BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO BỘ NÔNG NGHIỆP VÀ PHÁT TRIỀN NÔNG THÔN

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

NGUYỄN ANH TIẾN

NGHIÊN CỨU ĐỀ XUẤT GIẢI PHÁP VÀ ĐÁNH GIÁ CHỨC NĂNG GIẢM SÓNG CỦA CÔNG TRÌNH ĐÊ RÕNG PHỨC HỢP BẢO VỆ BỜ BIỄN TỪ MŨI CÀ MAU ĐẾN HÀ TIÊN

LUẬN ÁN TIẾN SĨ KỸ THUẬT

Thành phố Hồ Chí Minh – Năm 2021

BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO BỘ NÔNG NGHIỆP VÀ PHÁT TRIỂN NÔNG THÔN

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

NGUYỄN ANH TIẾN

NGHIÊN CỨU ĐỀ XUẤT GIẢI PHÁP VÀ ĐÁNH GIÁ CHỨC NĂNG GIẢM SÓNG CỦA CÔNG TRÌNH ĐÊ RÕNG PHỨC HỌP BẢO VỆ BỜ BIỂN TỪ MŨI CÀ MAU ĐẾN HÀ TIÊN

CHUYÊN NGÀNH: KỸ THUẬT XÂY DỰNG CÔNG TRÌNH THỦY MÃ SỐ: 9580202

LUẬN ÁN TIẾN SĨ KỸ THUẬT

CÁN BỘ HƯỚNG DẪN KHOA HỌC 1. PGS.TS. TÔ VĂN THANH 2. GS.TS. THIỀU QUANG TUẦN

Thành phố Hồ Chí Minh – Năm 2021

LỜI CAM ĐOAN

Tác giả xin cam đoan đây là công trình nghiên cứu khoa học do tác giả thực hiện. Số liệu thực nghiệm, kết quả nghiên cứu và các kết luận trong luận án này là trung thực, không sao chép từ bất kỳ từ nguồn tài liệu nào và dưới bất kỳ hình thức nào. Việc tham khảo các nguồn tài liệu trong nghiên cứu luận án đã được thực hiện trích dẫn và ghi nguồn tài liệu tham khảo theo đúng qui định.

Nghiên cứu sinh

Nguyễn Anh Tiến

LỜI CẢM ƠN

Tác giả xin trân trọng cảm ơn hai thầy hướng dẫn khoa học là PGS.TS Tô Văn Thanh và GS.TS Thiều Quang Tuấn, đã tận tình chỉ bảo và hướng dẫn tác giả trong suốt thời gian nghiên cứu và thực hiện luận án này.

Tác giả xin trân trọng cảm ơn cơ sở đào tạo Viện Khoa học Thủy lợi Việt Nam và Viện Khoa học Thủy lợi miền Nam đã giúp đỡ tạo mọi điều kiện để tác giả học tập và hoàn thành luận án này.

Tác giả xin gửi lời cảm ơn 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 cấp Quốc gia "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", mã số ĐTĐL.CN-09/17, để tác giả được phép kế thừa bộ dữ liệu kết quả nghiên cứu thực nghiệm của đề tài, đồng thời còn mang đến cho tác giả cơ hội phát triển và hoàn thiện ý tưởng nghiên cứu mới có khả năng ứng dụng vào thực tiễn.

Tác giả xin cảm ơn tập thể cán bộ Trung tâm Nghiên cứu công trình Biển thuộc Viện Kỹ thuật Biển, Trung tâm Nghiên cứu chỉnh trị sông và phòng chống thiên tai thuộc Viện Khoa học Thủy lợi miền Nam, đã hỗ trợ tác giả thực hiện việc thu thập dữ liệu thực nghiệm tại Phòng thí nghiệm Thủy Động Lực Sông Biển của Viện Khoa học Thủy Lợi miền Nam.

Cuối cùng, tác giả xin cảm ơn tất cả bạn bè, đồng nghiệp và toàn thể gia đình đã luôn khuyến khích, động viên tác giả trong suốt quá trình thực hiện luận án này.

Tác giả luận án

MỤC LỤC

MỞ ĐẦU	1
1. Tính cấp thiết của đề tài	1
2. Mục tiêu nghiên cứu	2
3. Đối tượng và phạm vi nghiên cứu	2
4. Nội dung nghiên cứu	3
5. Cách tiếp cận và phương pháp nghiên cứu	3
6. Ý nghĩa khoa học và thực tiễn của luận án	6
7. Những đóng góp mới của luận án	7
8. Cấu trúc luận án	8
CHƯƠNG 1. TỔNG QUAN NGHIÊN CỨU VỀ CHỨC NĂN	G GIẢM SÓNG
BẢO VỆ BỜ BIỂN CỦA CÔNG TRÌNH ĐÊ GIẢM SÓNG	9
1.1. Giới thiệu chung	9
1.1.1. Nguyên lý bảo vệ bờ biển	9
1.1.2. Thực tiễn ứng dụng ĐGS bảo vệ bờ biển	
1.1.3. Phân loại công trình ĐGS	
1.1.4. Chức năng giảm sóng của công trình ĐGS	16
1.2. Luận giải vấn đề nghiên cứu tổng quan	
1.3. Tình hình nghiên cứu trên thế giới	22
1.3.1. Nghiên cứu cho công trình ĐGS	
1.3.2. Nghiên cứu cho công trình ĐGS cọc	
1.4. Tình hình nghiên cứu ở Việt Nam	
1.5. Kết luận Chương 1	44
CHƯƠNG 2. CƠ SỞ KHOA HỌC NGHIÊN CỨU GIẢ	I PHÁP CÔNG
TRÌNH ĐỂ RỖNG PHỨC HỢP	47
2.1. Tổng quan về vùng nghiên cứu	47
2.1.1. Vị trí địa lý	
2.1.2. Đặc điểm khi hậu, khí tượng	

2.1.3. Đặc điểm địa hình, địa mạo, địa chất và hoạt động kiến tạo	51
2.1.4. Chế độ sóng, dòng chảy và thủy triều VNC	53
2.1.5. Diễn biến đường bờ biển VNC (giai đoạn 1997-2017)	57
2.1.6. Diễn biến hệ sinh thái RNM ven biển VNC (giai đoạn 1997-2017)	59
2.2. Luận giải định hướng giải pháp bảo vệ bờ biển cho VNC	61
2.3. Nghiên cứu đề xuất giải pháp công trình đê rỗng phức hợp	63
2.4. Phương pháp nghiên cứu trên MHVL	66
2.4.1. Khái niệm chung về MHVL	66
2.4.2. Mục tiêu thí nghiệm MHVL	66
2.4.3. Mô hình sóng và các vấn đề nghiên cứu trong mô hình sóng	66
2.4.4. Lý thuyết tương tự và tỷ lệ mô hình	68
2.4.5. Kiểm tra sự hợp lý của tỷ lệ mô hình	68
2.5. Ứng dụng phương pháp phân tích thứ nguyên thiết lập các phương trình t	tổng
quát (lý thuyết PI-BUCKINGHAM)	69
2.5.1. Sóng truyền qua thân đê ngầm rỗng không cọc	70
2.5.2. Truyền sóng qua hệ cọc	73
2.6. Thiết kế mô hình và bố trí thí nghiệm	76
2.6.1. Thiết bị thí nghiệm và các tham số đo đạc	76
2.6.2. Mô hình bãi biển	77
2.6.3. Mô hình công trình thí nghiệm	78
2.6.4. Các yếu tố thủy động lực trong mô hình	81
2.6.5. Sơ đồ thí nghiệm MHVL	83
2.6.6. Kiểm tra kỹ thuật	84
2.7. Chương trình thí nghiệm MHVL	84
2.7.1. Chương trình thí nghiệm tổng quát	84
2.7.2. Thiết kế thí nghiệm	85
2.7.3. Các tham số sóng đo đạc từ thí nghiệm	86
2.8. Cơ sở khoa học đánh giá chức năng giảm sóng cho công trình đê rỗng p	ohức
hợp	87

2.8.1. Phương trình năng lượng sóng	
2.8.2. Phương trình cân bằng năng lượng sóng	
2.9. Kết luận Chương 2	89
CHƯƠNG 3. NGHIÊN CỨU XÂY DỰNG PHƯƠNG PHÁP TÍNH	TOÁN
TRUYỀN SÓNG CHO CÔNG TRÌNH ĐẾ RỖNG PHỨC HỢP	91
3.1. Đặt vấn đề	91
3.2. Truyền sóng qua thân đê ngầm rỗng không cọc	91
3.2.1. Ånh hưởng của chỉ số vỡ (γ)	
3.2.2. Ảnh hưởng của độ sâu ngập nước tương đối của đỉnh đê ($R_c/H_{m0,i}$)	
3.2.3. Ảnh hưởng bề rộng tương đối của đỉnh đê (B/Lm , B/Lp)	
3.2.4. Ảnh hưởng của tương tác sóng với mái đê (s _m)	
3.2.5. Hệ số truyền sóng qua thân đê ngầm rỗng không cọc	
3.2.6. So sánh mức độ tin cậy với các nghiên cứu trước	
3.3. Tiêu hao năng lượng sóng qua hệ cọc bên trên	99
3.3.1. Nguyên lý tiêu hao năng lượng sóng	
3.3.2. Phân tích mức độ ảnh hưởng của các tham số chi phối đến tiêu hao năr	ıg lượng
sóng qua hệ cọc	101
3.3.3. Tiêu hao năng lượng sóng qua hệ cọc bên trên	104
3.4. Truyền sóng qua công trình đê rỗng phức hợp (trường hợp tổng quát)	106
3.5. Phạm vi ứng dụng của nghiên cứu	110
3.6. Ứng dụng kết quả nghiên cứu thiết kế công trình thử nghiệm	110
3.6.1. Tài liệu viện dẫn	110
3.6.2. Tính toán chiều cao sóng thiết kế	111
3.6.3. Xác định các thông số kỹ thuật cơ bản của công trình	119
3.6.4. Tính toán xác định hệ số truyền sóng K_t	121
3.6.5. Phân tích lựa chọn phương án công trình thử nghiệm	122
3.7. Kết luận Chương 3	124
KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ	126
1. Kết quả đạt được của luận án	126

	2. Những đóng góp mới của luận án126
	3. Tồn tại và hướng phát triển128
	4. Kiến nghị
D	ANH MỤC CÁC CÔNG TRÌNH ĐÃ CÔNG BỐ130
Т	ÀI LIỆU THAM KHẢO131
С	ÁC PHỤ LỤC139
	Phụ lục 1. Nghiên cứu lập trình MATLAB xây dựng các công thực thực nghiệm
	và bán thực nghiệm trong luận án140
	Phụ lục 2. Bảng tổng hợp kết quả thí nghiệm MHVL146
	Phụ lục 3. Bảng tổng hợp kết quả thí nghiệm MHVL truyền sóng qua thân đê
	rỗng không cọc và có cọc với cùng điều kiện sóng thí nghiệm153
	Phụ lục 4. Bảng kết quả tính toán giá trị D _{pr} 158
	Phụ lục 5. Trình tự các bước thực hiện thí nghiệm MHVL161
	Phụ lục 6. Số liệu thí nghiệm trích xuất từ kết quả đo đạc167
	Phụ lục 7. Hình ảnh chế tạo mô hình và thực hiện thí nghiệm MHVL168

DANH MỤC BẢNG BIỂU

Bảng 1-1. Tổng hợp các giải pháp công trình bảo vệ bờ biển ở Nhật Bản13
Bảng 1-2. Tổng hợp các nghiên cứu thực nghiệm về truyền sóng trên thế giới23
Bảng 1-3. Tổng hợp các tham số phi thứ nguyên chi phối đến K _t 25
Bảng 2-1. Phân bố chế độ gió mùa hàng năm ở VNC48
Bảng 2-2. Tổng hợp các cơn bão, áp thấp nhiệt đới ảnh hưởng đến VNC50
Bảng 2-3. Kết quả phân tích thành phần hạt bùn cát đáy biển tại VNC52
Bảng 2-4. Phân bố tần suất độ cao sóng thực đo MGTN và MGĐB tại VNC54
Bång 2-5. Đặc trưng sóng thực đo MGTN và MGĐB tại VNC55
Bảng 2-6. Độ lớn tốc độ dòng chảy ven bờ MGTN và MGĐB tại VNC57
Bảng 2-7. Biến đổi diện tích RNM ven biển của VNC (1997-2017)60
Bảng 2-8. Tương quan tỷ lệ của một số đại lượng vật lý cơ bản theo luật Froude68
Bảng 2-9. Xây dựng ma trận thứ nguyên cơ bản (thân đê ngầm rỗng không cọc)71
Bảng 2-10. Xây dựng ma trận thứ nguyên cơ bản (hệ cọc)
Bảng 2-11. Các yếu tố thủy động lực nghiên cứu trong nguyên hình và mô hình82
Bảng 2-12. Xây dựng chương trình thí nghiệm tổng quát84
Bảng 2-13. Tổng hợp các kịch bản thí nghiệm MHVL85
Bảng 3-1. Thông tin các điểm phân tích số liệu sóng nước sâu111
Bảng 3-2. Thông số sóng, gió tại điểm NOAA1112
Bảng 3-3. Thông số sóng, gió tại điểm NOAA2113
Bảng 3-4. Thông số sóng, gió tại điểm NOAA3114
Bảng 3-5. Bảng tổng hợp thông số sóng thiết kế trước công trình118
Bảng 3-6. Tổng hợp các tham số thiết kế công trình120
Bảng 3-7. Thông số hình học của công trình120
Bảng 3-8. Giá trị tính toán các tham số chính chi phối quá trình truyền sóng121
Bảng 3-9. Giá trị tính toán hệ số truyền sóng K _t 121
Bảng 3-10. Tính toán chiều cao sóng phía sau công trình $(H_{s,t})$ 121
Bảng 3-11. Vị trí tọa độ địa lý của công trình thử nghiệm (ĐTĐL.CN-09/17)123

DANH MỤC HÌNH ẢNH

Hình 1-1. Xói lở bờ biển và RNM ở ĐBSCL do tác động của sóng biển9
Hình 1-2. Các giải pháp kỹ thuật bảo vệ bờ biển, tôn tạo bãi biển trên thế giới11
Hình 1-3. Các loại công trình giảm sóng bảo vệ đê biển, bờ biển, RNM ở VNC nói
riêng và Việt Nam nói chung15
Hình 1-4. Quá trình tiêu hao năng lượng sóng qua công trình ĐGS ngầm17
Hình 1-5. Các thông số cơ bản ảnh hưởng đến K _t 18
Hình 1-6. K _t của ĐGS ngầm đỉnh hẹp theo Van der Meer và nnk (1990)28
Hình 1-7. Quan hệ thực nghiệm của biến số chi phối " (B/L_0) * ξ " và K _t 29
Hình 1-8. So sánh giá trị tính K_t và đo đạc theo Briganti và nnk (2003)32
Hình 2-1. Vị trí địa lý VNC47
Hình 2-2. Hoa gió phân bố ngoài khơi theo số liệu của NOAA (2008-2017)48
Hình 2-3. Ảnh hưởng của bão LINDA (1997) và bão DURIAN (2006) đến VNC50
Hình 2-4. Hoa sóng MGTN (trái) và MGĐB (phải) tại VNC54
Hình 2-5. Phân bố trường dòng chảy trong MGTN và MGĐB khu vực MCM56
Hình 2-6. Diễn biến đường bờ biển (1997-2017)
Hình 2-7. Diễn biến hệ sinh thái RNM ven biển (1997-2017)61
Hình 2-8. Công trình đê rỗng phức hợp (minh họa trường hợp 3 hàng cọc)65
Hình 2-9. Phòng thí nghiệm Thủy Động Lực Sông Biển (Viện KHTLMN)77
Hình 2-10. Minh họa công trình đê rỗng phức hợp trong nguyên hình (trường hợp
bề rộng đỉnh đê B = 2,28m ~ n_c = 3 hàng cọc)78
Hình 2-11. Mặt cắt ngang thân đê ngầm rỗng không cọc trong mô hình80
Hình 2-12. Mặt cắt ngang công trình đê rỗng phức hợp trong mô hình80
Hình 2-13. Sơ đồ thí nghiệm MHVL (máng sóng HR Wallingford – Anh)83
Hình 2-14. Phổ sóng thí nghiệm MHVL tại vị trí đầu đo WG1, WG5, WG687
Hình 2-15. Năng lượng sóng cho 1 đơn vị bề rộng (y)87
Hình 3-1. Ảnh hưởng của chỉ số sóng vỡ γ đến K^0_t
Hình 3-2. Ảnh hưởng của độ ngập sâu tương đối $(R_c/H_{m0,i})$ đến K_t^0 92

Hình 3-3. Ảnh hưởng của bề rộng tương đối B/L _m đến K_t^0 93
Hình 3-4. Ảnh hưởng của bề rộng tương đối B/L _p đến K _t ⁰ 93
Hình 3-5. Ảnh hưởng của bề rộng tương đối B/H _{m0,i} đến K ⁰ _t 94
Hình 3-6. Tương quan s _m ~ K_t^0 95
Hình 3-7. Quan hệ $c_2 \sim R^2$ 96
Hình 3-8. Quan hệ $c_1 \sim R^2$ (với $c_2 = -1,0$)
Hình 3-9. Số liệu thực nghiệm so sánh với K_t^0 tính toán theo công thức thực nghiệm và
của các nghiên cứu khác97
Hình 3-10. Ảnh hưởng của của độ ngập sâu tương đối $R_c/H_{m0,i}$ đến D_{pr} 102
Hình 3-11. Ảnh hưởng bề rộng tương đối của hệ cọc (X_b/L_p) và $(X_b/H_{m0,i})$ 102
Hình 3-12. Ảnh hưởng của độ dốc sóng địa phương s_p (trái) và s_m (phải)103
Hình 3-13. Ảnh hưởng của độ sâu nước tương đối R_c (hay h) /L _p 103
Hình 3-14. Ảnh hưởng của chỉ số vỡ $H_{m0,i}/R_c$ (hay h)103
Hình 3-15. Đường hồi quy thực nghiệm xác định D _{pr} ~ \widehat{V}_p (với L _m)105
Hình 3-16. Đường hồi quy thực nghiệm xác định D _{pr} ~ \widehat{V}_p (với L _p)106
Hình 3-17. Quan hệ giữa chênh lệch năng lượng sóng phản xạ tương đối và tiêu hao
năng lượng do hệ cọc D _{pr} 107
Hình 3-18. Hiệu chỉnh hệ số mô hình <i>m</i> với các số liệu thí nghiệm108
Hình 3-19. So sánh kết quả tính toán hệ số truyền sóng K_t với số liệu thực nghiệm cho
trường hợp tổng quát là công trình đê rỗng phức hợp (hệ số mô hình $m = 0.94$). 109
Hình 3-20. Tổng hợp so sánh kết quả tính toán hệ số truyền sóng với toàn bộ số liệu
thực nghiệm (≈ 260 thí nghiệm MHVL)
Hình 3-21. Vị trí phân tích sóng nước sâu (NOAA1, NOAA2, NOAA3)111
Hình 3-22. Hoa sóng nước sâu tại 3 vị trí NOAA1, NOAA2, NOAA3112
Hình 3-23. Hướng sóng nước sâu tại vị trí NOAA1, NOAA2, NOAA3112
Hình 3-24. Đường phân bố tần suất sóng nước sâu tại điểm NOAA1113
Hình 3-25. Đường tần suất vận tốc gió ngoài khơi tại điểm NOAA1113
Hình 3-26. Đường phân bố tần suất sóng nước sâu tại điểm NOAA2114
Hình 3-27. Đường tần suất vận tốc gió ngoài khơi tại điểm NOAA2114

Hình 3-28. Đường phân bố tần suất sóng nước sâu tại điểm NOAA3	115
Hình 3-29. Đường tần suất vận tốc gió ngoài khơi tại điểm NOAA3	115
Hình 3-30. Mặt cắt ngang địa hình đáy biển sử dụng để tính toán truyền sóng	116
Hình 3-31. Kịch bản 1 (NOAA1) – Mô phỏng trên SWANONE	116
Hình 3-32. Phân bố chiều cao sóng lan truyền từ điểm NOAA1	116
Hình 3-33. Kịch bản 2 (NOAA2) – Mô phỏng trên SWANONE	117
Hình 3-34. Phân bố chiều cao sóng lan truyền từ điểm NOAA2	117
Hình 3-35. Kịch bản 3 (NOAA3) – Mô phỏng trên SWANONE	117
Hình 3-36. Phân bố chiều cao sóng lan truyền từ điểm NOAA2	118
Hình 3-37. Phối cảnh công trình đê rỗng phức hợp thử nghiệm	123
Hình 3-38. Vị trí và qui mô công trình thử nghiệm (ĐTĐL.CN-09/17)	123

DANH MỤC TỪ VIẾT TẮT

AFD	AFD Cơ quan phát triển Pháp tại Việt Nam				
ASEAN	Hiệp hội các quốc gia Đông Nam Á				
BÐKH	Biến đổi khí hậu				
Bộ NN&PTNTT	Bộ Nông nghiệp và Phát triển Nông thôn				
ÐBSCL	Đồng bằng sông Cửu Long				
Delft	Viện Delft (Hà Lan)				
DELOS	Environment Design of Low Crested Coastal Defence Structures				
ÐGS	Đê giảm sóng				
ÐHTL	Đại học Thủy lợi Hà Nội				
GIZ	Tổ chức Phát triển Quốc tế Đức				
HT	Hà Tiên				
KH-CN	Khoa học công nghệ				
KT-XH	Kinh tế – xã hội				
KV	Khu vực				
MCM	Mũi Cà Mau				
MGĐB	Mùa gió Đông Bắc				
MGTN	Mùa gió Tây Nam				
MHVL	Mô hình vật lý				
NBD	Nước biển dâng				
NCS	Nghiên cứu sinh				
NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration				
PT.	Phương trình				
RNM	Rừng ngập mặn				
TU Delft	Đại học Công nghệ Delft (Hà Lan)				
UCA	Đại học Cantabria (Tây Ban Nha)				
UPC	Đại học Polytechnic (Tây Ban Nha)				
Viện KHTLMN	Viện Khoa học Thủy lợi Miền Nam				
Viện KHTLVN	Viện Khoa học Thủy lợi Việt Nam				
VNC	Vùng nghiên cứu				

CÁC KÝ HIỆU CHỦ YẾU DÙNG TRONG LUẬN ÁN

g cọc g cọc m rỗng = $h_c + R_c$
g cọc m rỗng = h _c + R _c
g cọc m rỗng = h _c + R _c
m rõng = $h_c + R_c$
$= h_c + R_c$
$= h_c + R_c$
LC
ıợp
$(1,0^2)/2\pi$
ţ cọc
hông cọc
gầm
; [

MỞ ĐẦU

1. Tính cấp thiết của đề tài

Những năm gần đây vùng đồng bằng sông Cửu Long (ĐBSCL) của Việt Nam đang phải gồng mình đối mặt với nhiều thách thức lớn, vô cùng khắc nghiệt, do những can thiệp thô bạo phía thượng nguồn sông Mê Kông, phát triển kinh tế nội tại thiếu bền vững, biến đổi khí hậu (BĐKH) và nước biển dâng (NBD). Có thể nhận rõ, các tác động tiêu cực do con người và thiên nhiên gây ra, đang làm đảo ngược quá trình kiến tạo "thuận thiên" hình thành lên vùng đồng bằng châu thổ sông Cửu Long, nhiều dấu hiệu cho thấy đang phát sinh một chu kỳ "suy thoái", có thể làm biến đổi diện mạo và đe dọa tương lai ĐBSCL. Hậu quả hiện hữu mà vùng đồng bằng châu thổ non trẻ, song rất mẫn cảm và dễ tổn thương này đang phải gánh chiu là: tình trạng xâm thực bờ biển, suy thoái hệ sinh thái rừng ngập mặn (RNM) phòng hộ ven biển, sạt lở bờ sông, kênh, rạch, sụt lún đất, suy giảm mực nước ngầm, hạn hán, xâm nhập mặn, suy thoái chất lượng đất và nước, giảm tài nguyên thủy-hải sản, giảm năng suất nông nghiệp, ô nhiễm môi trường đất và nước, đe dọa an ninh nguồn nước,... Sinh kế của khoảng 18 triệu cư dân, nơi vốn là địa bàn trọng điểm trong chiến lược an ninh lượng thực quốc gia, vùng đóng góp 50% sản lượng lúa, 65% sản lượng nuôi trồng thủy sản, 70% các loại trái cây, 95% lượng gạo và 60% sản lượng cá xuất khẩu của Việt Nam đang bị đe dọa rất nghiêm trọng.

