Trong những công thức này, hệ số truyền sóng K_t chỉ phụ thuộc vào độ ngập đỉnh tương đối R_c/H_s theo quan hệ tuyến tính.

Van der Meer (1994) [118] đề xuất công thức hệ số truyền sóng qua đê ngầm có dạng mặt cắt giống nghiên cứu của chính mình năm 1991 [57]. Trong

công thức có xét thêm ảnh hưởng của độ thấm, 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 ứng ở nước sâu tương ứng với chu kỳ đỉnh phổ, D_{50} là đường kính danh nghĩa của viên đá đở.

$$K_t = a \cdot \frac{Rc}{D_{50}} + b \quad (1.4)$$

Trong đó: $a = 0,031 \cdot \frac{Hs}{D_{50}} - 0,24$

$$b = -5,42 \cdot S_{op} + 0,0323 \cdot \frac{Hs}{D_{50}} - 0,017 \cdot \left(\frac{B}{D_{50}}\right) 1,84 + 0,51$$

Với phạm vi điều kiện thí nghiệm là: $1,0 < H_s/D_{50} < 6,0$ và $0,01 < S_{op} < 0,05$.

D' Angremond & cộng sự (1996), đã phân tích lại các kết quả thí nghiệm của nhiều nghiên cứu đi trước như của Seelig (1980), Allsop (1983), Daemrich và Kahle (1985), Powel và Allsop (1985), Van der Meer (1991) và Daemen (1991) đã xây dựng công thức tính toán hệ số truyền sóng cho hai trường hợp đê thấm và không thấm nước với đầy đủ các yếu tố ảnh hưởng là độ ngập nước của đê, bề rộng đỉnh đê và đặc biệt là số Iribarren đặc trưng cho tương tác giữa sóng và mái đê lần đầu tiên đã được kể đến [70].

$$K_t = -0,4 \cdot \frac{Rc}{Hs} + a \cdot (1 - e^{-0,5 S_{op}}) \cdot \left(\frac{B}{Hs}\right)^{-0,31} \quad (1.5)$$

Trong đó:

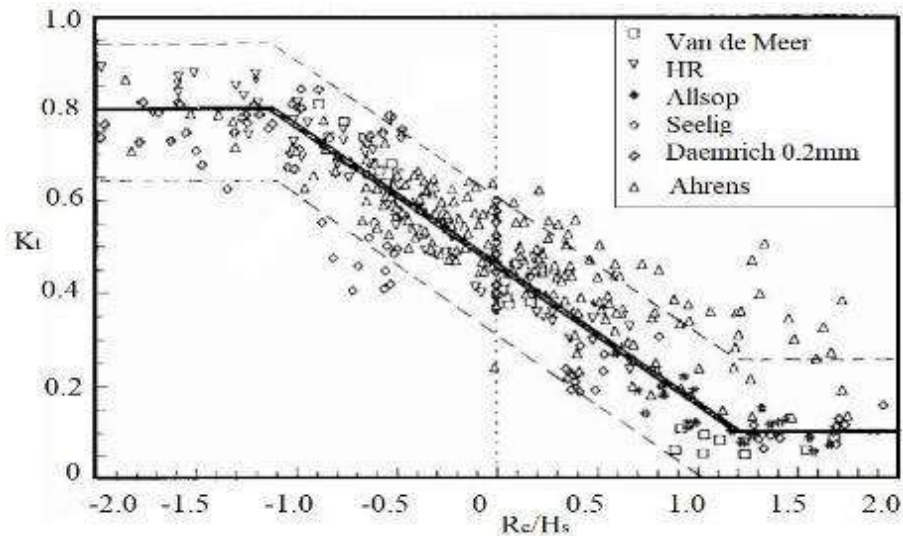
$$a = 0,64 \text{ (cho đê thấm nước) hoặc } 0,8 \text{ (cho đê không thấm nước)}$$

ξ_{op} là chỉ số sóng vỡ Iribarren,

Phạm vi áp dụng:

$$\text{Bề rộng đỉnh đê trong khoảng: } B/H_s < 8,0$$

$$\text{Hệ số truyền sóng } K_t \text{ trong khoảng: } 0,075 < K_t < 0,80$$



Hình 1-9. Hệ số truyền sóng qua đê đỉnh hẹp theo Van de Meer (1991)

Công thức của của D' Angremond và cộng sự (1996) được đánh giá là công thức có độ tin cậy cao, phản ánh quy luật chung của sóng truyền qua công trình biển. Tuy nhiên, ảnh hưởng độ rộng của đê ngầm chưa được xem xét một cách tường minh.

Nghiên cứu của Viện Khoa học Thủy lợi Nam Kinh - Trung Quốc (2001) dựa trên kết quả thí nghiệm mô hình vật lý đã đưa ra các công thức tính toán hệ số giảm sóng K_t ứng với trường hợp tường hình chữ nhật.

$$K_t = \frac{Ht}{H_i} = 1 - \frac{1}{2} \left(1 - \frac{R_c}{h}\right)^3 \left(\frac{h_i}{L_o}\right)^{\frac{1}{12}} \left(\frac{h}{L_o}\right)^{-3} \left(\frac{B}{L_o}\right)^{\frac{2}{5}} \quad (1.6)$$

Công thức này thích hợp cho trường hợp $0,46 \leq h/d \leq 1,0$. Khi $h/d < 0,7$ tác dụng của công trình giảm sóng bảo vệ bờ không rõ rệt. Nếu cao trình tường đặt gần mực nước tĩnh, tác dụng tiêu sóng tăng lên, khi đỉnh tường càng rộng hoặc độ sâu nước tĩnh càng nhỏ, tác dụng tiêu sóng càng rõ.

Van der Meer & cộng sự (2005), cũng đã tiến hành các thí nghiệm bổ sung và tập hợp các số liệu của các nghiên cứu trước đây để xây dựng một cơ sở dữ liệu về sóng truyền qua công trình đỉnh thấp. Kết quả nghiên cứu đã khẳng định rằng phương pháp của D' Angremond và cộng sự (1996) cho đê đá đồ chỉ tin

cây trong trường hợp bề rộng đỉnh đê nằm trong phạm vi $B/H_s < 8$. Vì vậy các tác giả đã điều chỉnh công thức của d'Angremond và cộng sự (1996) cho trường hợp đê có bề rộng $B/H_s > 12$ với các hằng số thực nghiệm được kiểm định lại cho trường hợp đỉnh rộng [116].

Có thể nói, việc nghiên cứu về các quá trình thủy thạch động lực và công trình giảm sóng, gây bồi đã được các nhà khoa học trên thế giới đặc biệt quan tâm. Các kết quả nghiên cứu rất đa dạng từ lý thuyết, thực nghiệm, mô hình (số và vật lý) và cho các kết quả rất khả quan. Đây là một vấn đề phức tạp, và sẽ vẫn còn được tiếp tục nghiên cứu sâu hơn nữa trong tương lai. Quá trình phát triển đã hình thành nên những trung tâm nghiên cứu hàng đầu thế giới về lĩnh vực này như: Trung tâm nghiên cứu Kỹ thuật bờ biển của Mỹ, Viện Thủy lực HR Wallingford (Anh), Viện Thủy lực Delf (Hà Lan), Viện Thủy lợi Nam Kinh (Trung Quốc) ...

Ahren (1987) đã thí nghiệm hiệu suất của công trình giảm sóng bảo vệ bờ dạng nổi bằng tại trung tâm nghiên cứu kỹ thuật bờ biển thuộc phòng thí nghiệm kỹ thuật đường thủy quân đội Mỹ. Mục đích nghiên cứu sự ổn định của đê chắn sóng loại đá đổ. Ông đưa ra các biểu thức sau đây cho hệ số lan truyền sóng K_t :

$$K_t = \frac{1,0}{1,0 + \left(\frac{h_i A_r}{L_p d_{50}^2}\right)^{0,592}} \text{ với: } \frac{R_c}{h_i} < -1 \quad (1.7)$$

$$K_t = \frac{1,0}{1,0 + \left(\frac{d}{h}\right)^{C_1} \left(\frac{A_r}{h L_p}\right)^{C_2} \exp\left[C_3 \left(\frac{R_c}{h_i}\right) + C_4 \left(\frac{A_r^{3/2}}{d_{50}^2 L_p}\right)\right]} \text{ với: } \frac{R_c}{h_i} > -1 \quad (1.8)$$

Trong đó các hằng số $C_1 = 1,188$, $C_2 = 0,261$, $C_3 = -0,592$ và $C_4 = 0,00551$. A_r là diện tích mặt cắt ngang của công trình giảm sóng bảo vệ bờ.

Gómez Pina và Valdés (1990) phân tích dữ liệu của thí nghiệm trong phòng thí nghiệm đã cho thấy rằng hệ số lan truyền sóng có xu hướng dao động liên quan tới độ rộng của đỉnh tường ngầm (B/L_0). Ông cũng chỉ ra rằng đối với

cả hai điều kiện sóng vỡ và không vỡ, hệ số lan truyền liên quan đến tham số sóng vỡ Iribarren ζ (B / h_s) cho kết quả hợp lý để dự đoán. Hệ số Iribarren có thể được tính bằng cách biết độ dốc mặt trên bờ đê chắn sóng α và độ dốc sóng có thể xảy ra [76].

Hall (1997, 1998) tiến hành thí nghiệm với sóng phổ để xác định hệ số giảm sóng trong trường hợp tường đá đổ. Họ đã chỉ ra rằng, phương trình được đề xuất bởi Ahrens (1987) và Van der Meer (1991), không phù hợp với trường hợp chiều rộng đê (B) lớn. Seabrook và Hall (1998) quan sát thấy mối liên hệ giữa độ ngập tương đối và chiều rộng đỉnh đê là quan trọng nhất khi xác định K_t . Họ đã đề xuất một phương trình mới để tính hệ số truyền K_t hiệu quả hơn trong trường hợp chiều rộng của đỉnh đê lớn:

$$K_t = 1 - \left(e^{-0,56 \left(\frac{R_c}{h_i} \right) - 1,09 \left(\frac{h_i}{B} \right)} + 0,047 \left(\frac{B}{L_o} \cdot \frac{R_c}{d_{50}} \right) - 0,67 \left(\frac{R_c}{B} \cdot \frac{h_i}{d_{50}} \right) \right) \quad (1.9)$$

Giới hạn dưới đây được áp dụng cho các phương trình được đề xuất ở trên:

$$0 < \frac{B}{L_o} \cdot \frac{R_c}{d_{50}} \leq 7,08; \quad 0 \leq \frac{R_c}{B} \cdot \frac{h_i}{d_{50}} \leq 2,14$$

Roul và Faedo (2002) thực hiện một số thí nghiệm trên máng sóng tại khoa IMAGE Đại học Padova, Italy, để hiểu tốt hơn hiệu suất thủy lực của đê chắn sóng đá dăm, gò ngập trong điều kiện sóng vỡ. Họ đã phát triển một biểu thức thực nghiệm cho hệ số truyền sóng bằng cách sử dụng thứ nguyên mạn khô ($h_s + R_u$) / h_i theo đề xuất của Davies và Kriebel (1992).

Calabrese et al., (2002 và 2003) đã tiến hành một loạt các thí nghiệm mô hình phòng thí nghiệm quy mô lớn trên đống đổ nát gò đê chắn sóng ngập nước tại "Grosser WellenKanal" của Hannover, Đức. Các thí nghiệm được thực hiện dưới điều kiện trường sóng ngẫu nhiên để xác minh, với quy mô lớn, độ chính xác công thức hiện hữu. Calabrese et al. (2002) sử dụng tỷ lệ h_s/B như tham số chính thay vì chiều cao sóng tới. Kết quả chỉ ra rằng công thức tính của

d'Angremond et al. (1996) chính xác hơn hệ số truyền sóng ước tính khác. Các tác giả sử dụng dữ liệu thu được từ các thử nghiệm thực nghiệm quy mô lớn đã phát triển một biểu thức mới cho hệ số truyền sóng [66].

Bảng 1-1. Thống kê một số thí nghiệm về truyền sóng trên mô hình vật lý

Tài liệu tham khảo	Tham số sóng		Loại đê chắn sóng	Kích thước đê chắn sóng		
	H _i (cm)	T _p (sec)		B (cm)	d (cm)	tan
Johnson et al.(1951)		-	Gỗ dán	10,22, 33	-	0
Goda et al. (1969)	3-30	0,8-2,76	Tường	40,90	20-70	-
Seelig (1980)	0,08-0,177	0,91-3,46	Sỏi cuội	30,40	33,66,75	-
Abdul Khader & Rai (1980)	4,7-13,1	-	Gỗ dán	12-36	0,15-0,97(d/h)	0-1:2
Allsop (1983)	5,5-19,4	0,4-1,71	Sỏi cuội	13,9	16,6-22,2	1:02
Powell & Allsop (1985)	9-22,9	1,93-2,3	Sỏi cuội	14-30	25-66	-
Ahrens (1987)	2,25-18,2	1,45;3,6	Sỏi cuội	5,6-9,0	17-35	1:1,5
Van der Meer (1988)	7,5-19,2	1,96-2,6	Sỏi cuội	30	22,2	1:2
Gómez & Valdés (1990)	-	1,5-3,5	Sỏi cuội	0,8-1,2	-	
Deamen (1991)	0,049-0,148	0,99-2,88	Sỏi cuội	0,34	0,4	1:1,5
Petti & Roul (1992)	8,6-14,1	1,2-1,53	Không thấm	24	14	1:3,5; 1:1,5

Tài liệu tham khảo	Tham số sóng		Loại đê chắn sóng	Kích thước đê chắn sóng		
	H _i (cm)	T _p (sec)		B (cm)	d (cm)	tan
Davies &Kriebel (1992)	0,9-1,81	-	Mảnh PVC	15,2	10,2; 15,2; 20,3	
Gourlay (1996)	2,8-20,4	0,9-22	Vữa	15	32	1:06
Seabrook (1997)	5,10,15,2 0	1,2;1,5;2, 0	Sỏi cuội	30,250	-	-
Bleck & Oumeraci (2001)	8-12-16- 20	1,1-60	Gỗ dán	50,100	40,50,60	-
Vidal et al.(2001)	5,10,15	1,6;2,4;3, 2	Sỏi cuội	25,100	30,35,40	1:2
Calabrese et al. (2002)	60-100	3,5; 4,5; 6,5	Sỏi cuội	100	130	1:02
Melito and Melby (2002)	3,5-22,4	1,12; 1,88; 2,62	Core- loc	24,3	40,80	01:01, 5
Zanuttigh &Lamberti (2003)	4-12,1	0,7-1,97	Sỏi cuội	20,60	20	0,5

Van der Meer và cộng sự (2004) cải tiến công thức của Van der Meer (1991) và d'Angremond et al. (1996) đã phân tích dữ liệu được thu thập trước, xem xét giá trị của tỷ lệ chiều rộng đỉnh B/h_i. Van der Meer et al. (2004) thấy rằng phương trình do d'Angremond et al (1996) đề xuất cho kết quả phù hợp với loại tường đá đổ B/h_i < 10 [111]. Họ đề xuất các phương trình sau sửa đổi đê ngầm đá đổ trong trường hợp B/h_i > 10:

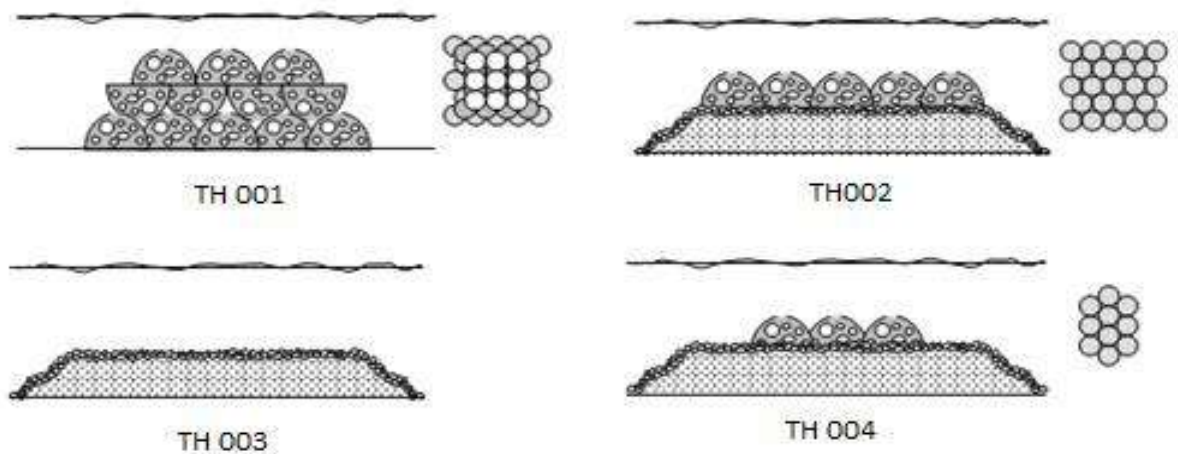
$$K_t = 0,35 \cdot \frac{R_c}{h_i} + 0,51 \cdot \left(\frac{B}{h_i}\right)^{-0,65} \cdot (1 - e^{-0,41\xi}) \quad (1.10)$$

Trong đó: $\xi = \frac{\tan \alpha}{\sqrt{h_i/L_0}}$

Trong trường hợp công trình giảm sóng bảo vệ bờ có sử dụng cấu kiện Reef Ball™ với mặt cắt điển hình như các dạng ở hình 1-2. Armono và Hall đề xuất công thức tính hệ số giảm sóng của công trình giảm sóng bảo vệ bờ như sau:

$$K_t = 1,616 - 31,322 \frac{h_i}{gT^2} - 1,099 \frac{h}{d} + 0,265 \frac{h}{B} \quad (1.11)$$

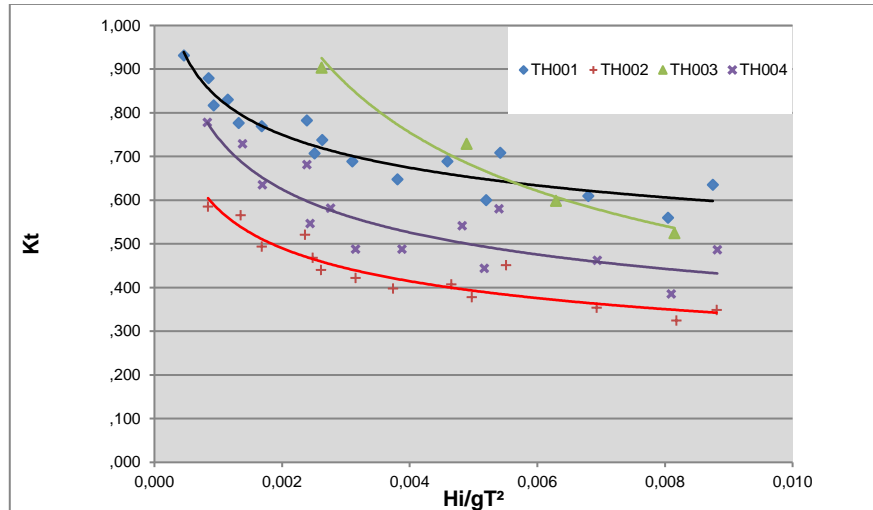
Thí nghiệm của Armono K.R. Hall, được thực hiện tại Queens University Coastal Engineering Research Laboratory (QUCERL). Lựa chọn cấu kiện Reef Balls™ (Hình 1-10) [61].



Hình 1-10. Các trường hợp sắp xếp cấu kiện thí nghiệm

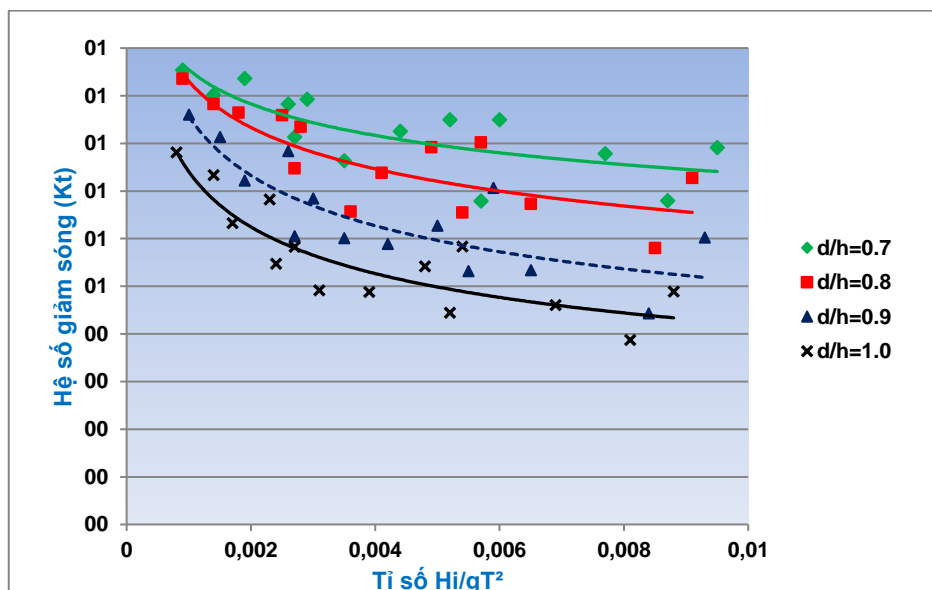
Điều kiện thí nghiệm tiến hành như sau: Đê ngầm được xây 3 lớp, lớp trên cùng là cấu kiện Reef Balls™, lớp thứ 2 là đá với tham số $D_{50} = 36,6\text{mm}$, độ dốc mái tường là 1:2, cao trình đỉnh tường +1,5m. Mực nước không đổi +2,0m, chiều cao sóng H_s tại biên từ (1,5 ÷ 3,0) m, chu kỳ sóng T từ (5,0 ÷ 10,0) s, phổ Jonswap.

Kết quả xây dựng phương trình tương quan có thể nhận thấy trong 4 kiểu sắp xếp cấu kiện thì kiểu thứ 2 có khả năng giảm sóng tốt nhất, và trường hợp thứ 3 (không có cấu kiện) khả năng giảm sóng kém nhất (Hình 1-11).



Hình 1-11. Quan hệ giữa độ dốc sóng và K_t trong các PA sắp xếp cấu kiện

Kết quả thí nghiệm của Armono và Hall cho thấy, để tường phá sóng có hiệu quả, tỉ lệ d/h cần phải thỏa mãn điều kiện: $d/h \geq 0,7$. Do vậy, có thể kết luận nếu lấy mực nước trung bình nhiều năm làm chuẩn thì chiều cao công trình (d) cần đảm bảo điều kiện sao cho $d/h \geq 0,7$ (Hình 1-12).



Hình 1-12. Quan hệ giữa K_t và độ dốc sóng khi tỉ lệ d/h thay đổi

b) Ở Việt Nam

Ở nước ta, những vấn đề khai thác, chỉnh trị cửa sông, bờ biển đã được tiến hành từ khá sớm, ban đầu với các công trình chủ yếu lợi dụng vào đặc điểm điều kiện tự nhiên để có thể tiến hành chỉnh trị hoặc cải tạo nhằm phục vụ nhu cầu khai thác của con người. Ở Việt Nam việc nghiên cứu cửa sông, ven biển một cách có kế hoạch và quy mô có thể coi bắt đầu từ những năm 60 của thế kỷ XX với sự ra đời của các trường đại học, viện nghiên cứu có các chuyên ngành về thủy văn, hải dương học và công trình biển như Trường Đại học Tổng hợp Hà Nội, Trường Đại học Bách khoa Hà Nội, Học viện Thủy lợi - Điện lực, ... nhưng phải đến sau năm 1975, công cuộc nghiên cứu về cửa sông, bờ biển mới thật sự phát triển. Cho đến nay đã có rất nhiều tổ chức, đơn vị, cơ quan tham gia nghiên cứu, chỉnh trị bờ biển và cửa sông, có thể kể đến như: Viện Khoa học Thủy Lợi Việt Nam, Viện Địa lý, Viện Địa Chất, Viện Cơ học, Viện Khí Tượng Thủy văn và Biến đổi khí hậu, Viện Hải dương học Nha Trang, Viện Tài nguyên Môi trường biển, Viện Khoa học Công nghệ Giao thông Vận tải, Trường Đại học Khoa học Tự nhiên - Đại học Quốc gia Hà Nội, Trường Đại học Xây dựng, Trường Đại học Thủy lợi, ... đã đưa ngành khoa học này phát triển không ngừng, dần hội nhập và theo kịp với các nước trong khu vực cũng như tiếp cận với các thành tựu của thế giới.

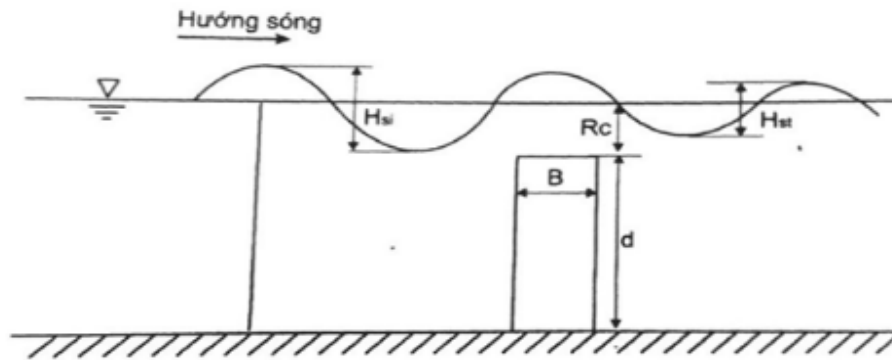
Nghiên cứu về cửa sông, ven biển và các công trình chỉnh trị ở nước ta chủ yếu được thông qua các đề tài các cấp hoặc các dự án về chỉnh trị cửa sông, ven biển. Các công trình nghiên cứu ở Việt Nam ngày càng nhiều, đa dạng và được công bố dưới nhiều hình thức, nhất là trong khoảng 25 năm trở lại đây. Những nghiên cứu nổi bật có thể kể đến các tác giả như: Nguyễn Ngọc Thụy, Phạm Văn Ninh, Lê Đức Tố, Nguyễn Văn Cư, Trần Đức Thạnh, Nguyễn Mạnh Hùng, Đinh Văn Ưu, Phạm Huy Tiến, Lương Phương Hậu, Hoàng Xuân Lượng, Hà Huy Cương, Phạm Văn Giáp, Phạm Khắc Hùng, Vũ Uyển Dĩnh,

Trương Đình Dụ, Quán Ngọc An, Vũ Tất Uyên, Vũ Minh Cát, Thiều Quang Tuấn, Nguyễn Khắc Nghĩa, Trịnh Việt An, Hoàng Văn Huân, Ngô Đình Tuấn, Nguyễn Bá Quý ...

Nghiên cứu về quá trình lan truyền sóng qua các loại công trình giảm sóng nói chung ở Việt Nam còn hạn chế về số lượng, kết quả đạt được so với nhiều quốc gia trên thế giới. Nhìn chung các nghiên cứu thường gắn với đề tài luận án tiến sĩ, luận văn thạc sĩ, hay đề tài nghiên cứu khoa học cấp Bộ, cấp Quốc gia được thực hiện bởi Viện KHTL VN, Trường Đại học Thủy lợi hoặc các dự án được tài trợ của nước ngoài như nghiên cứu của AFD, GIZ v.v. Một số nghiên cứu có thể được kể đến như sau:

Nghiên cứu của Phùng Đăng Hiếu và cộng sự (2005) đã sử dụng mô hình toán kiểm định với các kết quả thí nghiệm mô hình vật lý để nghiên cứu đánh giá ảnh hưởng của độ rỗng thân đê ngầm đến hiệu quả giảm sóng. Nghiên cứu đã kết luận rằng độ rỗng thân đê đem lại hiệu quả tiêu tán năng lượng sóng tốt nhất là nằm trong khoảng từ 0,5 đến 0,6 tuy nhiên không đưa ra công thức xác định tương quan giữa hiệu quả giảm sóng và độ rỗng thân đê.

Nguyễn Khắc Nghĩa và cộng sự (2009) trong khuôn khổ đề tài nghiên cứu khoa học cấp bộ “Nghiên cứu giải pháp khoa học công nghệ xây dựng đê biển chống được bão cấp 12, triều cường” đã tiến hành thí nghiệm MHVL với sóng đều truyền qua ĐGS dạng tường mỏng, tiết diện chữ nhật (Hình 1-13). Mục tiêu của nghiên cứu thí nghiệm trên mô hình vật lý này là làm rõ sự biến đổi của hệ số giảm sóng K_t đối với các độ cao khác nhau của tường ngầm thông qua việc mô phỏng sự tác động của sóng qua công trình ĐGS. Nghiên cứu đã xây dựng biểu đồ quan hệ thực nghiệm giữa chiều cao tương đối của tường h/d và K_t . Nghiên cứu này được xem là khởi đầu ở Việt Nam sử dụng MHVL trong máng sóng để nghiên cứu về sóng truyền qua công trình ĐGS [29].



Hình 1-13. Mô hình sự truyền sóng qua ĐGS dạng tường mỏng, tiết diện hình chữ nhật (Nguyễn Khắc Nghĩa, 2009)

Schmitt và cộng sự (2013) đã đo đặc 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 xây dựng 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 [35].