Nhiều vấn để khoa học - công nghệ (KH-CN) mới đặt ra hiện nay, cần phải tập trung nghiên cứu để phát triển bền vững ĐBSCL theo hướng "thuận thiên", tức là tôn trọng quy luật tự nhiên, tránh can thiệp thô bạo vào thiên nhiên, nhưng cũng không có nghĩa là cam chịu, buông xuôi, mà cần được nhận thức đúng để thích ứng tốt hơn trước BĐKH. Có thể nói, nội hàm của cụm từ "thuận thiên" được xem là quan điểm chỉ đạo xuyên suốt của Chính phủ cho tất cả các bộ, ban, ngành Trung ương và 13 tỉnh, thành phố vùng ĐBSCL, để định hướng phát triển bền vững vùng ĐBSCL thích ứng với BĐKH (Nghị quyết số 120/NQ-CP ngày 17/11/2017 của Chính phủ về phát triển bền vững đồng bằng sông Cửu Long thích ứng với BĐKH).

Trong đó, đặc biệt là nghiên cứu về các vấn đề bảo vệ môi trường, phòng chống thiên tai, giảm nhẹ các tổn thương, tác động tiêu cực do BĐKH gây ra đối với ĐBSCL. Vì vậy, đề tài luận án với nội dung nghiên cứu đề xuất giải pháp công trình đê giảm sóng (ĐGS) có dạng kết cấu mới, phi truyền thống và cơ sở khoa học đánh giá chức năng giảm sóng cho công trình, để có thể áp dụng một cách hiệu quả giải pháp công trình này cho mục đích giảm sóng bảo vệ bờ biển bùn RNM bị xói lở từ Mũi Cà Mau (MCM) đến Hà Tiên (HT), rất có ý nghĩa khoa học và mang tính cấp thiết hiện nay ở ĐBSCL.

2. Mục tiêu nghiên cứu

Nghiên cứu đề xuất được giải pháp công trình ĐGS có cấu trúc lắp ghép linh hoạt, bằng các cấu kiện bê tông khối rỗng đúc sẵn định hình và xây dựng được phương pháp tính toán truyền sóng cho công trình gắn với điều kiện tự nhiên vùng biển Tây của ĐBSCL.

3. Đối tượng và phạm vi nghiên cứu

Đối tượng nghiên cứu: Công trình ĐGS có dạng kết cấu mới và cơ chế tiêu hao năng lượng sóng khi truyền qua công trình

Phạm vi nghiên cứu: ĐGS ngầm dạng rỗng lắp ghép thêm hệ cọc bên trên đỉnh đê ngầm (trong luận án gọi là Công trình đê rỗng phức hợp), công trình xây dựng trên bãi biển bùn phía trước đai RNM bị xói lở từ MCM đến HT ở ĐBSCL.

Luận án tập trung nghiên cứu công trình đê rỗng phức hợp có các đặc trưng hình học theo cấu tạo như sau: Khối đế là một thân đê ngầm rỗng, tiết diện ngang theo phương truyền sóng hình thang cân, mái nhẵn, hệ số mái m = 1, diện tích lỗ rỗng trên mái đê cho phép nước xuyên qua vào trong thân đê chiếm 14% diện tích của mái đê. Hệ cọc lắp ghép linh hoạt bên trên đỉnh đê ngầm theo dạng hình hoa mai, với qui luật khoảng cách giữa các cọc trong một hàng bằng khoảng cách các hàng cọc và bằng kích thước đường kính cọc (sử dụng loại cọc trụ tròn bê tông ly tâm dự ứng lực đúc sẵn phổ biến trên thị trường xây dựng có kích thước đường kính cọc 30cm). Nghiên cứu không xem xét trường hợp cao trình đỉnh đê ngầm rỗng nhô cao hơn mực nước tính toán và cao trình đỉnh hệ cọc thấp hơn mực nước tính toán.

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:

1- Tổng quan các thành tựu nghiên cứu trên thế giới và trong nước về hệ số truyền sóng của công trình ĐGS có tiết diện ngang dạng hình thang, chữ nhật, hay dạng tường đứng (gọi chung là công trình ĐGS) và hệ cọc giảm sóng có tiết diện ngang là hình tròn (gọi là ĐGS cọc) trong chức năng bảo vệ bờ biển. Từ đó rút ra các vấn đề khoa học còn tồn tại và đặt vấn đề cho luận án cần nghiên cứu.

2- Nghiên cứu đề xuất giải pháp công trình đê rỗng phức hợp ứng dụng thích hợp cho mục đích giảm sóng vệ bờ biển bùn RNM bị xói lở từ MCM đến HT.

3- Nghiên cứu thực nghiệm trên mô hình vật lý (MHVL) máng sóng 3 trường hợp truyền sóng: (i) Hiện trạng không có công trình; (ii) Thân đê ngầm rỗng không cọc; (iii) Công trình đê rỗng phức hợp.

4- Nghiên cứu xây dựng công thức thực nghiệm tính toán xác định hệ truyền sóng của thân đê ngầm rỗng không cọc (hay thành phần năng lượng sóng tiêu hao do thân đê ngầm rỗng không cọc).

5- Nghiên cứu xây dựng công thức bán thực nghiệm tính toán xác định thành phần năng lượng sóng tương đối tiêu hao bởi hệ cọc bên trên đỉnh đê ngầm rỗng.

6- Nghiên cứu xây dựng công thức bán thực nghiệm dạng tổng quát tính toán xác định hệ số truyền sóng của công trình đê rỗng phức hợp.

7- Ứng dụng kết quả nghiên cứu đánh giá chức năng giảm sóng cho công trình đê rỗng phức hợp thử nghiệm của đề tài "Nghiên cứu giải pháp hợp lý và công nghệ thích hợp phòng chống xói lở, ổn định bờ biển vùng ĐBSCK, đoạn từ Mũi Cà Mau đến Hà Tiên", Đề tài KHCN độc lập cấp Nhà nước, mã số ĐTĐL.CN-09/17.

5. Cách tiếp cận và phương pháp nghiên cứu

5.1 Cách tiếp cận

Để ứng phó khẩn cấp với tình trạng xói lở bờ biển và RNM ở phía biển Tây của tỉnh Cà Mau, thời gian vừa qua các tổ chức nghiên cứu hay tư vấn trong và ngoài nước như Viện Kỹ thuật Biến, Viện Thủy công, Viện Sinh thái và Bảo vệ Công trình, Công ty Cổ phần Khoa học Công nghệ Việt Nam (Công ty Busadco), Tổ chức GIZ (Đức),... đã nghiên cứu và tiến hành thử nghiêm môt số loai công trình có chức năng giảm sóng chủ đông, bằng nhiều loại hình vật liêu và kết cấu khác nhau tại những vi trí xói lở xung yếu như: ĐGS bằng coc tròn bê tông ly tâm dư ứng lực lõi chèn đá hộc, đê trụ rỗng, đê bê tông cốt phi kim, túi Geotube, rọ đá hộc, hàng rào tre hay cừ tràm, cừ bản nhựa,... [4], [28]. Nhìn chung, sau khi xây dựng công trình thử nghiệm, bãi biển đã có hiện tượng bồi tụ ban đầu, cây ngập mặn đã có dấu hiệu tái sinh, điển hình nhất là loại ĐGS bằng cọc tròn bê tông ly tâm dự ứng lực lõi chèn đá hộc [22], được xây dựng thử nghiệm lần đầu vào năm 2009 với chiều dài 300m tại bờ biển xã Khánh Tiến, huyện U Minh, tỉnh Cà Mau (xem Hình 1-3e), sau nhiều lần cải tiến để giảm giá thành xây dựng, đến nay được nhân rộng hơn 17km [21]. Tuy nhiên, qua thực tiễn khai thác sử dụng, hầu như các công trình thử nghiệm đều bộc lộ hạn chế về mặt kỹ thuật liên quan đến chức năng giảm sóng của công trình, dẫn đến hiệu quả giảm sóng bảo vệ bờ biến hay RNM còn chưa rõ rệt, trong môt số trường hợp còn thiếu tính bền vững, nói cách khác là hiệu quả tổng hợp đạt được còn chưa cao (xem Hình 1-3). Nguyên nhân là với đặc thù bờ biển dạng bùn RNM bị xói lở như tại phía biển Tây của ĐBSCL, sẽ rất khó mang lại thành công nếu vận dụng các giải pháp KH-CN bảo vệ bờ biển hay tôn tạo bãi biển hiện nay, cho dù các giải pháp này có cơ sở khoa học và lý luận thiết kế khá đầy đủ, bởi vì các giải pháp KH-CN bảo vệ bờ biển này được nghiên cứu và ứng dụng cho bờ biển dạng cát bị xói lở phổ biến hơn.

Để giải quyết các nội dung nghiên cứu đặt ra trên đây, luận án lựa chọn cách tiếp cận tổng hợp như sau: (i) Tiếp cận từ thực tiễn theo nguyên lý giảm sóng tự nhiên của cây ngập mặn ven biển (tiếp cận hệ sinh thái hay dựa trên hệ sinh thái); (ii) Tiếp cận từ thực tiễn ứng dụng các loại công trình có chức năng giảm sóng chủ động đã xây dựng thử nghiệm tại vùng nghiên cứu (VNC) hiện nay; (iii) Tiếp cận kế thừa có chọn lọc từ các thành tựu nghiên cứu của thế giới và trong nước có liên quan về hệ số truyền sóng của công trình ĐGS trong chức năng bảo vệ bờ biển. Từ đó, nghiên

cứu đề xuất giải pháp công trình ĐGS có cấu trúc dạng lắp ghép bằng các cấu kiện bê tông đúc sẵn định hình và cơ sở khoa học về cơ chế giảm sóng của công trình trong chức năng bảo vệ bờ biển gắn với điều kiện tự nhiên về chế độ thủy-hải văn của VNC. Công trình có tính năng giảm sóng linh hoạt, ứng dụng thích hợp cho mục đích giảm sóng bảo vệ bờ biển bùn và RNM bị xói lở từ MCM đến HT. Cơ chế giảm sóng mô phỏng theo nguyên lý giảm sóng tự nhiên của cây ngập mặn ven biển, không ngăn cản hoàn toàn sự lưu thông của nước qua tuyến đê, giúp duy trì các quá trình trao đổi nước, giảm thiểu các tác động xấu đến môi trường sinh thái của tuyến đê, đồng thời có khả năng gây bồi tạo bãi, khôi phục RNM sau đê, kết cấu công trình phù hợp với địa chất nền bùn mềm yếu có khả năng chịu tải trọng kém, thi công lấp đặt nhanh, giá thành hợp lý, có khả năng luân chuyển tái sử dụng.

5.2 Phương pháp nghiên cứu

Để giải quyết các nội dung nghiên cứu đặt ra trên đây, NCS sẽ sử dụng các phương pháp nghiên cứu chính như sau:

1- Phương pháp nghiên cứu tổng quan: Tổng hợp và phân tích các công trình nghiên cứu của thế giới và trong nước có liên quan đến đề tài luận án. Từ đó, tìm ra những vấn đề khoa học chưa được nghiên cứu hay nghiên cứu chưa đầy đủ nếu áp dụng vào thực tiễn có tính đặc thù của VNC.

2- Phương pháp nghiên cứu thực nghiệm: Thí nghiệm MHVL máng sóng thủy lực 3 trường hợp: (i) Hiện trạng không có công trình; (ii) Thân đê ngầm rỗng không cọc (khối đế); (iii) Đê ngầm rỗng có hệ cọc bên trên (công trình đê rỗng phức hợp). Sử dụng lý thuyết cân bằng năng lượng của sóng ngẫu nhiên truyền vuông góc với bờ qua công trình là thân đê ngầm rỗng không cọc và đê rỗng phức hợp, đồng thời kết hợp linh hoạt với bộ số liệu đo đạc thực nghiệm 3 trường hợp thí nghiệm là (i), (ii) và (iii) nghiên cứu xây dựng công thức bán thực nghiệm dạng tổng quát tính toán xác định hệ số truyền sóng của công trình đê rỗng phức hợp. Trong đó, 2 thành phần năng lượng sóng tiêu hao độc lập do thân đê ngầm rỗng không cọc và do hệ cọc bên trên được thiết lập thông qua mối quan hệ là các tham số phi thứ nguyên chi phối chính đến quá trình truyền sóng của công trình.

3- Phương pháp chuyên gia: Thông qua các ý kiến trao đổi với các nhà khoa học tại các hội thảo khoa học trong và ngoài nước, hay các ý kiến góp ý, phản biện của các bài báo khoa học trước khi được công bố trên các tạp chí khoa học chuyên ngành như: Tạp chí Spinger Nature (Scopus Indexed), Tạp chí Nông nghiệp và Phát triển Nông thôn (ISSN:1859-4581), Tạp chí Khoa học và Công nghệ Thủy lợi (ISSN:1859-4255), Tạp chí Khoa học và Công nghệ Biển (ISSN:1859-3097), hay các đợt báo kết quả học tập và nghiên cứu định kỳ tại cơ sở đào tạo Viện Khoa học Thủy lợi miền Nam (2 lần/năm).

4- Phương pháp nghiên cứu ứng dụng: Ứng dụng kết quả nghiên cứu của luận án tính toán xác định hệ số truyền sóng và lựa chọn phương án công trình đê rỗng phức hợp cho mục đích giảm sóng hỗ trợ trồng cây ngập mặn, tại bờ biển khu vực cửa cống Kênh Mới, xã Khánh Hải, huyện Trần Văn Thời, tỉnh Cà Mau (công trình thử nghiệm của Đề tài cấp Quốc gia, mã số ĐTĐL.CN-09/17) [24].

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

Luận án đã luận giải và giới thiệu giải pháp công trình đê rỗng phức hợp có kết cấu mới, phi truyền thống, dạng lắp ghép linh hoạt bằng các cấu kiện bê tông đúc sẵn định hình để giảm sóng chống xói lở bảo vệ bờ biển từ MCM đến HT ở ĐBSCL. Bản chất kỹ thuật của giải pháp công trình này là sự kết hợp giữa công trình ĐGS đỉnh thấp với hệ cọc trụ tròn bên trên đỉnh đê, công trình có tính năng giảm sóng linh hoạt, cơ chế tiêu giảm sóng thuận theo tự nhiên như cây ngập mặn ven biển, giảm thiểu được các tác động tiêu cực đến hệ sinh thái RNM ven biển. Có thể nói, giải pháp công trình đê rỗng phức hợp đáp ứng khá đầy đủ được các tiêu chí đa mục tiêu của một giải pháp KH-CN bảo vệ bờ biển cho VNC, hoàn toàn khả thi khi xem xét ứng dụng vào thực tiễn cho mục đích giảm sóng bảo vệ bờ biển bùn RNM bị xói lở từ MCM đến HT, đáp ứng yêu cầu thực tế bức xúc là tình trạng xói lở bờ biển và suy thoái hệ sinh thái RNM tại vùng kinh tế trọng điểm miền Tây Nam bộ nói riêng và ĐBSCL nói chung.

Luận án đã phân tích, xác định được mức độ ảnh hưởng của các tham số chi phối cơ bản và xây dựng được phương pháp tính toán truyền sóng cho loại công trình đê ngầm cọc phức hợp. Trong nghiên cứu đã vận dụng một cách sáng tạo giữa lý thuyết về cân bằng năng lượng sóng với nghiên cứu thực nghiệm trên MHVL máng sóng thủy lực, khẳng định tính đúng đắn của cở sở lý thuyết với các lý luận và các giả thuyết khoa học đã sử dụng trong quá trình nghiên cứu. Kết quả nghiên cứu có đầy đủ cơ sở khoa học minh chứng, bảo đảm độ tin cậy, phạm vi ứng dụng được xác định rõ ràng. Có thể nói, cho đến nay cơ sở khoa học để đánh giá chức năng giảm sóng cho loại công trình đê rỗng phức hợp này chưa được thế giới hay trong nước đề xuất và nghiên cứu một cách đầy đủ.

Kết quả nghiên của luận án đã được ứng dụng vào thực tiễn để tính toán, lựa chọn phương án công trình đê rỗng phức hợp theo thiết kế chức năng giảm sóng hỗ trợ trồng cây ngập mặn ven biển (công trình thử nghiệm của Đề tài cấp Quốc gia, mã số ĐTĐL.CN-09/17).

7. Những đóng góp mới của luận án

1- Nghiên cứu đề xuất được giải pháp công trình đê rỗng phức hợp, lắp ghép linh hoạt bằng các cấu kiện bê tông đúc sẵn định hình. Trong đó, phần khối đế là một thân đê ngầm rỗng, tiêu hao năng lượng sóng thông qua quá trình sóng vỡ, ma sát và dòng chảy thân đê, phần hệ cọc bên trên đỉnh đê ngầm tiêu hao năng lượng sóng nhờ công của lực cản. Tính mới và trình độ sáng tạo của giải pháp công trình này chính là việc đề xuất bố trí linh hoạt thêm hệ cọc bên trên đỉnh đê ngầm để tăng hiệu quả giảm sóng của đê ngầm, nhưng không ngăn cản hoàn toàn sự lưu thông của nước qua tuyến đê, giúp duy trì các quá trình trao đổi chất, trao đổi nước bên trong và ngoài tuyến đê, giảm thiểu các tác động xấu đến môi trường tự nhiên vùng phụ cận, đồng thời còn có khả năng gây bồi, tạo bãi, hỗ trợ bảo tồn hay tái sinh hệ sinh thái RNM phía biển Tây của ĐBSCL, kết cấu công trình phù hợp với địa chất nền bùn mềm yếu khả năng chịu tải kém, thi công lấp đặt nhanh, giá thành hợp lý, có khả năng luân chuyển tái sử dụng (xem Hình 2-8 và Hình 3-37).

2- Xây dựng được phương pháp và thiết lập được công thức tổng quát dạng bán thực nghiệm lượng hóa hệ số truyền sóng của công trình gắn với điều kiện tự nhiên vùng biển Tây của ĐBSCL.

$$K_t = \sqrt{K_t^{0^2} - 0.94. D_{pr}}$$

trong đó:

 K_t là hệ số truyền sóng qua công trình đê rỗng phức hợp.

 K^0_t là hệ số truyền sóng của thân đê ngầm rỗng không cọc.

 $D_{\rm pr}$ là thành phần năng lượng sóng tương đối tiêu hao bởi hệ cọc bên trên.

8. Cấu trúc luận án

Ngoài phần Mở đầu, Kết luận và Kiến nghị, Danh mục công trình công bố, Tài liệu tham khảo và Phụ lục, cấu trúc của luận án gồm có 3 chương chính như sau:

CHƯƠNG 1. TỔNG QUAN NGHIÊN CỨU VỀ CHỨC NĂNG GIẢM SÓNG BẢO VỆ BỜ BIỂN CỦA CÔNG TRÌNH ĐÊ GIẢM SÓNG.

CHƯƠNG 2. CƠ SỞ KHOA HỌC NGHIÊN CỨU GIẢI PHÁP CÔNG TRÌNH ĐÊ RÕNG PHỨC HỢP.

CHƯƠNG 3. NGHIÊN CỨU XÂY DỰNG PHƯƠNG PHÁP TÍNH TOÁN TRUYỀN SÓNG CHO CÔNG TRÌNH ĐỂ RÕNG PHỨC HỢP.

CHƯƠNG 1. TỔNG QUAN NGHIÊN CỨU VỀ CHỨC NĂNG GIẢM SÓNG BẢO VỆ BỜ BIỄN CỦA CÔNG TRÌNH ĐÊ GIẢM SÓNG

1.1. Giới thiệu chung

1.1.1. Nguyên lý bảo vệ bờ biển

Xói lở bờ biển là quá trình làm biến đổi đường bờ và hạ thấp cao trình bãi theo thời gian và không gian, nguyên nhân của hiện tượng một đoạn bờ biển cụ thể bị xói lở thường được lý giải có thể do nguyên nhân nội sinh, ngoại sinh, nhân sinh, hoặc tổ hợp của hai hoặc cả ba nguyên nhân này gây ra. Nhưng có lẽ nguyên nhân ngoại sinh bao gồm các yếu tố tự nhiên như: gió, bão, biến đổi mực nước, dòng chảy và sóng biển là các nguyên nhân chính và phổ biến, chi phối quá trình xói lở bờ biển ở nhiều quốc gia trên thế giới và Việt Nam hiện nay [10]. Trong đó, yếu tố sóng biển luôn được đánh giá là tác nhân chính gây ra sự phá hoại cấu trúc địa chất của bờ biển, kết cấu của công trình xây dựng ven bờ, hay làm suy thoái hệ sinh thái RNM phòng hộ ven biển (xem Hình 1-1).



a) Bờ biển Trần Văn Thời, tỉnh Cà Mau. b) Bờ biển An Minh, tỉnh Kiên Giang.

Hình 1-1. Xói lở bờ biển và RNM ở ĐBSCL do tác động của sóng biển.

Để bảo vệ bờ biển, tôn tạo bãi biển cần xây dựng những công trình khống chế được chuyển động bùn cát trong đới bờ. Khống chế chuyển động bùn cát có thể thực hiện bằng 2 giải pháp chủ yếu như sau: (i) Làm suy yếu tác động của sóng lên dải ven bờ; (ii) Chặn lại dòng bùn cát trong đới bờ. Từ nguyên lý đó có thể tiến hành các giải pháp công trình hay phi công trình cơ bản sau đây:

1- Giải pháp công trình: Dạng bị động như kè biển (xem Hình 1-2a). Dạng chủ động như: Mỏ hàn biển (xem Hình 1-2b), đê chắn sóng (xem Hình 1-2c), ĐGS (xem Hình 1-2d,e), rạn nhân tạo (xem Hình 1-2f), nuôi bãi nhân tạo (xem Hình 1-2g), đảo nhân tạo (xem Hình 1-2h), công trình kết hợp như tổ hợp mỏ hàn biển với ĐGS (tạo thành dạng chữ T, Γ , E) hay ĐGS kết hợp với nuôi bãi nhân tạo,... (xem Hình 1-2i).

2- Giải pháp phi công trình: RNM tự nhiên (xem Hình 1-2j), ban hành hệ thống văn bản pháp luật về qui hoạch, quản lý và khai thác bền vững dải bờ biển.



a) Kè biển (Hà Lan).



c) Đê chắn sóng (Mỹ).



e) ĐGS bằng trụ tròn bê tông (Đức).



b) Mỏ hàn biển (Tây Ban Nha).



d) ĐGS ngầm (Ai Cập).



f) Rạn nhân tạo (Mexico).



g) Nuôi bãi nhân tạo (Mỹ).



i) ĐGS kết hợp nuôi bãi (Mỹ).



h) Đảo nhân tạo (Maldives).



j) RNM (Pakistan).

Nguồn: Internet.

Hình 1-2. Các giải pháp kỹ thuật bảo vệ bờ biển, tôn tạo bãi biển trên thế giới.

Nhìn chung bảo vệ bờ biển là một vấn đề KH-CN phức tạp, rất khó có một giải pháp hình mẫu mang tính chuẩn mực để có thể áp dụng chung cho mọi vùng miền, do sự khác biệt về điều kiện tự nhiên, dẫn đến nguyên nhân và cơ chế xói lở bờ biển tại mỗi vùng miền luôn có khác biệt. Khi lựa chọn giải pháp kỹ thuật nào đó (xem Hình 1-2), tùy theo mục tiêu yêu cầu cần bảo vệ, thường phải vận dụng một cách linh hoạt có thể thuộc nhóm công trình dạng bị động, chủ động, hay phi công trình, hoặc tổ hợp của hai hoặc cả ba dạng này với nhau, đồng thời còn phải phù hợp với điều kiện về kinh tế, kỹ thuật và môi trường tự nhiên của vùng miền đó [11]. Trong thực tiến, lựa chọn giải pháp bảo vệ bờ biển thường hướng đến dạng công trình đa mục tiêu, đó là ngoài chức năng chính là giảm sóng (hiệu quả gây bồi thực chất chính là hệ quả của việc giảm sóng), công trình còn có khả năng bảo tồn hay kích thích hệ sinh thái tự nhiên, hỗ trợ phát triển du lịch, giảm thiểu tối đa các tác động

tiêu cực đến môi trường, tuổi thọ cao, giá thành xây dựng hợp lý, thi công đơn giản,... Có thể nói với chức năng giảm sóng chủ động, lại giảm thiểu xói lở bờ biển cho các vùng lân cận, ĐGS được đánh giá là giải pháp công trình đáp ứng khá đầy đủ tiêu chí đa mục tiêu trong chức năng bảo vệ bờ biển. Gần đây nhiều quốc gia trên thế giới đã sử dụng ĐGS để thay thế cho các giải pháp công trình như kè biển, mỏ hàn biển, hay đê chắn sóng để ứng phó với BĐKH-NBD đang gia tăng trên toàn cầu gây xói lở bờ biển và làm suy thoái hệ sinh thái RNM phòng hộ ven biển.

1.1.2. Thực tiễn ứng dụng ĐGS bảo vệ bờ biển

ĐGS được nhiều quốc gia có trình độ KH-CN biển phát triển như Mỹ, Nhật Bản, Úc, Brazil, Canada, Đan Mạch, Pháp, Anh, Ý, Tây Ban Nha, Bồ Đào Nha, Monaco,... sử dụng để bảo vệ bờ biển, do hiệu quả tổng hợp mang lại vượt trội so với các giải pháp công trình truyền thống trước đây là kè biển, mỏ hàn biển, đê chắn sóng. Trong đó, Mỹ là quốc gia xây dựng công trình ĐGS sớm nhất từ năm 1905, với dự án có tên là Venice dài 183m thuộc bang Canifornia, đến năm 1993 đã có 23 dự án với tổng chiều dài hơn 17,2km ĐGS được xây dựng để bảo vệ bờ biển, tôn tạo bãi biển ở các bang California, Florida, Hawaii, Ohio, Virginia, Maryland, Louisiana,...[56].

Tại Châu Âu, theo nghiên cứu của dự án DELOS (1998-2002) đã khẳng định ĐGS mang lại hiệu quả vượt trội so với các giải pháp công trình truyền thống như kè biển, mỏ hàn biển hay đê chắn sóng, minh chứng là số lượng công trình ĐGS đã xây dựng chiếm tỉ lệ rất cao lên tới 66% (\approx 1.245 công trình ĐGS), trong khi mỏ hàn biển chỉ chiếm 8%, còn lại 26% là các dạng công trình khác. Những quốc gia xây đã dựng nhiều công trình ĐGS nhất ở Châu Âu là Anh, Ý, Tây Ban Nha, Đan Mạch, Pháp [44].

Tại Châu Á, Nhật Bản có chiều dài bờ biến hơn 34.600km, luôn phải đặc biệt quan tâm và dành nhiều ngân sách cho việc bảo tồn bờ biển hàng năm, chỉ riêng giai đoạn từ năm 1950 đến 2002 đã tiêu tốn khoảng 4.879 tỷ Yên (\approx 40,66 tỷ USD). Nhìn chung, thời kỳ trước năm 1980, các loại công trình đê biển, kè biển và mỏ hàn biển được xây dựng phổ biến, nhưng từ sau năm 1981 trở lại đây, Nhật Bản đã trở

thành quốc gia xây dựng nhiều công trình ĐGS nhất thế giới (xem Bảng 1-1), số liệu nghiên cứu cho thấy đến năm 1996 có 7.371 công trình ĐGS đã được xây dựng với tổng chiều lên tới 837km [56], [58]. Một vài quốc gia khác như Trung Quốc, Ấn Độ, Singapo,... cũng ứng dụng ĐGS để bảo vệ bờ biển, song còn rất hạn chế về số lượng và qui mô công trình so với Nhật Bản, Mỹ và các nước Châu Âu [11].

Năm	Công	Công	Công trình mỏ		Công trình ĐGS		Chiều	Chiều
	trình	trình	hàn biển				dài bờ	dài bờ
	kè biển	đê biển	Số	Chiều	Số	Chiều	biển bị	biển
			lượng	dài xây	lượng	dài xây	xói lở	được
			công	dựng	công	dựng	(km)	bảo vệ
			trình	(km)	trình	(km)		(km)
1962	2.686	1.818	5.448		205			
1965	3.743	2.086	6.781	273	347	28	10.701	6.100
1972	4.752	2.566	8.747		544			
1981	5.579	2.838	10.043		2.305			
1982	5.665	2.889	9.790		2.831			
1985	5.806	2.836	9.630	387	3.732	347	15.958	9.008
1996	6.005	2.922	9.387	384	7.371	837	19.762	9.466

Bảng 1-1. Tổng hợp các giải pháp công trình bảo vệ bờ biển ở Nhật Bản [58].

Tại Việt Nam cũng đang thử nghiệm một số dạng công trình giảm sóng bằng nhiều loại hình vật liệu và kết cấu khác nhau để bảo vệ đê biển, bờ biển và RNM bị xói lở (xem Hình 1-3) như: (i) ĐGS kết cấu khối Tetrapod tại Nam Định và Hải Phòng [11]; (ii) ĐGS dạng cọc bê tông ly tâm lõi chèn đá hộc tại Cà Mau và Bạc Liêu [19], [22]; (iii) ĐGS dạng bán nguyệt (đê trụ rỗng) tại Cà Mau và (iv) ĐGS bê tông cốt phi kim tại Cà Mau [21], [28]; (v) ĐGS bằng túi Geotube tại Bình Thuận, BR-VT, Tiền Giang, Trà Vinh, Bạc Liêu, Cà Mau [15]; (vi) Kè giảm sóng rọ đá hộc, cừ bản nhựa, cừ tràm tại Cà Mau [21]; (vii) Giảm sóng bằng hàng rào cọc tre tại Sóc Trăng, Bạc Liêu, Cà Mau, Kiên Giang [9], [20], [33]. Tuy nhiên, các công trình thử nghiệm thường có qui mô khá nhỏ, chủ yếu để xử lý khẩn cấp tại những vị trí xói lở cục bộ có tính xung yếu, do đó một số trường hợp công trình sau khi xây dựng kém bền

vững, hiệu quả giảm sóng của công trình theo đạt được theo chức năng thiết kế chưa như mong muốn, khả năng nhân rộng mô hình còn hạn chế [4], [28]. Bởi vì, khi ứng dụng vào thực tiễn, còn thiếu cơ sở khoa học rõ ràng và lý luận thiết kế chức năng giảm sóng của công trình theo yêu cầu của mục tiêu cần bảo vệ, hoặc khi vận dụng các giải pháp KH-CN bảo vệ bờ biển, tôn tạo bãi biển của thế giới hiện nay, tuy có đủ cơ sở khoa học và lý luận thiết kế lại ít coi trọng đến giới hạn phạm vi ứng dụng cụ thể của nghiên cứu.



a) ĐGS khối Tetrapod ở Nghĩa Hưng, tỉnh Nam Định.





c) Tường giảm sóng bán kiên cố lõi bó cừ tràm ở Nhà Mát, tỉnh Bạc Liêu

b) ĐGS khối Tetrapod ở Cát Hải, thành phố Hải Phòng.



d) ĐGS túi Geotube ở Hiệp Thạnh, tỉnh Trà Vinh.



e) ĐGS cọc bê tông ly tâm lõi đá hộc ở f) ĐGS bê tông trụ rỗng ở biển Tây, biển Tây, tỉnh Cà Mau.







h) ĐGS bê tông cốt phi kim ở biển
Đông, tỉnh Cà Mau (Kiểu 2).





i) Tường giảm sóng rọ đá hộc ở Biển j) Hàng rào cọc tre ở tỉnh Sóc Trăng,
 Tây, tỉnh Cà Mau.
 Bạc Liêu, Kiên Giang (GIZ).

Hình 1-3. Các loại công trình giảm sóng bảo vệ đê biển, bờ biển, RNM ở VNC nói riêng và Việt Nam nói chung.

1.1.3. Phân loại công trình ĐGS

Công trình ĐGS có chức năng chính là tiêu hao năng lượng sóng tác động trực tiếp lên vùng được che chắn phía sau, hay nói cách khác ĐGS là dạng công trình có tính năng giảm sóng chủ động được sử dụng để che chắn hướng sóng chính gây mất an toàn cho mục tiêu khai thác cần phải bảo vệ. Phân loại công trình ĐGS có các dạng cơ bản như sau [11]:

1- Theo hình dạng bố trí trên mặt bằng: ĐGS có thể là một đoạn (đê đơn), hay nhiều đoạn đứt quãng (nhóm đê) song song hoặc xiên góc với bờ (trong một số trường hợp có dạng chữ V hoặc chữ Z). 2- Theo vị trí công trình so với đường bờ: ĐGS được phân chia làm 3 dạng cơ bản là xa bờ, vùng bờ và cận bờ.

3- Theo cao độ đỉnh công trình so với mực nước thiết kế: ĐGS được chia làm 2 dạng cơ bản là ĐGS ngầm cho phép mọi sóng tới truyền qua và công trình ĐGS nhô không cho sóng truyền qua (tuy nhiên một số sóng vẫn leo và truyền qua đỉnh đê). Trường hợp bờ biển có biên độ triều dao động lớn dẫn đến công trình ĐGS có thể là ngầm khi mực nước thủy triều cao, nhô khi mực nước thủy triều thấp, khi đó gọi là công trình ĐGS bán ngập.

4- Theo hình dạng mặt cắt ngang hình học: ĐGS có mặt cắt thực dụng hình thang là phổ biến nhất, một số ít có dạng tường đứng hay chữ nhật có góc vát, dạng bán nguyệt, dạng hệ cọc tiết diện ngang (tròn, vuông, chữ nhật, tam giác),...

5- Theo kết cấu và vật liệu xây dựng: ĐGS kết cấu đá đổ là loại truyền thống được ứng dụng phổ biến nhất trên thế giới, hay lõi đá hộc hỗn hợp phủ các khối dị hình như Tetrapod, Tribar, Dolos, v.v., hay đá đổ kết hợp với cát (đất) thành đảo nhân tạo. Các dạng kết cấu mới, phi truyền thống như cấu kiện L-Block, cấu kiện AccropodeTM, cấu kiện AccropodeTM II, cấu kiện Core-LocTM, cấu kiện EcopodeTM, để trụ rỗng hình bán nguyệt; dạng thân thiện với môi trường như dải ngầm nhân tạo (Artificial Reefball), kết cấu gò ngầm P.E.P, WaveBlockTM, BeachSaverTM, Surger BreakerTM, BeachPrismTM, Geotube, hệ cọc (bê tông, gỗ, tre, cừ tràm, dừa,...) [25]. Như vậy theo phân loại công trình ĐGS, công trình đê rỗng phức hợp nghiên cứu trong luận án được xem là dạng có kết cấu mới phi truyền thống, vị trí xây dựng công trình vùng cận bò, cho phép mọi sóng biển tới truyền qua đỉnh công trình cho dù đinh hệ cọc cao hơn mực nước tính toán.

1.1.4. Chức năng giảm sóng của công trình ĐGS

Sóng tới truyền vuông góc với bờ qua công trình ĐGS nói chung, chiều cao sóng sẽ bị suy giảm, do năng lượng sóng bị tiêu tán thông qua quá trình sóng vỡ, phản xạ, ma sát và dòng chảy qua thân đê (trường hợp đê thấm). Các yếu tố chi phối quá trình tiêu hao năng lượng sóng là tính chất sóng tới, độ sâu nước, thông số hình học và cấu trúc vật liệu của công trình ĐGS (xem Hình 1-4).



Hình 1-4. Quá trình tiêu hao năng lượng sóng qua công trình ĐGS ngầm [25].

Xét trên một mặt cắt ngang công trình ĐGS (theo phương truyền sóng), quá trình vật lý cơ bản ảnh hưởng tới tiêu hao năng lượng sóng như sau: Sóng võ trên đỉnh đê chiếm tỷ trọng lớn nhất, tiếp đến là sóng phản xạ với mái đê về phía biển, ma sát với thân đê và nhỏ nhất là phần năng lượng sóng được chuyển hóa thành dòng chảy qua môi trường rỗng của thân đê (đê thấm). Với bài toán không gian, trên thực tế thì năng lượng sóng còn bị tiêu hao một phần khá nhỏ bởi hiện tượng nhiễu xạ và khúc xạ xung quanh khu vực đầu đê. Mỗi loại công trình ĐGS có mức độ tiêu tán năng lượng và chế độ sóng phía sau công trình khác nhau, do tính chất phân tán của sóng làm quá trình biến đổi phổ sóng sẽ xảy ra mạnh mẽ khi sóng vào vùng bãi thoải nước nông, các dải sóng dài (tần số thấp) và dải sóng ngắn (tần số cao) sẽ có sự tương tác và mức độ tiêu hao năng lượng khác nhau [25], [46].

Công trình ĐGS có chức năng chính là tiêu hao một phần năng lượng sóng tới, nhằm giảm thiểu tác động trực tiếp của sóng đến vùng bờ biển cần phải bảo vệ. Khi ứng dụng vào thực tiễn để công trình đem hiệu quả như mong muốn, trình tự các bước liên quan đến thiết kế công trình phải thực hiện như sau: (i) Đánh giá chức năng giảm sóng của công trình (gọi là bước thiết kế chức năng - tiếng Anh là functional design) theo yêu cầu của mục tiêu cần bảo vệ. Làm cơ sở để quyết định qui mô, kích thước hình học cơ bản của công trình. Đối với công trình giảm sóng, việc nghiên cứu đánh giá hiệu quả gây bồi thì cũng phải xác định các kích thước hình học để đảm bảo chức năng yêu cầu trước; (ii) Thiết kế kết cấu công trình trên cơ sở các tải trọng tác động lên công trình. Làm cơ sở để tính toán các vấn để liên quan đến ổn định tổng thể như trượt, lật, đẩy nổi, lún,... của công trình. Chức năng giảm sóng của công trình ĐGS được đánh giá thông qua hệ số truyền sóng (ký hiệu K_t) là tỉ số giữa chiều cao sóng truyền phía sau công trình (ký hiệu $H_{s,t}$) với chiều cao sóng tới trước công trình (ký hiệu $H_{s,i}$) có dạng như sau:

$$K_{t} = \frac{H_{s,t}}{H_{s,i}}$$
(1-1)

Hoặc hệ số truyền năng lượng sóng (K_E) như sau:

$$K_{E} = \frac{E_{t}}{E_{i}} = \frac{H_{s,t}^{2}}{H_{s,i}^{2}} = K_{t}^{2} (v \acute{o} i E = \frac{1}{8} \rho g H_{s}^{2})$$
(1-2)

trong đó: H_s dùng để biểu thị chung cho chiều cao sóng, tùy theo phương pháp phân tích có thể H_s là $H_{1/3}$ (phân tích thống kê), là H_{m0} (phân tích phổ). Tuy nhiên, K_t khác biệt không đáng kể khi sử dụng $H_{1/3}$ hay H_{m0} . Thực tế thường sử dụng giá trị chiều cao sóng H_{m0} từ việc phân tích phổ, được sử dụng trong các nghiên cứu phổ biến hơn do phản ánh đúng tính chất sóng tại vị công trình (xem Hình 1-5).



Hình 1-5. Các thông số cơ bản ảnh hưởng đến K_t [45].

Cùng có chức năng giảm sóng chủ động, song mỗi loại ĐGS khác nhau sẽ có hiệu quả giảm sóng đạt được theo chức năng thiết kế khác nhau (đặc biệt là đối với loại ĐGS có dạng kết cấu mới phi truyền thống), hay nói cách khác K_t trong chức năng bảo vệ bờ biển sẽ không giống nhau đối với từng loại công trình ĐGS.

1.2. Luận giải vấn đề nghiên cứu tổng quan

Ngành kỹ thuật biển chính thức trở thành một ngành khoa học riêng thuộc lĩnh vực kỹ thuật xây dựng vào khoảng năm 1930, trong bối cảnh một số nước tiến hành xây dựng các công trình cảng biển và cải tạo các kênh biển phục vụ cho lĩnh vực vận tải biển. Phạm vi của kỹ thuật biển là cung cấp nhận thức khoa học và các công cụ thiết

kế để giải quyết những vấn đề cho việc khai thác, sử dụng dải ven bờ biển phục vụ cho phát triển kinh tế - xã hội, an ninh quốc phòng, phòng chống thiên tai, bảo vệ môi trường sinh thái tự nhiên. Ngành kỹ thuật biển có 3 phương pháp nghiên cứu cơ bản là đo đạc hiện trường, MHVL và mô hình toán. Khi nghiên cứu về tương tác giữa sóng và công trình làm căn cứ cho thiết kế cũng sử dụng 3 phương pháp này để nghiên cứu. đó là:

1- Đo đạc hiện trường: Các số liệu đo đạc thực tế và có giá trị thực tiễn nhất để hiểu biết yếu tố sóng biển trong dải ven bờ do ảnh hưởng của công trình ĐGS. Hiện nay, có nhiều loại thiết bị đo đạc hải văn hỗ trợ công tác đo đạc thu thập dữ liệu hiện trường như: máy đo sóng tự ghi FLOWQUEST (Mỹ), AWAC (Na Uy), AWH-USB (Nhật Bản), MIDAS WTR (Anh),..., thiết bị công nghệ số Video -Camera, Flycam, ảnh hàng không, ảnh viễn thám, kỹ thuật GIS,... Tuy nhiên, sóng biển trong tự nhiên khi tương tác với công trình là yếu tố có tính ngẫu nhiên, vì vậy để có đủ bộ số liệu sóng thực đo cho việc nghiên cứu, thời gian đo đạc thường phải kéo dài, chi phí cao. Nhìn chung, số liệu đo đạc hiện trường chỉ phù hợp cho việc nghiên cứu một số điều kiện sóng giới hạn, gắn với một vài dạng công trình ĐGS cụ thể đã xây dựng, trong một số điều kiện sóng đặc biệt như sóng bão, áp thấp nhiệt đới hay sóng thần,... sẽ rất khó để thực hiện công tác đo đạc hiện trường.

2- MHVL: Có tỉ lệ thu nhỏ, dễ nghiên cứu hơn đo đạc hiện trường, mặc dù MHVL chưa hoàn toàn phản ảnh hết các diện mạo các của vấn đề sóng biển truyền qua công trình ĐGS như trong tự nhiên. Ưu điểm lớn nhất của MHVL là cho phép nghiên cứu linh hoạt nhiều kịch bản các điều kiện sóng tương tự với tự nhiên và các phương án công trình tương tự với thực tế, thông qua tỉ lệ mô hình thu nhỏ thực hiện hoàn toàn trong phòng thí nghiệm, mà phương pháp đo đạc hiện trường rất khó có thể thực hiện được. Số liệu đo đạc sóng trên MHVL bảo đảm độ tin cậy và đa dạng, giúp cho việc phân tích, thiết lập các biểu đồ quan hệ dạng thực nghiệm, hay xây dựng các công thức dạng thực nghiệm, bán thực nghiệm dễ dàng hơn.

Khi nghiên cứu về tương tác giữa sóng và công trình ĐGS, các quốc gia có trình độ KH-CN biển phát triển, thời gian vừa qua chủ yếu sử dụng MHVL máng

sóng thủy lực (Wave Flume) để nghiên cứu. Hiện nay trên thế giới có một số máng sóng thủy lực có kích thước lớn như: Máng sóng Large Hydrodynamic Flume thuộc Viện Kỹ thuật Giao thông thủy Tianjin, Bộ Giao thông Trung Quốc, được xây dựng xong vào tháng 7/2014, có kích thước chiều dài 450m, rông 5m, sâu từ 8-12m (hành trình piston +/-4m, wave paddle có kích thước 11x5m), có khả năng tạo sóng đều hay sóng ngẫu nhiên có chiều cao lên đến 3,5m và chu kỳ 2-6s tương tự như trong tự nhiên; Máng sóng Large Wave Flume (Hannover, Đức) kích thước (330 x 5 x 7)m - $H_{max} = 2,5m$; Máng sóng Large Hydro-Geo Flume (Nhật Bản) kích thước $(185 \times 3,5 \times 12)m - H_{max} = 3,5m$; Máng sóng Delta Flume De Voorst (Hà Lan) kích thước (233 x 5 x 7)m - $H_{max} = 2,5m$; Máng sóng Hydraulic Institue St. Petersburg (Nga) kích thước (110 x 4m x 7,5)m - $H_{max} = 2,0m$; Máng sóng Electric Power Institue Tokyo (Nhật Bản) kích thước (180 x 3,4 x 6)m - $H_{max} = 2,0m$; Máng sóng Tainan Hydraulic Lab. Tainan (Đài Loan) kích thước $(300 \times 5 \times 5)m - H_{max} = 1,5m;$ Máng sóng Clem Flume Univ. Catalunya (Tây Ban Nha) kích thước (100 x 3 x 5)m - $H_{max} = 1,6m$; Máng sóng "Super Tank" Ogeron State (Mỹ) kích thước (104 x 3,7 x 4,6)m - $H_{max} = 1,3m$; Máng sóng Water Research Laboratory - UNSW Sydney (Úc) có 4 kiểu kích thước khác nhau là (32 x 3 x 1,3)m, (44 x 1,2 x 1,6)m, (35 x 0,9 x 1,4)m, (40 x 0,6 x 0,9)m; Máng sóng Wallingford (Anh) kích thước (40 x 1,2 x 2)m; Máng sóng Hydraulic Laboratory of Artelia (Pháp) kích thước (41 x 1 x 2)m,... Tuy nhiên, MHVL máng sóng thủy lực cũng có phần hạn chế là đôi lúc khó thỏa mãn đồng thời các yêu cầu về tương tự giữa mô hình và nguyên hình, dẫn đến trong một số trường hợp chưa phản ánh đầy đủ các hiện tượng như trong tự nhiên.

3- Mô hình toán: Với sự phát triển mạnh mẽ của kỹ thuật tin học và máy tính, các phương pháp toán hóa được số hóa bằng các phần mềm (gọi là mô hình toán) có khả năng giải các phương trình siêu việt với tốc độ nhanh, kết quả chính xác hơn. Đặc biệt, có thể tính toán cho nhiều kịch bản sóng và các phương án công trình mà các phương pháp giải tích hay đồ giải không thể thực hiện được, hoặc nhằm giảm bớt khối lượng thí nghiệm MHVL. Có thể nói, hiện nay mô hình toán có thể giải quyết khá tốt các vấn đề về chế độ động lực như sóng khúc xạ, nhiễu xạ, hiệu ứng nước nông, dòng tuần hoàn,... với chi phí và thời gian hợp lý, như các mô hình COBRAS, COBRAS-UC, P-COULWAVE, MIKE21, TELEMAC, XBEACH, Delft3D, SWAN,... Trong đó, tiêu biểu là mô hình IH2-VOF (tên gọi trước đây là COBRAS-UC), là máng sóng số ho RANS-VOF, đã có môt bề dày lich sử nhiều năm phát triển, khởi đầu từ nhóm của Giáo sư Phillips Liu ở trường đai học Cornell - Mỹ (1999), gần đây tiếp tục được Viện Thủy lực thuộc trường đại học Cantabria -Tây Ban Nha nghiên cứu phát triển, mở rộng tính năng và đã trở thành một máng sóng số được đánh giá là hiện đại với mức độ tin cậy bậc nhất thế giới hiện nay, mô hình IH2-VOF có khả năng mô phỏng tương tác sóng với công trình biển với các tính năng tương tự như trong MHVL máng sóng thủy lực. Mô hình P-COULWAVE là một mô hình lan truyền sóng họ Boussinesq, mã nguồn mở của Đại học Cornell -Mỹ là một trong những mô hình tiên tiến nhất đã được kiểm định và hiệu chỉnh với nhiều bộ số liệu thí nghiệm MHVL tỷ lệ lớn và nhỏ về lan truyền sóng và sóng tương tác với công trình ở nhiều quốc gia trên thế giới. Mô hình MIKE21-BW được phát triển bởi Viên DHI - Đan Mach (1D) để nghiên cứu truyền sóng ngẫu nhiên qua công trình ĐGS,...

Tuy nhiên, có nhiều điều kiện và nhiều vấn đề trong tự nhiên không thể toán hóa được do đặc tính phi tuyến, thiếu thông tin về hiện tượng sóng vỡ, chảy rối hay ma sát đáy, dòng xoáy,... Như mô hình họ phi tuyến nước nông (NLSW - Nonlinear Shallow Water), tuy có hiệu quả tính toán cao nhưng lại không có khả năng mô phỏng quá trình phân tán sóng xảy ra mạnh mẽ bên ngoài đới sóng vỡ, hay mô hình họ RANS-VOF (Reynolds Averaged Navier Stokes - Volume of fluid) có khả năng mô phỏng quá trình lan truyền sóng với mức độ tin cậy và chi tiết cao trong mọi điều kiện nhưng lại có hiệu quả tính toán thấp (mất hàng giờ chạy máy để mô phỏng một giây dòng chảy thực trên một máy tính có cấu hình chuẩn) [25]. Do đó, có thể nói sự phát triển của mô hình toán hiện nay không thể hoàn toàn thay thế được cho MHVL, trong nghiên cứu việc sử dụng mô hình toán luôn cần sự kết hợp với MHVL, có thể sử dụng kết quả từ MHVL để hiệu chỉnh và kiểm định cho mô hình toán hoặc kết quả tính toán từ mô hình toán được sử dụng làm điều kiện biên cho MHVL, song MHVL được đánh giá cao hơn trong các nghiên cứu cơ bản và giải quyết những hiện tượng vật lý phức tạp, ví dụ như nghiên cứu về tương tác giữa sóng và công trình ĐGS [11].