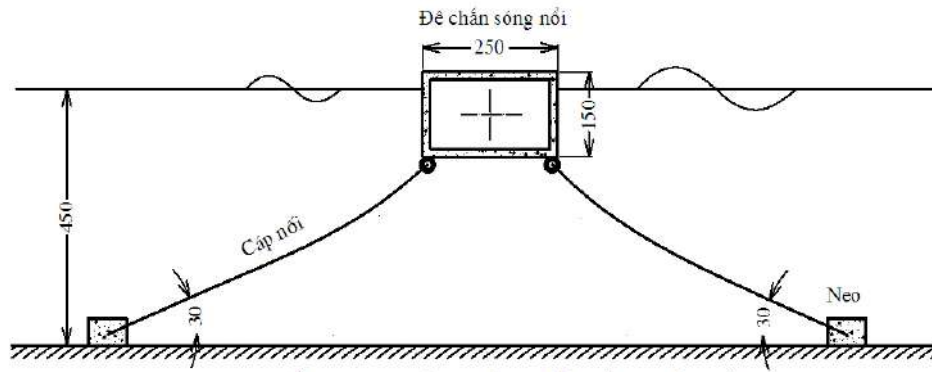
Nguyễn Viết Tiến (2015) trong luận án tiến sĩ của mình đã nghiên cứu hiệu quả giảm sóng của công trình ĐGS ngầm, không thấm, mái nhẵn, tiết diện ngang hình thang, xây dựng tại khu vực nước nông, mái thoải ven bờ thuộc vùng biển Bắc Bộ và Bắc Trung Bộ. Thông qua bộ số liệu thực nghiệm với 157 kịch bản thí nghiệm MHVL với sóng ngẫu nhiên nghiên cứu đã phân tích, đánh giá và xác định được 3 tham số chính chi phối đến hiệu quả giảm sóng của công trình là $R_c/H_{m0,i}$, ξ_{0p} và B/L_B [41]. Nghiên cứu đã xây dựng được 02 công thức thực nghiệm tính hiệu quả giảm sóng ε thông qua hệ số truyền sóng K_t như sau:

$$1 - K_t = \varepsilon = 0,16 + 0,41 \exp \left[-\frac{1}{6} \left(\frac{R_c}{H_{m0,i}} \right)^3 \left(\frac{B}{L_p} \right)^{-1} \right] \quad (1.12)$$

$$1 - K_t = \varepsilon = 0,59 + 1,47 \left(\frac{B}{L_p} \right)^{3,4} (1 - e^{-0,5\xi_{0p}}) - 0,26 \frac{R_c}{H_{m0,i}} \quad (1.13)$$

Công thức (1.12) và (1.13) có thể được áp dụng trong phạm vi: $\varepsilon = 0,10 \div 0,70$; $B/L_B = 0,06 \div 0,65$ hoặc $B/H_{m0,i} = 1,5 \div 11,0$; $R_c/H_{m0,i} = 0 \div 1,70$; $\xi_{0p} = 0,015 \div 0,06$.

Hồ Hồng Sao và cộng sự (2017) đã tiến hành thí nghiệm trên mô hình vật lý trong máng sóng với ĐGS dạng nổi hình hộp (Hình 1-14). Tác giả đã sử dụng thí nghiệm mô hình vật lý để tìm hiểu và xác định hiệu quả giảm sóng của kết cấu nổi này. Thí nghiệm cho thấy mức độ hiệu quả giảm sóng đáng kể của loại hình công trình này, tuy nhiên chưa đưa ra được công thức tính toán, xác định loại hình, kích thước của kết cấu nổi, vật liệu chế tạo, kết cấu neo giữ phù hợp với điều kiện của Việt Nam.



Hình 1-14. Mô hình đê chắn sóng nổi sử dụng trong thí nghiệm

GS. TS. Thiệu Quang Tuấn và cộng sự (2018) đã tiến hành thí nghiệm trên mô hình vật lý trong máng sóng của ĐGS kết cấu rồng (Hình 1-16). Nghiên cứu đã được thực hiện trên tổng số 60 kịch bản và đã đưa ra được những yếu tố quan trọng ảnh hưởng đến hiệu quả giảm sóng của ĐGS là chiều cao lưu không tương đối và chỉ số sóng vỡ trên mái công trình [54]. Sau khi phân tích hồi quy với những kết quả của dữ liệu thí nghiệm theo 2 tham số T_p và $T_{m-1,0}$, kết quả của phương pháp phân tích đã cho ra hai công thức tương ứng như sau:

$$K_t = -0,22 \cdot \frac{R_c}{H_{s,i}} + 0,75 (1 - e^{-0,26 \xi_{0m-1,0}}) \quad (1.14)$$

$$K_t = -0,20 \cdot \frac{R_c}{H_{s,i}} + 0,66 (1 - e^{-0,39 \xi_{0p}}) \quad (1.15)$$

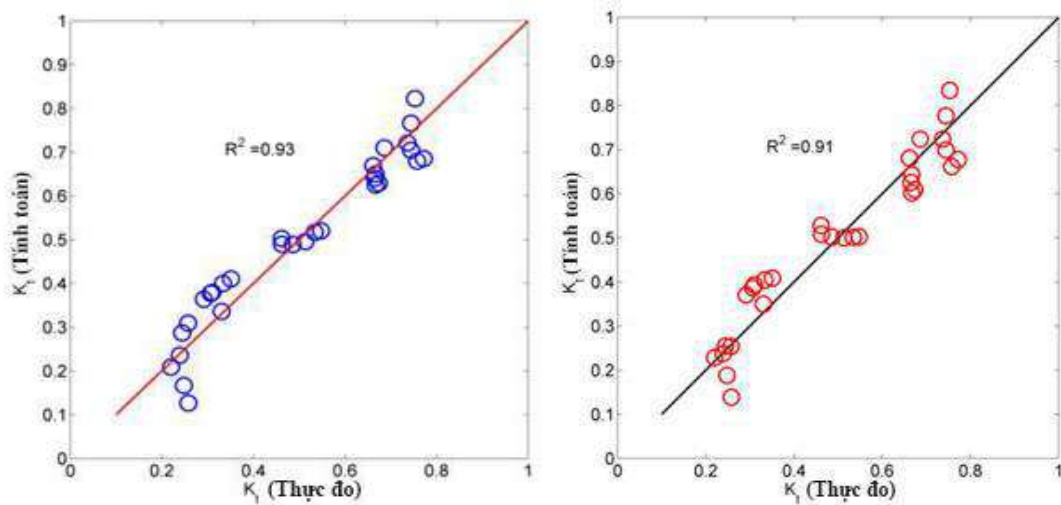
Với khoảng áp dụng là:

$$\frac{R_c}{H_{s,i}} = -0,76 \div 2,0$$

$$S_{op} = 0,016 \div 0,030$$

$$S_{om} = 0,010 \div 0,025$$

$$K_t = 0,22 \div 0,77$$



Hình 1-15. Dữ liệu hồi quy với $T_{m-1,0}$ và T_p

So sánh kết quả hệ số truyền sóng K_t theo hai công thức trên với dữ liệu đo đạc tương ứng. Cả hai trường hợp đều cho kết quả tương quan tốt, nhóm tác giả nhận định khi sử dụng chu kỳ sóng $T_{m-1,0}$ cho hệ số tương quan tốt hơn so với sử dụng T_p .



Hình 1-16. Mô hình thí nghiệm truyền sóng qua ĐGS kết cấu rỗng

GS. TS. Thiều Quang Tuấn và cộng sự (2019) đã dựa trên chuỗi số liệu thực đo của Viện Sinh thái và Bảo vệ công trình và của tổ chức GIZ với sóng trước và sau hàng rào cọc tre được xây dựng tại Bạc Liêu và Sóc Trăng đã xây dựng được công thức thực nghiệm hệ số truyền sóng K_t qua hàng rào tre như dạng công thức (1.16).

$$K_t = -0,06 \frac{R_c}{H_s} + 0,06 \left(P_f \cdot \frac{B}{d} \right)^{-0,20} \left[1 - \exp \left(-\frac{0,30}{\sqrt{s_{op}}} \right) \right] \quad (1.16)$$

Mai Trọng Luân và cộng sự (2021), từ kết quả nghiên cứu của đề tài độc lập cấp nhà nước “Nghiên cứu giải pháp mềm bảo vệ bờ vùng cửa sông, ven biển bán đảo Cà Mau” đã thực hiện thí nghiệm mô hình vật lý trong máng sóng so sánh sơ bộ khả năng của 03 dạng kết cấu ĐGS (Hình 1-17) với:

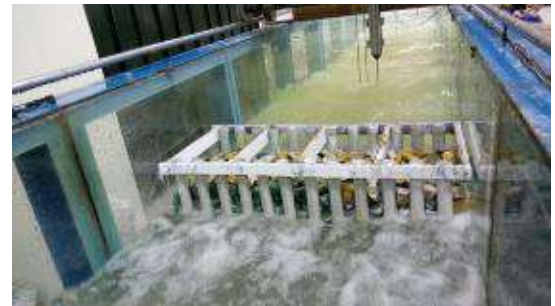
- (a) PA1 - ĐGS kết cấu hộp lỗ rỗng;
- (b) PA2 - ĐGS cọc bê tông ly tâm đá đỏ;
- (c) PA3 - ĐGS lắp ghép cấu kiện CT3N-WIP1.

Trong việc giải quyết vấn đề về yêu cầu giảm sóng và hỗ trợ việc trồng/phục hồi rừng ngập mặn thông qua việc so sánh phương trình cân bằng năng lượng sóng truyền và trao đổi bùn cát qua từng loại công trình ĐGS. Có thể thấy rằng nhìn chung cả ba phương án đều có hiệu quả giảm sóng tốt (hệ số K_t nhỏ). Phương án ĐGS lắp ghép cấu kiện CT3N-WIP1 có hiệu quả giảm sóng nằm ở giữa hai phương án ĐGS kết cấu hộp lỗ rỗng và ĐGS cọc bê tông ly tâm đá đỏ. ĐGS cọc bê tông ly tâm đá đỏ đem lại hiệu quả giảm sóng tốt nhất, sóng tới trước đê phần lớn bị chặn lại, phía sau đê hầu như lặng sóng. Hiệu quả giảm sóng này của các phương án đê có liên hệ mật thiết với sóng phản xạ trước đê như thể hiện trên Hình 1-18. Tuy có hiệu quả giảm sóng tốt nhưng cả hai phương án ĐGS kết cấu hộp lỗ rỗng và ĐGS cọc bê tông ly tâm đá đỏ đều có hiện tượng sóng phản xạ trước đê lớn hơn đáng kể so với ĐGS lắp ghép cấu kiện CT3N-WIP1 (Hình 1-18). Phương án ĐGS lắp ghép cấu kiện CT3N-WIP1 cho phép

một phần năng lượng sóng đi qua và sau đó tiêu hao năng lượng sóng dẫn tới sóng phản xạ trước đê nhỏ. Cấu trúc lắp ghép linh hoạt cho phép dễ dàng điều chỉnh kích thước, hình dáng mặt cắt để phù hợp với từng điều kiện thủy động lực và địa hình cụ thể.



(a) ĐGS kết cấu hộp lỗ rỗng



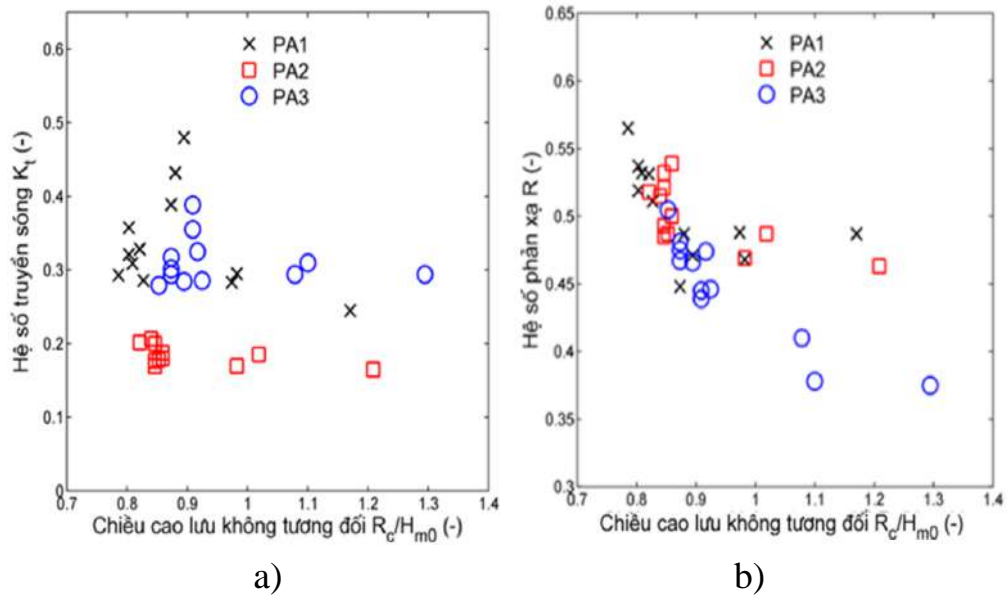
(b) ĐGS cọc bê tông ly tâm đá đỏ



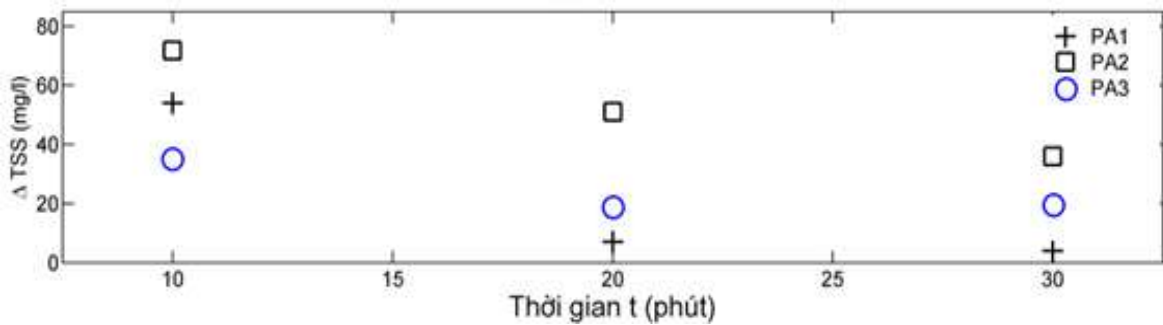
(c) ĐGS lắp ghép cấu kiện CT3N-WIP1

Hình 1-17. Bố trí các phương án thí nghiệm

Xem xét với mục tiêu tổng hợp là công trình có thể hỗ trợ trồng và khôi phục rừng ngập mặn phản ánh qua các khía cạnh về hiệu quả giảm sóng, sóng phản xạ và khả năng trao đổi bùn cát, có thể nhận định rằng ĐGS lắp ghép cấu kiện CT3N-WIP1 (Hình 1-19) là phương án tốt nhất trong các phương án so sánh ở đây.



Hình 1-18. So sánh về hiệu quả truyền sóng (a) và sóng phản xạ (b)



Hình 1-19. So sánh về khả năng trao đổi bùn cát của 03 PA

Kết quả nghiên cứu của đề tài đã đánh giá rất tốt ưu nhược điểm của từng phương án, cũng như khả năng hỗ trợ trồng mới và tái sinh rừng ngập mặn thông qua so sánh về hiệu quả giảm sóng và khả năng trao đổi bùn cát của từng phương án. Tuy nhiên kết quả nghiên cứu của đề tài chưa đưa ra được cơ sở khoa học xác định hiệu quả giảm sóng của các phương án ĐGS được đề xuất. Xuất phát từ vấn đề này, NCS đã lựa chọn công trình ĐGS lắp ghép cấu kiện CT3N-WIP1 để tiếp tục nghiên cứu đánh giá về chức năng giảm sóng của công trình ứng với các điều kiện biên thủy lực khác nhau (sóng và mực nước) cùng với các biến thể khác nhau về cấu tạo hình học và kết cấu của công trình.

1.3. Tổng quan các giải pháp giảm sóng tại đồng bằng sông Cửu Long

Cuối năm 2012, một dự án thử nghiệm hệ thống công trình giảm sóng bằng các ống Geotube (Hình 1-20) được thí điểm tại khu vực thuộc phường Nhà Mát, thành phố Bạc Liêu, với chiều dài hơn 800m. Công trình nhằm ngăn ngừa xói lở, bảo vệ rừng ngập mặn của khu vực dự án đang bị xói. Sau một thời gian đưa vào sử dụng, công trình không phát huy được hiệu quả do một số đoạn ống Geotube bị biến dạng.



Hình 1-20. ĐGS dạng ống Geotube tại ven biển Bạc Liêu

Tổ chức GIZ (2012) đã xây dựng kè chữ T bằng cọc tre và trồng cây ngập mặn với chiều dài dự án là 600m bờ biển tại địa bàn xã Vĩnh Tân, thị xã Vĩnh Châu, Sóc Trăng, kết quả đã gây bồi được (0,4 ÷ 0,6) m, cây ngập mặn sinh trưởng và phát triển tốt. Tiếp nối thành công ở Sóc Trăng, tổ chức GIZ đã tiến hành xây dựng thí điểm rào chắn sóng bằng hai hàng cọc tre ở giữa chèn bó cành cây hình thức giống mỏ hàn chữ T dài 2,4 km để giảm sóng gây bồi kết hợp trồng rừng ngập mặn tại khu vực xã Vĩnh Trạch Đông - thành phố Bạc Liêu (hình 1-21). Công trình gồm 3 đoạn được xây dựng hoàn thành và đưa vào khai thác sử dụng năm 2011. Tuy nhiên, sau 1 năm sử dụng thì một đoạn hư hỏng hoàn toàn cả cọc tre và bó cành cây, 1 đoạn đang bị hư và 1 đoạn có hiệu quả. Vấn đề cho thấy hàng rào hai hàng cọc tre chỉ phát huy hiệu quả ở những vị trí áp lực sóng không lớn, tại những vị trí sóng lớn, xói lở mạnh hàng rào hai hàng

cọc tre không phát huy hiệu quả. Độ bền của vật liệu cọc tre và vật liệu lấp nhét áp dụng trong đồng bằng sông Cửu Long chỉ được khoảng một năm.



Hình 1-21. Kè chữ T bằng cọc tre do tổ chức GIZ xây dựng tại tỉnh Bạc Liêu

Từ kết quả nghiên cứu trên mô hình toán và vật lý mô phỏng tương tác sóng với công trình, hiệu quả giảm sóng, truyền sóng trên máng sóng, SIWRR nghiên cứu sản xuất đê giảm sóng kết cấu rỗng và đã được áp dụng để bảo vệ bờ biển Cồn Cống, xã Phú Tân, huyện Tân Phú Đông, tỉnh Tiền Giang (Hình 1-22). Ưu điểm của đê giảm sóng kết cấu rỗng là giảm sóng tác động vào bờ biển, tiêu tán năng lượng sóng nhờ vào độ rỗng bề mặt cấu kiện, giảm sóng phản xạ và áp lực lên thân đê. Cấu kiện với kết cấu rỗng và có lỗ ở bề mặt cho phép bùn cát từ bên ngoài đê vận chuyển qua thân tạo bồi lắng ở phía sau, đồng thời che chắn cho cây ngập mặn sinh trưởng và phát triển ổn định. Mặt khác, loại đê này ít cản trở đến quá trình di chuyển của động thực vật dưới nước, thuận lợi cho trao đổi môi trường trước và sau đê. Đây cũng là một trong những dạng công trình ĐGS hướng đến mục tiêu hỗ trợ trồng mới và tạo điều kiện để rừng ngập mặn tái sinh.



Hình 1-22. Đê giảm sóng kết cấu rỗng tại Tiền Giang

Trong cuốn sổ tay hướng dẫn quản lý vùng bờ, Tổ chức GIZ cũng đề cập đến dạng đê chắn sóng bằng đá đổ, bao gồm nhiều lớp đá xếp chồng lên nhau (Hình 1-23). Dạng đê phá sóng này được xây dựng như đê phá sóng tách rời. Các lớp sắp xếp được sử dụng để giảm chi phí xây dựng và giảm tính thấm của công trình (GIZ, 2013).



Hình 1-23. Đê chắn sóng bằng đá đổ tại Kiên Giang (Trái) và Cà Mau (Phải)

Phương pháp công trình bằng kè rọ đá có kết cấu đơn giản, dễ tiến hành thi công, vật liệu xây dựng đơn giản chỉ gồm đá hộc và lưới sắt kỹ thuật; giảm được phần lớn năng lượng sóng giúp bảo vệ bờ biển và RNM không bị xói mòn. Công trình kè rọ đá này vẫn cho nước biển, phù sa di chuyển được vào trong, sau một thời gian sẽ tạo thành bãi bồi trồng cây ngập mặn. Tuy nhiên giải pháp này chỉ

phù hợp với khu vực có điều kiện sóng gió vừa phải, tuổi thọ công trình thấp, do rọ đá không chịu được môi trường nước mặn và tính thẩm mỹ thấp.

TS. Trần Văn Thái (2016) đã thử nghiệm đê trụ rỗng, tiêu giảm sóng, gây bồi tạo bãi có chiều dài 180m bảo vệ bờ biển Tây đoạn từ Vàm Đá Bạc đến Vàm Kinh Mới thuộc xã Khánh Bình Tây, huyện Trần Văn Thời (Hình 1-24). Đê trụ rỗng là các cấu kiện có hình dạng là nửa hình trụ rỗng đúc sẵn, bằng bê tông mác 500, có các lỗ rỗng tiêu sóng. Ý tưởng thiết kế dạng đê trụ rỗng chưa được nghiên cứu một cách chi tiết trong phòng thí nghiệm về các yếu tố thủy động lực cũng như sự ổn định của kết cấu. Ngay mùa sóng năm đầu tiên các kết cấu đã bị dịch chuyển không như mong muốn. Mặc dù sau này các kết cấu này có được bổ sung thêm “trụ neo” nhưng hiệu quả không thực sự đạt được như mong muốn.



Hình 1-24. Đê trụ rỗng được áp dụng tại Cà Mau (trái) và Bạc Liêu (phải)

BUSADCO đã thực hiện một dự án KHCN cấp nhà nước thuộc chương trình KHCN Tây Nam Bộ (2016 - 2020) để thử nghiệm cấu kiện đúc sẵn dạng rỗng làm kè chắn sóng bảo vệ bờ biển (Hình 1-25). Trong thời gian vào mùa khô năm 2018, BUSADCO đã triển khai lắp đặt kè chắn sóng tại khu vực bờ biển huyện U Minh, tỉnh Cà Mau. Cấu trúc đê được thiết kế với các cấu kiện lắp ghép bằng bê tông cốt phi kim, tạo thành hệ thống rỗng giúp tiêu tán năng lượng sóng hiệu quả. Điều này không chỉ giảm thiểu tác động của sóng lên bờ

mà còn thúc đẩy quá trình bồi tụ, tạo điều kiện cho việc phục hồi và phát triển rừng ngập mặn. Tuy nhiên giải pháp cũng chưa cho hiệu quả như mong muốn khi một số đoạn bị dịch chuyển dưới tác động của sóng.



Hình 1-25. Kè BUSADCO được lắp đặt tại tỉnh Cà Mau

Hiện nay, ở ĐBSCL, dạng công trình đã cho thấy hiệu quả bảo vệ bờ và đang được triển khai rộng rãi là ĐGS dạng kè bê tông ly tâm đổ đá hộc. ĐGS dạng này gồm 2 hàng cừ bê tông ly tâm cách xa nhau khoảng 2m, đổ đá hộc vào giữa hai hàng cừ, các hàng cừ được giằng với nhau bởi các dầm BTCT. Tuy nhiên, sau một thời gian triển khai, xảy ra hiện tượng sụt lún làm hao hụt khối lượng đá hộc giữa hai hàng cừ (Hình 1-26).



Hình 1-26. Kè bê tông ly tâm đổ đá hộc tại tỉnh Cà Mau

Một số công trình thử nghiệm tại ĐBSCL đã cho thấy tiềm năng, nhưng vẫn cần nghiên cứu thêm về sự tương tác sóng-công trình để tối ưu hóa thiết kế. Các nghiên cứu về ĐGS có kết cấu xốp rỗng, bảo vệ bờ biển ở nước ta hiện nay còn rất khiêm tốn. Chỉ có một vài nghiên cứu trong vài năm trở lại đây có đề cập hoặc bước đầu tìm hiểu về loại công trình này, có thể kể ra như: Đề tài “Nghiên cứu các giải pháp trồng cây bảo vệ đê biển, góp phần cải thiện môi trường ven biển ở các tỉnh từ Quảng Ngãi đến Kiên Giang” do TS. Trịnh Văn Hạnh - Viện Sinh thái và Bảo vệ công trình - Viện Khoa học Thủy lợi Việt Nam chủ trì, đã đề cập đến giải pháp sử dụng tường rào giảm sóng sử dụng cọc tre hoặc gỗ và bao tải cát để gây bồi giúp cho việc trồng cây ngập mặn được thuận lợi, tuy nhiên những luận cứ về khoa học trong việc lựa chọn, bố trí hợp lý cũng chưa được phân tích cụ thể, mặt khác để kiểm chứng mức độ ổn định của dạng công trình này cũng chưa có cơ sở [15]. Đề tài “Nghiên cứu, ứng dụng công nghệ giảm sóng thân thiện với môi trường phục vụ phòng chống sạt lở, bảo vệ bờ biển trên địa bàn tỉnh Trà Vinh” do PGS. TS. Hoàng Văn Huân (Viện Kỹ thuật biển - Viện Khoa học Thủy lợi Việt Nam) làm chủ nhiệm. Đề tài dựa vào các kết quả khảo sát, mô hình toán để nghiên cứu đánh giá giải pháp bảo vệ bờ biển bằng công nghệ mềm Geotube, thân thiện với môi trường cho vùng biển Trà Vinh, đây mới chỉ là đề xuất giải pháp khoa học của đề tài [22].

1.4. Kết luận chương 1

Trước tác dụng rất tốt trong chức năng giảm sóng, bảo vệ đê biển, bờ biển của ĐGS so với các công trình bảo vệ bờ truyền thống như đê chắn sóng, kè biển, kè mỏ hàn, hiện nay ĐGS là giải pháp bảo vệ bờ biển, đê biển được ưu tiên lựa chọn sử dụng phổ biến ở nhiều nước trên thế giới như Anh, Mỹ, Hà Lan, Nhật Bản.... Trên thế giới đã có nhiều nghiên cứu về các loại công trình và cấu kiện giảm sóng cũng như quá trình tương tác giữa sóng và các loại công trình đó. Các nghiên cứu hầu hết sử dụng phương pháp thí nghiệm mô hình vật

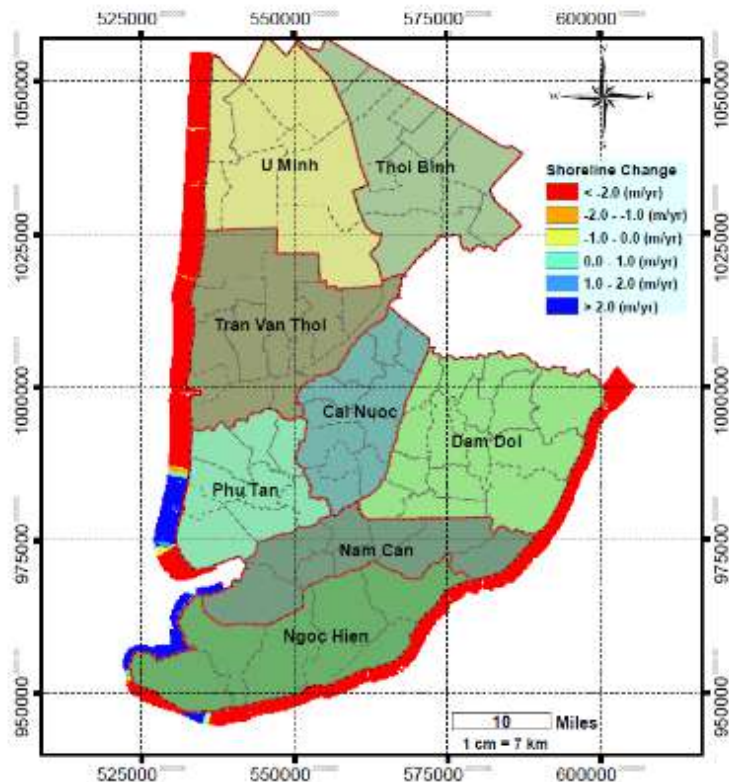
lý trong máng hoặc bề sóng với chuỗi kích bản thí nghiệm dài để từ đó xây dựng công thức thực nghiệm của hệ số lan truyền sóng qua mỗi dạng công trình giảm sóng. Ở Việt Nam những năm gần đây cũng đã bắt đầu nghiên cứu sử dụng ĐGS dạng rộng và xốp, rộng là giải pháp bảo vệ đê biển, bờ biển thay cho các giải pháp truyền thống có giá thành cao và hiệu quả kém hơn như kè bê tông lát mái, mỏ hàn... Các nghiên cứu chuyên sâu về quá trình tương tác sóng - công trình bằng các thí nghiệm mô hình vật lý trong máng sóng, mô hình toán tuy nhiên vẫn hạn chế về mặt số lượng. Nghiên cứu của Viện Khoa học Thủy lợi Việt Nam đã đề xuất dạng ĐGS lắp ghép cấu kiện CT3N-WIP1, tuy nhiên chưa đưa ra được công thức thực nghiệm tính toán hệ số truyền sóng qua công trình và chưa nghiên cứu cải thiện quá trình tương tác sóng – công trình để tăng khả năng hấp thụ sóng, giảm sóng phản xạ của công trình. Từ kết quả nghiên cứu tổng quan trong và ngoài nước, NCS thấy rằng có thể sử dụng phương trình do d'Angremond (1996) đề xuất để tính toán hệ số truyền sóng qua ĐGS dạng xốp, rộng. Tương tác giữa sóng và công trình ĐGS dạng xốp, rộng cần được nghiên cứu chi tiết hơn để phát triển công thức tính toán chính xác cho cấu kiện CT3N-WIP1. Vì vậy, trên cơ sở vấn đề khoa học còn chưa được nghiên cứu đầy đủ và yêu cầu thực tiễn cấp thiết hiện nay tại Việt Nam, luận án sẽ đi sâu vào nghiên cứu quá trình tương tác giữa sóng và công trình ĐGS lắp ghép cấu kiện CT3N-WIP1 bằng mô hình vật lý trong máng sóng để nghiên cứu xây dựng cơ sở khoa học đánh giá chức năng giảm sóng và tính toán thiết kế mặt cắt cho dạng công trình này.