Tóm lại: MHVL máng sóng thủy lực là công cụ hữu hiệu nhất để thực hiện cho mục đích nghiên cứu về truyền sóng qua công trình ĐGS và xác định mức độ ảnh hưởng của các yếu tố chi phối đến quá trình truyền sóng qua công trình, đặc biệt là nghiên cứu cho loại công trình ĐGS có dạng kết cấu mới, phi truyền thống. Nghiên cứu thường thực hiện trong mô hình mặt cắt, chỉ cần tiến hành thí nghiệm trong máng sóng thủy lực. Do đó, nghiên cứu luận án sẽ tập trung tổng quan các thành tựu nghiên cứu trên thế giới và trong nước đã có hiện nay thực hiện bằng phương pháp MHVL máng sóng.

Sau đây, luận án sẽ tổng quan một số nghiên cứu điển hình có liên quan về đánh giá chức năng giảm sóng của công trình ĐGS, với sự tập trung chủ yếu cho các nghiên cứu về K_t của ĐGS có tiết diện ngang hình thang, chữ nhật, tường đứng (gọi chung là ĐGS) và hệ cọc giảm sóng có tiết diện ngang hình tròn (gọi là ĐGS cọc). Từ đó rút ra các vấn đề khoa học còn tồn tại và đặt vấn đề cho luận án cần nghiên cứu.

1.3. Tình hình nghiên cứu trên thế giới

1.3.1. Nghiên cứu cho công trình ĐGS

Nghiên cứu sóm nhất về K_t được thực hiện bởi các nhà khoa học Mỹ và Nhật Bản như Johnson và nnk (1951), Goda và Ippen (1963), Goda và nnk (1969), Iwasaki và Numata (1969), Cross và Sollitt (1972), Numata (1975), Tanaka (1976) [69]. Tuy nhiên, phải sau năm 1980 mới được nhiều nước trên thế giới cùng quan tâm và nghiên cứu chuyên sâu, tiêu biểu nhất là dự án DELOS (1998-2002) với 18 đối tác gồm các trường đại học và viện nghiên cứu là University of Bologna, University of Roma Tre, Technical University Denmark, Aalborg University, DHI Water & Environment, University of Cantabria, Göteborg University, University of Twente, Delft Hydraulics, University of Southampton,... đến từ 7 quốc gia thuộc liên minh Châu Âu là Ý, Hà Lan, Đan Mạch, Tây Ban Nha, Hy Lạp, Thụy Điển và Anh đã
tiến hành một chương trình nghiên cứu mở rộng công trình đỉnh thấp hay còn gọi là ĐGS ngầm [54]. Riêng nước Anh còn thực hiện dự án LEACOAST2 (2005-2009) với sự tham gia của 3 trường đại học là Liverpool, East Anglia, Plymouth kết hợp với 2 công ty tư vấn quốc tế là Halcrow và HR Wallingford nghiên cứu ảnh hưởng của 9 công trình ĐGS đến vận chuyển trầm tích trong điều kiện thủy triều và sóng tại Sea Palling, Norfolk [55]. Nhìn chung, kết quả nghiên cứu đạt được có giá trị khoa học và tính ứng dụng thực tiễn rất cao, tiêu biểu như nghiên cứu của d'Angremond và nnk (1996) [40], Van der Meer và nnk (2005) [74] đã xây dựng được các công thức thực nghiệm khá hoàn chỉnh để tính K_t cho loại công trình ĐGS kết cấu đá đổ truyền thống.

Theo nghiên cứu của Goda và Ahren (2008) [69] riêng giai đoạn từ năm 1980-2006 đã có 33 công trình nghiên cứu của 23 tác giả và các tổ chức nghiên cứu uy tín đã thực hiện 3.327 thí nghiệm MHVL cho 12 loại ĐGS có hình dạng, kết cấu, kích thước máng sóng và tỷ lệ mô hình khác nhau (xem Bảng 1-2).

Tác giả/tổ chức nghiên cứu	Kịch bản	$H_{s,i}(m)$	T _p (s)	Công trình
Seelig (1980)	69	0,08~0,18	0,91~3,46	RMn^1 ; P^2 ; S
Ahrens (1987)	201	0,01~0,18	1,33~3,64	Reef^1 ; P; E;S ³
Allsop (1983)	21	0,05~0,16	1,02~3,17	RMn; P; E
Powell và Allsop (1985)	42	0,09~0,22	1,39~2,30	RMn; P; S
Van der Meer (1988)	31	0,08~0,23	1,94~2,60	Reef; P; E; S
Daemen (1991)	53	0,03~0,15	0,98~2,88	Reef; P; E; S
Daemrich và Kahle (1985).				
Chiều rộng đỉnh B=0,2 m	51	0,02~0,22	1,23~3,27	RMa ¹ ; P; S
Chiều rộng đỉnh B=1,0 m	45	0,02~0,28	1,23~3,27	RMa; P; S
Delft H1872 (1994)	39	0,06~0,17	1,02~2,22	RMa; P; E
Delft M2090 (1985)	31	0,05~0,20	1,07~2,26	RMa; P; E
Delft H2061 (1994)	32	0,09~0,25	1,24~2,89	RMa; P; E; S
Kimura (2002)	90	0,01~0,15	1,62~2,84	RMa; P; S

Bảng 1-2. Tổng hợp các nghiên cứu thực nghiệm về truyền sóng trên thế giới [69].

Tác giả/tổ chức nghiên cứu	Kịch bản	$H_{s,i}(m)$	$T_{p}(s)$	Công trình					
Seelig (1980)	13	0,13~0,17	1,33~3,32	$SM^1;I^2;E$					
Daemrich và Kahle (1985)	45	0,02~0,21	1,23~3,27	SM; I; S					
Delft H2014 (1994)	11	0,14~0,21	1,80~2,16	SM; I; S					
Aquareef-Hirose và nnk (2002)	1063	0,03~0,14	1,07~2,39	$AR^1; P; S$					
UPC (2002)	20	0,28~0,46	2,56~3,41	RMn; P; E; S					
Wang (2002)	84	0,06~0,17	1,02~2,33	RMn; P; E; S					
Zanuttigh (2002)	56	0,02~0,15	0,74~1,97	RMn; P; E;S					
UCA (2001)	53	0,03~0,09	1,60~3,20	RMn; P; E;S					
Seabrook và Hall (1998)	633	0,05~0,19	1,16~2,13	RMn; P; S					
Melito và Melby (2002)	122	0,03~0,23	1,07~3,36	RMa; P; E; S					
Calabrese và nnk (2002)	45	0,45~0,96	3,50~6,50	RMn; P; E; S					
Delft H4087 (2002)	20	0,09~0,12	1,61~1,80	RMa; P; S					
Delft H1974 (1994)	10	0,09~0,19	1,57~2,45	RMa; P; E					
TU Delft (1997)	137	0,05~0,20	1,03~2,50	RMa; P; E; S					
Ruol và Faedo (2002)	11	0,03~0,15	0,97~2,44	RMn; P; E; S					
Daemrich và nnk (2001)	100	0,02~0,15	1,00~1,75	RMn; P; S					
Delft H524 (1990)	14	0,06~0,14	1,83~2,56	Reef; P; E; S					
Mori và Cappietti (2006)	57	0,07~0,01	1,50~1,80	RMn; P; E; S					
Delft H3374 (1998)	28	0,04~0,15	1,03~1,75	SM; I; E; S					
Delft H4171 (2003)	9	0,68~1,36	3,38~4,46	SM; I; S					
Delft M2090 (1985)	7	0,07~0,21	1,30~2,28	SM; I; E					
Wang (2003)	84	0,06~0,20	1,02~2,33	SM; I; E; S					
Tổng hợp	3.327	0,01~1,36	0,74~6,50	Các loại ĐGS					
Ghi chú: ⁽¹⁾ $AR = D$ ải ngầm nh	hân tạo, RM	n = Đá đổ tụ	r nhiên, RMa	a = Đá đổ nhân					
tạo, $SM = C\hat{a}u$ trúc mái trơn nhẵn, $Reef = DGS$ đá đổ kích thước đồng nhất; ⁽²⁾ P									
$= DGS th \acute{a}m, I = DGS không t$	thấm; ⁽³⁾ E =	ĐGS nhô, S	S= ĐGS ngầ	т.					

Các nghiên cứu đều thông qua bộ số liệu thí nghiệm MHVL, tiến hành phân tích, đánh giá, xác định các tham số chi phối cơ bản đến quá trình truyền sóng (các tham số có dạng phi thứ nguyên có thể là $R_c/H_{s,i}$; $B/H_{s,i}$; B/L_p ; ξ_{op} ; $H_{s,i}/D_{n50}$; $H_{s,i}/h$; s_{op}) để

đưa ra các nhận xét, biểu đồ thực nghiệm, công thức thực nghiệm hay bán thực nghiệm về K_t cho từng loại công trình ĐGS cụ thể, với giới hạn áp dụng trong phạm vi điều kiện thí nghiệm riêng của từng nghiên cứu (xem Bảng 1-3).

Dữ liệu	Kết	$R_c/H_{s,i}$	$B/H_{s,i}$	B/L _p	ξ _{op}	$H_{s,i}\!/D_{n50}$	H _{s,i} /h	Sop	Số thí				
	cấu								nghiệm				
Số liệu	VA	8,70	0,37	0,009	0,70	0,30	0,03	$2x10^{-4}$	398				
cũ		4,00	43,48	0,51	8,26	6,62	0,62	0,06					
UCA	RM	-1,50	2,67	0,04	3,97	0,84	0,10	0,0002	53				
		1.53	30,66	0,40	12,98	2,42	0,37	0,02					
UPC	RM	-0,37	2,66	0,07	2,69	2,65	0,17	0,02	24				
		0,88	8,38	0,24	3,56	4,36	0,33	0,034					
GWK	RM	-0,76	1,05	0,02	3,00	1,82	0,31	0,01	45				
		0,66	8,13	0,21	5,21	3,84	0,61	0,03					
M&M	CL	-8,20	1,02	0,02	2,87	0,68	0,05	0,01	122				
		8,90	7,21	0,13	6,29	4,84	0,50	0,054					
Seabrook	RM	-3,90	1,38	0,04	0,80	0,78	0,11	0,01	632				
		0,00	74,47	1,66	8,32	3,20	0,58	0,06					
Aquareef	AQ	-4,77	1,24	0,02	1,78	0,59	0,10	0,01	1.063				
		-0,99	102,12	2,10	5,80	4,09	0,87	0,08					
Tổng số thí nghiệm MHVL													

Bảng 1-3. Tổng hợp các tham số phi thứ nguyên chi phối đến K_t [45].

Kí hiệu: VA là nhiều loại khác nhau (Various), RM là công trình ĐGS dạng đá đổ (Rubble mound), CL là dạng cấu kiện liên kết ngàm (Core locks), AQ là rạn nhân tạo (Aquareef).

1- Nghiên cứu của Johnson và nnk (1951) [57]: Dựa vào lý thuyết dòng năng lượng sóng kết hợp thí nghiệm MHVL máng sóng với sóng đều. Nghiên cứu đã đề xuất công thức dạng bán thực nghiệm tính K_t qua dải ngầm với 3 yếu tố ảnh hưởng là độ sâu ngập nước của đỉnh dải ngẩm (R_c), độ sâu nước trước dải ngầm (h), hằng số sóng (k) như sau:

$$K_{t} = \sqrt{1 - \frac{\sinh 2k(h - R_{c}) + 2k(h - R_{c})}{\sinh(2kh_{c}) + 2kh}}$$
(1-3)

Nhiều nghiên cứu sau này đã cho rằng nghiên cứu của Johnson và nnk (1951) là công thức đầu tiên về K_t của ĐGS ngầm [11].

2- Nghiên cứu của Goda và nnk (1969) [47]: Thí nghiệm MHVL với sóng đều, đề xuất công thức thực nghiệm tính K_t cho ĐGS dạng thùng chìm thẳng đứng và đê hỗn hợp đứng phụ thuộc duy nhất tham số phi thứ nguyên là độ ngập sâu tương đối của đỉnh đê (R_c/H_s) như sau:

$$K_{t} = 0.5 \left[1 - \sin \frac{\pi}{2\alpha} \left(\beta + \frac{R_{c}}{H_{s}} \right) \right]$$
(1-4)

trong đó: H_s là chiều cao sóng, R_c là độ ngập đỉnh đê, với $\alpha = 2,20$ và $\beta = 0,40$ (thùng chìm), với $\alpha = 2,20$ và $\beta = 0,10\div0,35$ (đê hỗn hợp đứng). Phạm vi áp dụng cho đê xây dựng ở khu vực vùng nước chuyển tiếp có độ sâu lớn $0,14 \le h/L \le 0,5$ (với h là độ sâu nước trước công trình, L là chiều dài sóng nước sâu).

Đặc biệt, nghiên cứu Goda và nnk (1967) [62] đã đưa ra nhận định rất quan trọng được nhiều nghiên cứu sau này tham khảo, đó là K_t có quan hệ nghịch biến với chiều rộng đỉnh B.

3- Nghiên cứu của Seelig (1980) [67]: Thí nghiệm MHVL đồng thời với sóng đều và sóng ngẫu nhiên truyền qua ĐGS mái nhẵn, không thấm. Nghiên cứu không xây dựng công thức tính K_t riêng, chỉ tập trung kiểm tra độ tin cậy của PT.(1-4) và cho rằng với trường hợp sóng đều, khi $\alpha = 2,60$ và $\beta = 0,15$ thì PT.(1-4) của Goda và nnk (1969) [47] cho giá trị K_t phù hợp với kết quả thí nghiệm hơn. Ngoài ra, nghiên cứu cho rằng PT.(1-4) cũng có thể áp dụng với sóng ngẫu nhiên.

4- Nghiên cứu của Adul Khader và Rai (1980) [34]: Thí nghiệm MHVL với sóng đều truyền qua ĐGS ngầm mái nhẵn, không thấm, tiết diện ngang đê dạng hình chữ nhật và hình thang. Nghiên cứu cho rằng mức độ tiêu tán năng lượng sóng phụ thuộc nhiều vào tham số phi thứ nguyên độ cao đê tương đối (h_c/h). Khi độ dốc sóng (s_{op}) lớn thì mức độ tiêu tán năng lượng lớn hơn độ dốc sóng nhỏ trong cả hai trường hợp đê thí nghiệm.

5- Nghiên cứu của Allsop (1983) [36]: Thí nghiệm MHVL với sóng ngẫu nhiên truyền qua ĐGS đá đổ, thấm nước. Trên cơ sở tham khảo PT.(1-4) của Goda và nnk (1969) [47] kết hợp đồng thời với bộ số liệu thí nghiệm đã xây dựng công thức tính K_t có dạng tương đồng với PT.(1-4) như sau:

$$K_{t} - 0.5 = 0.5 \left[1 - \sin \frac{\pi}{2\alpha} (\beta - R^{*}) \right]$$
(1-5)

$$R^* = \frac{R_c}{H_s} \left(\frac{s_{0p}}{2\pi}\right)^{1/2}; \ s_{0p} = \frac{H_s}{L_p} = 2\pi H_s / (gT_p^2)$$
(1-6)

trong đó: H_s là chiều cao sóng, R_c là độ ngập đỉnh đê, T_p là chu kỳ sóng, L_p là chiều dài sóng, s_{0p} là độ dốc sóng.

Sau đó, Powell và Allsop (1985) [64] còn đề xuất thêm các biểu đồ thực nghiệm dạng đường cong để tính K_t cho ĐGS ngầm có độ rỗng lớn 40% (được khuyến nghị sử dụng để định hướng thiết kế cho công trình ĐGS đá đổ, thấm nước).

6- Nghiên cứu của Ahrens (1987) [35]: Thí nghiệm MHVL với sóng ngẫu nhiên truyền qua ĐGS ngầm đá đổ đồng nhất, thấm nước, tiết diện ngang dạng hình thang. Nghiên cứu đề xuất công thức tính K_t phụ thuộc khá nhiều tham số phi thứ nguyên như chiều cao đê tương đối (h_c/h), diện tích tiết diện ngang đê tương đối (A/(h.L_p), độ ngập sâu tương đối của đỉnh đê (R_c/H_s), độ thấm thân đê thông qua đường kính trung bình của viên đá đổ (D₅₀) như sau:

$$K_{t} = \frac{1}{1 + \left(\frac{H_{s}A}{L_{p}D_{50}^{2}}\right)^{0.592}} \quad v\acute{o}i \ \frac{R_{c}}{H_{s}} > 1$$
(1-7)

$$K_{t} = \frac{1}{1 + \left(\frac{h_{c}}{h}\right)^{c_{1}} \left(\frac{A}{h.L_{p}}\right)^{c_{2}} \exp\left[c_{3} \cdot \left(\frac{R_{c}}{H_{s}}\right) + c_{4} \cdot \left(\frac{A^{3/2}}{D_{50}^{2} \cdot L_{p}}\right)\right]} \quad \text{với } \frac{R_{c}}{H_{s}} < 1$$
(1-8)

trong đó: H_s là chiều cao sóng, L_p là chiều dài sóng, R_c là độ ngập đỉnh đê, h là độ sâu nước trước đê, A là diện tích tiết diện ngang đê, h_c là chiều cao đê, D₅₀ là kích thước đường kính trung bình của viên đá, các hằng số thực nghiệm c₁ = 1,188, c₂ = 0,261, c₃ = -0,592 và c₄ = 0,00551.

Có thể thấy nghiên cứu này đã gián tiếp đánh giá ảnh hưởng bề rộng đỉnh đê (B) thông qua diện tích tiết diện (A), khắc phục đáng kể hạn chế của các nghiên cứu

trước như Adul Khader và Rai (1980) [34], Allsop (1983) [36], Goda và nnk (1969) [47], Johnson và nnk (1951) [57], Powell và Allsop (1985) [64]. Tuy nhiên, vấn đề được xem là hạn chế của nghiên cứu này là giá trị hệ số mũ c₄ trong PT.(1-8) rất nhỏ, do đó việc xem xét ảnh hưởng của D_{50} thực ra là không cần thiết.

7- Nghiên cứu của Van der Meer và nnk (1990) [72]: Tống hợp và phân tích lại bộ số liệu thực nghiệm của Ahrens (1987) [35], Allsop (1983) [36], Daemrich và Kahle (1985) với B = 0,2m [42], Seelig (1980) [67], Van der Meer (1988) [71] để thiết lập công thức thực nghiệm tính K_t cho ĐGS ngầm đá đổ, tiết diện ngang hình thang, bề rộng đỉnh đê nhỏ. Nghiên cứu khẳng định với ĐGS ngầm, đỉnh hẹp, thì tham số phi thứ nguyên độ ngập sâu tương đối của đỉnh đê (R_c/H_s) là tham số chi phối duy nhất đến K_t, tương quan giữa K_t và độ ngập sâu tương đối đỉnh đê (R_c/H_s) có dạng quan hệ tuyến tính (xem Hình 1-6).



Hình 1-6. K_t của ĐGS ngầm đỉnh hẹp theo Van der Meer và nnk (1990) [72]. Đặc biệt nghiên cứu đã phân biệt rõ ràng mức độ ảnh hưởng của độ ngập sâu tương đối của đỉnh đê (R_c/H_s) đến K_t theo 3 điều kiện khác nhau của (R_c/H_s) như sau:

$$-2,00 < \frac{R_c}{H_s} < -1,13$$
 $K_t = 0,80$ (1-9)

$$-1,13 < {^{R_c}/_{H_s}} < 1,20$$
 $K_t = 0,46 - 0,3. {\binom{R_c}{H_s}}$ (1-10)

$$1,20 < \frac{R_c}{H_s} < 2,00$$
 $K_t = 0,10$ (1-11)

trong đó: R_c mang giá trị (+) khi là chiều cao lưu không, R_c mang giá trị (-) khi là độ ngập của đỉnh đê so với mực nước tính toán, $0,10 \le K_t \le 0,80$.

8- Nghiên cứu của Gomez Pina và Valdes (1990) [48]: Thí nghiệm MHVL với sóng đều truyền qua ĐGS ngầm, kết cấu đá đổ. Nghiên cứu xây dựng biểu đồ quan hệ thực nghiệm giữa K_t và "(B/L₀)* ξ" cho cả hai điều kiện sóng vỡ và sóng không vỡ, trong đó 2 tham số phi thứ nguyên chi phối chính là bề rộng tương đối của đỉnh đê (B/L₀) và chỉ số sóng vỡ Iribarren [$\xi_{0p} = tan\alpha/(s_{op})^{0.5}$] (xem Hình 1-7).



Hình 1-7. Quan hệ thực nghiệm của biến số chi phối " (B/L_0) * ξ " và K_t [48].

9- Nghiên cứu của Van der Meer và Daemen (1994) [73]: Thí nghiệm MHVL truyền qua ĐGS ngầm đá đổ, thấm nước, tiết diện ngang dạng hình thang với sóng ngẫu nhiên. Khác biệt với các nghiên cứu trước đây, nghiên cứu này chỉ tập trung đánh giá ảnh hưởng của độ thấm thân đê thông qua thông số kích thước đường kính danh nghĩa của viên đá (D_{n50}), với 4 đại lượng phi thứ nguyên chi phối đến K_t là (H_s/D_{n50}), (R_c/D_{n50}), (B/D_{n50}) và (s_{0p}) như sau:

$$K_t = a \frac{R_c}{D_{n50}} + b$$
 (1-12)

$$a = 0,031 \frac{H_s}{D_{n50}} - 0,24$$
(1-13)

Hệ số "b" cho công trình ĐGS thông thường:

$$b = -5,42s_{0p} + 0,0323 \frac{H_s}{D_{n50}} - 0,017 \left(\frac{B}{D_{n50}}\right)^{1,84} + 0,51$$
(1-14)

Hệ số "b" cho công trình ĐGS dạng rạn nhân tạo:

$$b = -2,60s_{0p} - 0,05\frac{H_s}{D_{n50}} + 0,85$$
(1-15)

trong đó: chiều rộng đỉnh đê (B), chiều cao lưu không (R_c), độ dốc sóng (s_{0p}) và chiều cao sóng (H_s), chiều cao sóng tương đối so với kích thước đường kính danh nghĩa của viên đá (H_s/D_{n50}), độ ngập sâu tương đối của đỉnh đê so với kích thước đường kính danh nghĩa của viên đá (R_c/D_{n50}), bề rộng tương đối của đỉnh đê so với kích thước đường kính danh nghĩa của viên đá (B/D_{n50}). Điều kiện áp dụng của nghiên cứu: $1,0 \leq H_s/D_{n50} \leq 6,0$; $0,01 \leq s_{0p} \leq 0,05$; $0,075 \leq K_t \leq 0,75$ (ĐGS thông thường); $0,15 < K_t < 0,6$ (rạn nhân tạo).

Nghiên cứu này được đánh giá là đã khắc phục hạn chế trong nghiên cứu của Ahren (1987) [35] về ảnh hưởng của độ thấm thân đê thông qua thông số kích thước đường kính danh nghĩa của viên đá (D_{n50}) đến K_t.

10- Nghiên cứu của d'Angremond và nnk (1996) [40]: Tổng hợp và phân tích lại bộ số liệu thực nghiệm của Allsop (1983) [36], Daemen (1991) [41], Daemrich và Kahle (1985) [42], Powel và Allsop (1985) [64], Seelig (1980) [67], Van der Meer (1988) [71]. Nghiên cứu cho rằng giá trị K_t có sự khác biệt không đáng kể giữa 2 loại ĐGS kết cấu đá đổ và ĐGS mái nhẵn, và chỉ cần phân biệt 2 trường hợp là ĐGS thấm và không thấm. Nghiên cứu đề xuất công thức thực nghiệm tính K_t phụ thuộc 3 tham số phi thứ nguyên chi phối là độ ngập sâu tương đối của đỉnh đê (R_c/H_s), bề rộng tương đối của đỉnh đê (B/H_s), đặc biệt chỉ số sóng võ Iribarren (ξ_{0p}) đặc trưng cho tương tác sóng và mái đê lần đầu tiên được đề cập như sau:

$$K_{t} = -0.4 \left(\frac{R_{c}}{H_{s}}\right) + a. \left(\frac{B}{H_{s}}\right)^{-0.31} \times \left(1 - e^{-0.5\xi_{0p}}\right)$$
(1-16)

$$\xi_{0p} = \frac{\tan\alpha}{\sqrt{s_{0p}}}; \ s_{0p} = \frac{H_s}{L_p} = \frac{2\pi H_s}{(gT_p^2)}$$
(1-17)

trong đó: Hằng số thực nghiệm a = 0,64 (đê thấm), a = 0,80 (đê không thấm), ξ_{0p} là số Iribarren ứng với chu kỳ đỉnh phổ T_p. Giới hạn phạm vi áp dụng: 0,075 $\leq K_t \leq$ 0,80 với B/H_s \leq 8,0. R_c mang giá trị âm (ĐGS ngầm).

11- Nghiên cứu của Seabrook và Hall (1998) [66]: Tổng hợp và phân tích 633 kết quả thí nghiệm MHVL với sóng ngẫu nhiên truyền qua công trình ĐGS ngầm kết cấu đá đổ, thấm nước của nhiều nghiên cứu trước đây (xem Bảng 1-2). Nghiên cứu đã chỉ ra hạn chế của Ahrens (1987) [35] và Van der Meer (1990) [72] không phù hợp khi đê có bề rộng đỉnh lớn, đồng thời cho rằng độ ngập sâu tương đối (R_c/H_s) và bề rộng đỉnh đê tương đối (B/H_s) là 2 tham số phi thứ nguyên có ảnh hưởng quan trọng nhất đến K_t, song yếu tố nhám ảnh hưởng không đáng kể. Nghiên cứu còn xây dựng 2 dạng biểu đồ quan hệ thực nghiệm (K_t ~ D_{n50}) và (K_t ~ B), từ đó khẳng định độ thấm thân đê thông qua biến số (D_{n50}) có ảnh hưởng rất nhỏ, chiều rộng đỉnh để thông qua biến số (B) có ảnh hưởng rất lớn đến K_t như sau:

$$K_{t} = 1 - \left[e^{-0.65 \left| \frac{R_{c}}{H_{s}} \right| - 1.09 \left(\frac{H_{s}}{B} \right)} + 0.047 \left| \frac{B}{L_{p}} \frac{R_{c}}{D_{n50}} \right| - 0.067 \left| \frac{R_{c}}{B} \frac{H_{s}}{D_{n50}} \right| \right]$$
(1-18)

Giới hạn phạm vi áp dụng của nghiên cứu là: $5 \le B/H_s \le 74,47$; $0 < B.(-R_c)/L_p.D_{n50} < 7,08$; $0 < H_s.(-R_c)/B.D_{n50} < 2,14$.

12- Nghiên cứu của Gironella và Sanchez-Arcilla (1999) [49]: Tổng hợp và phân tích bộ số liệu thực nghiệm của Daemen (1991) [41], Rivero và nnk (1997) [65], Van der Meer (1990) [72] đề xuất công thức tính K_t bằng phương pháp hồi qui đa biến, không xét ảnh hưởng yếu tố hình học công trình đến K_t như sau:

$$K_{t} = c_{1} \cdot \left(\xi_{0p} \cdot \frac{R_{c}}{L_{p}}\right) + c_{2} \frac{R_{c}}{L_{p}} + c_{3}$$
(1-19)

trong đó: Hằng số thực nghiệm c₁ = 6,43; c₂ = 14,63; c₃ = 0,52 (R² = 0,98). Giới hạn phạm vi áp dụng là: $3,20 \le \xi_{0p} \le 5,50; 0 \le R_c/L_p \le 0,04; 0,015 \le H_s/L_p \le 0,04.$

13- Nghiên cứu của Calabrese và nnk (2002) [38]: Thực hiện một loại các thí nghiệm MHVL tỉ lệ lớn với sóng ngẫu nhiên truyền qua công trình ĐGS kết cấu đá đổ, thấm nước. Nghiên cứu cho rằng ảnh hưởng của độ thấm thân đê đến K_t nhỏ hơn rất nhiều so với bề rộng đỉnh đê (B), từ đó nghiên cứu đã đề xuất thay thế thông số (D_{n50}) bằng bề rộng đỉnh đê (B) trong các công thức thực nghiệm do Van der Meer và Deamen (1994) [73] đề xuất. Công thức mới tính K_t có dạng như sau:

$$K_{t} = a.\frac{R_{c}}{B} + b \tag{1-20}$$

$$a = \left(0,6957 \frac{H_s}{h_c} - 0,7021\right) e^{0,2568 \frac{B}{H_s}}$$
(1-21)

b =
$$(1 - 0.562. e^{-0.0507\xi_{0p}})e^{-0.0854\frac{B}{H_s}}$$
 (1-22)

trong đó: H_s là chiều cao sóng, h_c là chiều cao đê, ξ_{0p} là chỉ số sóng vỡ. Giới hạn phạm vi áp dụng của nghiên cứu là: $-0,40 \le R_c/B \le 0,30$; $1,06 \le B/H_s \le 8,13$; $0,31 \le H_s/h \le 0,61$; $3,0 \le \xi_{op} \le 5,20$.

14- Nghiên cứu của Briganti và nnk (2003) [45]: Tổng hợp và phân tích lại bộ số liệu thực nghiệm được thông qua bởi dự án DELOS (1998-2002) [44] với 2.337 thí nghiệm MHVL của nhiều nghiên cứu trước đây như Calabrase và nnk (2002) [38], UCA và UPC [45], Hirose và nnk (2002) [53], Melito và Melby (2002) [61], Seabrook và Hall (1998) [66], Van der Meer và Daemen (1994) [73]. Nghiên cứu đã chia theo 7 dạng công trình ĐGS với các loại kết cấu khối phủ khác nhau, tiến hành phân tích mức độ ảnh hưởng của 7 đại lượng phi thứ nguyên là (R_c/H_s), (B/H_s), (B/L_{op}), (ξ_{op}), (H_s/D_{n50}), (H_i/h), (s_{op}) đến K_t (xem Bảng 1-3). Kết luận chính của nghiên cứu cho rằng cần phải phân biệt đê có bề rộng đỉnh hẹp và đỉnh rất rộng khi xây dựng công thức thực nghiệm tính K_t cho công trình ĐGS ngầm kết cấu đá đổ, thấm nước (xem Hình 1-8) như sau:



Hình 1-8. So sánh giá trị tính K_t và đo đạc theo Briganti và nnk (2003) [45].

Trường hợp đỉnh đê hẹp khi (B/H_s) < 10, nghiên cứu đề xuất áp dụng PT.(1-16) của d'Angremond và nnk (1996) [40]. Trường hợp đỉnh đê rất rộng khi (B/H_s) > 10, nghiên cứu đề xuất công thức thực nghiệm mới tính K_t như sau:

$$K_{t} = -0.35. \left(\frac{R_{c}}{H_{s}}\right) + 0.51. \left(\frac{B}{H_{s}}\right)^{-0.65} \times (1 - e^{-0.45\xi_{0p}})$$
(1-23)

$$0.05 \le K_t \le 0.93 - 0.006. (^B/_{H_s})$$
 (1-24)

15- Nghiên cứu của Van der Meer và nnk (2005) [74]: Phân tích lại bộ số liệu với hơn 3.300 thí nghiệm MHVL (xem Bảng 1-2) của dự án DELOS (1998-2002) [44], kết hợp đồng thời với số liệu thí nghiệm bổ sung để hoàn chỉnh bộ số liệu thực nghiệm về sóng truyền qua công trình đỉnh thấp. Mục đích chính của nghiên cứu là xác minh độ tin cậy cho các công thức thực nghiệm tính K_t của Calabrese và nnk (2002) [38], d'Angremond và nnk (1996) [40], Briganti và nnk (2003) [45], Seabrook và Hall (1998) [66], Van der Meer (1990) [72], Van der Meer và Deamen (1994) [73]. Nghiên cứu khẳng định phương pháp của d'Angremond và nnk (1996) [40] phù hợp với khi B/H_s < 8,0 (đê đỉnh hẹp), phương pháp của Briganti và nnk, 2003 [45] chỉ phù hợp khi B/H_s > 12 (đê đỉnh rất rộng), với trường hợp đỉnh đê có $8,0 < B/H_s < 12,0$ đề nghị nội suy giữa 2 công thức thực nghiệm của d'Angremond và nnk (1996) [40] và Van der Meer và nnk (2005) để xác định giá trị K₁.

Nhận xét chung: Có thể nói nghiên cứu của d'Angremond và nnk (1996) [40] và Van der Meer và nnk (2005) [74] đã xem xét đầy đủ các tham số chi phối chính đến quá trình truyền sóng, đó là độ ngập sâu tương đối (R_c/H_s), bề rộng tương đối (B/H_s), tham số sóng vỡ (ξ_{0p}) đặc trưng cho tương tác giữa sóng tới với mái công trình, phản ảnh cơ bản đúng bản chất vật lý quá trình tiêu hao năng lượng sóng truyền qua công trình ĐGS ngầm (xem Hình 1-4). Đặc biệt, đến nay nghiên cứu của d'Angremond và nnk (1996) [40] và Van der Meer và nnk (2005) [74] được đánh giá thực hiện rất công phu, dựa trên cơ sở bộ số liệu thực nghiệm được tổng hợp và chuẩn hóa của nhiều nghiên cứu trước đó, kết quả tính K_t có độ chính xác và khả năng ứng dụng thực tiễn rất cao [69]. Đây là cơ sở khoa học để luận án tham khảo

phương pháp xây dựng công thức thực nghiệm tính K_t cho thân đê ngầm rỗng (thành phần năng lượng sóng tiêu hao do phần thân đê ngầm rỗng không cọc).

1.3.2. Nghiên cứu cho công trình ĐGS cọc

Công trình ĐGS coc được xem là một dang biến thể của công trình ĐGS đã trình bày trong nội dung "1.2.1. Nghiên cứu cho công trình ĐGS" trên đây. Bởi vì, hệ cọc khi được bố trí theo các hàng thẳng, so le hoặc hoa mai (có thể là một, hai hay nhiều hàng cọc), song song với đường bờ, vuông góc với hướng sóng tới tại vùng nước nông, ven bờ cũng có chức năng giảm sóng chủ động gần tương tự như công trình ĐGS. Có thể nói, nghiên cứu đánh giá chức năng giảm sóng cho công trình ĐGS cọc cũng được quan tâm và thực hiện đồng thời với công trình ĐGS, như nghiên cứu của Costello (1951) [39], Hayashi và nnk (1968) [50], Hayashi và Kano (1966) [51], Herbich và Douglas (1988) [52], Koftis và nnk (2012) [59], Sonia và nnk (2015) [68], Truitt và Herbich (1987) [70], Wiegel (1960, 1961) [75] [76], v.v.. Muc đích của việc nghiên cứu và ứng dung ĐGS coc nhằm khắc phục tình trang khan hiếm nguồn đá tư nhiên ở nhiều quốc gia (thay thế đá đổ truyền thống của công trình ĐGS). Ngoài ra, ĐGS coc còn được đánh giá là giải pháp kỹ thuật giảm thiểu rất tốt các tác động xấu do sóng phản xạ gây ra phía trước công trình, hỗ trợ duy trì chất lượng môi trường nước phía sau công trình [63]. Nhìn chung, hầu hết các nghiên cứu thường thực hiện phân tích, đánh giá, xác định mối tương quan giữa các thông số thủy-hải văn (đặc trưng sóng tới, độ sâu ngập nước của hệ cọc) và đặc trưng hình học của hệ cọc (tiết diện cọc, độ hở giữa các cọc trong hàng, khoảng cách giữa các hàng cọc, số hàng cọc, bố trí hệ cọc) ảnh hưởng đến K_t.

1- Nghiên cứu của Morrison (1950) [13]: Xác định lực cản (q_D) gây nên do ma sát giữa dòng chảy và mặt trụ đứng theo công thức thực nghiệm như sau:

$$q_{\rm D} = \frac{1}{2} \rho C_{\rm D} D | U_0 | U_0$$
(1-25)

trong đó: U₀ là vận tốc chuyển động của chất lỏng theo phương ngang x, C_D là hệ số lực cản phụ thuộc vào hình dạng của tiết diện, số Reynolds của dòng chảy và độ

nhám bề mặt của hình trụ, giá trị của lực cản phụ thuộc vào bình phương của vận tốc tương đối, với cọc trụ tròn thì $C_D = 1,2$ (dưới giới hạn), $C_D = 0,7$ (trên giới hạn), D là kích thước đường kính thanh hình trụ đứng, ρ là khối lượng riêng của chất lỏng (nước biển). Cho đến nay việc tính thành phần lực cản (q_D) của tải trọng sóng tác dụng lên cột đơn thẳng đứng trong công trình biển chủ yếu vẫn dựa vào PT.(1.25) của Morrison trên đây.

2- Nghiên cứu của Wiegel (1960) [75]: Kết quả nghiên cứu cho rằng khoảng cách giữa các cọc (b) trong 1 hàng là tham số duy nhất ảnh hưởng đến K_t như sau:

$$K_t = \frac{b}{D+b}$$
(1-26)

trong đó: D là kích thước đường kính cọc, b là khoảng hở giữa hai cọc.

Nghiên cứu này còn được gọi là "Lý thuyết Wiegel" được khuyến nghị áp dụng cho mục đích thiết kế trong tài liệu "Shore Protection Manual, 1984" và "Coastal Protection Design Manual 26.2, 1982" của Mỹ [43]. Sau đó, Wiegel (1961) [76] đã thông qua các thí nghiệm MHVL nhận thấy độ cao sóng truyền cao hơn ($\approx 25\%$) so với giá trị tính toán theo PT.(1-26).

3- Nghiên cứu của Hayashi và nnk (1966) [51]: Nghiên cứu truyền sóng qua 1 hàng cọc, trên cơ sở phát triển lý thuyết xem xét ảnh hưởng của sự co lại do các tia nước đi qua khoảng hở giữa các cọc để xây dựng công thức tính K_t. Dựa vào kết quả thí nghiệm MHVL với sóng đều, nghiên cứu đã giải thích sự khác biệt giữa kết quả thực nghiệm và giá trị tính toán theo lý thuyết là phần tiêu tán năng lượng trước hàng cọc chưa được xét đến. Công thức tính K_t có dạng như sau:

$$K_{t} = 4 \frac{d}{H_{s}} \varepsilon \left[-\varepsilon + \sqrt{\varepsilon^{2} + \frac{H_{s}}{2d}} \right]$$
(1-27)

với
$$\varepsilon = C\left(\frac{b}{D+b}\right) / \sqrt{1 - \left(\frac{b}{D+b}\right)^2}$$
 (1-28)

trong đó: Hằng số thực nghiệm $C = 0.9 \div 1.0$ thể hiện hiệu ứng co hẹp được xác định bởi đặc tính của cọc.

Sau đó, nghiên cứu của Hayashi (1968) [50] phát triển mở rộng cho trường hợp 2 hàng cọc, với đề nghị là sóng truyền qua hàng cọc đầu được chấp nhận là sóng tới cho hàng thứ hai [37] có dạng như sau:

$$\frac{\mathrm{H}_{\mathrm{s},\mathrm{t}_1}}{\mathrm{H}_{\mathrm{s},\mathrm{i}_1}} = 4 \frac{\mathrm{d}}{\mathrm{H}_{\mathrm{s},\mathrm{i}_1}} \varepsilon \left[-\varepsilon + \sqrt{\varepsilon^2 + \frac{\mathrm{H}_{\mathrm{s},\mathrm{i}_1}}{2\mathrm{d}}} \right]$$
(1-29)

$$H_{s,t_1} = H_{s,i_2}$$
 (1-30)

$$\frac{\mathrm{H}_{\mathrm{s},\mathrm{t}_{2}}}{\mathrm{H}_{\mathrm{s},\mathrm{i}_{2}}} = 4 \frac{\mathrm{d}}{\mathrm{H}_{\mathrm{s},\mathrm{i}_{2}}} \varepsilon \left[-\varepsilon + \sqrt{\varepsilon^{2} + \frac{\mathrm{H}_{\mathrm{s},\mathrm{i}_{2}}}{2\mathrm{d}}} \right]$$
(1-31)

$$K_{t} = \frac{H_{s,t_{2}}}{H_{s,i_{1}}}$$
(1-32)

4- Nghiên cứu của Truitt và Herbich (1987) [70]: Nghiên cứu với sóng ngẫu nhiên truyền qua 1 hàng cọc đơn với 3 khoảng hở tương đối là (b/D) = 0,05; 0,10; 0,20. Thông qua kết quả thí nghiệm nhằm kiểm chứng lại độ tin cậy của Hayashi và nnk (1966) [51] với C = 0,90 cho 2 trường hợp cọc có khoảng hở nhỏ và lớn, với C = 1,0 cho 3 trường hợp độ sâu nước (h) khác nhau, sau đó nghiên cứu cho rằng phương pháp của Hayashi và nnk (1966) hoàn toàn áp dụng được với sóng ngẫu nhiên. Nghiên cứu khẳng định hai tham số phi thứ nguyên chi phối chính đến K_t là (b/D) và (d/H_s), nhưng ảnh hưởng của tham số (d/H_s) rõ rệt hơn (b/D), đồng thời các tác giả còn đề xuất cần phải nghiên cứu thêm ảnh hưởng của s_{0p} và T_p đến K_t.

5- Nghiên cứu Herbich và Douglas (1988) [52]: Thực nghiệm đồng thời với sóng thường và sóng ngẫu nhiên truyền qua 2 hàng cọc. Ma trận thí nghiệm với các biến số là 3 độ sâu nước, 4 chu kỳ sóng, 2 đường kính cọc, 2 khoảng cách cọc, 4 phổ sóng ngẫu nhiên Darbyshire, I.T.T.C., Pierson-Moskowitz và JONSWAP. Nghiên cứu đã phân tích, đánh giá ảnh hưởng của các tham số chi phối cơ bản, và đưa ra các kết luận rất quan trọng là K_t có mối quan hệ đồng biến với d/H_s và T_p (sóng thường), nghịch biến với H_s/L_p và d/g.T_p² (sóng thường), sóng truyền qua 2

hai thì K_t giảm thêm 15%, khi b/D = 0,1 việc bổ sung thêm hàng cọc thứ hai thì K_t chỉ giảm thêm từ $(5 \div 10)$ %. Đặc biệt, nghiên cứu này đã khắc phục các hạn chế chưa được lý giải trong nghiên cứu của Truitt và Herbich (1987) [70] trên đây.

6- Nghiên cứu của Koftis và nnk (2012) [59]: Thí nghiệm với sóng thường truyền qua ĐGS cọc với cấu trúc dạng hình hoa mai. Các biến số thí nghiệm là H_s, L_p, số hàng cọc, bề rộng của hệ cọc W, độ ngập nước R_c, độ rỗng r, đường kính D. Thông qua các biểu đồ quan hệ giữa các tham số chi phối đến K_t, đã đưa ra các kết luận như sau: (1) K_t tỉ lệ nghịch với số hàng cọc và tỉ lệ thuận với độ sâu nước trước hệ cọc, đó là tùy thuộc vào số lượng cọc khi R_c > 0, K_t = 0,40 ÷ 0,65; khi R_c = 0, K_t = 0,50 ÷ 0,80; khi R_c < 0, K_t = 0,45 ÷ 0,70. Trường hợp hiệu quả nhất là với cấu trúc có 6 hàng cọc, R_c > 0, K_t = 0,40; (2) K_t tỉ lệ nghịch với R_c/d; (3) Đối với cấu trúc 2 hàng cọc thì ảnh hưởng của độ sâu nước tương đối d/L_p đến K_t rõ ràng hơn, và sẽ rất hiệu quả nếu sử dụng để giảm sóng trong vùng nước nông, trong khi đó với cấu trúc 4 hay 6 hàng cọc thì K_t hầu như không bị ảnh hưởng bởi tham số d/L_p; (4) Đặc biệt, nghiên cứu cho rằng với ĐGS có 4 hàng cọc và R_c < 0 có K_t = 0,60 ÷ 0,70 sẽ tương đương với ĐGS ngầm cùng chiều rộng đỉnh có K_t = 0,50 được nghiên cứu bởi Van der Meer và nnk (2005) [74].

7- Nghiên cứu của Sonia và nnk (2015) [68]: Thí nghiệm truyền sóng qua công trình ĐGS có cấu trúc 3 hàng cọc trụ bố trí song song và so le (dạng hoa mai), đỉnh cọc không ngập nước ($R_c > 0$). Các biến số thí nghiệm rất đa dạng là (H_s , T_p , s_{0p} , D, cách bố trí cọc, góc sóng tới) để nghiên cứu ảnh hưởng đến K_t. Nghiên cứu thông qua các biểu đồ tương quan giữa các tham số chi phối phi thứ nguyên với K_t, đã đưa ra các nhận xét: (1) Đối với tất cả các trường hợp thí nghiệm, K_t tỉ lệ nghịch (giảm) với H_s/L_p (tăng) và tỉ lệ thuận với $T_p.(g/d)^{0.5}$ (tăng); (2) Khi hướng sóng tới vuông góc với hệ cọc, trường hợp hệ cọc bố trí dạng hoa mai tiêu tán năng lượng sóng tốt hơn dạng song song; (3) Khi hệ cọc bố trí dạng hoa mai và hướng sóng tới xiên góc với hệ cọc thì năng lượng sóng bị tiêu tán lớn hơn so với sóng tới vuông góc; (4) Đối với trường hợp D = 5cm, K_t tỉ lệ nghịch với s_{0p}, năng lượng sóng truyền còn khoảng (50÷90)% tổng năng lượng, hay nói ngược lại năng lượng sóng bị tiêu tán trên hệ cọc bằng khoảng $(15\div65)\%$ tổng năng lượng; (5) Nghiên cứu đã so sánh biểu đồ tương quan (K_t ~ H_s/L_p) với nghiên cứu của Van Weele (1965) dạng (K_t ~ d/L_p) và của Koftis và nnk (2012) [59] cho thấy có xu hướng tương tự.

Nhận xét chung: Công trình ĐGS cọc có tính năng giảm sóng linh hoạt, ngoài chức năng giảm sóng bảo vệ bờ biển tương tự như công trình ĐGS, còn giảm thiểu rất tốt sóng phản xạ và các tác động tiêu cực đến môi trường tự nhiên. Nghiên cứu về ĐGS cọc đã được nhiều nhà khoa học trên thế giới quan tâm nghiên cứu song song với công trình ĐGS, bởi vì giải pháp công trình này có ưu thế là có thể thay thế cho việc sử dụng đá tự nhiên của công trình ĐGS đá đổ truyền thống, khắc phục tình trạng khan hiếm nguồn đá thiên nhiên cho nhiều quốc gia để bảo vệ bờ biển. Luận án có thể tham khảo nghiên cứu của Herbich và Douglas (1988) [52], Koftis và nnk (2012) [59] và Sonia và nnk (2015) [68] để định hướng cho việc đề xuất giải pháp công trình đê rỗng phức hợp và phương pháp bố trí hệ cọc bên.

1.4. Tình hình nghiên cứu ở Việt Nam

Nghiên cứu đánh giá chức năng giảm sóng cho các loại công trình giảm sóng nói chung ở Việt Nam còn rất hạn chế về số lượng, kết quả đạt được về mặt khoa học và tính thực tiễn còn khá khiêm tốn 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, hoặc các dự án được tài trợ của nước ngoài như nghiên cứu của AFD và Viện KHTLMN, (2016-2018) [7], Doãn Tiến Hà (2015) [8], Nguyễn Thành Trung (2014) [11], Nguyễn Khắc Nghĩa và nnk (2009, 2013) [16], [17], Schmitt và nnk (2013) [20], Nguyễn Viết Tiến (2015) [25], Thiều Quang Tuấn và nnk (2018) [32], v.v.

Hầu hết các nghiên cứu được thực hiện tại ba tổ chức nghiên cứu có phòng thí nghiệm mô hình sóng là Trường ĐHTL Hà Nội, Phòng Thí nghiệm trọng điểm Quốc gia về Động lực học Sông Biển và Viện KHTLMN. Sau đây, luận án tổng quan một số nghiên cứu điển hình về công trình ĐGS và RNM trong chức năng bảo vệ bờ biển liên quan đến luận án như sau: 1- Nghiên cứu của Lương Phương Hậu và nnk (2001) [10]: Trong giáo trình "Công trình bảo vệ bờ biển và hải đảo, 2001" đã giới thiệu 3 công thức thực nghiệm tính K_t của Viện khoa học Thủy lợi Nam Kinh (Trung Quốc) tương ứng cho 3 loại công trình ĐGS dạng tường mỏng, hình chữ nhật và đê đá đổ như sau: Đối với tường mỏng:

$$K_{t} = 1 - 0.12 \left(R_{c} - \frac{R_{c}}{h} \right)^{3} \left(\frac{H_{s}}{L_{p}} \right)^{\frac{1}{4}} \left(\frac{h}{L_{p}} \right)^{\frac{1}{14}}$$
(1-33)

Đối với đê tường đứng tiết diện ngang hình chữ nhật:

$$K_{t} = 1 - \frac{1}{2} \left(1 - \frac{R_{c}}{h} \right)^{3} \left(\frac{H_{s}}{L_{p}} \right)^{\frac{1}{12}} \left(\frac{h}{L_{p}} \right)^{\frac{3}{5}} \left(\frac{B}{L_{p}} \right)^{\frac{2}{5}}$$
(1-34)

Đối với đê đá đổ:

$$K_{t} = \tanh\left[0.8\left(\frac{R_{c}}{H_{s}} + 0.038\frac{L_{s}}{H_{s}}K_{b}\right)\right] \operatorname{khi} \frac{R_{c}}{H_{s}} < 0 \left(\operatorname{d\hat{e}} \operatorname{ng}\tilde{a}m\right)$$
(1-35)

$$K_{t} = \tanh\left(0.03 \frac{L_{p}}{H_{s}} K_{b}\right) - \tanh\frac{R_{c}}{2H_{s}} \text{ khi } 0 < R_{c}/H_{s} < 0.25 \text{ (d e$ nh$ ô$)}$$
(1-36)

với K_b = 1,5exp
$$\left(-0,40\frac{B}{H_s}\right)$$
 (1-37)

trong đó: H_s là chiều cao sóng trước đê; R_c là độ sâu ngập nước của đỉnh đê (R_c < $0 \rightarrow d\hat{e}$ ngầm, R_c > $0 \rightarrow d\hat{e}$ nhô); h_c là chiều cao đê; B là bề rộng đỉnh đê; L_p là chiều dài sóng trước đê; h là độ sâu nước trước đê. Điều kiện thí nghiệm của PT.(1-35) là B = $(1 \div 3)$ H_s; L_p/H_s = $10 \div 30$, mái dốc trước và sau đê m = 2; h/H_s = 2,50.