CHƯƠNG 2. CƠ SỞ KHOA HỌC NGHIÊN CỨU GIẢI PHÁP CÔNG TRÌNH ĐÊ GIẢM SÓNG LẮP GHÉP CẤU KIỆN CT3N-WIP1

2.1. Giới thiệu về khu vực nghiên cứu

a) Giới thiệu chung

Khu vực nghiên cứu là khu vực biển Tây mũi Cà Mau kéo dài từ mũi Cà Mau đến hết địa phận huyện U Minh với chiều dài bờ biển hơn 130km. Trước đây, toàn dải bờ biển Tây Cà Mau có đai rừng ngập mặn phát triển ổn định, tuy nhiên trong những năm gần đây, do nhiều nguyên nhân, đã xảy ra tình trạng sạt lở bờ biển, mất rừng ngập mặn với quy mô và tính chất ngày càng nghiêm trọng. Diện tích rừng ngập mặn bị thu hẹp hàng năm lên tới vài chục hecta, tại nhiều vị trí, hiện đã xói lở vào sát chân đê, không còn rừng ngập mặn. Điều này ảnh hưởng trực tiếp đến đời sống của người dân trên toàn khu vực ven biển Tây, gây mất an toàn và tác động tiêu cực đến đời sống của người dân.



Hình 2-1. Xu thế bồi, xói khu vực ven biển Cà Mau

b) Điều kiện tự nhiên

- Chế độ gió mùa: Chế độ gió ở khu vực nghiên cứu có hai mùa: Mùa gió Tây Nam kéo dài từ tháng 5 đến tháng 10 có gió mạnh, mạnh theo lượng mưa lớn, hướng gió chính là hướng Tây-Tây Nam, tốc độ gió đạt khoảng từ (2,6 ÷ 4,3) m/s. Mùa gió Đông Bắc kéo dài từ tháng 11 đến tháng 4 năm sau ít mưa, có hướng gió chính là Đông-Đông Bắc, tốc độ gió đạt từ (3,1 ÷ 4,3) m/s.

- Chế độ mưa: Mùa mưa kéo dài từ tháng 5 đến tháng 10, chiếm khoảng 90% lượng mưa cả năm, trung bình từ (88 ÷ 550) mm/tháng. Mùa khô kéo dài từ tháng 11 đến tháng 4 năm sau với lượng mưa trung bình dưới 50mm/tháng.

- Độ ẩm: Độ ẩm tương đối cao, đạt khoảng 85%, trong đó cao nhất vào tháng 11, 12 lên đến 90% và thấp nhất vào tháng 1, 2 vào khoảng 75%.

- Địa hình: Địa hình ở khu vực này tương đối bằng phẳng và khá thấp so với mực nước biển. Khu vực mũi Cà Mau có độ dốc nhỏ, khi ra tới khoảng cách từ (15 ÷ 18) km, địa hình bắt đầu thay đổi, từ khu vực này trở ra độ dốc lên đến 6,4‰ và đến khi cao trình đạt -15m thì độ dốc giảm nhanh, địa hình trở nên bằng phẳng hơn. Qua cửa Bảy Háp về phía Kiên Giang, địa hình có độ dốc khoảng 1‰ ra phía biển và tương đối bằng phẳng.

- Địa chất: Đặc trưng bởi các lớp bùn và đất sét dày, có tính chất cơ lý kém ổn định. Có cấu trúc gồm 3 lớp: lớp 1 có thành phần chủ yếu là sét bột, sét dẻo mềm, độ dày thay đổi từ (2 ÷ 20) m tùy theo khu vực; lớp 2 có thành phần chủ yếu là bột sét, độ dày từ (2 ÷ 20) m; lớp 3 có thành phần chủ yếu là sét pha cát, bột cát. Đây là lớp lót đáy của trầm tích Hologen có chiều dày khoảng (18 ÷ 42) m.

- Chế độ sóng: Thời kỳ gió mùa Tây Nam, sóng có 2 hướng chính là hướng Tây và Tây Nam, chiếm tỷ lệ lên đến 85% tần suất xuất hiện. Chiều cao sóng có nghĩa dao động trong khoảng (0,5 ÷ 1,2) m, chiều cao sóng lớn nhất đạt

khoảng 3,2m trong điều kiện bão. Chu kỳ sóng phổ biến ở mức từ $(2 \div 6)$ s, phổ biến là sóng ngắn. Thời kỳ gió mùa Đông Bắc, sóng có 3 hướng chính là hướng Tây, Tây Nam và Tây Bắc, chiếm tỷ lệ lên đến 85% tần suất xuất hiện, chiều cao sóng có nghĩa trung bình đạt khoảng 0,2m, chiều cao sóng lớn nhất đạt khoảng 1,4m trong điều kiện bão. Chu kỳ sóng phổ biến ở mức từ $(1,5 \div 4)$ s.

- Chế độ dòng chảy: Khu vực nghiên cứu có chế độ dòng chảy phức tạp do chịu ảnh hưởng của mạng lưới sông, kênh, rạch dày đặc và dòng triều. Thời kỳ gió mùa Đông Bắc, dòng chảy có hướng từ Đông Bắc xuống Tây Nam và ngược lại trong thời kỳ gió mùa Tây Nam. Lưu tốc dòng chảy ven bờ khá cao, trung bình $0,3 \div 0,5$ m/s, có thể tăng lên $0,8 \div 1,0$ m/s trong điều kiện sóng lớn. Đặc biệt là giá trị lưu tốc tức thời có thể lên rất cao, vượt qua tốc độ khởi động của bùn cát. Đây có thể xem là một trong những nguyên nhân gây ra tình trạng xói lở bờ biển Tây Cà Mau.

- Chế độ thủy triều: Khu vực nghiên cứu có chế độ triều hỗn hợp thiên về nhật triều không đều do ảnh hưởng của cả triều biển Đông và triều biển Tây. Tuy trong ngày có hai đỉnh và hai chân triều nhưng giao động lớn hoàn toàn chiếm ưu thế nên có dạng gần như nhật triều, chênh lệch giữa hai đỉnh triều rất lớn trong khi chênh lệch giữa hai chân triều thấp. Trong năm mực nước thấp nhất vào tháng 4, 5 và cao nhất vào tháng 10, 11, chênh lệch nhau khoảng $(0,2 \div 0,3)$ m, biên độ triều thấp, tối đa chỉ đạt khoảng 1,2m.

- Diễn biến xói lở, bồi tụ: Kết quả theo dõi diễn biến bờ biển của khu vực nghiên cứu từ năm 1997 đến năm 2020 cho thấy, đoạn bờ biển từ mũi Cà Mau đến huyện Phú Tân có xu hướng chủ yếu là bồi tụ, khu vực có tốc độ bồi tụ lớn nằm gần mũi Cà Mau và giảm dần về phía Kiên Giang. Đoạn bờ biển từ huyện Phú Tân đến huyện U Minh xói lở và bồi tụ theo mùa tuy nhiên xu hướng xói lở những năm gần đây diễn ra mạnh hơn, có những vị trí tốc độ sạt lở lên đến gần 30m/năm. Những năm gần đây, diễn biến xói lở, bồi tụ tại dải ven biển Tây

tỉnh Cà Mau diễn ra ngày càng nghiêm trọng và phức tạp, đe dọa trực tiếp đến đời sống của người dân trong khu vực.

c) Vai trò của rừng ngập mặn

Rừng ngập mặn đóng vai trò quan trọng trong việc bảo vệ bờ biển, giảm thiểu tác động của thiên tai và duy trì cân bằng môi trường sinh thái. Với hệ thống rễ chằng chịt, rừng ngập mặn có khả năng hấp thụ và tiêu tán năng lượng sóng hiệu quả, giúp giảm tới 50-60% năng lượng sóng khi sóng truyền qua đai rừng rộng khoảng 100m. Ngoài ra, rừng ngập mặn hạn chế tình trạng xói lở bờ biển, thúc đẩy quá trình bồi tụ bùn cát, làm tăng độ bền vững cho nền đất yếu. Là một tấm lá chắn tự nhiên, rừng ngập mặn giảm thiểu thiệt hại do bão, lũ, nước dâng và hạn chế tình trạng xâm nhập mặn vào đất liền. Hơn nữa, rừng ngập mặn là môi trường sống đặc biệt cho nhiều loài thủy sản, chim nước, đồng thời góp phần cải thiện chất lượng nước, không khí và cân bằng hệ sinh thái ven biển. Sự tồn tại và phát triển của rừng ngập mặn không chỉ mang ý nghĩa bảo vệ bờ biển mà còn đóng góp lớn vào việc bảo vệ môi trường và ứng phó với biến đổi khí hậu. Tuy nhiên, tình trạng sạt lở, mất rừng ngập mặn trong những năm gần đây xảy ra ngày càng phổ biến và nghiêm trọng. Do đó, Việc nghiên cứu và áp dụng giải pháp đê giảm sóng lắp ghép cấu kiện CT3N-WIP1 có ý nghĩa quan trọng, không chỉ giúp giảm sóng hiệu quả mà còn tạo điều kiện thuận lợi cho việc phục hồi và bảo vệ rừng ngập mặn, góp phần bảo vệ bờ biển bền vững trong bối cảnh biến đổi khí hậu hiện nay.

2.2. Đê giảm sóng lắp ghép cấu kiện CT3N-WIP1

a) Luận giải lựa chọn kết cấu giảm sóng

Hiện nay rừng ngập mặn ở ĐBSCL nói riêng và cả nước nói chung đang ngày càng suy giảm về diện tích, nguyên nhân chủ yếu là do xói lở bờ biển làm mất khả năng tái sinh rừng và giảm diện tích. Rất nhiều các giải pháp bảo vệ

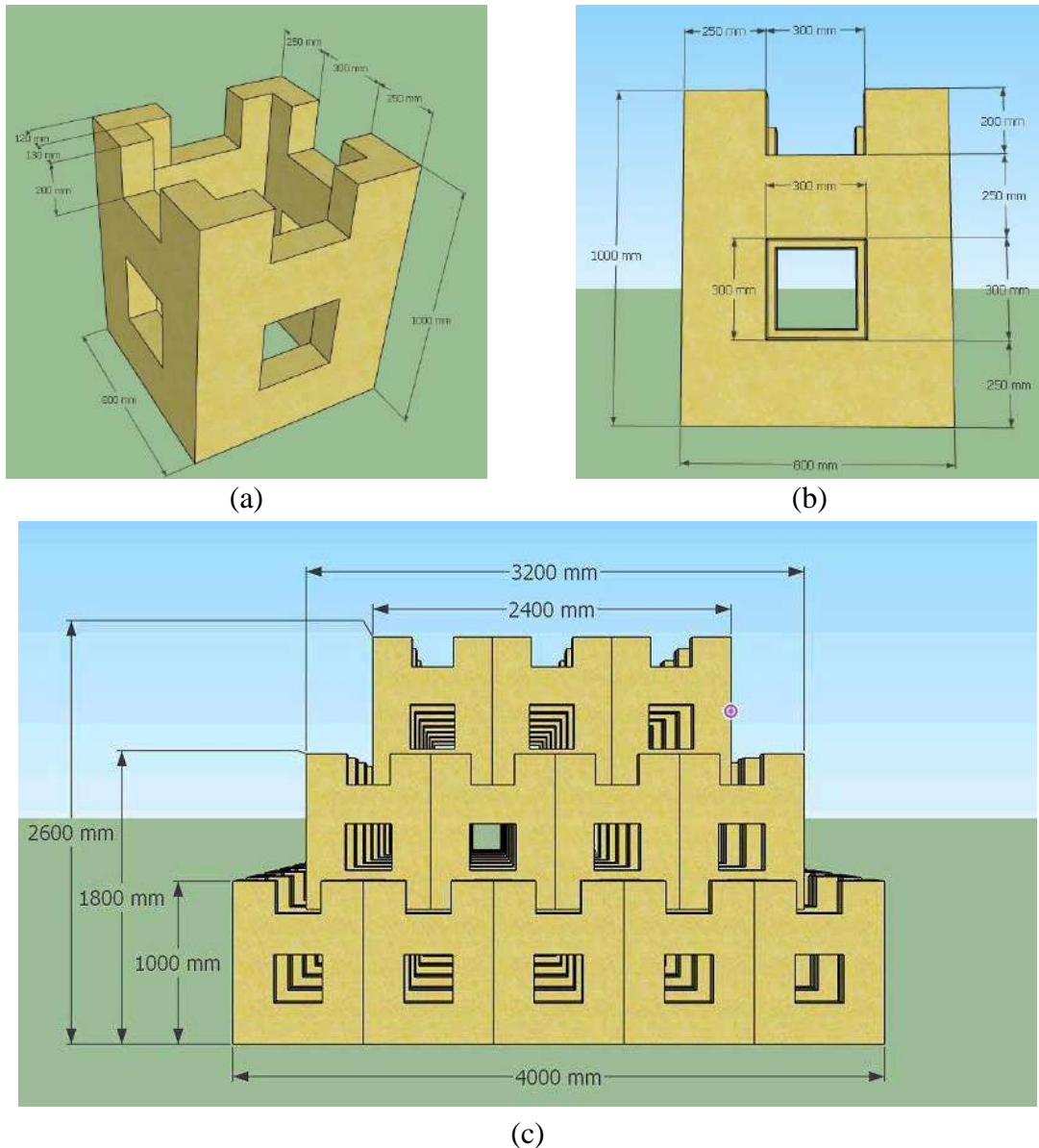
bờ đã được đưa vào thử nghiệm, tuy nhiên phần lớn các giải pháp tập trung vào mục tiêu giữ đất, bảo vệ bờ, có rất ít giải pháp chú trọng đến việc hỗ trợ rừng ngập mặn tái sinh và phát triển.

Sự mất cân bằng về động lực bùn cát hạt mịn ở các quy mô không gian và thời gian khác nhau là nguồn gốc phát sinh ra suy giảm diện tích rừng rừng, do đó, để phát huy hiệu quả hỗ trợ trồng/ phục hồi rừng ngập mặn thì giải pháp công trình ĐGS cần phải thiết lập lại sự cân bằng bùn cát hạt mịn cho khu vực cần bảo vệ. Hiện nay cả trên thế giới và ở Việt Nam đang có xu hướng sử dụng công trình ĐGS dạng kết cấu xốp, rỗng để giảm sóng bảo vệ bờ, các giải pháp này cho hiệu quả giảm sóng và gây bồi khá tốt, tuy nhiên với mục đích hỗ trợ trồng/ tái sinh rừng thì kết quả chưa được như mong muốn.

Với mục tiêu bảo vệ và hỗ trợ tái sinh đai rừng ngập mặn ven biển, công trình ĐGS ở bãi trước của rừng phải có kết cấu rỗng phù hợp đồng thời có khả năng hấp thụ năng lượng sóng hiệu quả, qua đó giảm được sóng phản xạ và đồng thời thúc đẩy quá trình trao đổi bùn cát hạt mịn qua công trình [54]. Do đó, dựa trên nguyên lý chung cho việc thiết kế giải pháp công trình hỗ trợ trồng tái sinh rừng [51], ĐGS lắp ghép cấu kiện CT3N-WIP1 là giải pháp phù hợp đáp ứng cả về yêu cầu giảm sóng và khả năng hỗ trợ trồng/ phục hồi rừng ngập mặn.

b) Đề giảm sóng lắp ghép cấu kiện CT3N-WIP1

Cấu kiện CT3N-WIP1 là một khối hình hộp rỗng, được đục lỗ hình vuông ở 04 mặt xung quanh hình hộp, mặt dưới bằng phẳng, mặt trên có tai và khe. Khi xếp chồng các cấu kiện CT3N-WIP1 lên sẽ tạo thành ĐGS có dạng như hình 2-2c. Độ xốp rỗng và kích thước mặt cắt (bề rộng, chiều cao) của ĐGS dạng này có thể thay đổi linh hoạt theo nhu cầu sử dụng dựa vào việc thay đổi số lượng cấu kiện, vị trí đặt và hướng đặt cấu kiện (xếp thẳng, xếp chéo).



Hình 2-2. ĐGS lắp ghép cấu kiện CT3N-WIP1 (CK1)

Các nghiên cứu trước đã chỉ ra vai trò quan trọng của độ rỗng đối với sự truyền sóng qua kết cấu ngầm nói chung. Tuy nhiên, ĐGS được tạo thành bởi các cấu kiện bê tông rỗng riêng lẻ, mỗi cách sắp xếp, bố trí cấu kiện trong không gian khác nhau sẽ tạo ra các phương án độ rỗng khác nhau. Theo đó, mặc dù các tham số khác không đổi nhưng hiệu quả giảm sóng của ĐGS sẽ thay đổi. Bên cạnh đó, liên quan tới mục tiêu trao đổi môi trường nước giữa trong và ngoài công trình, bồi lắng bùn, cát, hỗ trợ khôi phục hệ sinh thái RNM và các sinh

vật biển cần có không gian để sinh trưởng và phát triển, khi bố trí không gian kết cấu ngầm giảm sóng phải tạo ra khoảng trống hợp lý. Việc tạo độ rộng chủ động bằng cách thay đổi cách sắp xếp cấu kiện CT3N-WIP1 cho thấy ưu điểm về sự linh hoạt trong việc thay đổi các tham số hình học tùy theo yêu cầu về chức năng giảm sóng tại vị trí áp dụng và trong từng thời điểm khác nhau. Khi đó cần phải có phương pháp để tính toán bố trí kết cấu ĐGS phù hợp để vừa đạt được mục tiêu giảm sóng nhưng cũng phải đáp ứng được yêu cầu về độ rộng của công trình.

2.3. Cân bằng năng lượng sóng

Đối với yêu cầu giảm sóng của công trình ĐGS, các tham số hình học và kết cấu của công trình ĐGS (chiều cao, bề rộng, độ rộng, ...) thường được xác định theo yêu cầu chức năng giảm sóng (chiều cao sóng truyền phía sau đê được khống chế ở mức độ phù hợp theo yêu cầu). Do đó, việc phân tích tương tác sóng-công trình dựa trên sự cân bằng năng lượng sóng đóng vai trò quan trọng trong việc làm rõ khả năng đáp ứng yêu cầu giảm sóng của công trình ĐGS.

Bỏ qua thành phần năng lượng sóng bị tiêu hao do ma sát đáy và với giả thiết rằng lý thuyết sóng tuyến tính vẫn đủ tin cậy để miêu tả thông lượng năng lượng sóng, phương trình cân bằng năng lượng sóng qua công trình đê giảm sóng có thể được miêu tả như sau:

$$K_R^2 + K_t^2 + \varepsilon_D = 1 \quad (2.1)$$

Trong đó:

K_t là hệ số truyền sóng,

K_R là hệ số phản xạ trước công trình (phản xạ từ công trình ra phía biển),

ε_D là hiệu suất tiêu hao năng (hấp thụ) lượng sóng của đê giảm sóng (tỷ số giữa năng lượng sóng bị tiêu hao bởi đê giảm sóng so với tổng năng lượng sóng tới).

Như vậy chiều cao sóng phía sau đê, phản ánh thông qua hệ số truyền sóng K_t , phụ thuộc vào hiệu quả hấp thụ năng lượng sóng (ε_D) của bản thân công trình cũng như là sóng phản xạ trước đê (K_R). Cả ba yếu tố này đều chịu sự chi phối phức tạp của vấn đề tương tác sóng-công trình, là nội hàm của không những tính chất của sóng tới (chiều cao, chu kỳ, hình dạng phổ) mà còn là bản thân cấu tạo kết cấu và hình học của công trình.

2.4. Thiết lập phương trình tổng quát về hệ số truyền sóng

Luận án sử dụng lý thuyết PI-Buckingham để thiết lập các phương trình tổng quát thể hiện quan hệ giữa các tham số chi phối cơ bản tổ hợp dưới dạng các đại lượng phi thứ nguyên với hệ số truyền sóng K_t . Phân tích thứ nguyên nhằm đưa việc miêu tả một vấn đề vật lý phức tạp thành dạng đơn giản nhất với biến số nhỏ nhất có thể. Yêu cầu đối với các biến số lựa chọn phải là các yếu tố định tính và có ảnh hưởng đáng kể đến hàm mục tiêu, có thể điều chỉnh, độc lập, không phụ thuộc và kéo theo sự thay đổi của các yếu tố khác. Từ các nghiên cứu tổng quan về tương tác giữa sóng-công trình như đã trình bày ở chương 1, các biến số ảnh hưởng đến truyền sóng đã được kể đến như:

- Các tham số thủy động lực:
 - + Sóng (chiều cao sóng H_{m0} , chu kỳ sóng T , bước sóng L , độ dốc sóng S_{0m} , chỉ số sóng vỡ Iribarren ξ);
 - + Độ sâu mực nước D ;
 - + Loại chất lỏng (hệ số nhớt μ , khối lượng riêng ρ).
- Các đặc trưng hình học ĐGS:
 - + Bề rộng đê B_f , bề rộng cấu kiện theo phương truyền sóng b ;
 - + Chiều cao h , số lớp cấu kiện xếp chồng đứng n_x ;
 - + Cao lưu không R_c ;
 - + Tham số độ thấm P_f , độ rỗng n .

Tuy nhiên với một chất lỏng nhất định, ở nhiệt độ xác định, gia tốc trọng trường, hệ số nhớt và khối lượng riêng thay đổi không đáng kể, có thể coi là hằng số và sẽ không tham gia trực tiếp vào quá trình phân tích thứ nguyên.

Chu kỳ sóng T và độ dốc sóng S_{0m} có thể chuyển đổi cho nhau từ công thức cho các vùng sóng khác nhau. Bước sóng L có thể biểu thị qua chu kỳ sóng T và độ sâu mực nước D . Chiều cao ĐGS h và độ sâu mực nước D tại chân công trình có thể biểu thị qua cao lưu không R_c . Tham số độ thấm ĐGS P_f có thể biểu thị qua độ rỗng khối của thân đê n . Vậy các biến số chi phối độc lập bao gồm: chiều cao sóng trước ($H_{mo,i}$) và sau ($H_{mo,t}$) ĐGS, cao lưu không (R_c), bề rộng đê (B_f), chiều dài bước sóng (L) và tham số độ thấm ĐGS (P_f). Trong đó, tham số độ thấm (P_f) là đại lượng không thứ nguyên, do vậy phương trình tổng quát xác định đại lượng phi thứ nguyên (hàm Π) như sau:

$$\Pi = H_{mo,i}^{x_1} \cdot H_{mo,t}^{x_2} \cdot R_c^{x_3} \cdot B_f^{x_4} \cdot L^{x_5} \quad (2.2)$$

Với 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 cơ bản được xây dựng để xác định số thứ nguyên cơ bản và xây dựng hệ phương trình số mũ hàm Π (Bảng 2-1).

Bảng 2-1. Ma trận thứ nguyên

Thứ nguyên	$H_{mo,i}$	$H_{mo,t}$	R_c	B_f	L
[L]	1	1	1	1	1
[T]	0	0	0	0	0
[M]	0	0	0	0	0

Từ ma trận thứ nguyên cho thấy tồn tại 01 thứ nguyên cơ bản, như vậy sẽ tồn tại 04 ($\Pi = 5 - 1 = 4$) đại lượng phi thứ nguyên độc lập $\Pi_1, \Pi_2, \Pi_3, \Pi_4$. Hàm Π tổng quát trong trường hợp này có dạng như sau:

$$f(\Pi_1, \Pi_2, \Pi_3, \Pi_4) = 0 \quad (2.3)$$

và phương trình xác định số mũ có dạng như sau:

$$x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_5 = 0 \quad (2.4)$$

Đây là bài toán có 05 ẩn và chỉ có 01 phương trình để giải, vì vậy sẽ có nhiều tổ hợp các lựa chọn. Việc chọn số Π có thể dựa trên ý nghĩa vật lý của số hạng Π . Dựa trên phương trình (2.3) và (2.4), cần chọn trước 04 giá trị số mũ x để xác định số mũ còn lại cho mỗi hàm Π .

Bảng 2-2. Bảng phân tích thứ nguyên các tham số

Hàm	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	Hàm Π
Π_1	-1	1	0	0	0	$H_{mo,i}^{-1} H_{mo,t}^1 R_c^0 B_f^0 L^0$
Π_2	-1	0	1	0	0	$H_{mo,i}^{-1} H_{mo,t}^0 R_c^1 B_f^0 L^0$
Π_3	-1	0	0	1	0	$H_{mo,i}^{-1} H_{mo,t}^0 R_c^0 B_f^1 L^0$
Π_4	-1	0	0	0	1	$H_{mo,i}^{-1} H_{mo,t}^0 R_c^0 B_f^0 L^1$

Từ bảng phân tích thứ nguyên các tham số, xác định được các đại lượng phi thứ nguyên $\Pi_1, \Pi_2, \Pi_3, \Pi_4$ như sau:

$$- \Pi_1 = H_{mo,i}^{-1} H_{mo,t}^1 R_c^0 B_f^0 L^0 = \frac{H_{mo,t}}{H_{mo,i}} = K_t: \text{Hệ số truyền sóng}$$

$$- \Pi_2 = H_{mo,i}^{-1} H_{mo,t}^0 R_c^1 B_f^0 L^0 = \frac{R_c}{H_{mo,i}}: \text{Độ ngập tương đối}$$

$$- \Pi_3 = H_{mo,i}^{-1} H_{mo,t}^0 R_c^0 B_f^1 L^0 = \frac{B_f}{H_{mo,i}}: \text{Bề rộng tương đối}$$

$$- \Pi_4 = H_{mo,i}^{-1} H_{mo,t}^0 R_c^0 B_f^0 L^1 = \frac{L}{H_{mo,i}} \sim S_{om}^{-1}: \text{Độ dốc sóng}$$

Như vậy, hàm PI-Buckingham tổng quát có dạng như sau:

$$K_t = \frac{H_{mo,t}}{H_{mo,i}} = f\left(\frac{R_c}{H_{mo,i}}, \frac{B_f}{H_{mo,i}}, S_{om}\right) \quad (2.5)$$

Từ phân tích thứ nguyên này cho thấy đại lượng cần nghiên cứu đánh giá là hiệu quả giảm sóng sẽ phụ thuộc vào độ ngập tương đối đỉnh ĐGS, bề rộng

tương đối ĐGS và độ dốc sóng. Ngoài ra, tham số độ thâm ĐGS cũng ảnh hưởng đến hiệu quả giảm sóng và kết hợp với bề rộng trung bình của ĐGS có thể viết công thức tổng quát dưới dạng như sau:

$$K_t = \frac{H_{m0,t}}{H_{m0,i}} = f\left(\frac{Rc}{H_{m0,i}}, P_f \frac{B_f}{H_{m0,i}}, S_{0m}\right) \quad (2.6)$$

Đây là căn cứ để xác định các tham số cần đo đạc trong thiết kế thí nghiệm mô hình vật lý trên máng sóng.

2.5. Phương pháp nghiên cứu trên mô hình vật lý

2.5.1. Lý thuyết tương tự trên mô hình vật lý

Lý thuyết tương tự trên mô hình vật lý trong máng sóng là một phương pháp khoa học được sử dụng để nghiên cứu và mô phỏng các hiện tượng thủy động lực học xảy ra trong tự nhiên (ở kích thước thực) bằng cách thu nhỏ chúng thành các mô hình tương ứng trong phòng thí nghiệm. Phương pháp này dựa trên việc đảm bảo tính tương đồng giữa các đại lượng vật lý trong mô hình và thực tế, qua đó cho phép suy luận và dự đoán hành vi của công trình hoặc hệ thống trong điều kiện thực tế.

a) Về mô hình vật lý

Mô hình vật lý là một hệ vật lý được mô phỏng lại sao cho các lực chủ yếu tác dụng lên hệ được mô phỏng ở mô hình bằng một tỷ lệ chính xác với trong hệ vật lý thực tế. Thí nghiệm mô hình vật lý là phương pháp toàn diện nhất trong nghiên cứu khoa học. Mô hình vật lý có cấu tạo giống như nguyên hình nhưng có kích thước nhỏ hơn nguyên hình để phù hợp với điều kiện của phòng thí nghiệm. Phương pháp này chính là sự tích hợp tất cả các ưu điểm của các phương pháp nghiên cứu đã thực hiện trên thế giới cho phép thể hiện tương đối đầy đủ các hiện tượng vật lý của công trình trong điều kiện thực như: khả năng ổn định của kết cấu dưới tác động của điều kiện tự nhiên như các yếu tố thủy lực, địa hình, địa chất nền và hiệu quả tiêu giảm sóng, gây bồi...

b) Mục tiêu thí nghiệm

Đo đạc tham số sóng trước và sau ĐGS để thiết lập bộ số liệu thí nghiệm làm cơ sở cho việc xây dựng công thức thực nghiệm để xác định hiệu quả giảm sóng của ĐGS lắp ghép cấu kiện CT3N-WIP1 với điều kiện tự nhiên của vùng biển Tây mũi Cà Mau.

c) Lý thuyết tương tự và tỷ lệ mô hình

Trong khu vực cửa sông và bờ biển, do mặt nước rộng, gió to bão lớn, sóng luôn là yếu tố quan trọng tác động đến diễn biến địa hình lòng dẫn và các loại công trình, cần tiến hành nghiên cứu trên mô hình sóng. Vấn đề nghiên cứu trong mô hình sóng bao gồm 2 phương diện:

- Một là, nghiên cứu tương tác giữa sóng và công trình làm căn cứ cho thiết kế: Ví dụ nghiên cứu áp lực sóng lên tường đứng, tường mái nghiêng, công trình có lỗ xuyên thông, công trình nổi v.v, ... nghiên cứu lực neo của tàu thuyền đối với bến và sự ổn định của bản thân tàu thuyền.

- Hai là, nghiên cứu bồi lắng trong luồng tàu, bến cảng dưới tác dụng của sóng, điều kiện neo cập và chạy tàu. Những vấn đề ổn định của bờ, chuyển động bùn cát dọc bờ do sóng tạo ra đều thuộc loại vấn đề này.

Nghiên cứu loại vấn đề thứ nhất thường thực hiện trong mô hình mặt cắt, chỉ cần tiến hành thí nghiệm trong máng sóng, yêu cầu về hằng số tỷ lệ mô hình tương đối nhỏ, tức là mô hình có thể làm tương đối lớn mới đảm bảo độ chính xác trong quan trắc. Loại vấn đề thứ hai đều phải nghiên cứu trong mô hình tổng thể, hằng số tỷ lệ mô hình có thể lấy lớn hơn, mô hình có thể làm nhỏ hơn ở trong bể sóng. Trong nghiên cứu này, các thí nghiệm mô hình đều được thực hiện trong máng sóng, tức chỉ xem xét bài toán phẳng (hai chiều đứng 2DV) hay các quá trình lan truyền sóng theo phương vuông góc với công trình. Các ảnh hưởng 3D do địa hình đáy hay góc sóng tới xiên góc không được xem xét

đến. Nghiên cứu giới hạn bài toán lan truyền sóng qua công trình nằm trên bãi nông trước rừng. Theo chức năng giảm sóng và gây bồi gắn với rừng ngập mặn, hiệu quả giảm sóng của ĐGS xem xét do vậy được đánh giá trong điều kiện sóng gió mùa (sóng chế độ khí hậu) ở khu vực biển Tây Cà Mau. Sóng tới trước công trình là dạng sóng nước nông vỡ và đã vỡ (breaking và broken waves).

Ngoài hình dạng và độ sâu vùng nước, hiện tượng sóng còn đề cập đến các yếu tố sóng và quá trình lan truyền của nó. Để có được sự tương tự về động thái và động lực, cần bảo đảm tốt tương tự về hình học, vì vậy mô hình sóng thường được thiết kế theo mô hình chính thái. Trong thực tiễn đối với mô hình mặt cắt, chỉ có mô hình chính thái và hằng số tỷ lệ mô hình tương đối nhỏ, $\lambda_L \leq 60$.

Để có được tương tự về các yếu tố sóng, mô hình cần làm chính thái, hướng sóng ban đầu của mô hình phải giống với nguyên hình, hằng số tỷ lệ chiều dài sóng và chiều cao sóng nên giống nhau cần tuân thủ tương tự hình học (với bất kỳ độ dài tuyến tính tương ứng nào thì nguyên hình và mô hình phải có cùng tỷ lệ). Vùng biển Tây của bán đảo Cà Mau có độ sâu nước hạn chế $D < 3,0\text{m}$, bãi trước rừng rất rộng và thoải (độ dốc $\sim 1/1.000$), mặc dù chiều cao sóng gió mùa ở nước sâu có thể lên tới 3,0m, tuy nhiên sóng bị tiêu hao phần lớn năng lượng do bị vỡ trên bãi nên chiều cao sóng tới trước rừng phổ biến là $H_s < 1,5\text{m}$. Căn cứ vào điều địa hình, điều kiện biên thủy lực thực tế này và cũng như là khả năng đáp ứng của máng sóng (kích thước máng và năng lực tạo sóng), mô hình vật lý được chọn làm chính thái với tỷ lệ mô hình $\lambda_L = \lambda_h = 8$, tỷ lệ thời gian mô hình λ_t (bao gồm cả chu kỳ sóng) sẽ được xác định tương ứng với tỷ lệ dài theo tiêu chuẩn Froude. Mô hình phải tuân theo luật Froude - diễn tả mức độ ảnh hưởng tương đối giữa lực quán tính và trọng lực ở dòng chảy có mặt thoáng. Đây là tiêu chuẩn quan trọng bậc nhất của mô hình thủy lực và

đúng với hầu hết dòng chảy chất lỏng có mặt thoáng [52]. Tương quan tỷ lệ của một số đại lượng vật lý cơ bản tuân thủ luật tương tự Froude (Bảng 2-3).

Bảng 2-3. Tương quan tỷ lệ một số tham số cơ bản theo luật tương tự Froude

Các đại lượng	Tương quan	Tỷ lệ nguyên hình/mô hình
Tỷ lệ độ dài, chiều cao (m)	$\lambda_L = \lambda_h$	8
Tỷ lệ thời gian, chu kỳ (s)	$\lambda_t = \sqrt{\lambda_L}$	2,83

2.5.2. Thiết kế thí nghiệm

a) Trang thiết bị thí nghiệm

Các thí nghiệm mô hình được triển khai ở trong máng sóng Hà Lan, Phòng thí nghiệm thủy lực tổng hợp, Trường Đại học Thủy lợi.

Máng sóng có chiều dài hữu ích 43m, rộng 1,0m và cao 1,2m, được trang bị với thiết bị hấp thụ sóng phản xạ chủ động (Active Reflecion Compensation-ARC) cho phép khử nhiễu sóng phản xạ lại từ bản tạo sóng. Máy tạo sóng có khả năng tạo sóng ngẫu nhiên theo phổ yêu cầu (JONSWAP, TMA, PM) với chiều cao sóng ngẫu nhiên lớn nhất là 0,3 m và chu kỳ dài nhất là 3 s.

Các đầu đo sóng theo nguyên lý điện dung có khả năng đo đặc dao động mực nước với độ chính xác cao (± 0.1 mm), tần số đo lên tới 100Hz. Đầu đo lưu tốc 3 chiều Vectrino-II theo nguyên lý phản quang được sử dụng để đo lưu tốc dòng chảy.

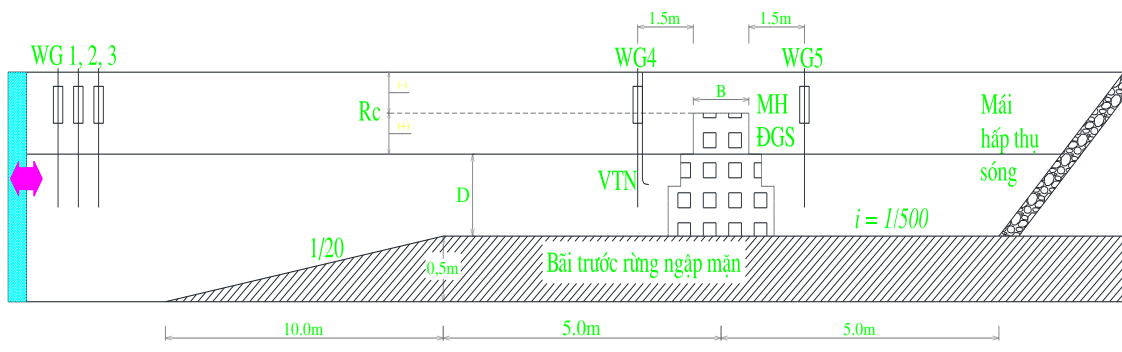
b) Bố trí thí nghiệm

Sơ đồ bố trí thí nghiệm được thể hiện trên Hình 2-3. Trong đó mô hình bãi rừng là bê tông vữa xi măng trát nhẵn có chiều cao 0,5m nhằm tạo điều kiện sóng nước sâu trước bãi. Chiều dài mặt bãi là 10m có độ dốc $i = 1/500$, đoạn chuyển tiếp có chiều dài 10m độ dốc $i = 1/20$. Sóng tới từ nước sâu khi đi qua

đoạn chuyển tiếp có độ dốc này sẽ bị vỡ, tạo ra điều kiện sóng vỡ trong mô hình tương tự với điều kiện sóng vỡ trên bãi rừng ngập mặn trong thực tế. Phía cuối máng sóng là biên hấp thụ sóng phản xạ bị động có cấu tạo là mái đá đổ rời có độ dốc thoải.

Các mô hình ĐGS trong máng sóng được thu nhỏ theo tỷ lệ mô hình có chiều cao dao động trong khoảng $(0,25 \div 0,40)$ m (từ $2\text{m} \div 3\text{m}$ trong điều kiện nguyên hình) và bề rộng $B = (0,20 \div 0,4)$ m (rộng từ $1,5\text{m} \div 3,0\text{m}$ trong điều kiện nguyên hình). Các mô hình ĐGS trong máng sóng được trên một lớp thảm lót đáy đá dăm dày 3cm. Hình 2-4 minh họa hình ảnh mô hình ĐGS trong máng sóng.

Năm đầu đo sóng (kí hiệu WG) sẽ được sử dụng để đo sự biến đổi sóng phía trước bãi, trước và sau công trình ĐGS. Trong số đó hiệu quả giảm sóng của ĐGS được đánh giá thông qua kết quả đo đặc chiều cao sóng phía trước (WG4) và phía sau (WG5) công trình được đặt cách công trình một khoảng từ $1/2L$ đến L (với L chiều dài sóng nước nông tại vị trí công trình). Đặc biệt thiết bị đo lưu tốc 3 chiều Vectrino (VTN) đồng bộ với đo sóng tại vị trí trước đê (WG4) được sử dụng để phân tích xác định sóng phản xạ từ công trình trong điều kiện nước nông (sóng phi tuyến) theo phương pháp của Sheremet và cộng sự [101].



Hình 2-3. Sơ đồ bố trí thí nghiệm sóng truyền qua công trình ĐGS



Hình 2-4. Mô hình ĐGS trong máng sóng

Bảng 2-4. Các thông số hình học cơ bản của mô hình ĐGS

Mô hình	Bề rộng B (m)	Chiều cao đê H (m)	Độ rỗng khối n (-)	Ghi chú
ĐGS lắp ghép cấu kiện CT3N-WIP1	0,2 ÷ 0,3	0,30	0,60 ÷ 0,70	

c) Các tham số đo đạc

Tham số đo đạc chủ yếu được thực hiện chủ yếu trong thí nghiệm là đường quá trình sóng tại các vị trí trên bãi, trước và sau công trình (Hình 2-3). Các đặc trưng sóng phổ chủ yếu sẽ được phân tích xác định từ các số liệu đo đạc như sau:

Chiều cao sóng phổ H_{m0} :

$$H_{m0} = 4,004 \sqrt{m_0} = 4,004 \sqrt{\int_{f_{min}}^{f_{max}} S(f) df} \quad (2.7)$$

Trong đó:

m_0 là mô men bậc 0 của phổ (tổng năng lượng dao động),

$S(f)$ là mật độ phương sai của sóng tại tần số f ,

f_{min} (= 0,01Hz) và f_{max} (= 2,5Hz) lần lượt là tần số nhỏ nhất và lớn nhất xem xét.

Bên cạnh chu kỳ đỉnh phổ T_p (xác định tại tần số đỉnh phổ f_p), chu kỳ trung bình đặc trưng phổ $T_{m-1,0}$ cũng là một dạng chu kỳ trung bình sử dụng trong trường hợp phổ sóng bị biến hình mạnh do sóng vỡ ở nước nông (phổ sóng dẹt hoặc có nhiều đỉnh).

$$T_p = \frac{1}{f_p} \quad (2.8)$$

$$T_{m-1,0} = \frac{m-1}{m_0} = \frac{\int_{f_{min}}^{f_{max}} f^{-1} S(f) df}{\int_{f_{min}}^{f_{max}} S(f) df} \quad (2.9)$$

Hệ số truyền sóng qua công trình K_t , biểu thị hiệu quả giảm sóng của ĐGS được xác định như sau:

$$K_t = \frac{H_{m0,t}}{H_{m0,i}} \quad (2.10)$$

Trong đó:

$H_{m0,i}$ là chiều cao sóng tới trước công trình ĐGS,

$H_{m0,t}$ là chiều cao sóng tới sau công trình ĐGS.

Chiều dài sóng nước sâu L_0 và nông L tại vị có độ sâu d :

$$L_{0p} = \frac{g}{2\pi} T_p^2 \quad (2.11)$$

$$L_{0m} = \frac{g}{2\pi} T_m^2 \quad (2.12)$$

$$L_p = L_{0p} \tanh\left(\frac{2\pi}{L_{0p}} D\right) \quad (2.13)$$

$$L_m = L_{0m} \tanh\left(\frac{2\pi}{L_{0m}} D\right) \quad (2.14)$$

Trong đó:

L_{0p} , L_{0m} lần lượt là chiều dài sóng nước sâu xác định theo chu kỳ đỉnh phổ T_p và chu kỳ đặc trưng phổ T_m (chu kỳ $T_{m-1,0}$), L_p và L_m tương ứng là các chiều dài sóng nước nông tại độ sâu D .

Hệ số phản xạ sóng tổng hợp được xác định dựa trên tỷ số giữa thông lượng sóng phản xạ và thông lượng sóng tới [101].

$$K_R^2 = \frac{F^-}{F^+} \quad (2.15)$$

Trong đó:

K_R là hệ số phản xạ tổng hợp,

F^- và F^+ lần lượt là các thông lượng sóng hướng ra phía biển và hướng vào bờ.

Các thông lượng sóng F được xác định từ các số liệu đo đồng bộ sóng và dòng chảy tại vị trí trước ĐGS như sau:

$$F^\pm = \frac{1}{4} \sqrt{gh} \left[C_{o\eta\eta}(f) \pm \left(2 \sqrt{\frac{h}{g}} \right) C_{o\eta u}(f) + \left(\frac{h}{g} \right) C_{ouu}(f) \right] \quad (2.16)$$

với $C_{o\eta\eta}$, C_{ouu} và $C_{o\eta u}$ lần lượt là các phổ phương sai (năng lượng) của sóng, dòng chảy và phổ hiệp phương sai giữa sóng và dòng chảy, h là độ sâu nước tại vị trí thủy trực và cao trình đo lưu tốc.

d) Kịch bản thí nghiệm và trình tự thí nghiệm

Các trường hợp thí nghiệm cho phương án mô hình ĐGS được tổ hợp từ các kịch bản tham số sóng và độ ngập của bãi (độ sâu nước D) khác nhau. Phạm vi biến đổi của các tham số này phải đủ rộng, bao quát đầy đủ các điều kiện thực tế của sóng ở bãi trước RNM.

Nghiên cứu lựa chọn 12 kịch bản tham số sóng (KBS) tiêu biểu dựa trên điều kiện thực tế sóng gió mùa trước rừng ở khu vực Biển Tây, là sự kết hợp của 06 chiều cao sóng $H_{m0} = 0,07\text{m}$ đến $0,18\text{m}$ (tương ứng $H_{m0} = 0,5\text{m}$ đến $1,50\text{m}$ trong thực tế) và hai độ dốc sóng gió mùa tiêu biểu $s_{0p} = 0,02$ và $0,035$. Khi kết hợp các kịch bản sóng này với 03 kịch bản độ sâu nước $D = 0,20\text{m}$, $0,30\text{m}$ và $0,40\text{m}$ sẽ dẫn tới tổng số 36 kịch bản thí nghiệm trong trường hợp tổng quát (Bảng 2-5). Sóng được tạo ra ở biên nước sâu là sóng ngẫu nhiên có

dạng phổ JONSWAP chuẩn. Mỗi một trường hợp thí nghiệm sẽ kéo dài tối thiểu là 500 con sóng ($500 \times T_p$) nhằm đảm bảo rằng sóng ở các dải tần số khác nhau sẽ được thể hiện đầy đủ ở phổ năng lượng sóng đo đạc. Các tham số sóng (chiều cao, chu kỳ) là tham số khởi tạo (đầu vào cho máy tạo sóng) tại biên máy tạo sóng. Các tham số sóng thực tế tại vị trí công trình dùng trong đánh giá hiệu quả giảm sóng của ĐGS là tham số đo đạc.

Bảng 2-5. Tổng hợp các kịch bản kiểm định sóng

Độ sâu nước D (m)	Điều kiện thủy lực nguyên hình		Điều kiện thủy lực mô hình		Ghi chú
	H_{m0} (m)	T_p (s)	H_{m0} (m)	T_p (s)	
0,20 0,30 0,40	0,56	3,20	0,07	1,13	- Tỷ lệ mô hình $\lambda_L = \lambda_h = 8$; - Luật tỷ lệ Froude; - 12 kịch bản sóng; - 03 độ sâu nước.
	0,56	4,25	0,07	1,50	
	0,8	5,09	0,10	1,80	
	0,8	3,82	0,10	1,35	
	0,96	5,66	0,12	2,00	
	0,96	4,25	0,12	1,50	
	1,12	5,94	0,14	2,10	
	1,12	4,53	0,14	1,60	
	1,28	6,51	0,16	2,30	
	1,28	4,81	0,16	1,70	
	1,44	6,79	0,18	2,40	
	1,44	5,09	0,18	1,80	

Ngoài ra luận án sẽ mở rộng kịch bản thí nghiệm của ĐGS lắp ghép cấu kiện CT3N-WIP1 với một số biến thể về mô hình của cấu kiện (thay đổi về kích thước hình học, độ rộng, và cách xếp), với mỗi biến thể sẽ thực hiện từ 24 đến 36 thí nghiệm theo kịch bản sóng đã định (Bảng 2-6).

Chuỗi số liệu thí nghiệm MHVL đã xem xét đầy đủ đặc trưng sóng gió mùa tại khu vực biển Tây mũi Cà Mau để đánh giá một cách đầy đủ mức độ ảnh hưởng của các tham số chi phối cơ bản đến quá trình truyền sóng. Tổng số thí nghiệm được thực hiện là 348 thí nghiệm để đánh giá chi tiết hơn về hiệu

quả giảm sóng và tăng độ tin cậy cho công thức thực nghiệm tính toán hệ số truyền sóng qua ĐGS lắp ghép cấu kiện CT3N-WIP1.

Bảng 2-6. Tổng hợp các trường hợp thí nghiệm

Mô hình	Tham số MH	Độ sâu D (m)	Kịch bản sóng H_{m0} (m), T_p (s)	Ghi chú
MH3-CK1-T	Cấu kiện 1 (CK1), xếp thẳng (T), bề rộng đỉnh B = 20cm (hai hàng)	0,15 0,20 0,25	12 KBS	36 thí nghiệm
	Cấu kiện 1 (CK1), xếp thẳng (T), bề rộng đỉnh B = 30cm (ba hàng)	0,15 0,20 0,25	12 KBS	36 thí nghiệm
MH3-CK1-C	Cấu kiện 1 (CK1), xếp chéo (C), bề rộng đỉnh B = 28,3cm (hai hàng)	0,15 0,20 0,25	12 KBS	36 thí nghiệm
	Cấu kiện 1 (CK1), xếp chéo (C), bề rộng đỉnh B = 42,4cm (ba hàng)	0,15 0,20 0,25	12KBS	36 thí nghiệm
MH3-CK1-LC	Cấu kiện 1 (CK1), ngầm và đỉnh thấp (LC), bề rộng đỉnh B = 20cm (hai hàng)	0,20 0,25	12KB	24 thí nghiệm
	Cấu kiện 1 (CK1), ngầm và đỉnh thấp (LC), bề rộng đỉnh B = 30cm (ba hàng)	0,20 0,25	12KB	24 thí nghiệm
	Cấu kiện 1 (CK1), ngầm và đỉnh thấp (LC), bề rộng đỉnh B = 40cm (bốn hàng)	0,20 0,25	12KB	24 thí nghiệm
	Cấu kiện 1 (CK1), ngầm và đỉnh thấp (LC), bề rộng đỉnh B = 50cm (năm hàng)	0,20 0,25	12KB	24 thí nghiệm

Mô hình	Tham số MH	Độ sâu D (m)	Kịch bản sóng H_{m0} (m), T_p (s)	Ghi chú
MH3-CK2-T	Cấu kiện 2 (CK2), xếp thẳng (T), bề rộng đỉnh B = 20cm (hai hàng)	0,15	12KBS	36 thí nghiệm
		0,20		
		0,25		
MH3-CK1-OY	Cấu kiện 2 (CK2), xếp thẳng (T), bề rộng đỉnh B = 30cm (ba hàng)	0,15	12 KBS	36 thí nghiệm
		0,20		
		0,25		
Tổng số	348 Trường hợp thí nghiệm			

Trình tự thí nghiệm được thực hiện như sau:

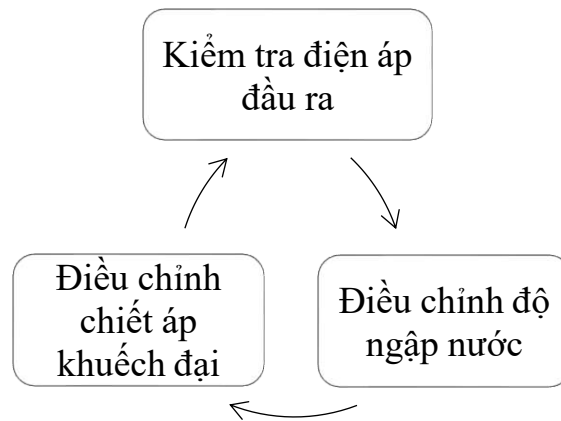
- Bước 1: Xây dựng mô hình, chế tạo cấu kiện CT3N-WIP1, kiểm tra và lắp đặt thiết bị đo (Hình 2-5).



Hình 2-5. Chế tạo cấu kiện và lắp đặt các đầu đo trong máng sóng

- Bước 2: Hiệu chỉnh, kiểm định mô hình

Các đầu đo sóng và vận tốc được hiệu chỉnh và kiểm định tất cả các đầu đo theo quy trình lặp lại cho đến khi đạt được sai số cho phép (Hình 2-6).



Hình 2-6. Quy trình hiệu chỉnh và kiểm định các đầu đo sóng

- Bước 3: Thực hiện các kịch bản không có công trình (Hình 2-7)



Hình 2-7. Thực hiện các kịch bản không có công trình

- Bước 4: Thực hiện các kịch bản có công trình với các sự thay đổi về độ rỗng của cấu kiện CT3N-WIP1 (Hình 2-8a: Xếp thẳng, Hình 2-8b: Xếp chéo).



a)



b)

Hình 2-8. Thí nghiệm truyền sóng qua ĐGS

2.5. Kết luận chương 2

Qua Chương 2, NCS đã xây dựng cơ sở khoa học nhằm nghiên cứu và đánh giá hiệu quả giảm sóng của ĐGS lắp ghép cấu kiện CT3N-WIP1, đồng thời xác định phương pháp nghiên cứu phù hợp để đạt được mục tiêu của luận án. Các nội dung chính được thực hiện trong chương này bao gồm:

- NCS đã luận giải chi tiết các yêu cầu cần thiết đối với ĐGS lắp ghép cấu kiện CT3N-WIP1. Không chỉ tập trung vào khả năng giảm sóng, nghiên cứu đã xem xét đến các yếu tố liên quan đến sự sinh trưởng và phát triển của cây ngập mặn, như trao đổi môi trường nước, trao đổi bùn và dưỡng chất, cũng như năng lượng sóng tối thiểu để vận chuyển bùn lơ lửng qua khoảng cách phía sau ĐGS.

- NCS đã sử dụng phương pháp phân tích thứ nguyên để thiết lập phương trình tổng quát về hiệu quả giảm sóng của ĐGS lắp ghép cấu kiện CT3N-WIP1. Các tham số chi phối cơ bản được tổ hợp thành các đại lượng phi thứ nguyên, giúp mô tả quá trình truyền sóng qua ĐGS. Đây là cơ sở để thiết kế thí nghiệm và xây dựng công thức thực nghiệm về hiệu quả giảm sóng của ĐGS lắp ghép cấu kiện CT3N-WIP1.

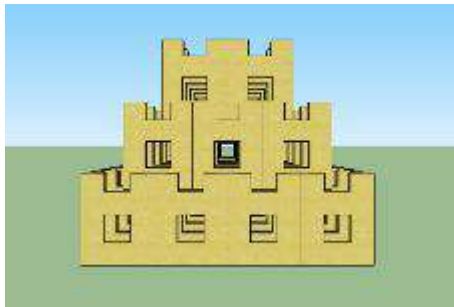
- NCS đã trình bày chi tiết thiết kế thí nghiệm mô hình vật lý trên máng sóng. Với 348 kịch bản thí nghiệm được thực hiện dựa trên luật tương tự Froude, nghiên cứu đảm bảo tính tương tự về động học và động lực giữa mô hình và nguyên hình. Các điều kiện đầu vào được xác định từ đặc điểm tự nhiên tại khu vực biển Tây Cà Mau, bao gồm sóng, mực nước, và các biến thể hình học của ĐGS. Số liệu thí nghiệm là cơ sở cho các phân tích và xây dựng công thức thực nghiệm trong chương 3.

Nhìn chung, Chương 2 đã hoàn thiện cơ sở khoa học và thực tiễn cần thiết để triển khai nghiên cứu về hiệu quả giảm sóng của ĐGS lắp ghép cấu kiện CT3N-WIP1.

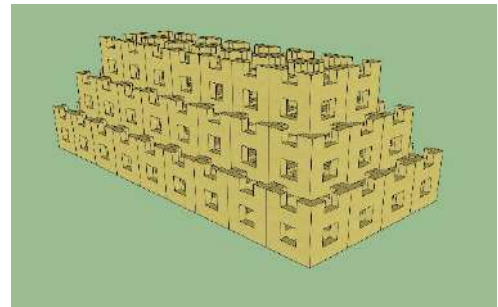
CHƯƠNG 3. KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU SÓNG TRUYỀN QUA ĐÊ GIẢM SÓNG LẮP GHÉP CẤU KIỆN CT3N-WIP1

3.1. Sóng truyền qua đê giảm sóng lắp ghép cấu kiện CT3N-WIP1

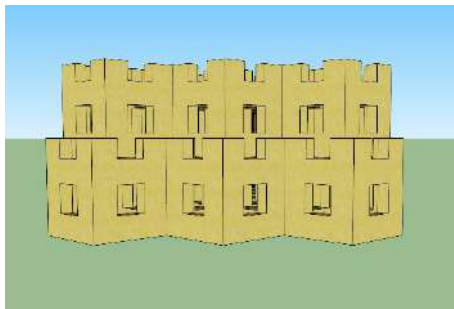
Chiều cao sóng truyền phía sau công trình bao gồm hai thành phần cơ bản là sóng nhiễu động do sóng tràn vượt đỉnh đê và sóng truyền qua thân đê xốp rỗng. Khi đỉnh đê càng thấp thì thành phần trước càng có thể chiếm ưu thế so với thành phần sau và ngược lại. Như vậy hệ số truyền sóng không những phụ thuộc vào tính chất xốp rỗng của thân đê mà còn phụ thuộc vào các kích thước hình học của đê (chiều cao, chiều rộng).



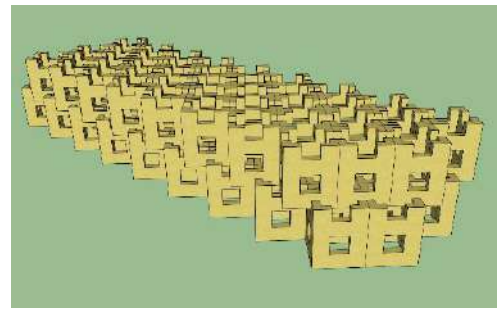
a)



b)



c)



d)

Hình 3-1. Minh họa về các phương án xếp cấu kiện CT3N-WIP1

(a), b): xếp thẳng hàng; c), d): xếp chéo góc 45°

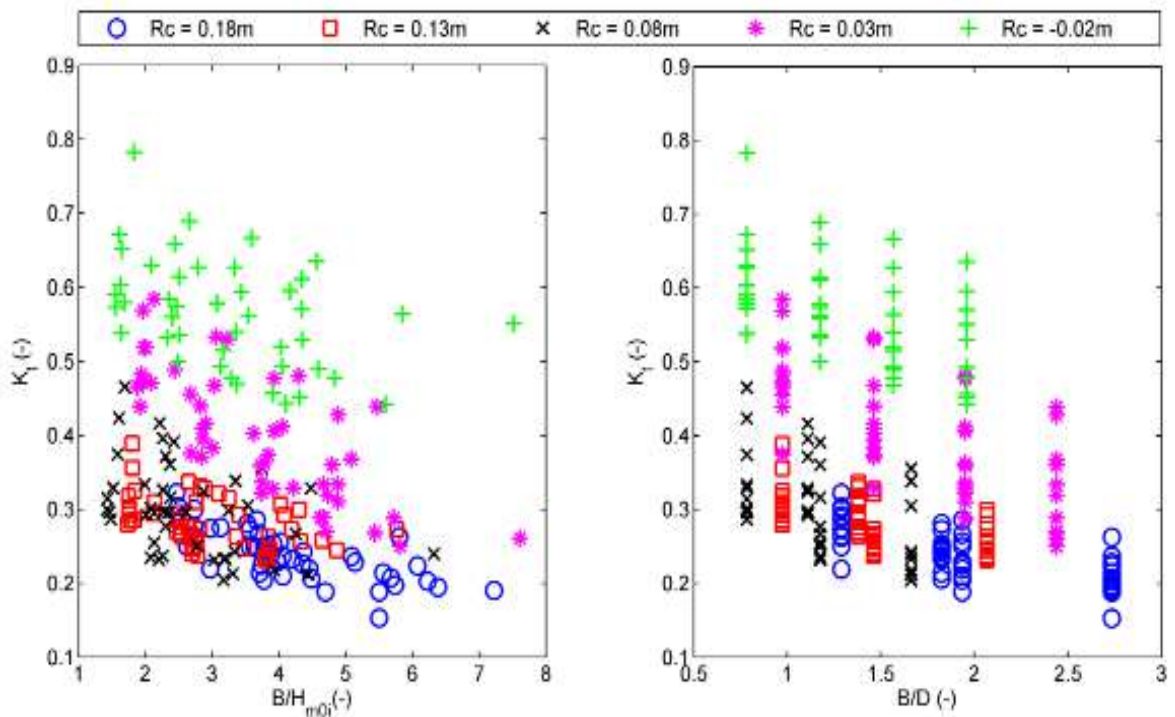
Theo nghiên cứu tổng quan, phân tích thứ nguyên và phương trình tổng quát về sự truyền sóng qua kết cấu ngầm trên thềm đảo, hệ số truyền sóng K_t của kết cấu ngầm sẽ phụ thuộc vào các tham số chính là độ ngập tương đối đỉnh

kết cấu ($R_c/H_{m0,i}$), chiều rộng đỉnh tương đối; độ dốc sóng tượng trưng (S_{om}), và độ thâm P_f của ĐGS.