Thông qua số liệu thực nghiệm MHVL nhận thấy đặc tính tiêu sóng của công trình ĐGS phụ thuộc vào các thông số độ ngập đỉnh đê (R_c), bề rộng đỉnh đê (B), độ dốc sóng (s_{0p}) và độ sâu nước (h), tuy nhiên thông số R_c là quan trọng nhất. Nếu cao trình đỉnh đê đặt gần mực nước tính toán tác dụng tiêu sóng tăng lên, khi đỉnh đê (B) càng rộng hoặc độ sâu ngập nước (R_c) càng nhỏ thì tác dụng tiêu sóng càng rõ.

2- Nghiên cứu của Nguyễn Khắc Nghĩa và nnk (2009) [16]: Thí nghiệm MHVL với sóng đều truyền qua ĐGS dạng tường mỏng, tiết diện chữ nhật. Nghiên cứu xây dựng biểu đồ quan hệ thực nghiệm giữa chiều cao tương đối của tường

 (h_c/d) và K_t. Nghiên cứu này được xem là khởi đầu ở Việt Nam sử dụng MHVL máng sóng để nghiên cứu về sóng truyền qua công trình ĐGS.

3- Nghiên cứu của Schmitt và nnk (2013) [20]: Đo đạc thông số sóng ngoài hiện trường kết hợp với thí nghiệm MHVL để đánh giá hiệu quả giảm sóng cho hàng rào cọc tre. Kết quả nghiên cứu đã xác lập được các biều 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. Hạn chế là hầu hết hàng rào cọc tre bị hư hỏng sau 1 ÷ 2 năm xây dựng, giải pháp này được đánh giá không thích hợp tại những vị trí xói lở trực diện với biển, không còn RNM [4].

4- Nghiên cứu của Nguyễn Khắc Nghĩa và nnk (2013) [17]: Nghiên cứu thực nghiệm với các điều kiện thủy-hải văn và địa hình bãi biển huyện Hải Hậu, tỉnh Nam Định để đánh giá mức độ ảnh hưởng của các yếu tố hình học như cao trình, bề rộng đỉnh, hệ số mái đê đến hiệu quả giảm sóng của công trình ĐGS ngầm. Kết quả nghiên cứu cho thấy 2 biến số độ ngập (R_c) và bề rộng đỉnh (B) có ảnh hưởng chủ yếu đến K_t , độ dốc mái đê ảnh hưởng không đáng kể. Nghiên cứu không xây dựng công thức thực nghiệm tính K_t do hạn chế về số liệu thí nghiệm.

5- Nghiên cứu của Nguyễn Thành Trung và nnk (2014) [30]: Thí nghiệm với sóng ngẫu nhiên truyền qua công trình ĐGS với kết cấu khối phủ Tetrapod và đê bán nguyệt có các lỗ tiêu sóng, với các sơ đồ bố trí không gian khác nhau. Nghiên cứu đã thực hiện 55 thí nghiệm MHVL máng sóng và 38 thí nghiệm MHVL bể sóng với các biến số là độ dốc bãi, vị trí đặt công trình so với đường bờ, độ sâu nước, thông số sóng khác nhau. Thông qua số liệu thực nghiệm đã phân tích ảnh hưởng của vị trí công trình đến hiệu quả giảm sóng, từ đó đề xuất sơ đồ mẫu bố trí không gian công trình ĐGS cho từng vùng khu vực ở bờ biển Nam Định. Nghiên cứu thực hiện khá công phu, kết quả nghiên cứu được giới thiệu trong sách "Công trình phòng hộ và tôn tạo bờ biển" [11].

6- Nghiên cứu của Nguyễn Viết Tiến (2015) [25]: 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, bãi thoải ven bờ thuộc vùng biển Bắc Bộ và Bắc Trung Bộ (luận án Tiến sỹ). 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 ($R_c/H_{m0,i}$); (B/L_p); (ξ_{0p}). Nghiên cứu sử dụng phương pháp phân tích thứ nguyên và hồi qui xây dựng được 2 công thức thực nghiệm tính hiệu quả giảm sóng ($\varepsilon = 1 - K_t$) như sau:

$$1 - K_{t} = \epsilon = 0,16 + 0,41 \exp\left[-\frac{1}{6} \left(\frac{R_{c}}{H_{m0,i}}\right)^{3} \left(\frac{B}{L_{p}}\right)^{-1}\right]$$
(1-38)
$$- K_{t} = \epsilon = 0,59 + 1,47 \left(\frac{B}{L_{p}}\right)^{3,4} \left(1 - e^{-0,5\xi_{0m}}\right) - 0,26 \frac{R_{c}}{H_{m0,i}}$$
(1-39)

Giới hạn phạm vi áp dụng ứng với các điều kiện thí nghiệm: $\varepsilon = 0,10 \div 0,70$; B/L_p = 0,06 ÷ 0,65 hoặc B/H_{m0,i} = 1,5 ÷ 11,0; R_c/H_{m0,i} = 0 ÷ 1,70; s_{0p} = 0,015 ÷ 0,06.

1

Theo tác giả, PT.(1.39) có độ tin cậy cao hơn PT.(1.38) do phản ánh tốt và đầy đủ hơn bản chất của các quá trình vật lý chi phối, đặc biệt là ảnh hưởng của bãi nông trước đê và tính chất tương tác sóng-đê ngầm. Đến nay, trong khuôn khổ luận án tiến sĩ, nghiên cứu này được đánh giá thực hiện khá công phu bằng MHVL máng sóng thủy lực, kết quả nghiên cứu có giá trị khoa học nhất định và có khả năng ứng dụng vào thực tiễn gắn với điều kiện tự nhiên vùng biển Bắc Bộ và Bắc Trung Bộ của Việt Nam.

7- Nghiên cứu của Doãn Tiến Hà (2015) [8]: Thực nghiệm thí nghiệm MHVL máng sóng để xác định mối tương quan giữa K_t với các biến số kích thước hình học của công trình ĐGS ngầm, mái nhẵn, không thấm (luận án Tiến sỹ). Trong đó, 39 kịch bản cho cao trình đỉnh đê (thông qua biến R_c), 48 kịch bản cho bề rộng đỉnh đê thay đổi (thông qua biến B), 48 kịch bản cho hệ số dốc mái đê thay đổi (thông qua biến hệ số mái m). Nghiên cứu không hướng đến việc xây dựng công thức thực nghiệm tính K_t, chỉ sử dụng bộ số liệu với 135 kết quả thí nghiệm MHVL này để hiệu chỉnh và kiểm định mô hình diễn biến đường bờ GENESIS, nghiên cứu tác động của công trình ĐGS đến diễn biến hình thái đường bờ với nhiều kịch bản bố trí không gian công trình chỉnh trị khác nhau. 8- Nghiên cứu của AFD và Viện KHTLMN, (2016-2018) [7] "Nghiên cứu quá trình xói lở khu vực hạ lưu sông Mê Kông và các biện pháp bảo vệ chống xói lở một cách bền vững cho vùng ven biển Gò Công và U Minh". Trong phần nội dung nghiên cứu các biện pháp bảo vệ bờ biển (WP6) thực hiện năm 2017, nhóm nghiên cứu Thiều Quang Tuấn và nnk (2018) [32] đã thực hiện 60 thí nghiệm MHVL trong máng sóng HR Wallingford với sóng ngẫu nhiên cho 2 trường hợp công trình ĐGS dạng rỗng (ngầm và nhô). Thông qua bộ số liệu thực nghiệm, đã phân tích và xác định được 2 tham số chính chi phối đến quá trình truyền sóng là độ ngập sâu tương đối ($R_c/H_{m0,i}$) và chỉ số sóng võ Iribarren (ξ_0). Do công trình ĐGS đỉnh hẹp, đã bỏ qua việc xem xét ảnh hưởng của bề rộng đỉnh (B). Sau đó, trên cơ sở tham khảo nghiên cứu của d'Angremond và nnk (1996) [40], các tác giả đã đề xuất 2 dạng công thức thực nghiệm xác định K_t như sau:

$$K_{t} = -0.22. \left(\frac{R_{c}}{H_{m0,i}}\right) + 0.75. \left(1 - e^{-0.26\xi_{0m-1,0}}\right)$$
(1-40)

$$K_{t} = -0.20. \left(\frac{R_{c}}{H_{m0,i}}\right) + 0.66. \left(1 - e^{-0.39\xi_{0p}}\right)$$
(1-41)

trong đó: Chỉ số sóng võ Iribarren (ξ_0) tương ứng với chu kỳ đặc trưng phổ T_{m-1,0} được kí hiệu là $\xi_{0m-1,0}$ áp dụng cho PT.(1.40) và với chu kỳ đỉnh phổ T_p được kí hiệu là ξ_{0p} áp dụng cho PT.(1.41). Giá trị giới hạn của hai công thức thực nghiệm là R_c/H_{m0,i} = - 0,76 ÷ 2,0; s_{0p}= 0,016 ÷ 0,030; s_{0m}= 0,010 ÷ 0,025; K_t = 0,22 ÷ 0,77.

9- Nghiên cứu của cụm 3 đề tài cấp Quốc gia (2017-2020) [3][24][31]. Dự kiến xây dựng thử nghiệm 3 công trình ĐGS (02 công trình phía biển Đông, 01 công trình phía biển Tây). Các đề tài này có nội dung nghiên cứu thực nghiệm trên MHVL máng sóng tại Phòng thí nghiệm Thủy Động Lực Sông Biển (Viện KHTLMN). Đặc biệt, đề tài "Nghiên cứu giải pháp hợp lý và công nghệ thích hợp phòng chống xói lở, ổn định bờ biển vùng ĐBSCL, đoạn từ mũi Cà Mau đến Hà Tiên", mã số: ĐTĐL.CN-09/17 [24] đã cho phép NSC tham khảo bộ số liệu nghiên cứu thực nghiệm và các kết quả nghiên cứu khác của đề tài. Đồng thời kết quả nghiên cứu của luận án ứng dụng để lý luận thiết kế và lựa chọn phương án công

trình đê rỗng phức hợp cho mục đích giảm sóng trồng cây ngập mặn tại bờ biển khu vực cửa cống Kênh Mới, xã Khánh Hải, huyện Trần Văn Thời, tỉnh Cà Mau.

10- Nghiên cứu của Nguyễn Tuấn Anh (2019) [1]: 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 sĩ). Thông qua số liệu thực nghiệm trên MHVL máng sóng thủy lực kết hợp với lý thuyết năng lượng sóng, tác giả đã lượng hóa được ảnh hưởng của các tham số chính đến quá trình tiêu hao năng lượng sóng khi qua RNM là ma sát, sóng vỡ, tiêu tán do sức cản của cây. Sau đó, tác giả đã xây dựng được công thức thực nghiệm tính hệ số cản tổng hợp (C_D) và công thức bán thực nghiệm tính chiều cao sóng truyền (H_{rms}) trên bãi có RNM, trong các công thức phản ảnh đầy đủ được các yếu tố thủy động lực và đặc tính của cây đến quá trình giảm sóng:

$$C_{\rm D} = 1,618.\,{\rm e}^{(-0,0378{\rm K.C_V})}$$
 (1-42)

$$\frac{H_{\rm rms}}{H_{\rm rms,0}} = \frac{1}{1 + B_2.x}$$
(1-43)

$$B_2 = B_1 H_{rms,0} = \frac{4. C_D. B_0}{g. c_g}. H_{rms,0}$$
(1-44)

trong đó: H_{rms,0} là chiều cao sóng tới trước RNM; H_{rms} là chiều cao sóng truyền qua RNM; K.C_v là hệ số Keulegan – Kapenter cải biên phụ thuộc độ sâu nước và chiều cao cây RNM; B₀, B₁, B₂ là các hệ số phụ thuộc vào đường kính trung bình của cây (loài cây, tuổi cây, mực nước thiết kế), mật độ cây, đặc trưng sóng thiết kế (H_s, T_p, L_p); x là chiều rộng đai RNM; c_g là vận tốc nhóm sóng; d là độ sâu nước, h_v là chiều cao cây; N là mật độ cây. Giới hạn phạm vi ứng dụng của nghiên cứu: h_v/d = (0,9 ÷ 2,25); H_{rms}/d = (0,284 ÷ 1,09); s_{0p} = (0,015 ÷ 0,06); N = 60 cây/1m² và 85 cây/1m²; bỏ qua thành phần lực quán tính phát sinh do sự di chuyển tương đối giữa dòng chảy và cây; bỏ qua ảnh hưởng của sóng vỡ và ma sát đáy.

Nhận xét chung: Các nghiên cứu có liên quan về đánh giá chức năng giảm sóng cho các giải pháp công trình hay phi công trình trong chức năng bảo vệ bờ biển còn rất hạn chế ở Việt Nam. Nhìn chung, đối tượng thực hiện trong các nghiên cứu ít có tính mới so với các nghiên cứu hiện có của thế giới, thường chỉ khác biệt về phạm

vi nghiên cứu gắn với điều kiện vùng miền cụ thể. Kết quả nghiên cứu đạt được có ý nghĩa khoa học khá lớn, song tính ứng dụng thực tiễn còn chưa nhiều, đến nay chưa có tổng kết về thành tựu nghiên cứu như của thế giới đã thực hiện cho công trình đỉnh thấp DELOS - US, 2004 [44]. Tuy nhiên, luận án hoàn toàn có thể tham khảo các nghiên cứu ở trong nước hiện nay để nghiên cứu đề xuất giải pháp công trình đê giảm sóng phức hợp, ví dụ như tham khảo nghiên cứu của Nguyễn Tuấn Anh (2019) [1] để nghiên cứu đề xuất công trình có tính năng giảm sóng gần tương tự như cây ngập mặn, hay nghiên cứu của Schmitt và nnk (2013) [20] về hiệu quả giảm sóng và hạn chế cần khắc phục là tuổi thọ của hàng rào cọc tre, hay có thể tham khảo các phương pháp nghiên cứu thực nghiệm trên MHVL máng sóng của Doãn Tiến Hà (2015) [8], Nguyễn Viết Tiến (2015) [25], Nguyễn Thành Trung và nnk (2014) [30], Thiều Quang Tuấn và nnk (2018) [32].

1.5. Kết luận Chương 1

ĐGS được đánh giá là loại công trình có hiệu quả rất tốt trong chức năng bảo vệ bờ biển, đê biển và tôn tạo bãi biển, khắc phục cơ bản được những hạn chế về mặt kỹ thuật của các giải pháp bảo vệ bờ biển được xem là truyền thống trước đây như kè biển, mỏ hàn biển, hay đê chấn sóng. Với tính năng giảm sóng chủ động, lại giảm thiểu được xói lở bờ cho các vùng lân cận, ĐGS ngày nay được ứng dụng rất phổ biến ở nhiều quốc gia trên thế giới như Mỹ, Nhật Bản và các nước châu Âu như Anh, Ý, Tây Ban Nha,... Ở Việt Nam, những năm gần đây cũng đang có xu hướng chuyển đổi, thử nghiệm một số dạng công trình ĐGS với nhiều loại hình vật liệu và kết cấu khác nhau để bảo vệ bờ biển, đê biển và RNM bị xói lở, như tại Hải Phòng, Nam Định, Bình Thuận, Bà Rịa-Vũng Tàu, Tiền Giang, Bến Tre, Sóc Trăng, Trà Vinh, Bạc Liêu, Cà Mau, Kiên Giang. Mặc dù, đây mới chỉ là những công trình mang tính thử nghiệm, để xử lý khẩn cấp cho các vị trí xói lở cục bộ có tính xung yếu, nhưng đã đem lại những kết quả ban đầu không thể phủ nhận về tính hiệu quả và khả năng ứng dụng trong điều kiện thực tế của Việt Nam.

Từ những năm 1950 của thế kỷ XX đã có nhiều công trình nghiên cứu về ĐGS nói chung, tuy nhiên thành quả nghiên cứu về ĐGS ngày nay được xem là đã kế thừa

đáng kể từ thành quả nghiên cứu đã có của đê chắn sóng. Hướng nghiên cứu tập trung vào 3 hướng cơ bản là nguyên lý làm việc và bố trí không gian, kết cấu, đánh giá hiệu quả kỹ thuật của công trình. Trong đó, khi nghiên cứu đánh giá hiệu quả kỹ thuật của công trình bao gồm hiệu quả giảm sóng và hiệu quả gây bồi, thì vấn đề nghiên cứu về hiêu quả giảm sóng được quan tâm nghiên cứu nhiều hơn (hiêu quả gây bồi thực chất là hệ quả gián tiếp của hiệu quả giảm sóng mang lại), vì đây là yếu tố chi phối quyết định công năng thiết kế, hay nói cách khác là cơ sở khoa học để xem xét quyết định qui mô, kích thước hình học cơ bản của công trình (bước thiết kế chức năng). Ngoài loại ĐGS kết cấu đá đổ mái nghiêng truyền thống tiếp tục được nghiên cứu chuyên sâu, gần đây các nghiên cứu độc lập lại chú trọng nhiều đến việc ứng dụng thành tựu KH-CN về vật liệu mới, thân thiện với môi trường tự nhiên, đó là các loại ĐGS có dạng kết cấu mới, phi truyền thống, sử dụng các loại kết cấu có dạng dị hình như L-Block, AccropodeTM, AccropodeTM II, Core-LocTM, EcopodeTM, Artificial Reefball, P.E.P, WaveBlockTM, BeachSaverTM, Surger BreakerTM, BeachPrismTM, Geotube, dạng bán nguyệt có lỗ tiêu sóng, đê cọc,... Phương pháp nghiên cứu chủ yếu được thực hiên trên MHVL máng sóng thủy lực.

Trên thế giới, hầu hết các nghiên cứu thực hiện thời kỳ trước năm 1980, thường thực nghiệm với sóng đều truyền qua công trình ĐGS có cấu trúc hình học khá đơn giản, như dạng tường mỏng hay tường đứng tiết diện hình chữ nhật, hay dạng hình thang mái nhẵn, hay một hoặc hai hàng cọc, số lượng kịch bản thí nghiệm trong mỗi nghiên cứu ở mức rất hạn chế, kết quả nghiên cứu đạt được mang ý nghĩa về mặt khoa học là chính, ít có tính ứng dụng thực tiễn, do chưa đánh giá đầy đủ được các tham số cơ bản mang tính chi phối đến quá trình truyền sóng. Thời kỳ từ năm 1980 đến nay, đặc biệt là sau dự án DELOS (1998-2002), đã có nhiều công trình nghiên cứu thực hiện rất công phu trên cơ sở bộ số liệu thực nghiệm tổng hợp từ rất nhiều nghiên cứu khác nhau, được thí nghiệm trên nhiều máng sóng với nhiều tỉ lệ mô hình khác nhau, các thông số thí nghiệm như sóng ngẫu nhiên, cấu trúc và hình dạng của công trình trong mô hình đảm bảo tiệm cận với điều kiện thực trong nguyên hình [44]. Kết quả nghiên cứu đã nhận diện đúng bản chất ảnh hưởng của

các tham số chi phối chính đến K_t. Cụ thể là trong các công thức hay biểu đồ thực nghiệm tính toán xác định K_t được xây dựng trên cơ sở xem xét đầy đủ các yếu tố ảnh hưởng chủ yếu như chiều cao sóng tới (H_s), độ sâu nước (d), độ dốc sóng (s_{0p}), tham số sóng vỡ (ξ_{0p}) , chiều cao đê (h_c) , bề rộng đỉnh đê (B), độ sâu ngập nước của đỉnh đê (R_c), đường kính kích thước viên đá (D_{50}),... với giới hạn phạm vi áp dụng rất cụ thể như nghiên cứu của Calabrese và nnk (2002) [38], d'Angermond và nnk (1996) [40], Briganti và nnk (2003) [45], Herbich và Douglas (1988) [52], Koftis và nnk (2012) [59], Seabrook và Hall (1998) [66], Sonia và nnk (2015) [68], Truitt và Herbich (1987) [70], Van der Meer (1990) [72], Van der Meer và Daemen (1994) [73], Van der Meer và nnk (2005) [74],... Trong nước, số lượng công trình nghiên cứu chuyên sâu về đánh giá chức năng giảm sóng cho công trình ĐGS còn ở mức hạn chế, đối tượng thực hiện trong các nghiên cứu ít có sự khác biệt so với các nghiên cứu hiện có của thể giới, kết quả nghiên cứu đạt được về mặt khoa học nhìn chung khá tốt, nhưng khả năng ứng dụng vào thực tiễn còn chưa cao như nghiên cứu của Doãn Tiến Hà (2015) [8], Nguyễn Khắc Nghĩa và nnk (2013) [17], Nguyễn Viết Tiến (2015) [25], Nguyễn Thành Trung (2014) [30],...

Tóm lại: Thành tựu nghiên cứu về công trình ĐGS nói chung, trong chức năng giảm sóng bảo vệ bờ biển cát, hiện nay được đánh giá ở giai đoạn tổng kết về mặt khoa học và thực tiễn ứng dụng. Tuy nhiên, cho đến nay trên thế giới và trong nước, hầu như chưa có nghiên cứu cụ thể nào cho loại công trình ĐGS kết hợp với hệ cọc (dạng kết cấu mới, phi truyền thống) trong chức giảm sóng bảo vệ bờ biển. 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 VNC, luận án sẽ tập trung nghiên cứu đề xuất giải pháp công trình ĐGS có cấu trúc phức hợp, sử dụng các cấu kiện bê tông khối rỗng định hình, đúc sẵn để lắp ghép, thay thế cho vật liệu đá đổ truyền thống ứng dụng để bảo vệ bờ biển bùn và RNM bị xói lở. Cụ thể là loại ĐGS ngầm dạng rỗng kết hợp với hệ cọc bên trên đỉnh đê ngầm (gọi là Công trình đê rỗng phức hợp) và xây dựng cơ sở khoa học đánh giá chức năng giảm sóng cho loại công trình này gắn với điều kiện tự nhiên đặc thù bờ biển bùn RNM bị xói lở, phía biển Tây của ĐBSCL.

CHƯƠNG 2. CƠ SỞ KHOA HỌC NGHIÊN CỨU GIẢI PHÁP CÔNG TRÌNH ĐỂ RÕNG PHỨC HỢP

2.1. Tổng quan về vùng nghiên cứu

2.1.1. Vị trí địa lý



Hình 2-1. Vị trí địa lý VNC.

VNC có dải bờ biển dài hơn 350km từ MCM đến HT, thuộc địa phận 2 tỉnh Cà Mau và Kiên Giang. Nơi đây hội tụ rất nhiều tiềm năng và lợi thế để phát triển những ngành nghề chủ lực của nền kinh tế Việt Nam như nuôi trồng, khai thác, chế biến thủy hải sản, du lịch sinh thái, du lịch biển-đảo, công nghiệp dầu khí,...(xem Hình 2-1). Tuy nhiên, đây cũng là vùng đất rất nhạy cảm với tác động của tự nhiên và con người. Thời gian trước năm 1997, có thể nói toàn dải bờ biển từ MCM đến HT có đai RNM phát triển ổn định, nhưng trong những năm gần gây, do sức ép hoạt động khai thác của con người như: xây dựng các hồ chứa thượng nguồn dẫn đến thiếu hụt về bùn cát ở hạ du trước khi đổ ra biển, xây dựng hệ thống kênh rạch tiêu thoát lũ ra biển Tây, đắp đê bao nội đồng chống lũ phía thượng lưu, đắp đê ngăn mặn ngọt hóa vùng bán đảo Cà Mau, khai thác nước ngầm, phá rừng phòng hộ nuôi trồng thủy hải sản, v.v. cùng với những thay đổi của tự nhiên như BĐKH và NBD, xâm nhập mặn, lún sụt đất đã gây ra nhiều các tác động tiêu cực tới dải ven biển từ MCM đến HT.