3.1.1. Ảnh hưởng của bề rộng

Bề rộng đỉnh đê (B) là một trong các tham số chi phối quan trọng đến hệ số truyền sóng (K_t). Khi bề rộng tăng, quá trình tiêu tán năng lượng sóng thông qua cơ chế phản xạ, truyền qua và tán xạ sẽ gia tăng, làm giảm hệ số truyền sóng K_t . Tương quan giữa K_t và bề rộng tương đối (B/H_{m0} , B/D) đã được nghiên cứu chi tiết trong các thí nghiệm.

Kết quả phân tích sự ảnh hưởng của bề rộng đỉnh đê tương đối (B/H_{m0} và B/D) được thể hiện trên Hình 3-2, tương ứng với các chiều cao lưu không của đỉnh đê (R_c) khác nhau, cho thấy các quan hệ ($K_t \sim B/H_{m0}$) và ($K_t \sim B/D$) là nghịch biến và phi tuyến, đặc biệt khi R_c lớn thì xu thế của sự phụ thuộc này càng trở nên rõ ràng ($R_c = 0,08\text{m} \div 0,18\text{m}$).



Hình 3-2. Ảnh hưởng của bề rộng đỉnh đê tương đối B/H_{m0} và B/D đến sóng truyền

Trường hợp $R_c/H_{m0} \leq 0,75$ (đỉnh đê ngập nước): Khi đỉnh đê ngập sâu dưới mực nước (R_c âm hoặc rất thấp), bề rộng đỉnh đê có ảnh hưởng đáng kể đến K_t . Khi tăng bề rộng từ $B/H_{m0} = 1,4$ đến $3,2$, K_t giảm mạnh từ $0,65$ xuống $0,42$. Điều này cho thấy khả năng tiêu tán năng lượng sóng thông qua độ rộng của thân đê đóng vai trò chính. Đối với bề rộng lớn hơn ($B/H_{m0} > 3,2$), sự giảm của K_t có xu hướng chậm lại vì sóng đã mất phần lớn năng lượng khi đi qua ĐGS.

Trường hợp $0,75 < R_c/H_{m0} \leq 1,0$ (đỉnh đê ngang mực nước): Trong trường hợp này, sóng tác động trực tiếp vào đỉnh đê và bị tiêu tán một phần qua đỉnh và thân đê. Ảnh hưởng của bề rộng trở nên rõ rệt hơn, nhưng mức độ giảm K_t không mạnh như khi đê ngập nước. Khi bề rộng tăng từ $B/H_{m0} = 2,5$ đến $4,0$, hệ số truyền sóng giảm từ $0,48$ xuống $0,32$. Lúc này, cơ chế tiêu tán sóng kết hợp giữa truyền qua thân đê và suy giảm năng lượng sóng tràn qua đỉnh đê.

Trường hợp đỉnh đê nhô cao ($R_c/H_{m0} > 1,0$): Khi đỉnh đê vượt cao hơn mực nước, sóng phản xạ trở thành cơ chế chi phối chính, trong khi năng lượng sóng truyền qua thân đê giảm mạnh. Ảnh hưởng của bề rộng đến hệ số truyền sóng K_t vẫn tồn tại nhưng không còn rõ rệt. Khi bề rộng tăng từ $B/H_{m0} = 4,5$ lên $7,6$ hệ số truyền sóng chỉ giảm nhẹ từ $0,30$ xuống $0,28$. Điều này chứng tỏ trong điều kiện đỉnh đê nhô cao, phần lớn sóng bị phản xạ ngược lại và thành phần sóng truyền qua rất ít.

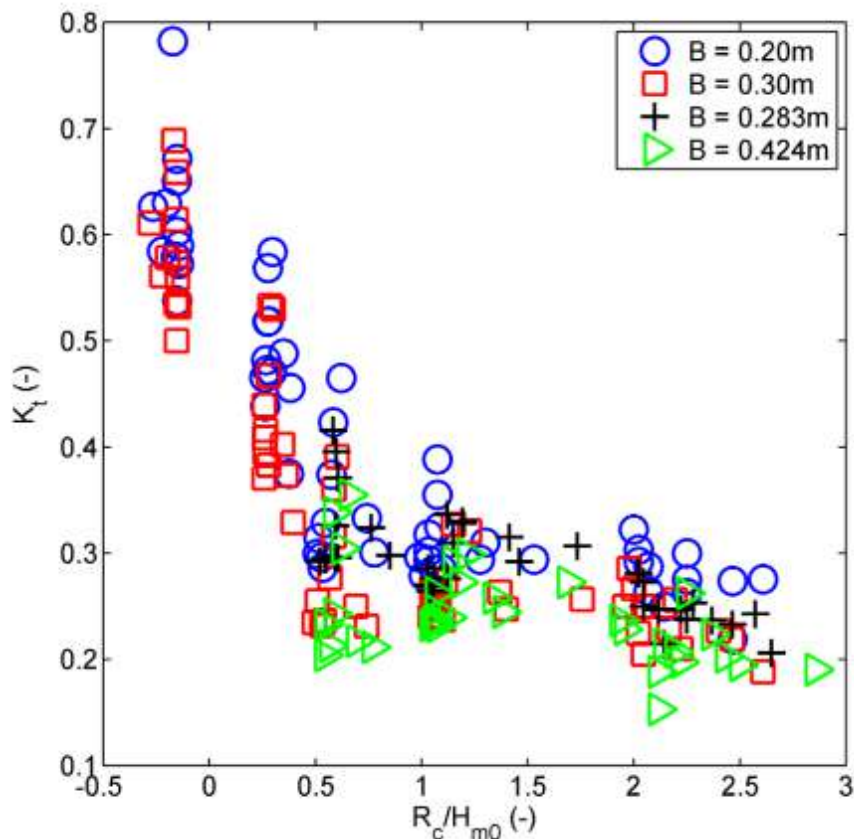
Qua Hình 3-2 có thể thấy rằng, trong cùng một điều kiện ngập nước, bề rộng tương đối của đê giảm sóng càng lớn thì hiệu quả giảm sóng càng lớn (hay hệ số truyền sóng qua đê càng giảm). Tuy nhiên, khi bề rộng tương đối tiếp tục tăng đến giá trị nhất định ứng với mỗi mức độ ngập nước thì hiệu quả giảm sóng của đê tăng không đáng kể và gần như không tăng. Điều này cho thấy bề rộng tương đối đỉnh kết cấu ngầm là tham số có ảnh hưởng lớn tới hệ số truyền sóng K_t . Với cùng một độ ngập, khi bề rộng tương đối lớn, đường tương quan có xu thế nằm ngang, khi đó hệ số truyền sóng ít bị ảnh hưởng bởi bề rộng đỉnh

đê. Khi bề rộng tương đối nhỏ, đường tương quan có xu thế dốc, cho thấy sự phụ thuộc mạnh mẽ của hệ số truyền sóng vào bề rộng tương đối. Với các độ ngập khác nhau, giá trị độ ngập càng nhỏ thì đường tương quan có xu thế dốc càng rõ ràng.

3.1.2. Ảnh hưởng của cao lưu không tương đối

Cao lưu không tương đối là khoảng cách từ mực nước tới đỉnh ĐGS. Để đánh giá xu thế, mức độ ảnh hưởng và xây dựng tương quan giữa hệ số truyền sóng K_t và độ ngập R_c , NCS thí nghiệm với 04 kích bản thay đổi bề rộng như trình bày tại Hình 3-3. Lưu ý trong Hình 3-3, $B = 0,283\text{m}$ và $0,424\text{m}$ lần lượt là các bề rộng đỉnh đê khi xếp chéo 45° tương ứng với đỉnh đê trong các trường hợp xếp thẳng $B = 0,20\text{m}$ và $0,30\text{m}$. Như vậy khi xếp chéo thì sóng truyền qua đê cũng giảm đáng kể so với trường hợp xếp thẳng ($B = 0,283\text{m}$ so với $B = 0,20\text{m}$ và $B = 0,424\text{m}$ so với $B = 0,30\text{m}$). Ở đây để cho đơn giản NCS xét ảnh hưởng của cách xếp chéo thông qua việc gia tăng bề rộng hữu ích của đê so với trường hợp xếp thẳng (ví dụ nếu xếp thẳng với bề rộng đỉnh $B = 0,20\text{m}$, thì khi xếp chéo 45° thì bề rộng đỉnh hữu ích sẽ tăng lên $B' = B \times \sqrt{2} = 0,20\text{m} \times \sqrt{2} = 0,283\text{m}$, xem minh họa trên (Hình 3-1).

Từ kết quả thể trên Hình 3-3 trước hết có thể nhận định rằng hệ số truyền sóng qua đê lắp ghép cấu kiện CT3N-WIP1 chịu sự chi phối cơ bản của chiều cao lưu không đỉnh đê tương đối R_c/H_{m0} tương tự như các dạng đê chắn sóng truyền thống khác. Quan hệ ($K_t \sim R_c/H_{m0}$) có xu thế nghịch biến rõ ràng. Hệ số K_t giảm nhanh khi R_c/H_{m0} tăng đến giới hạn $R_c/H_{m0} \leq (0,75 \div 1,0)$. Khi đỉnh đê vượt cao so với mực nước, $R_c/H_{m0} > (0,75 \div 1,0)$, thì K_t giảm rất chậm và trở nên ít phụ thuộc vào tỷ số R_c/H_{m0} do lúc này không còn thành phần sóng tràn vượt qua đỉnh đê mà chủ yếu là thành phần sóng truyền qua thân đê xốp rỗng. Từ kết quả phân tích có thể thấy độ ngập tương đối R_c có ảnh hưởng lớn tới hệ số truyền sóng K_t của ĐGS.



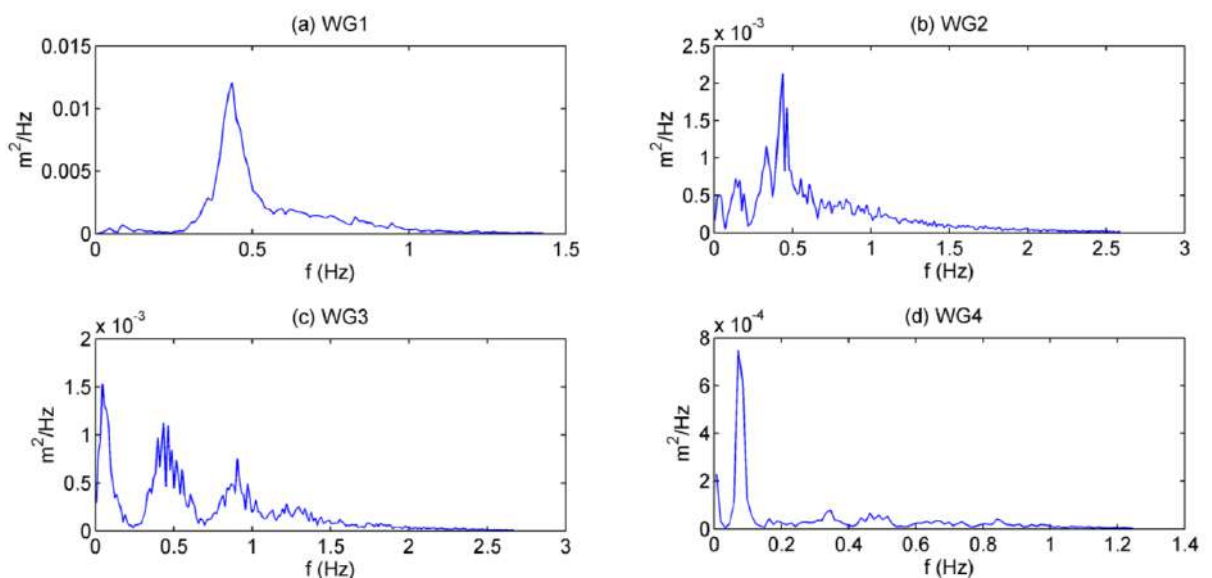
Hình 3-3. Hệ số truyền sóng qua đê: $K_t \sim R_c/H_{m0i}$ và bề rộng đê đỉnh B

3.1.3. Ảnh hưởng của chu kỳ sóng

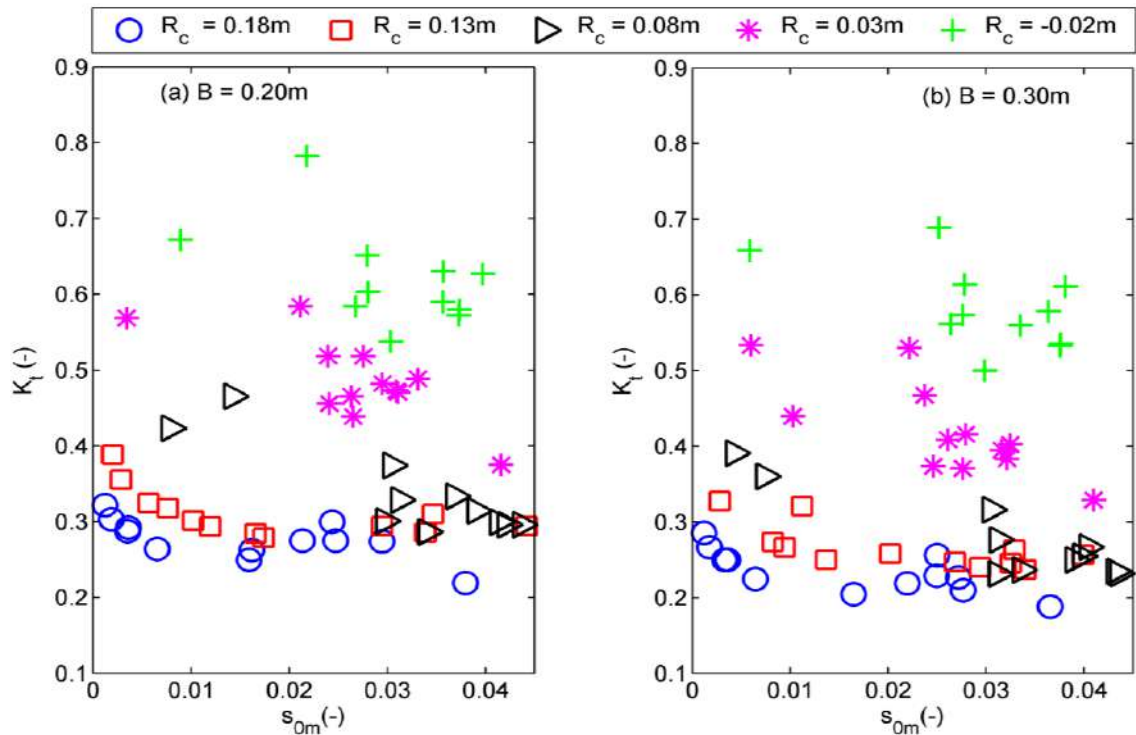
Với bài toán tương tác sóng-công trình nói chung thì chu kỳ sóng luôn đóng một vai trò quan trọng. Trong nghiên cứu này sóng lan truyền từ nước sâu vào đến bãi trước của rừng có độ sâu hạn chế đã trải qua các quá trình biến hình và tiêu tán năng lượng sóng ở nước nông, đặc biệt là quá trình sóng vỡ. Phổ sóng bị biến dạng mạnh mẽ với sự hình thành và phát triển của các sóng dài (tần số thấp), sóng ngắn bị tiêu hao rất nhanh và một phần năng lượng được chuyển dịch sang dải tần số thấp hơn của các con sóng dài. Càng vào phía sâu trong bờ thì phần năng lượng của các sóng dài càng trở nên quan trọng trong tổng năng lượng sóng. Thực tế này được quan sát thấy không chỉ từ các số liệu đo đạc hiện trường mà còn được tái hiện ở trong các thí nghiệm của nghiên cứu này (xem Hình 3-4). Có thể nhận thấy rằng đặc điểm chung của các phổ sóng

ở trên bãi trước rừng là dạng phổ dẹt, có thể có nhiều đỉnh. Do vậy việc sử dụng chu kỳ đỉnh phổ T_p làm tham số đại diện cho chu kỳ sóng không còn phù hợp. Vì lý do này trong nghiên cứu này chúng tôi sử dụng dạng chu kỳ trung bình đặc trưng phổ $T_{m-1,0}$. Đây là dạng chu kỳ đặc trưng cho sóng ở nước nông với sự nhân mạnh vai trò của thành phần sóng dài trong phổ sóng trong các bài toán về sóng tương tác với công trình [78][105].

Hình 3-4 thể hiện sự biến đổi phổ sóng sau khi truyền qua công trình ĐGS, có thể thấy năng lượng của các con sóng ngắn phần lớn bị tiêu tán, trong khi năng lượng sóng dài vẫn còn khá lớn. Trong quá trình truyền sóng vào khu vực bãi nông của rừng ngập mặn, các con sóng ngắn bị vỡ làm cho tầm quan trọng của sóng trọng lực bắt đầu tăng lên. Do đó, năng lượng sóng dài chiếm một phần lớn trong tổng năng lượng sóng tại khu vực này. Từ đó có thể thấy rằng sóng dài có ý nghĩa quan trọng trong quá trình nghiên cứu truyền sóng qua đê giảm sóng kết cấu xốp rỗng tại vùng rừng ngập mặn ven biển.



Hình 3-4. Phổ sóng tại các vị trí khác nhau ở trên bãi bồi: (a) Nước sâu WG1 (b) Trên bãi WG2 (c) Trước công trình WG3 (d) Sau công trình WG4



Hình 3-5. Ảnh hưởng của chu kỳ sóng đến hệ số truyền sóng

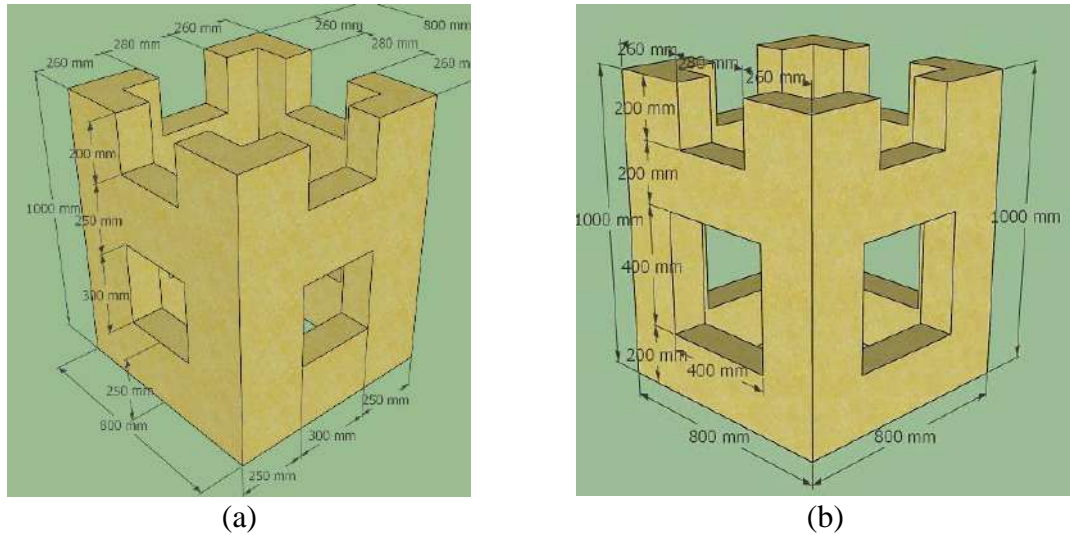
Trên Hình 3-5 trình bày kết quả phân tích sự phụ thuộc của hệ số truyền sóng K_t đối với chu kỳ sóng phản ánh thông qua độ dốc sóng biểu kiến s_{0m} ($= H_{m0,i}/L_{0m,i}$). Nhìn chung K_t có xu thế nghịch biến đối với s_{0m} , tức là đồng biến với chu kỳ sóng $T_{m-1,0}$ (sóng càng dài thì sóng truyền càng lớn). Trong trường hợp đỉnh đê nhô cao thì sự phụ thuộc này càng trở nên rõ ràng hơn (R_c lớn, $R_c \geq 0,03m$ ở Hình 3-5).

3.1.4. Ảnh hưởng của độ rỗng

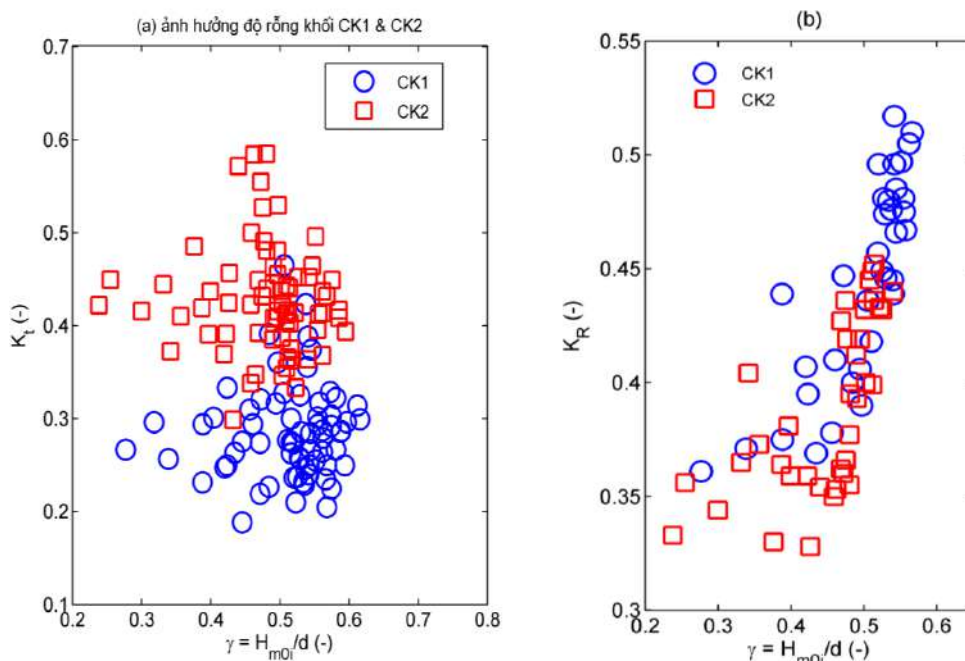
Độ rỗng của khối phủ hay của đê (độ rỗng khối) có ảnh hưởng lớn đến quá trình tương tác sóng-công trình, chi phối trực tiếp quá trình cân bằng năng lượng sóng qua công trình theo công thức (2.1) hay tức là ảnh hưởng tới hiệu quả tiêu hao năng lượng sóng của công trình và chiều cao sóng truyền phía sau đê.

Ở đây ảnh hưởng của sự thay đổi độ rỗng của đê được xem xét đến ở trường hợp là với loại cấu kiện CT3N-WIP1 có kích thước lỗ rỗng ở bốn mặt

cấu kiện khác nhau (Hình 3-6) tương ứng với độ rỗng khối trung bình của đê $n = 62\%$ (CK1) và $n = 66\%$ (CK2).



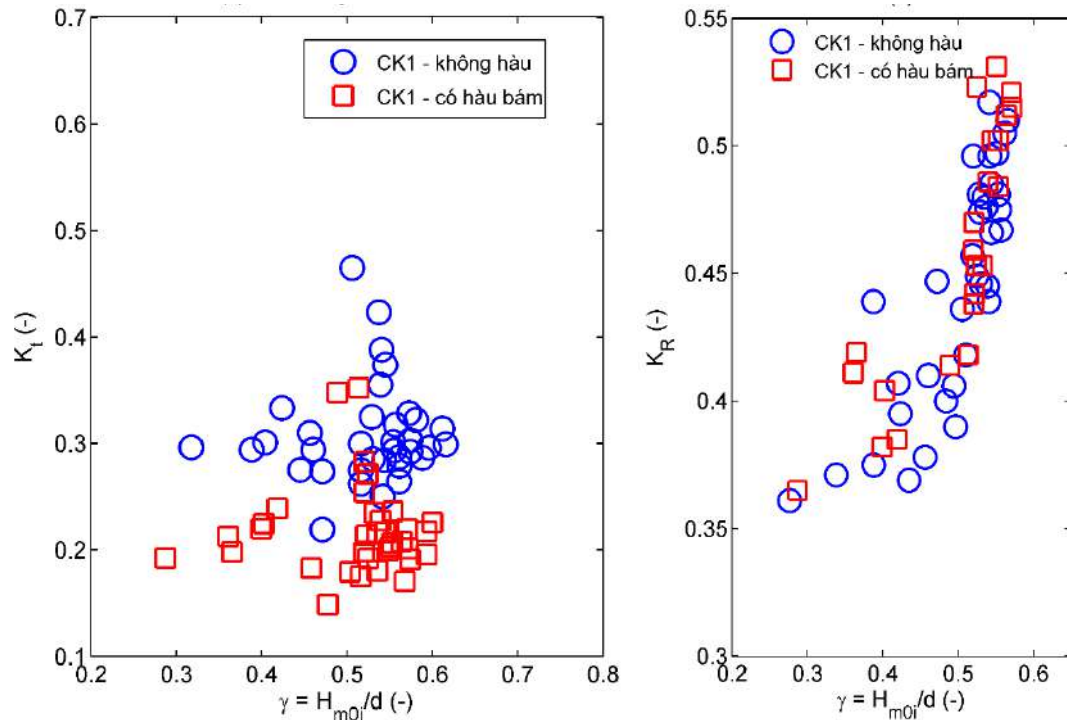
Hình 3-6. Minh họa CK1 (a) và CK2 (b)



Hình 3-7. Ảnh hưởng của độ rỗng đến hệ số truyền sóng qua đê và hệ số phản xạ giữa hai loại cấu kiện CK1 và CK2

Có thể nhận định chung rằng hệ số truyền sóng chịu sự ảnh hưởng lớn của độ rỗng đê, độ rỗng đê càng lớn thì hệ số truyền sóng qua đê càng tăng và ngược lại. Hệ số truyền sóng tăng từ $K_t = 0,20 \div 0,45$ lên $K_t = 0,30 \div 0,60$ khi chuyển

từ khối CK1 sang khối CK2 có độ rỗng lớn hơn (Hình 3-7a). Mặc dù có sự suy giảm mạnh về hệ số truyền sóng K_t , tuy nhiên hệ số phản xạ lại hầu như giảm không đáng kể (Hình 3-7b).



Hình 3-8. Ảnh hưởng của độ rỗng đến hệ số truyền sóng qua đê và hệ số phản xạ giữa cấu kiện CK1 khi không có và có hầu bảm

Kết quả thí nghiệm xem xét ảnh hưởng của độ rỗng khối phủ và của hầu bảm được thể hiện trên Hình 3-8. Lớp hầu bảm làm giảm đáng kể độ rỗng đê (và một phần ảnh hưởng thông qua làm tăng độ nhám của các khối xếp) đã kéo theo sự suy giảm của hệ số truyền sóng qua đê từ $K_t = 0,20 \div 0,45$ xuống còn $K_t = 0,15 \div 0,35$ (Hình 3-8a). Mặc dù có sự suy giảm mạnh về hệ số truyền sóng K_t , tuy nhiên hệ số phản xạ lại hầu như tăng không đáng kể (Hình 3-8b). Có thể suy ra rằng hiệu quả hấp thụ sóng của công trình tăng lên khi có hầu bảm (do các con hầu bảm làm gia tăng thể tích vật thể cản sóng trong khối xếp rỗng của đê). Việc duy trì một mật độ hầu bảm hợp lý trong các khối xếp của đê do vậy là có lợi xét về chức năng tiêu giảm sóng của công trình.

Một cách tổng quát, khi áp dụng cho một khu vực có điều kiện tự nhiên nhất định, hiệu quả giảm sóng của ĐGS sẽ phụ thuộc vào các tham số hình học của ĐGS như bề rộng ĐGS, chiều cao ĐGS và độ rộng ĐGS. Để đáp ứng yêu cầu về chức năng giảm sóng thì tùy theo điều kiện thực tế mà điều chỉnh các thông số nói trên của ĐGS để có thể đảm bảo ĐGS khi áp dụng đạt được hiệu quả như mong đợi. Với đặc tính linh hoạt trong các cách lắp ghép/bố trí ĐGS lắp ghép cấu kiện CT3N-WIP1, việc thay đổi các tham số hình học của ĐGS dạng này có thể nói là tương đối dễ dàng, điều này làm giảm chi phí đầu tư xây dựng, tránh gây lãng phí khi yêu cầu về chức năng giảm sóng thay đổi theo thời gian.

3.2. Sóng phản xạ

Sóng phản xạ là một trong những tham số phản ánh tính chất tương tác sóng và công trình, là chỉ số đánh giá quan trọng đối với công trình có chức năng hỗ trợ việc trồng tái sinh rừng. Hệ số phản xạ K_R là tham số cần thiết cho việc xác định chiều cao sóng tới trước và sau công trình ($H_{s,i}$ và $H_{s,t}$), dùng trong tính toán xác định hệ số truyền sóng K_t theo công thức biến đổi từ phương trình cân bằng năng lượng sóng:

$$H_{s,i} = \frac{H_{s,t}}{\sqrt{1+K_R^2}} \quad (3.1)$$

Với các số liệu đo đồng bộ sóng và dòng chảy, hệ số phản xạ K_R có thể được xác định theo phương pháp của Sheremet và cộng sự cho tất cả các trường hợp thí nghiệm [101]. Tương tự như đối với công trình đê chắn sóng nói chung, kết quả thí nghiệm và các quan sát cho thấy tính chất sóng phản xạ trước đê ở đây cũng có thể được chia thành hai trường hợp riêng biệt phụ thuộc vào chiều cao lưu không đỉnh đê so tương đối với chiều cao sóng tới $R_c/H_{m0,i}$ như sau:

- Trường hợp đê nhô cao (R_c/H_{m0} lớn): trong trường hợp này thì chiều cao sóng truyền phía sau đê là thành phần sóng truyền trực tiếp qua thân đê rộng mà không bao gồm thành phần sóng tràn vượt qua qua đỉnh đê. Hệ số phản xạ

do vậy ít chịu ảnh hưởng bởi cao trình đỉnh đê mà chủ yếu phụ thuộc vào khả năng hấp thụ sóng của bản thân công trình và tính chất của sóng tới phản ánh thông qua chỉ số sóng vỡ $\gamma = H_{s,i}/d$ (d là độ sâu nước trước công trình).

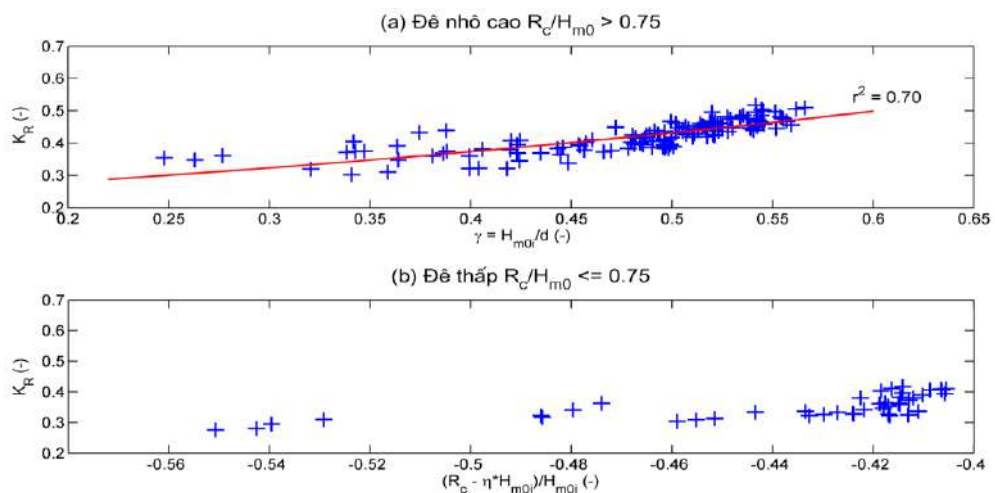
- Trường hợp đê thấp hoặc ngập nước (R_c/H_{m0} nhỏ hoặc mang giá trị âm): trong trường hợp này thì chiều cao sóng truyền phía sau đê bao gồm thành phần sóng truyền trực tiếp qua thân đê rộng và thành phần sóng tràn vượt qua qua đỉnh đê (chiếm ưu thế). Hệ số phản xạ do vậy chịu ảnh hưởng nhiều bởi chiều cao lưu không tương đối của đỉnh đê R_c/H_{m0} .

Chiều cao lưu không tương đối phân giới giữa hai trường hợp nêu trên được xác định theo kết quả phân tích xu thế phụ thuộc của hệ số phản xạ:

$$\left(\frac{R_c}{H_{m0}}\right)_{cr} = \eta = 0,75 \quad (3.2)$$

Có thể thấy rằng, khi đê nhô cao, hệ số phản xạ có xu thế tăng chậm theo quy luật hàm mũ đối với chỉ số sóng vỡ γ . Quy luật hàm mũ thường được sử dụng để miêu tả sóng phản xạ ở các công trình biển [122]:

$$K_R = a \cdot \exp(b \cdot \gamma) \quad (3.3)$$



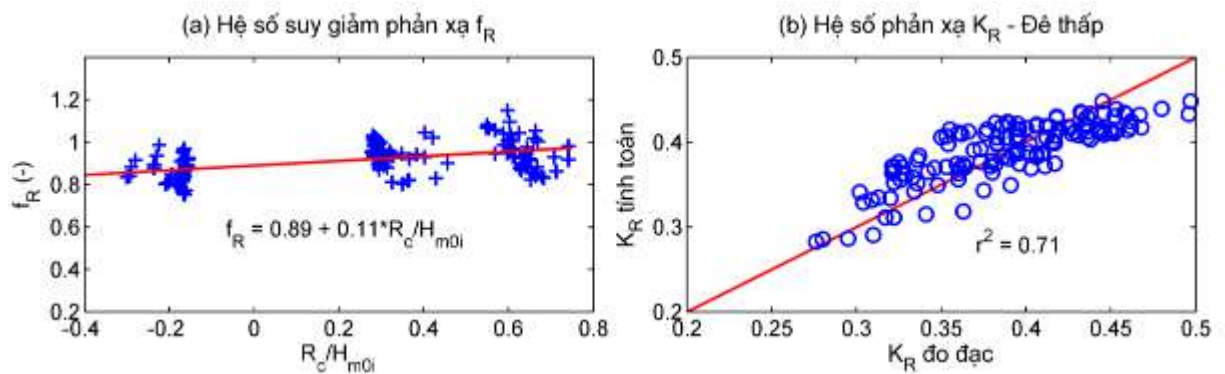
Hình 3-9. Số liệu thực nghiệm hệ số sóng phản xạ: (a) Đê nhô (b) Đê thấp

Từ kết quả phân tích hồi quy thực nghiệm (xem Hình 3-9a), công thức (3.3) cho trường hợp đê nhô cao có thể viết lại như sau:

$$K_R = 0,24 \cdot \exp(1,22 \cdot \gamma) \quad (3.4)$$

$$\frac{R_c}{H_{m0}} \geq 0,75$$

Phương trình (3.4) cho thấy khi sóng có chiều cao nhỏ so với độ sâu nước thì hệ số phản xạ tiệm cận giá trị $K_R = 0,24$.



Hình 3-10. Đê đỉnh thấp $R_c/H_{m0} \leq 0,50$: (a) Hệ số suy giảm sóng phản xạ f_R (b) So sánh (tính toán-thực đo) hệ số phản xạ

Với trường hợp đê thấp hoặc đê ngầm ($R_c/H_{m0} \leq 0,75$) thì hệ số phản xạ vẫn được xác định theo công thức (3.4) nhưng được điều chỉnh với một hệ số suy giảm sóng phản xạ do ảnh hưởng của đỉnh đê thấp (xem Hình 3-10a):

$$K_R^L = f_R \cdot K_R = 0,24 \cdot \exp(1,22 \cdot \gamma) \cdot f_R \quad (3.5)$$

$$f_R = 0,89 + 0,11 \cdot \frac{R_c}{H_{m0i}} \quad (3.6)$$

$$\frac{R_c}{H_{m0i}} \leq 0,75$$

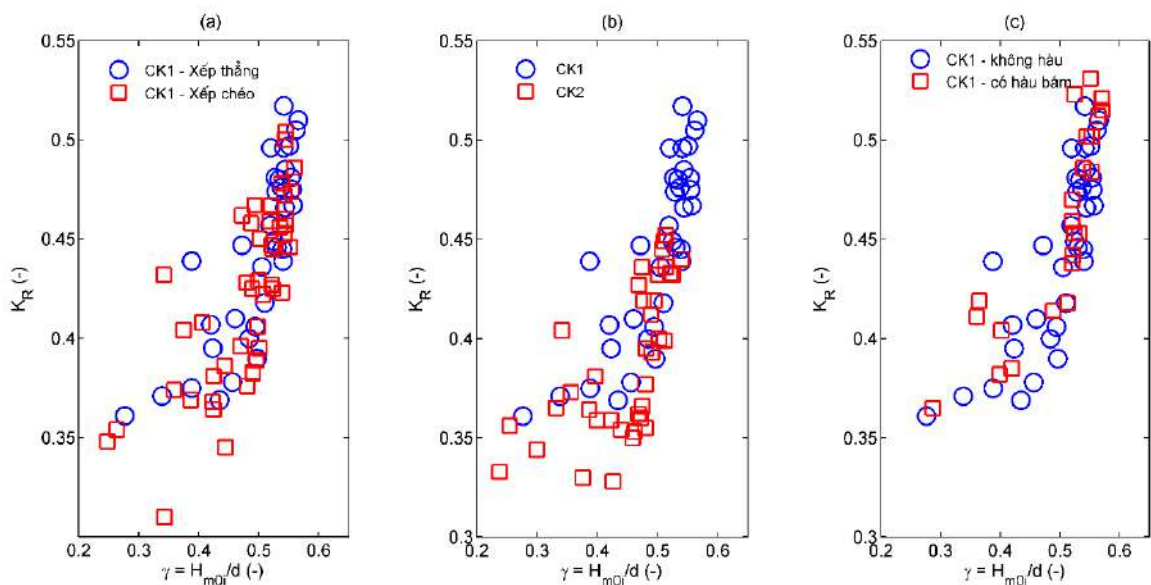
Trong đó:

$f_R (< 1,0)$ là hệ số suy giảm sóng phản xạ,

K_R^L là hệ số phản xạ trong trường hợp đỉnh đê thấp,

K_R là hệ số phản xạ xác định theo công thức (3.4).

Trong công thức (3.6) chiều cao lưu không R_c có thể mang giá trị âm tương ứng với trường hợp đỉnh đê ngập dưới mực nước tính toán. Có thể thấy rằng khi đê thấp thì sóng phản xạ giảm so với trường hợp đê cao, và giảm theo xu thế tuyến tính với chiều cao lưu không tương đối R_c/H_{m0i} . Ứng với $R_c/H_{m0i} = 0,75$ thì $f_R \approx 1,0$ theo công thức (3.6). Kết quả so sánh về hệ số phản xạ giữa số liệu thực đo và tính toán theo công thức (3.6) được thể hiện trên Hình 3-10b có sự phù hợp khá tốt ($r^2 = 0,71$).



Hình 3-11. So sánh hệ số phản xạ: (a) Thay đổi cách xếp (b) Thay đổi độ rộng (c) Có và không có hào bảm

Hình 3-11 cho thấy so sánh về hệ số phản xạ giữa các trường hợp xếp thẳng và xếp chéo (với cùng loại cấu kiện CK1, Hình 3-11a), giữa hai dạng cấu kiện có độ rộng khác nhau (CK1 và CK2 xếp thẳng, Hình 3-11b) trong cùng một điều kiện thủy lực (xem thêm Phụ lục A về các phương án xếp mô hình đê). Có thể thấy rằng với cách xếp chéo (xoay đi 45°) làm tăng tính rối và thể tích khối xếp rộng của thân đê dẫn tới tăng khả năng hấp thụ sóng do vậy hệ số phản xạ nhỏ hơn so với trường hợp xếp thẳng. Chênh lệch về hệ số phản xạ rất đáng kể giữa hai trường hợp đê với CK1 và CK2. Khối CK2 có độ mở vách

bên lớn kéo theo thể tích rỗng của đê lớn, thành phần sóng truyền qua thân đê lớn do vậy hệ số phản xạ giảm đi đáng kể so với trường hợp đê với dạng cấu kiện CK1. Tuy nhiên vì yêu cầu cấu tạo và sử dụng, khối CK2 quá thanh mảnh có thể dễ bị mất ổn định kết cấu (nứt, gãy) khi áp dụng trong thực tiễn do vậy trước mắt tạm thời chưa được nghiên cứu một cách chi tiết ở đây. Về sau này, các số liệu thí nghiệm được đề cập tới trong báo cáo này cơ bản được lấy từ các thí nghiệm đối với dạng khối CK1. Khi có hào bám sau một thời gian công trình vận hành sóng phản xạ sẽ lớn hơn so với trạng thái ban đầu chưa có hào bám (trên đê với khối xếp CK1), tuy nhiên sự chênh lệch này là không đáng kể.

3.3. Kết quả xây dựng phương pháp tính toán truyền sóng qua đê giảm sóng lắp ghép cấu kiện CT3N-WIP1

Từ phân tích thứ nguyên, nhằm xét đến ảnh hưởng của độ rỗng của đê một cách trực tiếp, hệ số truyền sóng có dạng tổng quát như sau:

$$K_t = a_1 \cdot \min\left(\eta, \frac{R_c}{H_{m0i}}\right) + a_2 \left(P_f \cdot \frac{B_f}{D}\right)^{c_1} \left[1 - \exp\left(-\frac{c_2}{\sqrt{s_{0m}}}\right)\right] \quad (3.7)$$

$$P_f = \frac{(1-n)^2}{n^3} \quad (3.8)$$

Trong đó:

B_f là bề rộng trung bình của đê,

n là độ rỗng khối của thân đê,

P_f là tham số đặc trưng cho độ thấm của đê,

η là chiều cao lưu không tương đối của đỉnh đê phân giới giữa hai trường hợp đê cao và đê thấp tương tự như đối với sóng phản xạ,

D là độ sâu nước tại vị trí đê,

$R_c/H_{m0,i}$ là chiều cao lưu không tương đối của đỉnh đê,

B_f/D là bề rộng tương đối của đê,

s_{0m} là độ dốc sóng,

a_1 và a_2 là các hệ số có giá trị được xác định bằng phương pháp hồi quy dựa trên bộ số liệu thí nghiệm,

c_1 và c_2 là các số mũ có giá trị được xác định bằng phương pháp dò tìm theo các tổ hợp để công thức (3.7) phù hợp nhất với bộ số liệu thí nghiệm. Ứng với mỗi giá trị c_2 sẽ có một chuỗi các giá trị c_1 được giả thiết để phân tích hồi quy và chọn cặp giá trị có hệ số tương quan (r^2) lớn nhất.

Bề rộng trung bình B_f của đê được lấy trung bình của bề rộng đỉnh và bề rộng đáy đê như sau, bao gồm cho cả trường hợp đê xếp chéo (xem Hình 3-1):

$$B_f = B + \frac{(n_x - 1)}{2} \cdot b \quad (3.9)$$

với b là bề rộng của một khối xếp theo phương truyền sóng, n_x là số lớp xếp chồng đứng tạo nên chiều cao đê.

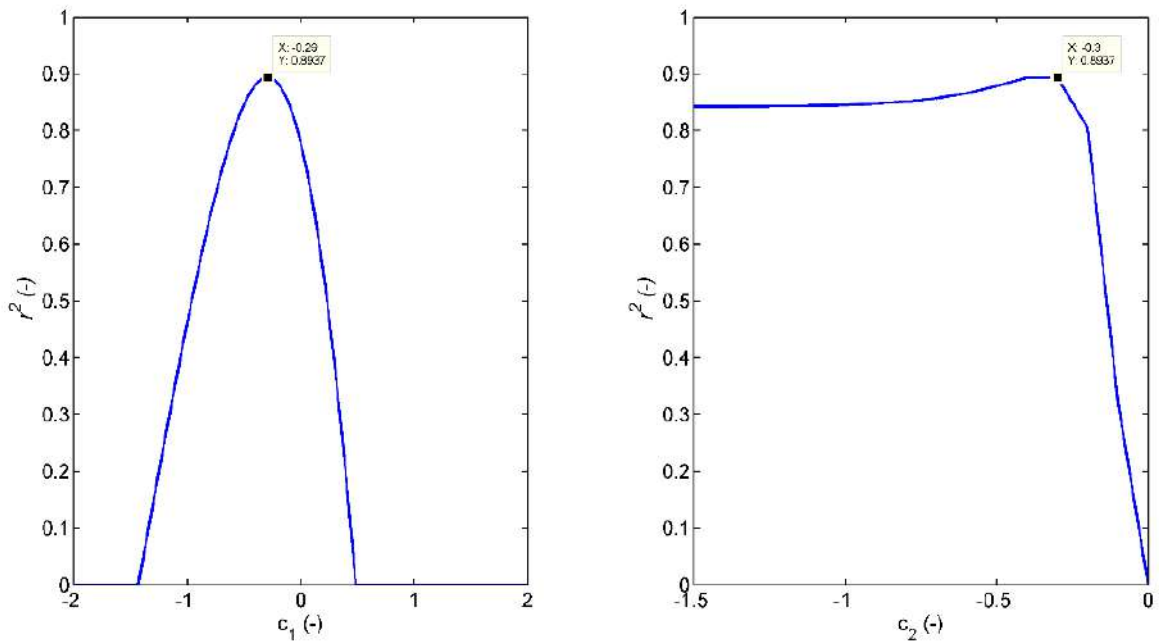
Lưu ý tham số ($\eta, R_c/H_{m0i}$) trong công thức (3.7) có nghĩa là, khi đỉnh đê vượt cao quá ngưỡng của sóng tràn thì sự phụ thuộc của K_t vào R_c/H_{m0i} trở nên không đổi và được giới hạn bằng ngưỡng phân giới $\eta = 0,75$.

Kết quả xác định các số mũ c_1 và c_2 được trình bày trên Hình 3-12 trong đó giá trị các số mũ được xác định tương ứng với vị trí sự phối hợp của chúng đem lại mức độ phù hợp nhất của mô hình với các số liệu thực nghiệm ($c_1 = -0,29$ và $c_2 = -0,30$ đem lại hệ số hồi quy r^2 lớn nhất, $r^2 = 0,89$).

Kết quả xác định các hệ số $a_1 = -0,30$ và $a_2 = 0,63$. Trong đó a_1 và a_2 là các hệ số được xác định bằng phương pháp hồi quy thực nghiệm với cặp số số mũ $c_1 = -0,29$ và $c_2 = -0,30$. Kết quả phân tích hồi quy giá trị trung bình của các hệ số là $a_1 = -0,30$ [$-0,32 \div -0,29$] và $a_2 = 0,63$ [$0,62 \div 0,64$].

Cuối cùng, hệ số truyền sóng qua đê giảm sóng lắp ghép cấu kiện CT3N-WIP1 được xác định bằng công thức (3.10).

$$K_t = -0,30 \cdot \min\left(0,75, \frac{R_c}{H_{m0,i}}\right) + 0,63 \left(P_f \cdot \frac{B_f}{D}\right)^{-0,29} \left[1 - \exp\left(-\frac{0,30}{\sqrt{s_{0m}}}\right)\right] \quad (3.10)$$

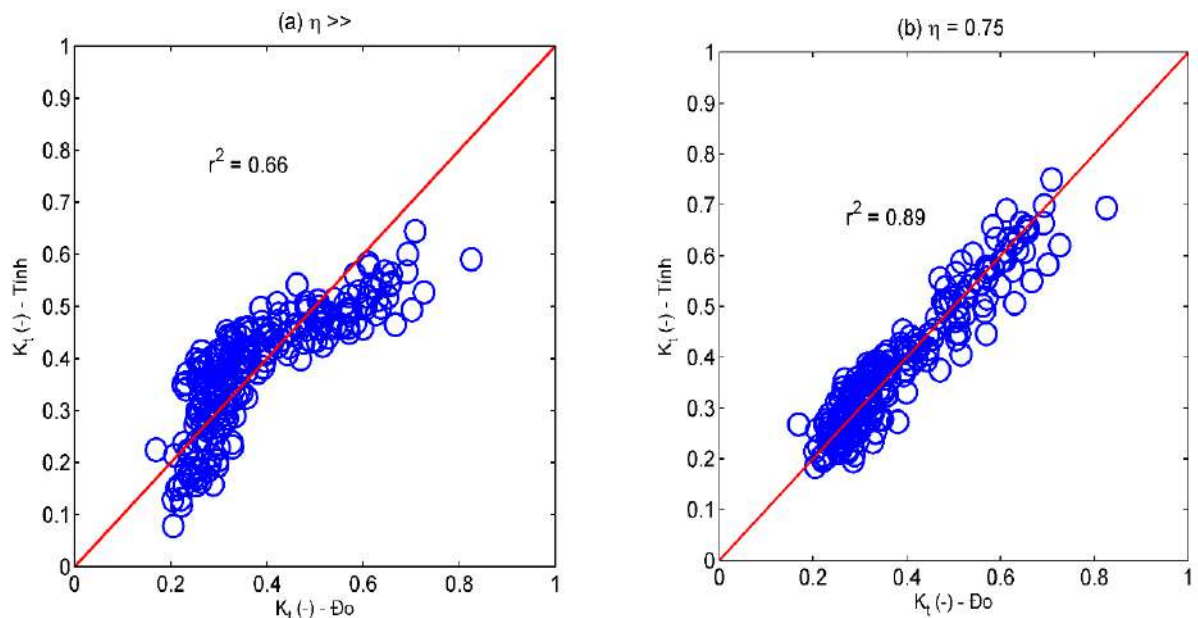


Hình 3-12. Xác định các số mũ c_1 và c_2

Hình 3-13 trình bày kết quả phân tích hồi quy của công thức (3.7) với các số liệu thực nghiệm cho hai trường hợp không xét (Hình 3-13a) và xét tới (Hình 3-13b) ảnh hưởng khi cao trình đỉnh đê vượt qua ngưỡng giới hạn sóng tràn phản ánh qua chiều cao lưu không tương đối phân giới $R_c/H_{m0} = \eta = 0,75$. Kết quả phân tích hồi quy với nhiều giá trị η khác nhau cho thấy $\eta = 0,75$, cũng là ngưỡng đã quan sát thấy trong quá trình phân tích sóng phản xạ, đem lại kết quả tốt nhất. Rõ ràng là khi xét tới ảnh hưởng của ngưỡng phân giới sóng tràn thì mô hình đã phản ánh sát hơn với bản chất của sóng truyền và do vậy cho kết quả phù hợp rất tốt với các số liệu thực nghiệm ($r^2 = 0,89$).

Khi so sánh công thức (3.10) với công thức tính toán hệ số truyền sóng qua hàng rào tre có thể thấy hầu hết các hệ số thực nghiệm và số mũ trong công

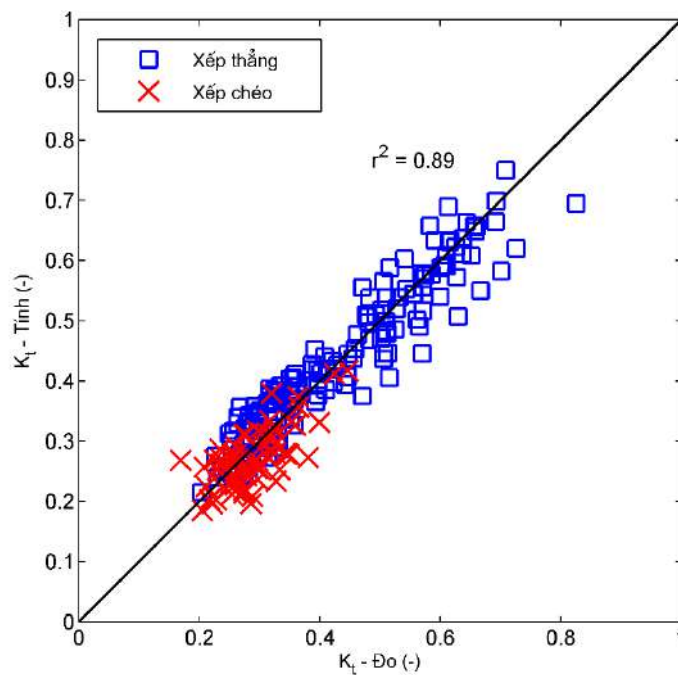
thức đều tương đồng về độ lớn, duy nhất có sự khác biệt rất lớn đó là mức độ ảnh hưởng của chiều cao đê được phản ánh thông qua chiều cao lưu không tương đối R_c/H_{m0} [106]. Đối với công trình đê khối xếp xem xét ở đây thì hệ số ảnh hưởng của R_c/H_{m0} là $a_1 = -0,30$, lớn gấp 5 lần so với hàng rào tre giảm sóng ($a_1 = -0,06$). Tức là trong cùng một điều kiện về thủy lực cũng như là kích thước hình học (chiều cao, bề rộng) và độ rộng, thì đê khối xếp CT3N-WIP1 sẽ có hiệu quả giảm sóng lớn hơn gấp nhiều lần so với hàng rào tre. Về mặt bản chất điều này được lý giải là do khả năng hấp thụ sóng (tiêu hao năng lượng sóng) của đê khối xếp cao hơn, được đem lại do môi trường xếp rộng có độ cứng lớn.



Hình 3-13. Kết quả hồi quy so sánh với số liệu thực nghiệm: (a) khi không xét chiều cao lưu không tương đối phân giới η ; (b) khi xét $\eta = 0,75$

Công thức (3.10) được xây dựng dựa trên bộ số liệu với khối xếp CK1 (áp dụng cho cả xếp thẳng và xếp chéo) do dạng khối này được khuyến nghị sử dụng trong thực tế. Sự thống nhất chung của số liệu thực nghiệm ở cả hai trường hợp này với công thức (3.10) như thể hiện trên Hình 3-15 cho thấy việc kể tới ảnh hưởng khi cấu kiện xếp chéo 45° thông qua sự gia tăng bề rộng hữu ích

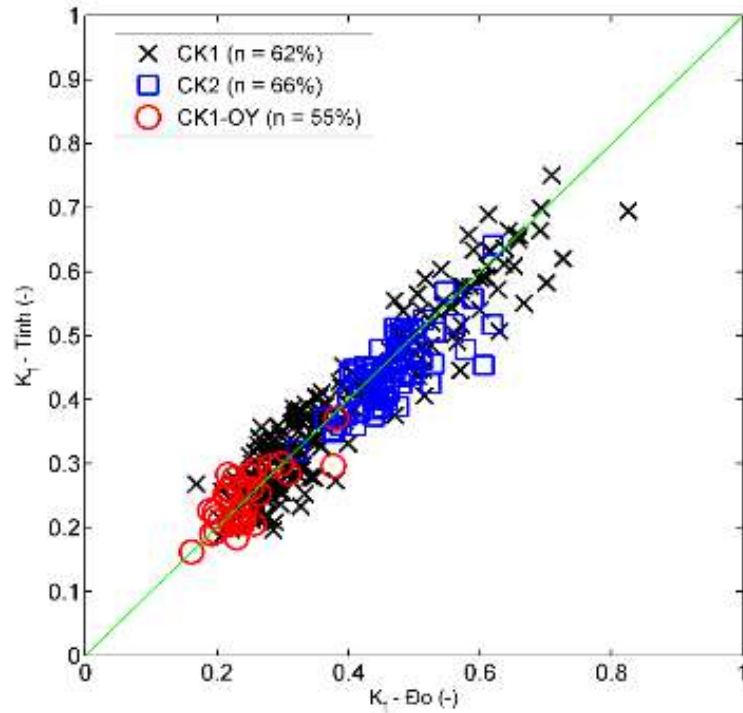
của đê so với trường hợp xếp thẳng ($B' = B \times \sqrt{2}$, Hình 3-1) tuy đơn giản nhưng vẫn phù hợp và đảm bảo độ tin cậy. Do đó, công thức (3.10) mang tính tổng quát khi có thể xét tới các biến thể khác của đê khối xếp CT3N-WIP1 mà dẫn tới sự thay đổi của độ rộng đê như thay đổi cách xếp, sử dụng khối xếp có độ rộng khác, hoặc thậm chí là khi độ rộng của công trình bị giảm dần theo thời gian do sự sinh trưởng của hà và hào bám. Để kiểm chứng điều này NCS sử dụng công thức (3.10) để tính toán hệ số truyền sóng K_t và so sánh với số liệu thực nghiệm cho các trường hợp đê có độ rộng khác nhau, tức là với khối xếp CK2 ($n = 66\%$) và khi có hào bám CK1-OY ($n = 55\%$). So sánh giữa kết quả tính toán và các số liệu thực nghiệm được thể hiện trên Hình 3-15 cho thấy có sự phù hợp rất tốt giữa các trường hợp này khi áp dụng công thức (3.10).



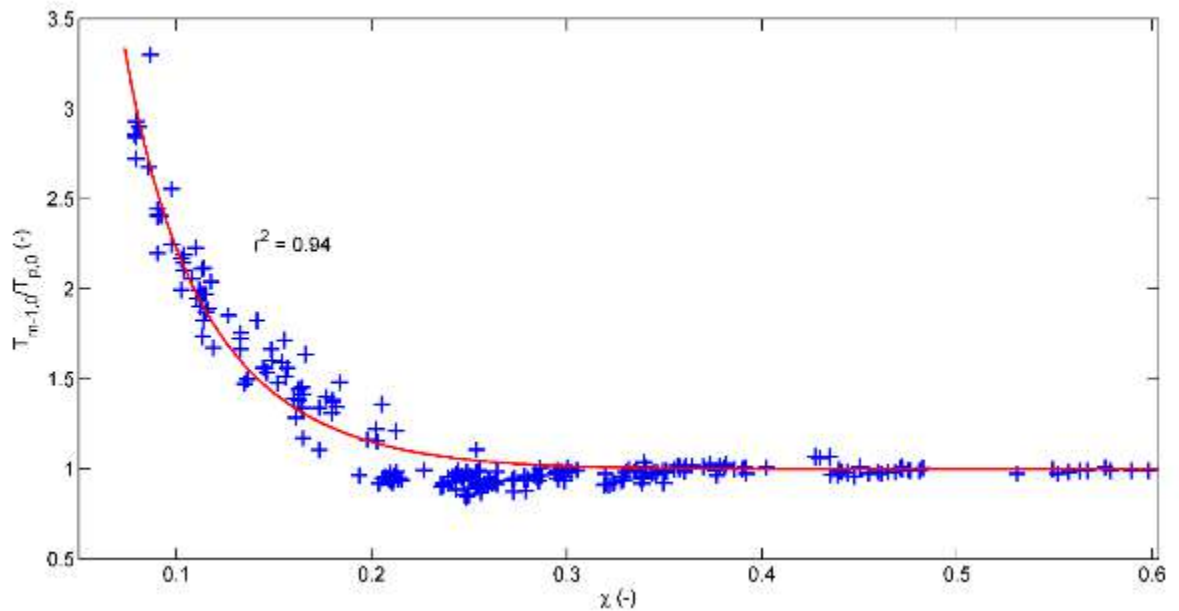
Hình 3-14. Kết quả hồi quy thực nghiệm: xếp thẳng và xếp chéo

Kết quả so sánh khẳng định rằng công thức (3.10) phù hợp để xác định hệ số truyền sóng qua ĐGS lắp ghép cấu kiện CT3N-WIP1, mặc dù được phát triển cơ bản dựa trên dạng khối CK1, nhưng có thể được áp dụng cho trường

hợp mở rộng khi cấu kiện CT3N-WIP1 có sự thay đổi về độ rỗng khối thiết kế (Hình 3-15).