Riêng phía biển Tây tỉnh Cà Mau, trong 10 năm vừa qua bị mất hơn 8.800ha đất và RNM phòng hộ ven biển, trước diễn biến bất thường của thời tiết, vào mùa gió Tây Nam (MGTN) hàng năm, sóng biển đánh trực diện vào thân đê, đe dọa trực tiếp tuyến đê biển Tây đang bảo vệ khoảng 260.000 hộ dân, với trên 128.972ha đất sản xuất ngư-nông-lâm nghiệp. Trung ương và địa phương đã phải chi hàng nghìn tỷ đồng chỉ để xử lý khắc phục trước mắt cho 28/60km bờ biển đang bị xói lở ở mức nguy cấp hiện nay [21].

2.1.2. Đặc điểm khi hậu, khí tượng

2.1.2.1 Chế độ gió mùa

Mặc dù có sự khác nhau trong từng khu vực, nhưng nhìn chung chế độ gió ở VNC có hai mùa và đổi hướng theo mùa phù hợp với hướng gió toàn vùng (xem Bảng 2-1). Mùa hè (MGTN) kéo dài từ tháng 5 đến tháng 10, hướng gió chính là hướng Tây-Tây Nam, tốc độ gió đạt khoảng từ 2,65-4,35m/s. Mùa đông (MGĐB) kéo dài từ tháng 11 đến tháng 4, có hướng gió thịnh hành là Đông-Đông Bắc, tốc độ gió đạt khoảng từ 3,1-4,3m/s (xem Hình 2-2).



Bảng 2-1. Phân bố chế độ gió mùa hàng năm ở VNC.

Hình 2-2. Hoa gió phân bố ngoài khơi theo số liệu của NOAA (2008-2017).

2.1.2.2 *Chế độ mưa*

Mưa là nhân tố khí hậu phân bố theo mùa rõ rệt nhất ở VNC. Mùa mưa trùng với MGTN hàng năm, thông thường bắt đầu từ tháng 5 và kết thúc vào khoảng tháng 10, lượng mưa chiếm từ 86-90% lượng mưa cả năm và khá ổn định qua các năm, trung bình từ 88,1-544,5mm/tháng. Mùa khô từ tháng 11 đến tháng 4 năm sau, lượng mưa chỉ chiếm khoảng 10% tổng lượng mưa năm, lượng mưa rất ít trung bình tháng khoảng từ 11-50mm/tháng. Hàng năm có khoảng 135-162 ngày mưa (xem Bảng 2-1).

2.1.2.3 Lượng bốc hơi

VNC có nền nhiệt độ cao, lượng bốc hơi khá lớn với khoảng 1.088mm/năm. Lượng bốc hơi lớn nhất vào tháng 3 khoảng 146mm (mùa khô), vào mùa mưa lượng bốc hơi giảm nhiều, nhỏ nhất vào tháng 10 chỉ khoảng 53mm.

2.1.2.4 Chế độ nhiệt

Nhiệt độ trung bình năm vào khoảng 26,5°C, nhiệt độ trung bình cao nhất trong năm vào tháng 4 khoảng 27,6°C, nhiệt độ trung bình thấp nhất vào tháng 1 khoảng 25°C. Biên độ nhiệt độ trung bình trong năm là 2,7°C. Do tính chất biến động của khí hậu, có sự xê dịch của tháng nóng nhất và tháng lạnh nhất hàng năm.

2.1.2.5 Chế độ nắng

Mùa khô kéo dài từ 6-7tháng/năm, trời ít mây nên rất dồi dào về ánh sáng. Số giờ nắng trung bình khá cao khoảng 2.200 giờ/năm. Từ tháng 12 đến tháng 4, số giờ nắng trung bình 7,6 giờ/ngày, từ tháng 5 đến tháng 11, số giờ nắng trung bình 5,1 giờ/ngày. Lượng bức xạ trực tiếp cao với tổng nhiệt khoảng 9.500-10.000⁰C.

2.1.2.6 Độ ẩm

Độ ẩm có quan hệ mật thiết với chế độ mưa và gió mùa. Độ ẩm tương đối trung bình cao hàng năm từ 82,2-87,5%. Tháng 11 và 12 có độ ẩm tương đối trung bình cao nhất khoảng 86,0-89,0%. Tháng 1 và 2 có độ ẩm tương đối trung bình thấp nhất vào khoảng 75,6-83,2%.

2.1.2.7 Bão, áp thấp nhiệt đới

Theo dữ liệu về bão được thu thập từ Cơ quan Khí tượng Nhật Bản từ năm 1964 đến 2017 có 18 cơn bão ảnh hưởng đến các tỉnh nam Bộ. Trong đó, có 6 cơn bão ảnh hưởng trực tiếp đến VNC (xem Bảng 2-2). Cơn bão gây hậu quả thảm khốc nhất trong 100 năm qua là cơn bão nhiệt đới LINDA năm 1997 (bão số 5), cường độ cấp 9-10, sức gió 105 km/h. Toàn khu vực 21 tỉnh/thành bị ảnh hưởng, 778 người chết, 2.123 người mất tích, 1.232 người bị thương, hơn 3.000 tàu bị đánh chìm, 107.892 nhà bị đánh sập, 120.000ha nuôi trồng thủy sản và 320.000 ha lúa bị ngập. Ước tính thiệt hại vật chất là 7.200 tỷ đồng (xem Hình 2-3a). Sau đó là cơn bão DURIAN năm 2006 (bão số 9), được đánh giá là kỳ dị nhất về hướng di chuyển trước khi đổ bộ vào đất liền (xem Hình 2-3b) [18].

Bảng 2-2. Tổng hợp các cơn bão, áp thấp nhiệt đới ảnh hưởng đến VNC.

TT	TT Mã	Tên bão	Bắt ở	tầu	Kết thúc		
II (ID)	Ten bao	Ngày	Giờ	Ngày	Giờ		
1	6429	JOAN	04/11/1964	0:00:00	11/11/1964	18:00:00	
2	9224	ANGELA	15/10/1992	0:00:00	30/10/1992	12:00:00	
3	9229	FORREST	12/11/1992	18:00:00	15/11/1992	18:00:00	
4	9726	LINDA	31/10/1997	12:00:00	04/11/1997	0:00:00	
5	0425	MUIFA	13/11/2004	18:00:00	25/11/2004	18:00:00	
6	0621	DURIAN	25/11/2006	6:00:00	06/12/2006	0:00:00	





a) Đường đi của bão LINDA (1997).

b) Đường đi của bão DURIAN (2006).

Hình 2-3. Ảnh hưởng của bão LINDA (1997) và bão DURIAN (2006) đến VNC.

2.1.3. Đặc điểm địa hình, địa mạo, địa chất và hoạt động kiến tạo

2.1.3.1 Địa hình

Địa hình bờ biển khá thấp so với mặt nước biển, cao độ phổ biến chỉ từ (-0,80)-(+2,50)m, ra xa cách bờ khoảng 16km cũng chỉ dao động ở mức (-1,40)-(-4,50)m, độ nghiêng bãi rất nhỏ khoảng 0,2‰. Địa hình có dạng trầm tích bãi triều bao quanh RNM và kéo dài ra biển, bao gồm đới gian triều (hay bãi bồi) và đới dưới triều (hay bãi bồi ngầm). Bãi triều là vùng chuyển tiếp nối đất liền và biển, thuộc nhóm đất ngập nước ven biển và cửa sông, có chức năng và vai trò sinh thái rất quan trọng, là vùng đệm chống xói lở bờ biển, là nơi RNM sẽ phát triển và lấn ra biển góp phần giảm thiểu thiệt hại do thiên nhiên gây ra. Bãi triều đới dưới triều là nơi có môi trường rất thuận lợi cho một số giống, loài hải sản cư trú, sinh đẻ và sinh trưởng. Vì có địa hình gần như bằng phẳng, diện tích rộng lớn, nên bãi triều còn có chức năng bẫy phù sa và là túi lọc tự nhiên các chất ô nhiễm mang đến từ lục địa. Đăc biệt nhất tai VNC là bãi triều non trẻ MCM, có diện tích lớn nhất và bồi lấn

nhanh nhất ở ĐBSCL, tốc độ bồi tụ trung bình khoảng 80-100m/năm, trong phạm vi khoảng 16km của bãi bồi cao độ địa hình chỉ dao động ở mức từ (-1,00 \pm 0,10)m. Hệ sinh thái chủ yếu là RNM ven biển rất phát triển [14], [24].

2.1.3.2 Địa mạo

Dải bờ biển ít bị chia cắt bởi các cửa sông, chỉ có sông Cái Lớn đổ ra vịnh Rạch Giá là lớn nhất, có một số mũi nhô nhở nhưng cũng không vươn ra xa như mũi Hòn Chông, mũi Ông Thầy, đường bờ chạy theo hướng gần kinh tuyến từ phía cửa sông Cái Lớn về đến MCM (ngoải trừ vịnh Rạch Giá). Đặc điểm địa mạo có nguồn gốc biển, bề mặt tích tụ do tác động của dòng dọc bờ là chính, trầm tích cấu tạo nên bề mặt chủ yếu là bùn-sét mềm yếu, khả năng chịu lực kém, đáy biển khá bằng phẳng và hơi nghiêng về phía trung tâm vịnh Thái Lan. Trên bề mặt dọc theo dải ven bờ có hệ sinh thái RNM rất phong phú và đa dạng. Nét đặc trưng nhất của VNC là có bãi triều non trẻ kéo dài từ MCM đến rạch Cái Mòi (phía biển Tây), bề rộng chỗ lớn nhất của bãi bồi > 18km, gần như bằng phẳng trải rộng ra biển [29].

2.1.3.3 Địa chất

Địa chất có nguồn gốc biển tuổi Holocene muộn, thành phần thạch học chủ yếu là trầm tích hạt mịn (bùn sét-bột sét). Kết quả phân tích thành phần hạt bùn cát đáy biển tại VNC (xem Bảng 2-3) cho thấy chủ yếu là hạt sét có đường kính (< 0,005mm) chiếm khoảng 50% và hạt bụi có đường kính từ 0,005-0,05mm chiếm khoảng 45%, trong khi thành phần hạt cát có đường kính rất nhỏ từ 0,05-0,5mm chỉ chiếm tỉ lệ khoảng 5% [24].





Tóm lại: VNC có đặc thù bờ biển bùn dạng bùn thích hợp cho hệ sinh thái RNM sinh trưởng và phát triển, địa chất nền mềm yếu khả năng chịu lực kém, rất dễ bị sụt lún hay xói lở do tác động xâm thực của sóng biển.

2.1.3.4 Hoạt động kiến tạo

Hệ thống đứt gãy theo phương Đông Bắc-Tây Nam là phần phát triển ra phía biển của hệ thống đứt gãy quan sát được ở đồng bằng Nam Bộ, tương tự như đứt gãy Tuy Hòa-Rạch Giá. Hoạt động của đứt gãy làm thềm Tây Nam Việt Nam đổ dần về

hướng Tây khu vực trung tâm vịnh Thái Lan và làm lớp phủ Đệ Tứ có xu hướng dày dần về phía trung tâm vịnh Thái Lan. Hệ thống đứt gãy theo phương án kinh tuyến nằm sát bờ biển Rạch Giá-Cà Mau. Hoạt động của đứt gãy này cùng đứt gãy Tây Bắc-Đông Nam đã tạo ra một sống nhô cao của thành tạo trước Đệ Tứ dọc bờ biển Tây Nam Việt Nam và phân cách sụt lún Đệ Tứ khu vực U Minh-Cà Mau và đới sụt lún ngoài khơi. Các hệ thống đứt gãy theo phương Tây Bắc-Đông Nam rất phát triển ở khu vực vịnh Thái Lan và liên quan đến các hoạt động xô húc của mảng Ấn Độ và mảng Âu Á [29].

2.1.4. Chế độ sóng, dòng chảy và thủy triều VNC

2.1.4.1 Chế độ sóng

Chế độ sóng ở VNC chủ yếu chịu sự chi phối trực tiếp của chế độ gió mùa trong khu vực (chủ yếu là MGTN, MGĐB hầu như ảnh hưởng không đáng kể) và địa hình đới bờ. Kết quả quan trắc tại 2 trạm đo sóng số 1 và số 2 bằng máy đo Flowquest và AWAC trong thời kỳ MGTN (từ 14 giờ ngày 20/7/2017 đến 14 giờ ngày 26/7/2017, chế độ quan trắc 15 phút/lần) và thời kỳ MGĐB (từ 12 giờ ngày 17/11/2017 đến 12 giờ ngày 23/11/2017, chế độ quan trắc 15 phút/lần) như sau:

Thời kỳ MGTN, sóng có hai hướng thịnh hành là hướng Tây và Tây Nam, chiếm tỷ lệ lên đến gần 85% tổng số con sóng. Chiều cao sóng có nghĩa \leq 1,0m, chiếm tỷ lệ \approx 85% tổng số con sóng, chiều cao sóng có nghĩa cực đại đạt khoảng 1,95m, chiều cao sóng có nghĩa trung bình đạt khoảng 0,66m, chiều cao sóng lớn nhất đạt khoảng 3,15m. Chu kỳ sóng phổ biến ở mức từ 2-6s, chiếm tỉ lệ rất lớn hơn 95% tổng số con sóng.

Thời kỳ MGĐB, sóng có 3 hướng chính là hướng Tây, Tây Nam và Tây Bắc, chiếm tỷ lệ lên đến 85% tổng số con sóng. Chiều cao sóng có nghĩa $\leq 0,60$ m, chiếm tỷ lệ rất cao lên đến 95% tổng số con sóng, chiều cao sóng có nghĩa cực đại đạt khoảng 0,82m, chiều cao sóng có nghĩa trung bình đạt khoảng 0,20m, chiều cao sóng lớn nhất đạt khoảng 1,41m. Chu kỳ sóng phổ biến ở mức từ 1,5-4,0s, chiếm tỉ lệ lên đến gần 100% tổng số con sóng (xem Hình 2-4, Bảng 2-4 và Bảng 2-5) [24].



Hình 2-4. Hoa sóng MGTN (trái) và MGĐB (phải) tại VNC.

		,	``	,										
$D^{2} = 0 4$	D1. ^	1. ^	1		<u>+</u> ^			41	4 -	MOTNI		MODD	A - :	INIC
$Ran\sigma / -4$	Phan	no	tan.	SHAT	ao	cao	song	Thire	ao		va	VIC TEJK	181	VINU
	I IIuII	00	uun	Suut	uŲ	vuo	bong	unav	uυ	1110111	v u	mode	uur	110.
0					•		<u> </u>	•					-	

Các mức	mức Tần suất độ cao sóng xuất hiện (%)										
chiều cao		MG	TN			MGĐB					
song (m)	Trạm	sóng 1	Trạm sóng 2		Trạm sóng 1		Trạm				
	H _{1/3}	H _{max}	H _{1/3}	H _{max}	H _{1/3}	H _{max}	H _{1/3}	H _{max}			
0,00÷0,10	-	-	-	-	18,75	-	20,13	4,15	$\leq 0,1$		
0,11÷0,20	-	-	-	-	54,86	26,39	32,64	19,43	≤0,2		
0,21÷0,60	47,05	16,15	67,34	29,73	26,39	73,61	42,35	63,90	≤0,6		
0,61÷1,00	36,97	39,92	16,14	40,18	-	-	4,86	8,33	≤1,0		
1,01÷2,00	15,96	43,40	16,52	26,67	-	-	-	4,16	≤2,0		
2,01÷3,00	-	0,52	-	3,42	-	-	-	-	> 2,0		

Đặc trưng	Chiều cao sóng có nghĩa $(H_{1/3})$ và lớn nhất (H_{max})										
sóng (m)		MGT	N	MGĐB							
	Trạm	sóng 1	Trạm sóng 2		Trạm sóng 1		Trạm sóng 2				
	H _{1/3}	H _{max}	H _{1/3}	H _{max}	H _{1/3}	H _{max}	H _{1/3}	H _{max}			
Cực đại	1,54	2,11	1,95	3,15	0,62	1,03	0,82	1,41			
Cực tiểu	0,28	0,42	0,25	0,37	0,06	0,11	0,04	0,06			
Trung bình	0,66	1,00	1,10	1,75	0,20	0,37	0,22	0,38			

Bảng 2-5. Đặc trưng sóng thực đo MGTN và MGĐB tại VNC.

2.1.4.2 Chế độ dòng chảy

Chế độ dòng chảy tại VNC chịu ảnh hưởng đồng thời của mạng lưới sông, kênh, rạch chẳng chịt và dòng triều, đặc trưng cho vùng đồng bằng rìa châu thổ có địa hình thấp. Địa hình bờ biển phía Đông cao hơn phía Tây, phía biển Tây thì dòng chảy của sông, kênh, rạch có hướng đổ ra biển, phía biển Đông lại có xu hướng chảy từ biển vào đất liền và đổ vào sông Cửa Lớn, sau đó đổ vào vụng Cà Mau. Cà Mau là tỉnh là có hệ thống sông nước mặn duy nhất ở Việt Nam với sông Bồ Đề đổ ra biến Đông và Cửa Lớn đổ ra Vịnh Thái Lan. Dòng chảy của sông thông qua hệ thống sông tự nhiên như Cái Lớn, Cái Bé, Cửa Lớn, Bảy Háp, Cái Đôi, Đồng Cùng (Mỹ Bình), Ông Đốc,... còn chiu ảnh của dòng chảy lũ thương nguồn của sông Mê Kông thông qua hệ thống kệnh nhân tao thoát lũ ra biển phía Tây từ TP. Rach Giá đến Hà Tiên như kênh T2, T3, T4, Võ Văn Kiêt (T5), Rach Giá - Long Xuyên, v.v. Dòng triều mang tính chất nhật triều không đều, trong pha triều lên dòng chảy dọc bờ theo hướng từ MCM đến HT, trong pha triều rút theo hướng ngược lại. Tốc độ dòng chảy ven bờ khá ổn định từ HT đến sông sông Cửa Lớn trong pha triều lên hay pha triều rút, nhưng tăng khá nhanh từ phía sông Cửa Lớn đến MCM trong pha triều rút và ngược lại giảm khá nhanh từ MCM đến sông Cửa Lớn trong pha triều lên. Do ảnh hưởng của MCM, tốc độ dòng chảy tại khu vực MCM luôn đạt giá trị cực đại trong cả pha triều lên hay pha triều rút (xem Hình 2-5).





b) Pha triều rút MGTN.



c) Pha triều lên MGĐB.

c) Pha triều rút MGĐB.

Hình 2-5. Phân bố trường dòng chảy trong MGTN và MGĐB khu vực MCM [24].

Kết quả quan trắc dòng ven bờ (xem Hình 2-4) tại trạm đo dòng số 1 và số 2 bằng máy đo dòng chảy chuyên dụng ADCP, khoảng cách đo từ bờ ra phía biển 2km theo hướng vuông góc với đường bờ trong thời kỳ MGTN (thời gian quan trắc liên tục trong 3 ngày/trạm, chế độ quan trắc 1 giờ/lần, 17 giờ ngày 21/7/2017 đến 17 giờ ngày 24/7/2017) và thời kỳ MGĐB (thời gian quan trắc liên tục trong 3 ngày/trạm, chế độ quan trắc 1 giờ/lần, 08 giờ ngày 17/11/2017 đến 08 giờ ngày 20/11/2017), cho thấy: Thời kỳ MGTN, tốc độ dòng chảy ven bờ lớn nhất đạt khoảng 0,46m/s (pha triều lên) và 0,39m/s (pha triều rút). Thời kỳ MGĐB, tốc độ dòng chảy ven bờ lớn nhất đạt khoảng 0,31m/s (pha triều rút) và 0,16m/s (pha triều lên), tốc độ dòng chảy trong bình ven bờ khá nhỏ và tương đồng nhau trong MGTN và MGĐB, trong pha triều lên và trong pha triều rút chỉ dao động trong khoảng \pm 0,02m/s (xem Bảng 2-6) [24].

Đặc trưng	Trạm đo A	ADCP số 1	Trạm đo A	ADCP số 2	Ghi chú
dòng chảy	MGTN	MGĐB	MGTN	MGĐB	
V _{max} (m/s)	+0,46	+0,27	+0,31	+0,31	Dấu (+) pha triều
V _{max} (m/s)	-0,28	-0,16	-0,39	-0,16	rút, (-) pha triều
V _{tb} (m/s)	+0,07	+0,02	-0,05	0,00	len.

Bảng 2-6. Độ lớn tốc độ dòng chảy ven bờ MGTN và MGĐB tại VNC.

2.1.4.3 Chế độ thủy triều

VNC có chế độ triều hỗn hợp thiên về nhật triều không đều, tuy trong ngày có hai đỉnh và hai chân nhưng giao động lớn hoàn toàn chiếm ưu thế nên có dạng gần như nhật triều. Hình dạng triều ngược lại với triều ven biển phía Đông là chênh lệch giữa hai đỉnh triều rất lớn, chênh lệch giữa hai chân triều lại nhỏ. Sự khác biệt giữa triều cường và triều kém thể hiện ở chỗ đỉnh triều cao trong kỳ triều cường lớn hơn nhiều trong kỳ triều kém, sự lệch đỉnh trong kỳ triều cường rất lớn, trong kỳ triều kém không đáng kể. Trong năm, mực nước trung bình xuống thấp vào các tháng 4 và 5 và lên cao nhất vào các tháng 10 và 11, chênh lệch nhau khoảng 0,2-0,3m. Mực nước lớn nhất xuống thấp vào tháng 3 và 6 và cao nhất vào các tháng 10 và 11, chênh lệch nhau khoảng 0,2-0,25m. Mực nước nhỏ nhất xuống thấp vào tháng 5 và 6 và lên cao nhất vào tháng 10, chênh lệch nhau khoảng 0,2-0,4m. Thời gian nước lên và nước xuống rất không đều nhau trong từng ngày, biên độ triều tối đa chỉ đạt $(1,10 \pm 0,1)$ m. Sự khác biệt có tính đối lập về chế độ thủy triều và địa hình phía biển Tây và phía biển Đông, dẫn đến dòng chảy của các sông rạch tự nhiên ở phía biển Tây thì đổ ra biển, phía biển Đông lại có xu hướng chảy từ phía biển. MCM thường xuyên chịu tác động tổng hợp của thủy triều biến Đông và biến Tây, thông qua cửa Bồ Đề (biến Đông) và Cửa Lớn (phía vinh Thái Lan) [6] [24].

2.1.5. Diễn biến đường bờ biển VNC (giai đoạn 1997-2017)

Kết quả phân tích và giải đoán ảnh viễn thám từ năm 1997÷2017 cho thấy tốc độ biến đổi đường biển trong 20 năm tại VNC diễn biến rất phức tạp, tuy nhiên xu

hướng xói lở chiếm ưu thế trên toàn dải ven bờ từ huyện Trần Văn Thời (Cà Mau) kéo dài lên đến HT (xem Hình 2-6a).



a) Tốc độ biến đổi đường bờ khu vực b) Tốc độ thay đổi đường bờ VNC thể hiện nghiên cứu (m/năm).
bằng biểu đồ cột theo thứ tự transect.

Hình 2-6. Diễn biến đường bờ biển (1997-2017).

Đoạn bờ biển từ MCM đến giữa huyện Phú Tân (transect 1 - transect 811) xu thế chủ yếu là bồi tụ, mức độ bồi tụ đường bờ thuộc hai huyện Ngọc Hiển và Năm Căn rất lớn. Nhiều nơi đường bờ bồi tụ đạt đến cả 100m/năm, tập trung chủ yếu ở bờ phía nam tại các cửa sông hay tại mũi đất nhô ra ở huyện Ngọc Hiển. Một vài nơi trong vùng cũng xảy ra sạt lở nhưng mức độ không nhiều, từ 0-5m/năm. Đoạn bờ biển từ giữa huyện Phú Tân đến gần cuối huyện An Minh (transect 811 - transect 1.787) xu thế biến đổi chủ yếu là sạt lở. Mức độ xói của cả khu vực nhìn chung nhỏ hơn mức độ được bồi tụ, cụ thể là ở những vị trí bị sạt lở lớn nhất với tốc độ 28m/năm, nhỏ hơn rất nhiều ở những nơi có tốc độ bồi tụ mạnh 108m/năm. Vùng
có hình thái đường bờ thẳng từ bắc xuống nam, với hình thái này có thể thấy vùng chịu ảnh hưởng đồng nhất các yếu tố thủy văn nên sự biến đổi bờ khá tương đồng trên toàn vùng. Một đoạn bờ giữa huyện An Minh nhô ra xảy ra bồi tụ. Đoạn bờ biển từ cuối huyện An Minh đến huyện Hà Tiên (transect 1.787 - transect 3.322), xu thế xói bồi xen kẻ tuy nhiên mức độ biến đổi không mạnh mẽ như hai vùng đã xét. Vùng có hai nơi được bồi tụ mạnh là vùng mũi nhô ra của huyện An Minh và An Biên và đoạn bờ bắc vịnh Rạch Giá. Một số nơi biến đổi đột ngột chỉ gồm vài transect là những công trình nhân tạo lấn biển (xem Hình 2-6b) [24].