Hình 3-15. So sánh kết quả hệ số truyền sóng khi đê có sự thay đổi độ rỗng



Hình 3-16. Quan hệ giữa chu kỳ đặc trưng phổ $T_{m-1,0}$ và độ nông của bãi

Để sử dụng s_{0m} trong tính toán sóng truyền với công thức (3.10) chúng ta cần ước tính được chu kỳ đặc trưng phổ $T_{m-1,0}$ ở vị trí trước đê. Chu kỳ này có ảnh hưởng quan trọng đến kết quả tính toán sóng truyền qua đê và có thể được ước tính dựa trên các công thức thực nghiệm, phụ thuộc vào độ nông của bãi và chu kỳ của sóng tới [81][105]. Tương tự trong nghiên cứu này liên hệ giữa $T_{m-1,0}$ với độ nông của bãi trước rừng ngập mặn χ cũng được rút ra như sau (xem thêm kết quả phân tích hồi quy trên Hình 3-16):

$$\begin{aligned}\frac{T_{m-1,0}}{T_{p,0}} &= \frac{1}{\tanh(\chi^{1.54})} \\ \chi &= \frac{2\pi D}{H_{m0,0}} \sqrt{s_{0p}} \\ s_{0p} &= \frac{H_{m0,i}}{L_{0p}} = \frac{2\pi H_{m0,i}}{gT_{p,0}^2}\end{aligned}\quad (3.11)$$

Trong đó:

$T_{m-1,0}$ là chu kỳ đặc trưng phổ tại vị trí công trình,

$T_{p,0}$ là chu kỳ đỉnh phổ của sóng tới ở nước sâu,

χ là độ nông của bãi trước rừng so tương đối với sóng ở nước sâu (ở đây χ càng nhỏ thì bãi càng nông),

$H_{m0,0}$ là chiều cao sóng tới ở nước sâu,

s_{0p} là độ dốc sóng biểu kiến dựa trên chiều cao sóng tới tại vị trí công trình $H_{m0,i}$ và chu kỳ đỉnh phổ của sóng tới ở nước sâu.

Kết quả thể hiện trên Hình 3-16 cho thấy khi bãi rất nông, $\chi < 0,15$, thì chu kỳ $T_{m-1,0}$ tại vị trí trước đê giảm sóng có thể lớn gấp từ 1,5 đến 3,0 chu kỳ đỉnh phổ $T_{p,0}$ của sóng tới ở nước sâu. Trái lại với bãi không nông, $\chi > 0,30$, thì chu kỳ $T_{m-1,0}$ hầu như không thay đổi so với chu kỳ đỉnh phổ của sóng ở nước sâu T_p .

3.4. Ứng dụng kết quả nghiên cứu bố trí mặt cắt thử nghiệm

Công thức thực nghiệm (3.10) đã được xây dựng có dạng phi thứ nguyên. Phạm vi áp dụng của các công thức này chính là khoảng biến thiên tương đối của các tham số chi phối trong thí nghiệm mô hình vật lý.

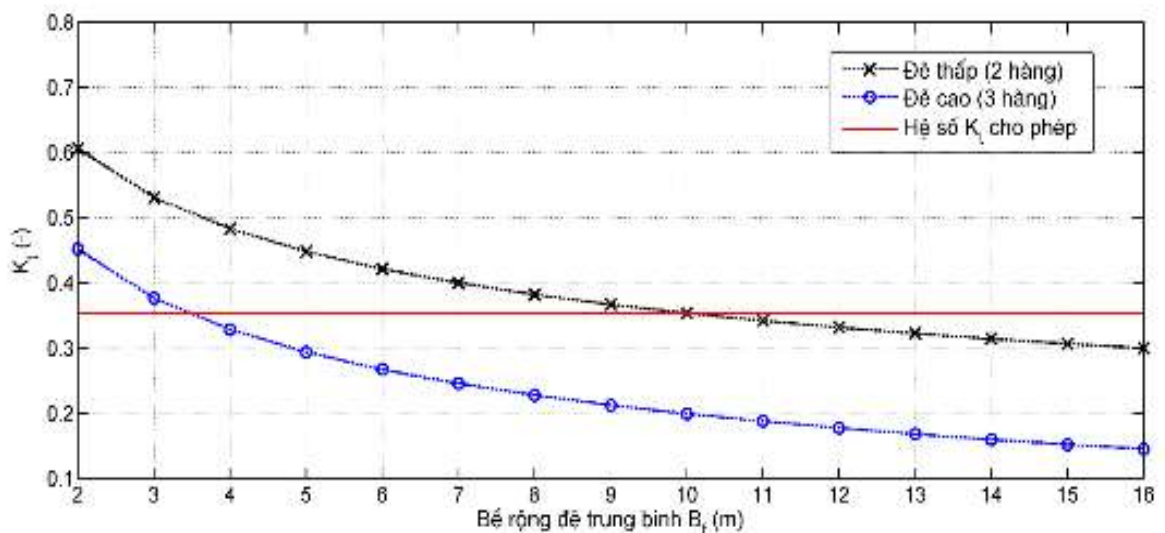
Phần này trình bày một ví dụ áp dụng với mục đích minh họa làm rõ cách thức áp dụng các kết quả của nghiên cứu cho việc tính toán và lựa chọn mặt cắt thiết kế của ĐGS lắp ghép cấu kiện CT3N-WIP1, đảm bảo chức năng giảm sóng theo yêu cầu. Các số liệu đầu vào cho tính toán về tham số sóng và mực nước (độ sâu) tiêu biểu cho vùng biển tây Cà Mau như thể hiện ở trong Bảng 3-1.

Bảng 3-1. Phạm vi áp dụng của công thức thực nghiệm

Tham số	Phạm vi	Ghi chú
Chiều cao sóng ở nước sâu $H_{m0,0}$ (m)	0,7 ÷ 2,0	Đặc trưng sóng gió mùa tới trước công trình
Chu kỳ sóng tới nước sâu T_p (s)	3,0 ÷ 7,0	
Chiều cao sóng tới trước công trình H_{m0i} (m)	0,50 ÷ 1,50	
Độ dốc sóng s_{0p} (-)	0,019 ÷ 0,053	
Chiều cao lưu không tương đối của đỉnh đê R_c/H_{m0} (-)	-0,30 ÷ 3,10	Đặc trưng cấu tạo hình học của công trình
Chỉ số sóng vỡ $\gamma = H_{m0i}/D$ (-)	0,24 ÷ 0,64	
Bề rộng đỉnh đê tương đối B/D (-)	0,80 ÷ 2,70	
Bề rộng đỉnh đê tương đối B/H_{m0} (-)	1,37 ÷ 7,60	
Số hàng xếp trên đỉnh đê (chiều rộng)	≥ 2	Đặc trưng cấu tạo kết cấu của công trình
Số hàng xếp chồng đứng (chiều cao)	≥ 2	
Hình thức xếp	Xếp thẳng, xếp chéo 45°	
Độ rỗng khối của đê n (-)	0,55 ÷ 0,66	

Với độ sâu nước không quá lớn, ở đây có thể lựa chọn 2 phương án chiều cao đê: đê đỉnh cao với 3 hàng xếp chồng (đê cao 2,60m) và đê đỉnh thấp với 2 hàng xếp chồng (đê cao 1,80m). Sau đó bề rộng đê được xác định căn cứ vào yêu cầu giảm sóng phía sau đê, ví dụ ở đây là $H_{m0,t} \leq 0,30\text{m}$ hay hệ số truyền sóng qua đê cho phép $[K_t] \leq 0,35$. Để tiện cho việc lựa chọn bề rộng đê theo những điều kiện khác nhau, chúng ta sẽ xây dựng biểu đồ quan hệ giữa hệ số truyền sóng và bề rộng đê trung bình ($K_t \sim B_f$). Trình tự tính toán được thực hiện như sau:

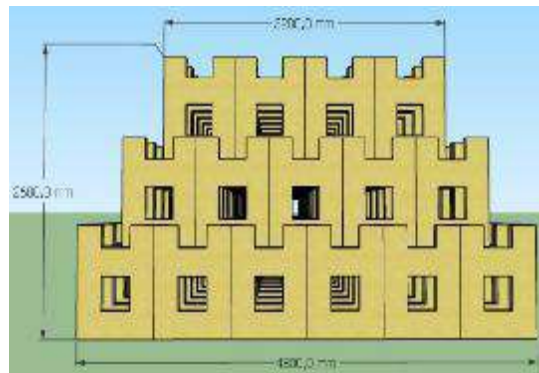
- Xác định chu kỳ đặc trưng phổ $T_{m-1,0}$ của sóng tới tại vị trí công trình theo công thức (3.10);
- Đánh giá sóng phản xạ K_R trước đê theo công thức (3.5) và (3.6);
- Giả thiết các bề rộng đê trung bình biến đổi trong khoảng $B_f = (2 \div 16)\text{m}$, tính toán xác định các giá trị hệ số truyền sóng K_t tương ứng theo công thức (3.10);
- Vẽ biểu đồ quan hệ ($K_t \sim B_f$).



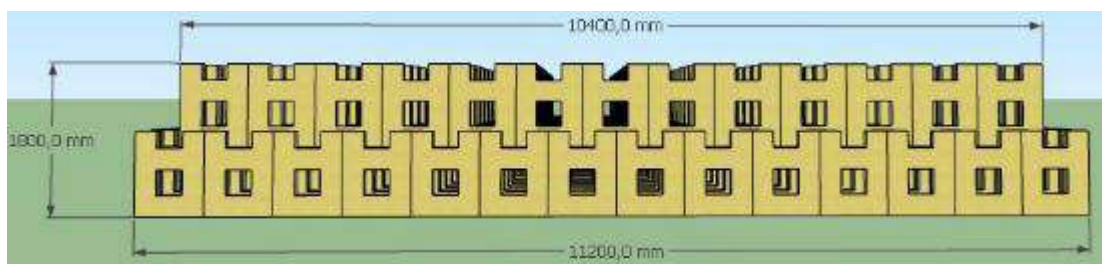
Hình 3-17. Kết quả quan hệ ($K_t \sim B_f$) cho trường hợp đê đỉnh cao và đê đỉnh thấp

Kết quả từ biểu đồ quan hệ ($K_t \sim B_f$) thể hiện trên Hình 3-17 cho thấy để đảm bảo yêu cầu giảm sóng thì yêu cầu chung về bề rộng đê trung bình sẽ là $B_f \geq 3,5\text{m}$ với đê cao và $B_f \geq 10\text{m}$ với đê đỉnh thấp.

Từ kích thước hình học của khối xếp thẳng với bề rộng của một khối là $b = 0,80\text{m}$ chúng ta có thể suy ra số hàng khối xếp trên đỉnh đê theo công thức (3.10): $B \geq 2,7\text{m}$ với đê đỉnh cao hoặc $B \geq 9,6\text{m}$ với đê đỉnh thấp. Tương ứng chúng ta có thể chọn đê cao với 4 hàng xếp thẳng trên đỉnh ($B = 3,2\text{m}$, $B_f = 4,0\text{m}$) hoặc đê thấp với 13 hàng xếp thẳng trên đỉnh ($B = 10,4\text{m}$, $B_f = 10,8\text{m}$). Tổng số khối xếp trên một mặt cắt ngang đơn vị của đê xếp thẳng tương ứng sẽ là 15 khối với đê cao và 27 khối xếp với đê đỉnh thấp (Hình 3-18).



(a)



(b)

Hình 3-18. Áp dụng bố trí mặt cắt ĐGS trong trường hợp đê cao (a) và đê thấp (b)

Tương tự khi đê giảm sóng với cấu kiện xếp chéo 45° thì $b = 0,80 \times \sqrt{2} = 1,13\text{m}$, suy ra $B \geq 2,37\text{m}$ với đê đỉnh cao hoặc $B \geq 9,44\text{m}$ với đê đỉnh thấp.

Tương ứng ta có thể chọn đê cao với 3 hàng xếp chéo trên đỉnh ($B = 3,39\text{m}$ và $B_f = 4,52\text{m}$) hoặc đê thấp với 9 hàng xếp chéo trên đỉnh ($B = 10,17\text{m}$ và $B_f = 10,74\text{m}$). Tổng số trên một mặt cắt ngang đê đơn vị của đê xếp chéo tương ứng sẽ là 12 khối với đê cao và 19 khối xếp với đê đỉnh thấp (Bảng 3-2).

Rõ ràng đê đỉnh cao và xếp chéo sẽ có hiệu quả kinh tế cao hơn so với đê đỉnh thấp và xếp thẳng. Tuy nhiên đê đỉnh thấp lại có ưu thế hơn về khả năng ổn định địa kỹ thuật trên nền đất yếu, khả năng trao đổi bùn cát qua đê tốt hơn, và đặc biệt có thể áp dụng cho trường hợp vùng giảm sóng gây bồi bao gồm nhiều tuyến và đê tuyến đầu không yêu cầu đê giảm sóng quá nhiều và cho phép nhiều bùn cát đi qua.

Bảng 3-2. Ví dụ áp dụng tính toán cho khu vực biển Tây Cà Mau

Tham số	Giá trị	Ghi chú
Số liệu đầu vào		
Chiều cao sóng ở nước sâu $H_{m0,0}$ (m)	1,50	Sóng gió mùa Tây Nam
Chu kỳ sóng tới nước sâu T_p (s)	6,60	
Độ sâu nước tại công trình D (m)	1,60	Mực nước triều lớn nhất năm
Chiều cao sóng tới trước công trình H_{m0i} (m)	0,85	Tính toán lan truyền sóng
Độ rỗng khối của đê n (-)	0,62	Cấu kiện CT3N-WIP1 (CK1)
Yêu cầu giảm sóng: chiều cao sóng truyền phía sau đê $H_{m0,t}$ (m)	$\leq 0,30$	Yêu cầu giảm sóng để cây ngập mặn phát triển
Hệ số truyền sóng cho phép $[K_t]$ (-)	$\leq 0,35$	$= H_{m0,t}/H_{m0i}$
PA1 - đê đỉnh cao, xếp thẳng		
Chiều cao đê (m)	2,60	3 hàng xếp chồng
Bề rộng đỉnh đê B (m)	3,2	4 hàng xếp ngang
Bề rộng trung bình B_f (m)	4,0	Công thức 3.9

Tham số	Giá trị	Ghi chú
Hệ số phản xạ K_R (-)	0,46	Công thức 3.5
Chiều cao sóng phía sau đê $H_{m0,t}$ (m)	0,28	Công thức 3.10
Số khối xếp trên mặt cắt ngang (khối)	15	
<i>PA2 - đê đỉnh cao, xếp chéo</i>		
Chiều cao đê (m)	2,70	
Bề rộng đỉnh đê B (m)	3,39	3 hàng xếp ngang
Bề rộng trung bình B_f (m)	4,52	Công thức 3.9
Hệ số phản xạ K_R (-)	0,46	Công thức 3.5
Chiều cao sóng phía sau đê $H_{m0,t}$ (m)	0,26	Công thức 3.10
Số khối xếp trên mặt cắt ngang (khối)	12	
<i>PA3 - đê đỉnh thấp/ngầm, xếp thẳng</i>		
Chiều cao đê (m)	1,80	2 hàng xếp chồng
Bề rộng đỉnh đê B (m)	10,4	13 hàng xếp ngang
Bề rộng trung bình B_f (m)	10,8	Công thức 3.9
Hệ số phản xạ K_R (-)	0,42	Công thức 3.5
Chiều cao sóng phía sau đê $H_{m0,t}$ (m)	0,29	Công thức 3.10
Số khối xếp trên mặt cắt ngang (khối)	27	
<i>PA4 - đê đỉnh thấp/ngầm, xếp chéo</i>		
Chiều cao đê (m)	1,80	2 hàng xếp chồng
Bề rộng đỉnh đê B (m)	10,17	9 hàng xếp ngang
Bề rộng trung bình B_f (m)	10,74	Công thức 3.9
Hệ số phản xạ K_R (-)	0,42	Công thức 3.5
Chiều cao sóng phía sau đê $H_{m0,t}$ (m)	0,29	Công thức 3.10
Số khối xếp trên mặt cắt ngang (khối)	19	

3.5. Kết luận chương 3

Chương 3 đã tập trung nghiên cứu hiệu quả giảm sóng của đê giảm sóng (ĐGS) lắp ghép cấu kiện CT3N-WIP1 thông qua phân tích kết quả thí nghiệm mô hình vật lý và xây dựng phương pháp tính toán truyền sóng qua ĐGS. Các nội dung chính và kết quả đạt được bao gồm:

- Phân tích xu thế và mức độ ảnh hưởng của các tham số chi phối hiệu quả giảm sóng:

+ Chiều cao lưu không đỉnh đê tương đối (R_c/H_{m0}): có xu thế nghịch biến với hệ số truyền sóng K_t . Hệ số K_t giảm nhanh khi R_c/H_{m0} tăng đến giới hạn $R_c/H_{m0} \leq (0,75 \div 1,0)$. Khi đỉnh đê vượt cao so với mực nước, $R_c/H_{m0} > (0,75 \div 1,0)$, thì K_t giảm rất chậm và trở nên ít phụ thuộc vào tỷ số R_c/H_{m0} do lúc này không còn thành phần sóng tràn vượt qua đỉnh đê mà chủ yếu là thành phần sóng truyền qua thân đê.

+ Bề rộng tương đối của ĐGS (B_f/D): có ảnh hưởng lớn (sau chiều cao lưu không tương đối) và có xu thế nghịch biến với hệ số truyền sóng K_t . Đặc biệt rõ rệt khi chiều cao lưu không lớn.

+ Độ dốc sóng (s_{0m}): có xu thế nghịch biến với hệ số truyền sóng K_t cho thấy độ dốc sóng lớn sẽ làm tăng hiệu quả giảm sóng của ĐGS.

+ Đặc trưng độ thấm (P_f): có xu thế đồng biến với hệ số truyền sóng K_t . Phản ánh ảnh hưởng lớn của độ thấm, rộng đến khả năng tiêu tán năng lượng sóng qua ĐGS.

- Nghiên cứu đã xây dựng được phương pháp tính toán truyền sóng qua ĐGS lắp ghép cấu kiện CT3N-WIP1 bằng cách sử dụng công thức (3.10). Công thức (3.10) xem xét đầy đủ các yếu tố ảnh hưởng đến hiệu quả giảm sóng của ĐGS lắp ghép cấu kiện CT3N-WIP1 như kích thước hình học của đê (R_c/H_{m0} , B_f/D), các tham số sóng tới và đặc biệt là đặc trưng độ thấm của ĐGS (P_f). Công

thức này cho phép đánh giá hiệu quả giảm sóng của ĐGS lắp ghép cấu kiện CT3N-WIP1 một cách chính xác và đáng tin cậy.

- Nghiên cứu đã chỉ ra được phạm vi áp dụng của công thức thực nghiệm tính toán hệ số truyền sóng và áp dụng tính toán lựa chọn các kích thước hình học thiết kế ĐGS lắp ghép cấu kiện CT3N-WIP1. Căn cứ yêu cầu giảm sóng để hỗ trợ trồng cây ngập mặn (chiều cao sóng sau đê nhỏ hơn 0,3m), với số liệu đầu vào là các điều kiện thủy động lực đặc trưng của vùng biển Tây mũi Cà Mau, NCS đã tính toán và đề xuất 04 phương án bố trí ĐGS lắp ghép cấu kiện CT3N-WIP1 tương ứng với các dạng công trình đê nhô/đỉnh cao và đê ngầm/đỉnh thấp.

Nội dung Chương 3 đã làm rõ cơ chế và hiệu quả giảm sóng của ĐGS lắp ghép cấu kiện CT3N-WIP1, đồng thời cung cấp công cụ tính toán và phương án thiết kế mặt cắt phù hợp để ứng dụng cấu kiện CT3N-WIP1 vào thực tiễn. Kết quả nghiên cứu không chỉ đáp ứng mục tiêu luận án mà còn cung cấp cơ sở khoa học cho việc thiết kế và triển khai ĐGS tại các vùng ven biển có điều kiện tương tự.

KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

1. Kết quả đạt được của luận án

Luận án đã hoàn thành các nội dung nghiên cứu và đạt được những kết quả nổi bật như sau:

(1) Luận án đã tổng hợp và phân tích tương đối đầy đủ các thành tựu nghiên cứu trong và ngoài nước liên quan đến ứng dụng các dạng công trình giảm sóng và quá trình lan truyền sóng qua các công trình này. Thông qua việc thống kê, phân tích và kế thừa có chọn lọc, luận án đã xây dựng được phương pháp nghiên cứu quá trình lan truyền sóng qua ĐGS, xác định các tham số cơ bản chi phối hiệu quả giảm sóng và phát triển công thức thực nghiệm để tính toán hệ số truyền sóng qua ĐGS lắp ghép bằng cấu kiện CT3N-WIP1, phù hợp với điều kiện tự nhiên của vùng biển Tây Cà Mau.

(2) Xây dựng cơ sở khoa học về ĐGS lắp ghép cấu kiện CT3N-WIP1: Luận án đã phân tích và làm rõ các yêu cầu đối với ĐGS không chỉ ở khả năng giảm sóng mà còn xem xét đến chức năng hỗ trợ trồng và phục hồi rừng ngập mặn. Các yếu tố quan trọng bao gồm: trao đổi môi trường nước, trao đổi bùn và dưỡng chất, và duy trì năng lượng sóng tối thiểu để vận chuyển bùn cát lơ lửng. ĐGS lắp ghép cấu kiện CT3N-WIP1 được lựa chọn làm đối tượng nghiên cứu nhờ đáp ứng tốt các yêu cầu kỹ thuật và sinh thái. Luận án đã cho thấy tiềm năng ứng dụng của loại cấu kiện này trong các khu vực bãi biển bùn tại biển Tây mũi Cà Mau cùng với khả năng linh hoạt trong việc thay đổi kích thước mặt cắt theo yêu cầu giảm sóng và có thể tái sử dụng.

(3) Xây dựng phương trình thực nghiệm tính toán hiệu quả giảm sóng của ĐGS lắp ghép cấu kiện CT3N-WIP1: Sử dụng phương pháp phân tích thứ nguyên và dữ liệu từ 348 kịch bản thí nghiệm mô hình vật lý trong máng sóng, luận án đã xây dựng được phương trình thực nghiệm để tính toán hệ số truyền

sóng. Phương trình tích hợp đầy đủ các yếu tố ảnh hưởng chính, bao gồm: chiều cao lưu không đỉnh đê tương đối (R_c/H_{m0}), bề rộng tương đối (B_f/D), độ dốc sóng (s_{0m}) và đặc trưng độ thấm (P_f). Công thức này là công cụ khoa học giúp dự đoán và đánh giá hiệu quả giảm sóng của ĐGS lắp ghép cấu kiện CT3N-WIP1.

(4) Phân tích xu hướng và mức độ ảnh hưởng của các tham số chi phối: Chiều cao lưu không đỉnh đê tương đối (R_c/H_{m0}), Bề rộng tương đối của ĐGS (B_f), Độ dốc sóng (s_{0m}) có xu hướng nghịch biến trong khi đặc trưng độ thấm (P_f) có xu thế đồng biến với hệ số truyền sóng K_t . Các tham số này được đánh giá trong các điều kiện thủy động lực đặc trưng, thể hiện sự phù hợp với khu vực biển Tây mũi Cà Mau.

(5) Đề xuất các phương án thiết kế ĐGS lắp ghép cấu kiện CT3N-WIP1: Dựa trên công thức thực nghiệm và điều kiện tự nhiên vùng biển Tây Cà Mau, luận án đã đề xuất 04 phương án thiết kế mặt cắt ĐGS lắp ghép cấu kiện CT3N-WIP1, bao gồm 02 cách xếp (xếp thẳng và xếp chéo 45°) của đê nhô/đỉnh cao và đê ngầm/đỉnh thấp.

(6) Kết quả nghiên cứu của luận án cung cấp cơ sở khoa học và công cụ tính toán hiệu quả giảm sóng cho các công trình ĐGS lắp ghép dạng rỗng tại các vùng ven biển Việt Nam. Nghiên cứu đóng góp tích cực vào xu hướng ứng dụng công trình dựa vào thiên nhiên, hỗ trợ bảo vệ bờ biển và phục hồi rừng ngập mặn trong bối cảnh biến đổi khí hậu.

2. Những đóng góp mới của luận án

(1) Luận án đã xác định và làm sáng tỏ các yếu tố cơ bản ảnh hưởng đến hiệu quả giảm sóng của công trình ĐGS lắp ghép cấu kiện CT3N-WIP1, bao gồm: Chiều cao lưu không tương đối của đỉnh đê (R_c/H_{m0}); Bề rộng tương đối của đê (B_f/D); Sóng phản xạ (K_r) và Đặc trưng độ thấm của đê (P_f).

(2) Xây dựng được công thức thực nghiệm (3.10) tính toán hệ số truyền sóng qua ĐGS lắp ghép cấu kiện CT3N-WIP1 tại vùng bãi bồi trước đai rừng ngập mặn thuộc khu vực ven biển Tây mũi Cà Mau. Công thức này tích hợp đầy đủ các yếu tố kích thước hình học của công trình, đặc trưng thủy động lực của sóng tới và đặc trưng độ thâm:

$$K_t = -0,30 \cdot \min\left(0,75, \frac{R_c}{H_{m0,i}}\right) + 0,63 \left(P_f \cdot \frac{B_f}{D}\right)^{-0,29} \left[1 - \exp\left(-\frac{0,30}{\sqrt{s_{0m}}}\right)\right]$$

3. Tồn tại và hướng phát triển

- Tồn tại:

+ Luận án chủ yếu dựa trên thí nghiệm mô hình vật lý trong máng sóng. Điều này dẫn đến kết quả chỉ phản ánh được quá trình tương tác sóng - công trình, mà chưa đánh giá toàn diện tính ổn định lâu dài của ĐGS lắp ghép cấu kiện CT3N-WIP1 trong môi trường thực tế như bãi bồi bùn tại biển Tây mũi Cà Mau.

+ Nghiên cứu tập trung vào điều kiện đặc thù của vùng biển Tây mũi Cà Mau. Vì vậy, khả năng áp dụng kết quả vào các khu vực khác có điều kiện thủy động lực học và địa chất khác biệt cần được nghiên cứu thêm.

- Hướng phát triển:

+ Đánh giá tác động của các sinh vật hai mảnh vỏ đến hiệu quả giảm sóng và khả năng trao đổi bùn cát của ĐGS lắp ghép cấu kiện CT3N-WIP1. Nghiên cứu này sẽ giúp hoàn thiện hơn về khả năng vận hành bền vững của công trình trong môi trường thực tế.

+ Thực hiện nghiên cứu thực nghiệm tại hiện trường, đặc biệt ở bãi bồi bùn, để đánh giá tính ổn định lâu dài của ĐGS lắp ghép cấu kiện CT3N-WIP1 trước các tác động thực tế như xói lở và thay đổi dòng chảy.

+ Kết hợp mô hình vật lý với mô hình số để dự đoán hiệu quả giảm sóng của ĐGS lắp ghép cấu kiện CT3N-WIP1 trong các điều kiện thủy động lực học khác nhau, từ đó mở rộng phạm vi áp dụng cho các vùng biển khác.

+ Tiếp tục nghiên cứu để đề xuất kích thước và kết cấu tối ưu cho ĐGS lắp ghép cấu kiện CT3N-WIP1 nhằm nâng cao hiệu quả giảm sóng, hiệu quả kinh tế - kỹ thuật trong bối cảnh biến đổi khí hậu.

4. Kiến nghị

(1) Bổ sung các đóng góp mới của luận án vào các tài liệu dùng để tham khảo thiết kế công trình ĐGS ở nước ta.

(2) Ứng dụng thử nghiệm ĐGS lắp ghép cấu kiện CT3N-WIP1 tại khu vực bãi bồi biển Tây mũi Cà Mau. Việc triển khai thực tế giúp đánh giá được hiệu quả giảm sóng, khả năng hỗ trợ bồi tụ bùn cát, phục hồi rừng ngập mặn và đánh giá tính ổn định của ĐGS lắp ghép cấu kiện CT3N-WIP1.

DANH MỤC CÔNG TRÌNH ĐÃ CÔNG BỐ CỦA TÁC GIẢ

1. Mai Trọng Luân, Thiệu Quang Tuấn (2023), “Mô hình vật lý đánh giá hiệu quả của một số dạng kết cấu đê giảm sóng”, *Tạp chí Khoa học và Công nghệ Thủy lợi*, 81, tr. 2 – 7.
2. Mai Trọng Luân, Trần Đăng Trung (2023), “Đánh giá tính dễ bị tổn thương vùng biển Cà Mau làm cơ sở cho việc xác định giải pháp công trình bảo vệ bờ thuận tự nhiên”, *Tạp chí Khoa học và Công nghệ Thủy lợi*, 76, tr. 34 – 53.
3. Thieu Quang Tuan, Mai Trong Luan, Le Ngoc Cuong (2022), “Laboratory study of wave damping by porous breakwaters on mangrove mudflats in the Mekong River Delta”, *Ocean Engineering*, 258 (2022).
4. Trinh Quang Toan, Nguyen Van Tuan, Mai trong Luan, Mac Van Dan, Nguyen Ngoc (2021), “Changes in Wave Spectrum Under Impact of the Breakwater Construction over the West Sea in Ca Mau Vietnam”, *2021 4th International Conference on Mechanical Manufacturing and Industrial Engineering*, pp.46-50.
5. Mai Trọng Luân, Nguyễn Quốc Huy, Mạc Văn Dân (2021), “Tính chu kỳ trong quá trình xói lở, bồi tụ dải bờ biển phía Tây tỉnh Cà Mau”, *Tạp chí Tài nguyên nước*, 2(2021), tr. 39-47.
6. Thieu Quang Tuan, Mai Trong Luan (2020), "Monsoon wave transmission at bamboo fences protecting mangroves in the lower mekong delta", *Applied Ocean Research*, 2020.
7. Mai Trọng Luân, Nguyễn Quốc Huy (2019), “Đánh giá một số giải pháp bảo vệ bờ đã áp dụng tại khu vực ven Biển Đông bán đảo Cà Mau”, *Tuyển tập Khoa học công nghệ kỷ niệm 60 năm xây dựng và phát triển Viện Khoa học Thủy lợi Việt Nam 2014 - 2019*, tr.694-703.

DANH MỤC TÀI LIỆU THAM KHẢO

Tiếng Việt

1. Nguyễn Tuấn Anh (2019), *Nghiên cứu tác dụng giảm sóng của rừng cây ngập mặn ven biển Bắc bộ phục vụ quy hoạch và thiết kế đê biển*, Luận án Tiến sỹ Kỹ thuật, Viện Khoa học Thủy lợi Việt Nam, Hà Nội.
2. Nguyễn Trung Anh và cộng sự (2013), *Nghiên cứu các giải pháp khoa học công nghệ tiêu giảm sóng cho khu neo đậu tàu thuyền trú bão ở Việt Nam*, Đề tài Khoa học cấp Bộ, Trường Đại học Thủy lợi, Bộ Nông nghiệp và Phát triển nông thôn.
3. Nguyễn Thanh Bằng và cộng sự (2016), *Nghiên cứu ứng dụng vật liệu hỗn hợp để gia cố đê biển chịu được nước tràn qua do sóng, triều cường, bão và nước biển dâng*, Đề tài độc lập cấp Nhà nước, Mã số: ĐTDL.2012-T/06. - Viện Khoa học Thủy lợi Việt Nam, Bộ Nông nghiệp và Phát triển nông thôn.
4. La Thị Cang, Võ Lương Hồng Phước (2005), “Ảnh hưởng của chuyển động sóng lên chuyển vận trầm tích và xói mòn bờ biển vùng rừng ngập mặn”, *Hội nghị tổng kết nghiên cứu cơ bản trong khoa học tự nhiên khu vực phía Nam năm 2005*, tr.38-41.
5. Vũ Minh Cát (2009), *Nghiên cứu, đề xuất mặt cắt ngang đê biển hợp lý với từng loại đê và phù hợp với điều kiện từng vùng từ Quang Ninh đến Quảng Nam*, Đề tài nghiên cứu Khoa học.
6. Phạm Minh Cường và cộng sự (2011), *Nghiên cứu nguyên nhân làm suy giảm rừng ngập mặn và các giải pháp công nghệ trồng cây ngập mặn tại vùng bãi xói lở ở các tỉnh ven biển Đồng bằng sông Cửu Long*, Đề tài độc lập cấp Nhà nước, Mã số: ĐTDL. 2011-G/68.
7. Lê Thanh Chương và cộng sự (2017), *Nghiên cứu giải pháp hợp lý và công nghệ thích hợp phòng chống xói lở, ổn định bờ biển đoạn từ Sóc Trăng đến Mũi Cà*

- Mau*, Đề tài KHCN độc lập cấp Nhà nước, mã số ĐTĐL.CN-08/17, Viện Khoa học Thủy lợi Việt Nam, Hà Nội.
8. Lê Thanh Chương và cộng sự (2015), *Nghiên cứu đề xuất giải pháp công nghệ chống xói lở bờ biển, cửa sông phù hợp từ thành phố Hồ Chí Minh đến Kiên Giang*, Đề tài KHCN cấp Bộ Nông nghiệp và Phát triển nông thôn, Viện Khoa học Thủy lợi Miền Nam, Tp. Hồ Chí Minh.
 9. Lê Thanh Chương, Nguyễn Duy Khang, Lê Mạnh Hùng (2018), “Kết quả tính sóng, nước dân do bão vùng ven biển đồng bằng sông Cửu Long”, *Tạp chí Khoa học và Công nghệ Thủy lợi*, Viện Khoa học Thủy lợi Việt Nam (ISSN: 1859-4255), 49 (11-2018), tr.53-62.
 10. Lê Thanh Chương, Trần Bá Hoàng (2017), “Chế độ thủy thạch động lực khu vực cửa sông, ven biển vùng đồng bằng sông Cửu Long”, *Tạp chí Khoa học và Công nghệ Thủy lợi*, Viện Khoa học Thủy lợi Việt Nam (ISSN: 1859-4255), số 40 (9-2017), tr.10-22.
 11. Cơ quan phát triển Pháp (AFD) và Viện Khoa học thủy lợi Miền Nam (SIWRR) (2016-2018), *Nghiên cứu quá trình xói lở khu vực hạ lưu sông Mê Công và các biện pháp bảo vệ chống xói lở một cách bền vững cho vùng ven biển Gò Công và U Minh*, Dự án vùng ven biển đồng bằng sông Cửu Long (LMDCZ), Viện Khoa học Thủy lợi Miền Nam, Tp. Hồ Chí Minh.
 12. Cục Hàng Hải Việt Nam (2017), *Tiêu chuẩn cơ sở đê chắn sóng, Yêu cầu thiết kế/ TCCS 02: 2017/CHHV*, Hà Nội.
 13. Lê Thị Hương Giang (2015), *Nghiên cứu đánh giá ổn định của khối phủ RAKUNAIIV cho đê chắn sóng đá đổ mái nghiêng*, Luận án tiến sĩ, Trường Đại học Thủy lợi.
 14. Nguyễn Duy Khang, Trần Bá Hoàng, và cộng sự (2012), *Nghiên cứu biến động của chế độ thủy thạch động lực vùng cửa sông ven biển chịu tác động của dự án*

- đê biển Vũng Tàu - Gò Công*, Đề tài độc lập cấp nhà nước ĐTDL.2011-G/39, Viện Khoa học Thủy lợi miền Nam.
15. 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 sỹ kỹ thuật, Viện Khoa học Khí tượng và Biến đổi khí hậu, Hà Nội.
 16. Trịnh Văn Hạnh (2011), *Nghiên cứu các giải pháp trồng cây bảo vệ đê biển, góp phần cải thiện môi trường ở các tỉnh từ Quảng Ngãi đến Kiên Giang*, Đề tài nghiên cứu Khoa học.
 17. Trịnh Văn Hạnh (2014), “Kỹ thuật trồng cây ngập mặn”, *Báo cáo khoa học Hội thảo Giải pháp Kỹ thuật chống xói lở bờ biển trong điều kiện biến đổi khí hậu*, Tổng cục Thủy lợi, ngày 01/7/2014, Bạc Liêu.
 18. Lương Phương Hậu và Trần Đình Hợi (2003), *Lý thuyết thí nghiệm công trình thủy*, Nhà xuất bản Xây dựng, Hà Nội.
 19. Lương Phương Hậu, Hoàng Xuân Lượng, Nguyễn Sỹ Nuôi, Lương Giang Vũ (2001), *Công trình bảo vệ bờ biển và hải đảo*, Nhà Xuất bản Xây dựng, Hà Nội.
 20. 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.
 21. Phan Nguyên Hồng, Lê Xuân Tuấn, Vũ Thục Hiền (2007), *Vai trò của hệ sinh thái rừng ngập mặn 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.
 22. 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*, Nhà xuất bản Nông nghiệp, Hà Nội, tr. 57-70.
 23. Hoàng Văn Huân và cộng sự, 2015, *Nghiên cứu, ứng dụng công nghệ giảm sóng thân thiện với môi trường phục vụ phòng chống sạt lở, bảo vệ bờ biển trên địa bàn tỉnh Trà Vinh*, Đề tài khoa học và công nghệ.

24. Nguyễn Xuân Hùng (1999), *Động lực học công trình biển*, Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật Hà Nội.
25. Lê Mạnh Hùng và cộng sự (2011), *Nghiên cứu chế độ dòng chảy, phân bố bùn cát dải ven biển từ cửa sông Soài Rạp đến cửa Tiểu, đề xuất giải pháp chống sạt lở đê biển Gò Công tỉnh Tiền Giang*, Đề tài khoa học và công nghệ, Viện Khoa học Thủy lợi Việt Nam.
26. Nguyễn Văn Lập, Tạ Kim Oanh (2012), “Đặc điểm bãi triều và thay đổi đường bờ biển khu vực ven biển tỉnh Cà Mau, châu thổ sông Cửu Long”, *Tạp chí các khoa học về trái đất*, 3(1), tr.01-09.
27. Phạm Văn Long (2014), “Những bài học kinh nghiệm trong thiết kế thi công kè mềm chống xói lở gây bồi bờ biển vùng Nam Trung bộ và Nam bộ”, *Báo cáo khoa học Hội thảo Giải pháp kỹ thuật chống xói lở bờ biển trong điều kiện biến đổi khí hậu*, Tổng cục Thủy lợi, ngày 01/7/2014 tại Bạc Liêu.
28. Mai Trọng Luân và cộng sự (2021), *Nghiên cứu giải pháp mềm bảo vệ bờ vùng cửa sông, ven biển bán đảo Cà Mau*, Đề tài độc lập cấp Nhà nước, Mã số: ĐTĐL.CN-49/18, Viện Khoa học Thủy lợi Việt Nam.
29. Nguyễn Khắc Nghĩa và cộng sự (2007), *Xác định chiều cao sóng trong tính toán thiết kế đê biển từ Quảng Ninh đến Quảng Nam*, Đề tài khoa học công nghệ cấp Bộ, Viện Khoa học Thủy lợi Việt Nam.
30. Nguyễn Khắc Nghĩa và cộng sự (2009), *Nghiên cứu giải pháp khoa học công nghệ xây dựng đê biển chống bão cấp 12, triều cường*, Đề tài cấp Bộ, Viện Khoa học Thủy lợi Việt Nam, Hà Nội.
31. Nguyễn Khắc Nghĩa và cộng sự (2013), *Nghiên cứu cơ sở khoa học và đề xuất giải pháp tổng thể để ổn định bờ biển Nam Định từ cửa Ba Lạt đến cửa Đáy*, Đề tài KH-CN cấp nhà nước, mã số ĐTĐL.2010T/28, Viện Khoa học Thủy lợi Việt Nam, Hà Nội.

32. Nguyễn Khắc Nghĩa, Nguyễn Minh Huân (2013), *Tính toán xác định mức độ giảm sóng qua RNM*, Tuyển tập Khoa học công nghệ giai đoạn 2008 - 2013, Nhà xuất bản Khoa học Kỹ thuật, Hà Nội, tr. 297 - 307.
33. Nguyễn Hữu Nhân (2014), “Đánh giá tác động của tuyến kè tạo bãi ven biển Tây tỉnh Cà Mau”, *Tạp chí Khoa học và Công nghệ Thủy lợi*, Viện Khoa học Thủy lợi Việt Nam (ISSN: 1859 - 4255), số 17 (9-2013), tr.4-18.
34. Nguyễn Hữu Nhân và cộng sự (2014), *Nghiên cứu cơ chế hình thành và phát triển vùng bồi tụ ven bờ và các giải pháp KH-CN để phát triển bền vững về KT-XH vùng biển Cà Mau*, Đề tài khoa học và công nghệ độc lập cấp Nhà nước, mã số ĐTĐL.2011 - T/43, Viện Kỹ thuật Biển, Tp. Hồ Chí Minh.
35. Nguyễn Hữu Nhân và cộng sự (2015), *Nghiên cứu cơ chế hình thành và phát triển vùng bồi tụ ven bờ, các giải pháp KH&CN để PTBV kinh tế, xã hội vùng biển Cà Mau*, Đề tài độc lập cấp nhà nước, Mã số ĐTĐL.2011-T/43.
36. Schmitt, Thorsten Albers, Đinh Công Sản (2013), *Hướng dẫn quản lý bờ biển: Bảo vệ bờ biển Đồng bằng Sông Cửu Long*, GIZ tại Việt Nam.
37. Sở Nông nghiệp và Phát triển nông thôn tỉnh Cà Mau (2017), “Các giải pháp chống sạt lở tỉnh Cà Mau”, *Báo cáo khoa học Hội thảo Giải pháp phòng chống sạt lở tỉnh Cà Mau*, Tổng cục Phòng chống thiên tai - Bộ Nông nghiệp và Phát triển nông thôn tổ chức ngày 22/11/2017 tại Cà Mau.
38. Trần Văn Thái và cộng sự (2017), *Nghiên cứu ứng dụng và hoàn thiện công nghệ tiêu tán và giảm năng lượng sóng chống xói lở bờ biển đồng bằng sông Cửu Long*, Đề tài Khoa học và công nghệ thuộc chương trình Chương trình khoa học và công nghệ trọng điểm cấp Quốc gia giai đoạn 2016 - 2020 “Nghiên cứu khoa học và công nghệ phục vụ quản lý biển, hải đảo và phát triển kinh tế biển, Mã số: KC09.08.16/20.

39. Lương Văn Thanh và cộng sự (2012), *Nghiên cứu và thử nghiệm công nghệ kết tạo bãi để phòng chống sạt lở đê biển Tây*, Đề tài khoa học và công nghệ cấp tỉnh Cà Mau, Viện Kỹ thuật biển, Tp. Hồ Chí Minh.
40. Phạm Thị Thúy, Lê Hải Trung and Nguyễn Mạnh Linh (2020), "Hiệu quả giảm sóng của các sơ đồ bố trí Reef Ball trên thềm đảo nổi xa bờ", *Tạp chí Khoa học thủy lợi và Môi trường*.
41. Phạm Thị Thúy, Lê Hải Trung và Trần Thanh Tùng (2021), "Lựa chọn vị trí đặt kết cấu ngầm trên thềm đảo nổi xa bờ", *Tuyển tập hội nghị khoa học thường niên trường Đại học Thủy lợi năm 2021*, pp 196-198.
42. 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 sỹ kỹ thuật, trường Đại học Thủy lợi Việt Nam, Hà Nội.
43. Nguyễn Anh Tiến và cộng sự (2017), *Nghiên cứu giải pháp hợp lý và công nghệ thích hợp phòng chống xói lở, ổn định bờ biển vùng đồng bằng sông Cửu Long, đoạn từ Mũi Cà Mau đến Hà Tiên*, Đề tài KH-CN độc lập cấp Nhà nước, mã số ĐTĐL.CN. - 09/17, Viện Khoa học Thủy lợi Việt Nam, Hà Nội.
44. Tiêu chuẩn quốc gia, TCVN 10405: 2014, *Công trình thủy lợi - Đại cây chắn sóng - Khảo sát và thiết kế*.
45. Tiêu chuẩn quốc gia, TCVN 10405:2014, *Công trình thủy lợi - Đại cây chắn sóng - Khảo sát và thiết kế*.
46. Tiêu chuẩn quốc gia, TCVN 12196:2018, *Thí nghiệm mô hình vật lý sông*.
47. Tiêu chuẩn quốc gia, TCVN 8214: 2009, *Thí nghiệm mô hình vật lý công trình thủy lợi, thủy điện*.
48. Tiêu chuẩn quốc gia, TCVN 9901:2014, *Công trình thủy lợi - Yêu cầu thiết kế đê biển*.

49. Tổng cục Phòng chống thiên tai (2018), “Tình hình sạt lở bờ sông, xói lở bờ biển và các giải pháp xử lý trong thời gian qua tại đồng bằng sông Cửu Long”, *Báo cáo khoa học Hội nghị Phòng chống thiên tai khu vực miền Nam và giải pháp kỹ thuật phòng chống sạt lở bờ sông, bờ biển vùng đồng bằng sông Cửu Long*, ngày 26/7/2018 tại Tp. Cần Thơ.
50. Lưu Thành Trung, Vũ Văn Phái, Vũ Tuấn Anh (2014), “Đặc điểm địa mạo dải đất ven biển Sóc Trăng - Cà Mau (từ cửa Định An đến cửa Tiểu Dừa)”, *Tạp chí Khoa học ĐHQGHN: Các Khoa học Trái Đất và Môi trường*, 3(30), tr. 55- 72.
51. Lê Xuân Tú và cộng sự (2017), *Nghiên cứu giải pháp hợp lý và công nghệ thích hợp phòng chống xói lở, ổn định dải bờ biển và các cửa sông Cửu Long, đoạn từ Tiền Giang đến Sóc Trăng*, Đề tài khoa học công nghệ độc lập cấp Nhà nước, ĐTĐL.CN -07/17, Viện Khoa học Thủy lợi Việt Nam, Hà Nội.
52. Thiệu Quang Tuấn (2021), *Bài giảng mô hình vật lý trong Kỹ thuật Biển*, Hà Nội.
53. Thiệu Quang Tuấn (2015), *Hướng dẫn sử dụng phần mềm Wadibe*, Hà Nội.
54. Thiệu Quang Tuấn (2020), *Bài giảng Công trình bảo vệ bờ biển*, Trường Đại học Thủy lợi.
55. Thiệu Quang Tuấn, Đinh Công Sản, Lê Xuân Tú Tú và Đỗ Văn Dương (2018), “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*, 4, tr.1-8.
56. Viện nghiên cứu biển, Đại học Xây dựng (2012), *Nghiên cứu cơ sở khoa học để xây dựng quy phạm, tiêu chuẩn thiết kế, xây dựng quy trình khảo sát, duy tu bảo dưỡng công trình quốc phòng tại vùng DK1 và Trường Sa*, Đề án 47, ĐTB 11-4.
57. Nguyễn Đức Vương và cộng sự (2012), *Nghiên cứu xác định nguyên nhân và đề xuất giải pháp khoa học công nghệ nhằm ổn định các cửa sông và vùng bờ biển tỉnh Bình Thuận*, Đề tài Khoa học công nghệ thuộc chương trình Nghiên cứu khoa học và công nghệ phục vụ phòng tránh thiên tai, bảo vệ môi trường và sử dụng

hợp lý tài nguyên thiên nhiên, Viện Khoa học Thủy lợi Việt Nam, Bộ Nông nghiệp và Phát triển nông thôn, Mã số KC.08.18/11-15.

Tiếng Anh

58. Abdul Khader M.H. and Rai, S.P. (1980), "A study of submerged breakwaters", *Journal of Hydraulic Research*, 18(2), pp. 113-121.
59. Agency, S. N. "Reef Balls, New Ways to stop beach erosion existed on desroches Island", 2022.
60. Ahrens, J. P. (1987), "Characteristics of reef breakwaters. Coastal Engineering Research Center", *Tech. Report. CERC-87-17*, 45p. and appendices.
61. Allsop, N.W.H. (1983), "Low-crested breakwaters, studies in random waves", *Proceedings Coastal Structures '83*, Arlington, Virginia, pp. 94-107.
62. Armono, H. D and K. R. Hall (2003), "Wave transmission on submerged breakwaters made of hollow hemispherical shape artificial reefs", *Canadian coastal conference*, pp. 313-322, 2003, June.
63. Armono, H.D A. Kurniawan, A. Rudhy and Sujantoko (2011), "Wave Spectrum Change in The Vicinity of Artificial Reef", *Journal of Indonesia Coral Reefs* 1(2), no. ISSN: 2089-8231, pp. 75-84.
64. Bleck, Matthias, and Hocine Oumeraci (2002), "Wave damping and spectral evolution at artificial reefs", *In Ocean Wave Measurement and Analysis*, pp. 1062-1072.
65. Buccino, Mariano, Ilaria Del Vita, and Mario Calabrese (2012), "Predicting wave transmission past Reef Ball™ submerged breakwaters", *Journal of Coastal Research*, 65 (10065), pp. 171-176.
66. Çağdaş ilici (2014), *A Model Study on Wave Transmission through Pile Breakwaters*, Master of Science in Civil Engineering Department, Middle East Technical University.

67. Calabrese, M, Vicinanza, D, Buccino, M. (2002), "Large-scale experiments on the behaviour of low-crested and submerged breakwaters in presence of broken waves", *Proceedings of the 28th Int. Conf. on Coastal Engineering*, Cardiff, World Scientific, pp.1900-1912.
68. CEM (2000), *Coastal Engineering Manual*, Veritech, Inc., Vicksburg, MS, USA.
69. Costello, R. D. (1951), "Damping of Water Waves by Vertical Circular Cylinders, Contract Report to the US Navy Office of Naval Research, by the Institute of Engineering Research", *Technical Report HE-116-329*, University of California, Berkeley, CA.
70. D' Angremond K. Van der Meer, J.W., and de Jong, R.J. (1996), "Wave transmission at low-crested breakwaters", *Proceedings of the 25th Int. Conference of Coastal Engineering*, Orlando, Florida, ASCE, pp. 3305-3318.
71. D. L. Kriebel và Chad A. ollmann (1995), "Wave Transmission Past Vertical Wave Barriers" *Coastal Engineering Proceedings*, pp. 2470-2481.
72. Daemen, I.E.R. (1991), *Wave transmission at low crested breakwaters*, MS Thesis. Delft University of Technology, Delft, The Netherlands.
73. Daemrich, K., and Kahle, W. (1985), "Schutzwirkung von Unterwasser Wellen brechern unter dem Einfluss unregelmassigeSeegangswellen" *Eigenverslag des Franzius-Institutsfur Wasserbau und Kusteningenieurswesen, Heft 61*, Hannover, Germany.
74. Dally, William R., and Robert G. Dean (1986), "Transformation of random breaking waves on surf beat", *Coastal Engineering*, pp. 109-123.
75. DELOS-US (2004), *Enviromental design of low-crested coastal defence structures, Final Project Report*, EU fifth framework program 1998÷2002.
76. Goda, Y. (1979), "Re-analysis of laboratory data on wave transmission over breakwaters" *Report of The Port and Harbour Research Institute*, 18(3), pp. 3-18.

77. Gómez Pina, G. and Valdés, J.M. (1990), "Experiments on coastal protection submerged breakwaters: A way to look at the results" *Proc. 22th Int. Conf. on Coastal Engineering*, ASCE, pp. 1592-1605.
78. Gourlay, M. R (1996), "Wave set-up on coral reefs", *Coastal Engineering*, 28(1-4), pp. 17-55.
79. Hanson, H. and Kraus, N.C. (1990), "Shoreline response to a single transmissive detached breakwater", *Proc. 22nd Coastal Engrg. Conf.*, ASCE, The Hague.
80. Hanson, H. and Kraus, N.C.(1989), "GENESIS: Generalised model for simulating shoreline change", Report 1: Technical Reference, Tech. Rep. CERC-89-19, US Army Engr., WES, Vicksburg, MS.
81. Hofland, B., Chen, X., Altomare, C., & Oosterlo, P. (2017), "Prediction formula for the spectral wave period $T_{m-1, 0}$ on mildly sloping shallow foreshores", *Coastal Engineering*, 123, pp. 21-28.
82. Ilman (2011), "Wetlands International - Indonesia Programme", *State of the Art Information on Mangrove Ecosystems in Indonesia*, Bogor.
83. Johnson, J.W., Fuchs, R.A. and Morison, J.R. (1951), "The damping action of submerged breakwaters, Transactions" *American Geophysical Union*, Vol. 32(5), pp. 704-718
84. Jonh R.Hsu, Takaaki Uda, Richard Silvester (1999), *Shoreline Protection Methods - Japanese Exeperience*, Hanbook of Coastal Engineering, Chapter 9.
85. K. Pilarczyk and R. Zeidler (1996), *Offshore breakwaters and shore evolution control*, A. A. Balkema Publisher, Rotterdam.
86. Karim, Mohammed Fazlul, Katsutoshi Tanimoto, and Phung Dang Hieu (2009), "Modelling and simulation of wave transformation in porous structures using VOF based two-phase flow model", *Applied Mathematical Modelling*, 33(1), pp. 343- 360.

87. Lin, Chun-Yuan, and Ching-Jer Huang (2004), "Decomposition of incident and reflected higher harmonic waves using four wave gauge", *Coastal engineering*, 51(5-6), pp. 395-406.
88. Liu, Philip L-F., and Jiangan Wen (1997), "Nonlinear diffusive surface waves in porous media", *J. Fluid Mech*, 347, p. 119-139.
89. Madsen, Ole Secher, and Stanley M. White (1974), "Reflection and Transmission Characteristics of Porous Rubble-Mound Breakwaters", *Department of Civil Engineering*, Massachusetts Institute of Technology, 76.
90. Melito, I., Melby, J.A. (2002), "Wave runup, transmission, and reflection for structures armoured with CORE-LOC" *Coastal Engineering*, (45), pp. 33-52.
91. Pham Thi Thuy, Le Hai Trung and Tran Thanh Tung, "Measurements of Wave Reduction Due to Artificial Reef With Varying Width on an Atoll," *Environ. Sci. Proc*, 2021.
92. Phung Dang Hieu (2008), "Study on wave prevention efficiency of submerged breakwater using an advanced mathematical model," *VNU Journal of Science: Earth and Environmental Sciences* 24(3).
93. Pilarczyk, K.W. (1995), *Simplified Unification of Stability Formulae for Revetments under Current and Wave Attack, in River, Coastal and Shoreline Protection* (Colin R. Thorne, S.R. Abt, F.B.J. Barends, S.T. Maynard and K.W. Pilarczyk, editors), John Wiley & Sons, Chichester. New York.
94. Pilkey OH and Wright HL III (1988), "Seawalls versus beaches", *Journal of Coastal Research* (special issue) SI (4), pp. 41-64.
95. Powell, K.A. and Allsop, N.W.H. (1985), "Low-crested breakwaters, hydraulic performance and stability", *Technical report*, HR Wallingford, Report SR57.
96. Powell, K.A., Allsop, J.P. (1985), "Low-crest breakwaters, hydraulic performance and stability" *Hydraulics research, Report SR, 57*, Wallingford.

97. Ranasinghe, R. & Turner, I. L. (2006), "Shoreline response to submerged structures: A review", *Coastal Engineering*, 53, 65-79.
98. Ranasinghe, R., Turner, I. L. & Symonds, G. (2006), "Shoreline response to multi-functional artificial surfing reefs: A numerical and physical modelling study", *Coastal Engineering*, 53, 589-611.
99. Seabrook, S.R., and Hall, K.R. (1998), "Wave transmission at submerged rubble mound breakwaters" *Proceedings 26th International Conference on Coastal Engineering*, ASCE, pp. 2000-2013.
100. Seelig, W. N. (1980), "Two-dimensional tests of wave transmission and reflection characteristics of laboratory breakwaters" *U.S. Army Corps of Engineers, Coastal Engineering Research Center, Tech. Rept. 80-1*.
101. Sheremet, A., R. T. Guza, S. Elgar, and T. H. C. Herbers (2002), "Observations of nearshore infragravity waves: Seaward and shoreward propagating components", *J. Geophys. Res.* 107(C8), 3095, doi: 10.1029/2001JC000970.
102. Silvester, R., Hsu, J.R.C. (1997), "Coastal Stabilization", *World Scientific Publ. Co., Singapore*. 578 pp (Reprint of Silvester and Hsu, 1993).
103. Sollitt, Charles K., and Ralph H. Cross (1973), "Wave transmission through permeable breakwaters", *In Coastal Engineering*, pp. 1827-1846.
104. Spalding, M Ravilious M, C and Green E. P. (2001), *World atlas of coral reefs*, Univ of California Press.
105. Thieu Quang Tuan, Dinh Quang Cuong (2019), "Wave Transmission Across Steep Submerged Reefs", *International Conference on Asian and Pacific Coasts (APAC)*, Vols. Springer, Singapore, pp. 687-694.
106. Thieu Quang Tuan, Mai Trong Luan (2020), "Monsoon wave transmission at bamboo fences protecting mangroves in the lower mekong delta", *Applied Ocean Research*, 2020.

107. 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.
108. Troch, Peter, and Julien De Rouck (1998), "Development of two-dimensional numerical wave flume for wave interaction with rubble mound breakwaters", *Proc., 26th Int. Conf. Coast. Engrg.*, ASCE, Reston, p. 1638-1649.
109. US. Army Corps of Engineers (2007), "Coastal Engineering Manual, Engineer Manual 1110-2-1100", *Army Corps of Engineers*, Washington, D.C. (in 6 volumes).
110. Van der Meer, J. W., Briganti, R., Zanuttigh, B. and Wang, B. (2005), "Wave transmission and reflection at low-crested structures: Design formulae, oblique wave attack and spectral change", *Coastal Engineering*, 52, pp. 915 - 929.
111. Van der Meer, J. W., Briganti, R., Zanuttigh, B., & Wang, B. (2004), "Wave transmission and reflection at low-crested structures: Design formulae, oblique wave attack and spectral change", *Coastal Engineering*, 52(10-11), pp. 915-929.
112. Van der Meer, J.W. (1988), *Rock slopes and gravel beaches under wave attack*, Ph.D. Thesis. Delft University of Technology, Delft, The Netherlands.
113. Van der Meer, J.W. (1990), *Data on wave transmission due to overtopping*.
114. Van der Meer, J.W. and d'Angremond, K. (1991), "Wave transmission at lowcrested structures", *Coastal Structures and Breakwaters*, ICE, London, pp. 25-42.
115. Van der Meer, J.W., and Deamen, I.F.R. (1994) "Stability and wave transmission at low crested rubble mound structures" *Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering*, ASCE, (1), 119.

116. Van der Meer, J.W., Briganti, R., Zanuttigh, B., Wang, B. (2005), "Wave transmission and reflection at low-crested structures: design formulae, oblique wave attack and spectral change" *Coastal Engineering*, (52), pp. 915-929.
117. Van der Meer, Jentsje W (1991), *Stability and transmission at low-crested structures*, Publications-Delft Hydraulics.
118. Van der Meer, Jentsje W, and Ivar FR Daemen (1994), "Stability and wave transmission at low-crested rubble-mound structures", *Journal of Waterway, port, coastal, and ocean engineering*, 120(1), pp. 1-19.
119. Van Gent, M. R (1995), *Wave interaction with permeable coastal structures*, in PhD thesis, Delft University, Delft, The Netherlands.
120. Vidal, C., Losada, M. A., Medina, R., & Rubio, J (1988), "Solitary wave transmission through porous breakwaters", *Proc., 21st Int. Conf. Coast. Engrg*, ASCE, New York, p. 1073 - 1083.
121. Yao, Y., Huang, Z., Monismith, S. G., & Lo, E. Y. (2013), "Characteristics of monochromatic waves breaking over fringing reefs", *Journal of Coastal Research*, 29(1), pp. 94-104.
122. Zanuttigh, B., van der Meer, J.W. (2008), "Wave reflection from coastal structures in design conditions", *Coastal Engineering*, 55(10), pp. 771-779.