2.1.6. Diễn biến hệ sinh thái RNM ven biển VNC (giai đoạn 1997-2017)

Lịch sử mở đất ĐBSCL nói chung và VNC nói riêng, ngoài yếu tố con người thì yếu tố thiên nhiên nắm giữ một vai trò vô cùng quan trọng, đó là được hai dòng hải lưu ở biến Đông và vịnh Thái Lan đón nhận nguồn phù sa không lồ của dòng sông Mê Kông hùng vĩ bồi đắp hàng năm, bên trong đất liền là thảm rừng tràm nguyên sinh, bên ngoài là bãi triều chuyển tiếp giữa đất liền và biển. Bãi triều bao quanh RNM và kéo dài ra biển bao gồm đới gian triều (bãi bồi) và đới dưới triều (bãi bồi ngầm). Trầm tích bãi bồi cấu tao bởi sét, sét - bôt xám xanh, xám sáng phớt nâu nhão mềm được gọi là bãi biển bùn với hệ sinh thái RNM ven biển là cây mắm và cây đước sinh trưởng và phát triển. Có thể hiểu, lịch sử hình thành miền đất trẻ vùng ĐBSCL được hình tượng hóa trong thơ văn như sau: "Mắm trước, đước sau, tràm theo sát. Sau hàng dừa nước mái nhà ai ". Cây mắm âm thầm lấn từng bước một vươn ra biển, chặn dòng phù sa, thu gom phù sa để cây đước bám theo sau giữ lấy, chúng nhịp nhàng từng bước, từng bước một làm cho dải đất ven biển của đồng bằng châu thổ sông Cửu Long ngày càng thêm rộng ra về phía biển. Tuy nhiên, từ năm 1997 trở lại đây, tình trạng xói lở bờ biến và suy thoái hệ sinh thái RNM ven biển tại VNC diễn biến rất phức tạp, đe dọa tương lai của ĐBSCL (xem Hình 2-7). Kết quả phân tích và giải đoán ảnh viễn thám cho thấy giai đoạn từ năm 1997-2017 cho thấy: Hai khu vực có diện tích RNM ven biển lớn là khu vực phía Tây huyện Ngọc Hiển, Năm Căn (KV1) và khu vực huyện Kiên Lương (KV9). Khu vực huyện Châu Thành và Rạch Giá (KV7) có diện tích RNM thấp nhất. Hầu hết các khu vực RNM có xu thế giảm dần và mức độ giảm khá lớn, khu vực có tỉ lệ giảm ít là huyện An Minh (KV5), khu vực có tỉ lệ giảm nhiều nhất từ diện tích 196,6 ha xuống chỉ còn 9,8 ha là huyện Châu Thành và Rạch Giá (KV7). Huyện Kiên Lương có diện tích RNM bị mất nhiều nhất là 1354,9 ha (KV9), tiếp theo là huyện Hòn Đất là 841,2 ha (KV8), đến huyện Trần Văn Thời là 654,7 ha (KV3). Hai khu vực có diện tích RNM ven biển tăng là huyện Ngọc Hiển, Năm Căn (KV1) và huyện An Biên (KV6). Khu vực huyện Ngọc Hiển, Năm Căn diện tích RNM ven biển tăng đến 3246,4 ha (KV1), tăng hơn 50% so với diện tích RNM năm 1997. Có hai giai đoạn RNM có sự thay đổi nhiều nhất là giai đoạn (1997-2000) và giai đoạn (2012-2015). Giai đoạn ít biến đổi nhất là giai đoạn (2015-2017). Trừ khu vực huyện Ngọc Hiển, Năm Căn (KV1) diện tích RNM ven biển tăng đều qua các giai đoạn, các khu vực khác có diện tích RNM ven biển có sự tăng/giảm không ổn định qua các giai đoạn (xem Bảng 2-7) [24].

Khu	Năm	Năm	Năm	Năm	Năm	Năm	DT thay đổi
vực	1997	2000	2006	2012	2015	2017	1997÷2017
	(Ha)						
KV1	6.082,0	7.752,9	8.142,0	8.693,4	9.061,3	9.328,4	+3.246,4
KV2	809,8	662,9	515,7	455,7	431,2	484,4	-325,4
KV3	893,3	795,9	494,1	387,5	268,7	238,6	-654,7
KV4	786,9	559,6	528,4	513,2	283,2	299,6	-487,3
KV5	436,8	456,3	407,3	430,6	305,5	293,8	-143
KV6	384,3	492,5	342,2	497,8	450,5	435,3	+51
KV7	196,6	170,5	28,0	28,0	10,2	9,8	-186,8
KV8	1.185,5	1.072,2	726,5	554,0	379,6	344,3	-841,2
KV9	3.009,6	2.957,6	2.555,8	2.184,3	1.746,8	1.654,7	-1.354,9

Bảng 2-7. Biến đổi diện tích RNM ven biển của VNC (1997-2017).



trong đó: tỉnh Cà Mau (KV1, KV2, KV3, KV4), tỉnh Kiên Giang (KV5, KV6, KV7, KV8, KV9). Cụ thể là: KV1: Đoạn bờ biển phía Tây huyện thuộc Ngọc Hiển, Năm Căn. KV2: Đoạn bờ biển huyện Phú Tân. KV3: Đoạn bờ biển thuộc huyện Trần Văn Thời. KV4: Đoạn bờ biển huyện U Minh. KV5: Đoạn bờ biển huyện An Minh KV6: Đoạn bờ biển thuộc An Biên. KV7: Đoạn bờ biển thuộc huyện Châu Thành và Rạch Giá. KV8: Đoạn bờ biển huyện Hòn Đất.

KV9: Đoạn bờ biển thuộc huyện Kiên Lương.

Hình 2-7. Diễn biến hệ sinh thái RNM ven biển (1997-2017).

2.2. Luận giải định hướng giải pháp bảo vệ bờ biển cho VNC

1- Dải bờ biển VNC nhìn chung khá thấp so với mặt nước biển, cao độ địa hình dao động từ (-0,80 ÷ +2,50)m, bãi biển thoải có độ nghiêng nhỏ, gần như nằm ngang (độ dốc \approx 0,2‰), đáy biển khá nông ra xa cách bờ khoảng 16km có cao độ trung bình chỉ từ (-1,40 ÷ -4,50)m. Hình thái đường bờ biển tương đối thuận thẳng theo hướng Bắc – Nam, ít bị chia cắt bởi các cửa sông lớn như phía biển Đông của ĐBSCL (ngoại trừ đoạn đường bờ Rạch Giá - Hà Tiên ít bị xói lở). Chế độ sóng, dòng chảy, thủy triều phía biển Tây chịu sự chi phối của chế độ gió mùa trong khu vực, chủ yếu là MGTN, MGĐB hầu như ảnh hưởng không đáng kể, ít chịu tác động trực tiếp của bão hay áp thấp nhiệt đới như phía biển Đông. Thời kỳ MGTN, sóng ngoài khơi có 2 hướng thịnh hành là Tây và Tây Nam (chiếm > 85% tổng số con sóng), sóng truyền vào đến khu vực gần bờ có xu hướng dịch chuyển theo hướng Tây là chủ đạo, nhìn chung có hướng gần vuông góc đường bờ biển. Vào MGTN, chiều cao sóng ngoài khơi có nghĩa cực đại đạt khoảng 1,95m, chu kỳ sóng 2-6s, cao trình mực nước biển trung bình < +1,0m, biên độ triều tối đa chỉ đạt (1,10 \pm 0,1)m, dòng chảy ven bờ có vận tốc lớn nhất < 0,5m/s trong cả pha triều lên và triều rút. Bãi biển bùn (không có hạt cát), địa chất nền bùn mềm yếu, khả năng chịu tải trọng đứng kém, dễ lún sụt. Bờ biển bị xói lở vào MGTN do tác động xâm thực của sóng biển là chủ yếu. Nồng độ phù sa trong nước biển (độ đục) rất cao lên đến 2.000mg/m³. Hệ sinh thái tự nhiên chủ yếu là RNM.

2- Tai VNC đã thử nghiệm một số loại công trình có tính năng giảm sóng chủ động, bằng nhiều loại hình vật liệu và kết cấu khác nhau như: hai hàng cọc bê tông ly tâm lõi xếp chèn đá hộc (xem Hình 1-3e), bê tông trụ rỗng (xem Hình 1-3f), bê tông rỗng cốt phi kim (xem Hình 1-3g, h), tường rọ đá hộc xếp, tường rào cọc tre (xem Hình 1-3j),... Có thể nói, tiêu biểu nhất là loại công trình có kết cấu hai hàng coc bê tông ly tâm lõi xếp chèn đá hộc, được đánh giá là phù hợp với điều kiên tư nhiên của VNC, mang lai hiêu quả gây bồi tao bãi tốt nhất, hiên nay tiếp tục điều chỉnh thiết kế để thi công nhân rộng mô hình này. Tuy nhiên, hạn chế lớn nhất của loại công trình này, đó là vấn đề thi công hệ kết cấu bê tông cốt thép dầm giằng trên đỉnh hệ cọc trong điều kiện sóng biển vào MGTN, làm ảnh hưởng khá lớn đến tiến độ, chất lượng và giá thành xây dựng. Đồng thời, chức năng giảm sóng chưa có đủ cơ sở khoa học để đánh giá. Một số đoạn công trình có tình trạng cao trình đỉnh thấp, hiêu quả giảm sóng không đạt yêu cầu của thực tiễn, đang phải tìm phương án xử lý khắc phục. Ngoài ra, việc sử dụng hệ cọc bê tông ly tâm dài 7m (phần cọc nhô chắn sóng khoảng 2m), cũng cần phải xem xét tối ưu hóa chiều dài coc và khả năng tái sử dụng khi cần mở rộng không gian bãi ra phía biến, cho mục đích phát triển hệ sinh thái RNM. Dang công trình hàng rào coc tre, có hiệu quả gây bồi tao bãi ban đầu khá tốt, được đánh giá thân thiện với môi trường nhất, nhưng tuổi thọ công trình không cao, hàng rào cọc tre bị hư hỏng hoàn toàn do tác động của sóng biến sau thời gian 1-2 năm. Các loại công trình khác, nhìn chung sau khi xây dựng thử nghiệm không được đánh giá cao mặt kỹ thuật hoặc giá thành so với loại công trình hai hàng cọc bê tông ly tâm lõi xếp chèn đá hộc.

3- Kế thừa thành tựu nghiên cứu và thực tiễn ứng dụng của loại công trình ĐGS kết cấu đá đổ truyền thống, dang có mặt cắt thực dung hình thang được xem là chuẩn tắc về mặt hình học, tối ưu về mặt kỹ thuật (giảm sóng, chiu lực, ổn định, thi công,...). Qui luật bố trí hệ cọc kế thừa từ các thành tựu nghiên cứu của loại công trình ĐGS cọc và từ các nghiên cứu về chức năng giảm sóng của RNM ven biển. Các vấn đề liên quan đến ổn định và kết cấu công trình dưới tác dụng của điều kiện thủy - hải văn cực trị được xem xét gián tiếp thông qua điều kiện tự nhiên của VNC. Tóm lại: Giải pháp bảo vệ bờ biển phải thích ứng với điều kiện tự nhiên đặc thù, nguyên nhân và cơ chế xói lở bờ biển bùn RNM của VNC, có tính mới so với các giải pháp đã có trên thể giới và trong nước hiện nay, có cơ sở khoa học minh chứng, có khả năng ứng dụng cao vào thực tiễn. Đó là, tính năng giảm sóng chủ động, tính rỗng để trao đổi nguồn dưỡng chất cho RNM, phù hợp với điều kiện thủy - hải văn và địa chất nền bùn, thi công trong điều kiên ảnh hưởng của sóng biển MGTN, khả năng luân chuyển tái sư dung, giá thành hợp lý. Khắc phục được các nhược điểm riêng, tổng hợp phát huy được hết các ưu điểm về mặt kỹ thuật trong chức năng thiết kế giảm sóng bảo vệ bờ biển của các loại công trình hiện nay tại VNC.

2.3. Nghiên cứu đề xuất giải pháp công trình đê rỗng phức hợp

Trên cơ sở kết quả nghiên cứu tổng quan và tổng kết thực tiễn (xem Chương 1 và nội dung các Mục 2.1 và Mục 2.2 của Chương 2 trên đây). Hướng nghiên cứu đề xuất giải pháp công trình ứng dụng thích hợp cho mục đích giảm sóng bảo vệ bờ biển bùn RNM tại khu vực phía biển Tây của ĐBSCL phải đáp ứng được các tiêu chí sau đây: (i) Công trình có tính năng năng giảm sóng linh hoạt, không được ngăn cản hoàn toàn sự lưu thông của nước qua tuyến đê, phải giúp duy trì các quá trình trao đổi chất, trao đổi nước bên trong và ngoài tuyến đê, giảm thiểu được các tác động xấu đến môi trường sinh thái của tuyến đê, đồng thời có khả năng gây bồi, tạo bãi, khôi phục vùng RNM sau đê; (ii) Công trình phù hợp với điều kiện tự nhiên về chế độ thủy-hải văn của VNC, phù hợp với địa chất nền bùn mềm yếu có tính lún

sụt cao, sản xuất cấu kiện và thi công lắp đặt dễ dàng ngoài hiện trường, thời gian thi công nhanh, độ bền cao trong môi trường biển, duy tu bảo dưỡng thuận lợi, giá thành xây dựng hợp lý, có khả năng luân chuyển tái sử dụng.

Luận án nghiên cứu đề xuất giải pháp công trình ĐGS có cấu tạo phức hợp, dạng lắp ghép bằng các cấu kiện bê tông đúc sẵn định hình, đó là ĐGS ngầm dạng rỗng bố trí thêm hệ cọc trên đỉnh đê ngầm để tăng hiệu quả giảm sóng của đê ngầm trong chức năng bảo vệ bờ biển bùn RNM (luận án gọi là công trình đê rỗng phức hợp). Chức năng giảm sóng của công trình đê rỗng phức hợp được xem như bán tự nhiên, mô phỏng theo nguyên lý giảm sóng của cây ngập mặn ven biển. Trong đó, phần hệ cọc lắp ghép trên đỉnh đê ngầm, ngoài chức năng chính làm tăng thêm hiệu quả giảm sóng của đê ngầm, đồng thời tạo ra hệ thống các khe hở đứng bảo đảm cho phép mọi sóng tới và thủy triều có thể truyền xuyên qua, hệ cọc có vai trò cản sóng tương tự như thân cây ngập mặn ven biển, quá trình tiêu hao năng lượng sóng qua hệ cọc nhờ công của lực cản. Phần khối đế là một thân đê ngầm rỗng, ngoài tác dụng chính tiêu hao năng lượng sóng thông qua quá trình sóng vỡ, ma sát và dòng chảy thân đê, còn có vai trò ngăn và giữ dòng bùn cát dịch chuyển ngược trở ra phía biển, tương tự như bộ rễ của cây ngập mặn.

Cấu tạo của một phân đoạn công trình đê rỗng phức hợp hoàn chỉnh có 3 đơn nguyên lắp ghép với nhau (xem Hình 2-8a). Trong mỗi đơn nguyên độc lập gồm có, phần thân đê ngầm rỗng (xem Hình 2-8b) và phần hệ cọc trụ tròn lắp ghép bên trên đỉnh đê ngầm (xem Hình 2-8c). Bản chất kỹ thuật của giải pháp công trình đê rỗng phức hợp là việc cho phép lắp ghép linh hoạt hệ cọc trụ tròn vào thân đê ngầm rỗng. Hệ cọc lắp ghép linh hoạt có thể là 1, 2, 3 hay nhiều hàng cọc, bố trí theo qui luật dạng hình hoa mai. Tùy theo yêu cầu cần giảm chiều cao sóng, chiều cao các hàng cọc cũng hoàn toàn linh hoạt có thể bằng hoặc không bằng nhau, ví dụ hàng cọc trực diện với sóng biển có thể cao hơn các hàng cọc phía sau để tiết kiệm vật liệu. Điểm đặc biệt của việc bố trí sẵn các hàng lỗ trên đỉnh đê ngầm rỗng, sẽ cho phép linh hoạt lắp ghép bổ sung thêm hay giảm bớt các hàng cọc khi cần giảm hay tăng chiều cao sóng, hoặc khi cần điều chỉnh tăng chiều cao cọc hoàn toàn toàn có thể thay

thế bằng hệ cọc mới với chiều cao thích hợp, hoặc khi cần di dời công trình ra xa hơn để lấn biển hay đến vị trí khác hoàn toàn có thể tái sử dụng lại hệ cọc cũ. Tính mới và trình độ sáng tạo của giải pháp công trình này chính là chức năng giảm sóng linh hoạt và khả năng hỗ trợ duy trì chất lượng môi trường nước phía sau công trình, để nuôi dưỡng và tái sinh hệ sinh thái RNM thông qua hệ thống các khe hở đứng của hệ cọc bên trên. Hay nói các khác là thành phần chất lượng nước nuôi dưỡng cây ngập mặn hầu như không bị ảnh hưởng bởi công trình, giảm thiểu tối đa được các tác động tiêu cực đến môi trường sinh thái tự nhiên.



a) Công trình đê rỗng phức b) Thân đê ngầm rỗng c) Hệ cọc trụ tròn lắp hợp (dạng tổng quát).
 không cọc.
 ghép bên trên.

Hình 2-8. Công trình đê rỗng phức hợp (minh họa trường hợp 3 hàng cọc). Trong nghiên cứu này sẽ tập trung xây dựng cơ sở khoa học đánh giá chức năng giảm sóng của công trình đê rỗng phức hợp có đặc trưng hình học theo cấu tạo như sau: Thân đê ngầm rỗng có mặt cắt thực dụng hình thang cân, mái nhẵn, hệ số mái đê m = 1, diện tích lỗ rỗng trên mái đê cho phép nước có thể truyền xuyên qua vào trong thân đê rỗng chiếm 14% diện tích hình học mái đê ngầm. Hệ cọc lắp ghép bên trên đỉnh đê ngầm bố trí theo dạng hình hoa mai, với qui luật khoảng cách giữa các cọc trong một hàng bằng khoảng cách các hàng cọc và bằng kích thước đường kính cọc (sử dụng loại cọc trụ tròn bê tông ly tâm đúc sẵn phổ biến trên thị trường xây dựng có kích thước đường kính cọc 30cm). Nghiên cứu với 4 trường hợp hệ cọc bên trên đỉnh đê ngầm tương ứng với 4 kích thước bề rộng đỉnh đê theo điều kiện cấu tạo bảo đảm để bố trí hệ cọc là B = 1,68m ~ n_c = 2 hàng cọc, B = 2,28m ~ n_c = 3 hàng cọc, B = 2,88m ~ n_c = 4 hàng cọc và B = 3,48m ~ n_c = 5 hàng cọc. Nghiên cứu không xem xét trường hợp cao trình đỉnh đê ngầm rỗng nhô cao hơn mực nước tính toán và cao trình đỉnh hệ cọc thấp hơn mực nước tính toán.

2.4. Phương pháp nghiên cứu trên MHVL

2.4.1. Khái niệm chung về MHVL

MHVL là mô hình được cấu tạo bởi các phần tử vật lý. Các thuộc tính của đối tượng được phản ảnh bằng các định luật vật lý xảy ra trong mô hình. MHVL có cấu tạo giống như nguyên hình, nhưng thường có kích thước nhỏ hơn nguyên hình để phù hợp với điều kiện của phòng thí nghiệm. Các quá trình vật lý xảy ra trong mô hình giống trong nguyên hình, có thể đo lường, quan sát một cách trực quan với độ chính xác cao.

Để thay thế được đối tượng gốc, MHVL phải bảo đảm 2 tính chất cơ bản sau: (i) Tính đồng nhất với nguyên hình mà nó phản ảnh theo những tiêu chuẩn định trước; (ii) Tính thực dụng phải có khả năng sử dụng mô hình để nghiên cứu đối tượng.

2.4.2. Mục tiêu thí nghiệm MHVL

Mục tiêu chính của thí nghiệm MHVL là thiết lập được một bộ số liệu thí nghiệm làm cơ sở cho việc xây dựng các công thức kinh nghiệm hay bán kinh nghiệm cho phép đánh giá một cách tin cậy chức năng giảm sóng của công trình đê rỗng phức hợp. Hay nói cách khác công thức xác định K_t với sự ảnh hưởng của các tham số phi thứ nguyên chi phối chính được xác định, phản ảnh đúng quá trình vật lý tiêu hao năng lượng sóng khi truyền qua công trình đê rỗng phức hợp.

2.4.3. Mô hình sóng và các vấn đề nghiên cứu trong mô hình sóng

Sóng là thông số đầu vào quan trọng nhất đối với bất kỳ dạng MHVL nào, việc tạo ra đúng các điều kiện tương tự sóng khi thí nghiệm được xem là yếu tố tiên quyết. Sóng trong tự nhiên được phân thành 2 loại như sau:

+/ Sóng ngắn là sóng trọng lực đang phát triển được tạo thành bởi gió, hay tàu thuyền di chuyển,... có chu kỳ từ 5-15s. MHVL sóng ngắn (sóng do gió) dùng để nghiên cứu vùng ven bờ; +/ Sóng dài là sóng triều, có chu kỳ rất lớn \approx 12h. MHVL sóng dài (sóng triều) dùng để nghiên cứu vùng cửa sông ven biển, lạch triều [11].

Các vấn đề nghiên cứu trong mô hình sóng thường xem xét theo 2 phương diện chính như sau:

+/ Một là, nghiên cứu tương tác giữa sóng và công trình làm căn cứ cho thiết kế như hiệu quả giảm sóng, hay áp lực sóng lên tường đứng, tường mái nghiêng, công trình có lỗ xuyên thông, công trình nổi,...

+/ Hai là, nghiên cứu đặc điểm trường sóng, dòng chảy do sóng khi tương tác với các loại công trình, chuyển động bùn cát dọc bờ do sóng, diễn biến xói bồi bờ biển, bồi lắng luồng tàu, bến cảng dưới tác động của sóng.

Nghiên cứu loại vấn đề thứ nhất thường thực hiện trong mô hình mặt cắt, chỉ cần tiến hành nghiên cứu trong máng sóng, yêu cầu về hằng số tỉ lệ tương đối nhỏ tức là mô hình có thể làm tương đối lớn để bảo đảm độ chính xác trong quan trắc. Loại vấn đề thứ hai đều phải nghiên cứu trong mô hình tổng thể, hằng số tỉ lệ mô hình có thể lây lớn hơn, tức là mô hình có thể làm nhỏ hơn trong bể sóng.

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 học và động lực sóng cần bảo đảm tốt tương tự về hình học, vì vậy mô hình sóng thường được thiết kế theo mô hình chính thái, chỉ trong trường hợp do sự hạn chế khó khắc phục của khu vực thí nghiệm hoặc yêu cầu của các điều kiện tương tự khác mới xét đến mô hình biến thái.

Trong thực tiễn đối với mô hình mặt cắt chỉ có mô hình chính thái và hằng số tỉ lệ mô hình tương đối nhỏ ($\lambda_L \leq 60$). Đối với mô hình tổng thể cũng phần lớn làm mô hình chính thái, hằng số tỉ lệ tương tự hình học thường được chọn trong khoảng (60÷150), khi buộc phải làm mô hình biến thái thì hệ số biến thái phải chọn $\eta = \lambda_L/\lambda_h \approx 2$ [12].

Tóm lại: 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, tuân thủ định luật tương tự Froude.

2.4.4. Lý thuyết tương tự và tỷ lệ mô hình

Với mô hình sóng ngắn, mô hình cần được làm chính thái, tức là khi tỷ lệ chiều dài λ_L bằng với tỷ lệ chiều cao λ_h , để có sự tương tự về động học và động lực sóng. Các tỷ lệ của mô hình cần tuân thủ định luật tương tự Froude. Trong luận án này tỷ lệ mô hình lựa chọn để nghiên cứu là $\lambda_L = \lambda_h = 15$, tương quan tỷ lệ của một số đại lượng vật lý cơ bản theo luật Froude (xem Bảng 2-8).

Đại lượng	Thứ nguyên	Tương quan	Giá trị
Độ dài	[L]	λ_{L}	15
Chiều cao	[L]	$\lambda_h = \lambda_L$	15
Thời gian	[T]	$\lambda_t = \sqrt{\lambda_l}$	3,873

Bảng 2-8. Tương quan tỷ lệ của một số đại lượng vật lý cơ bản theo luật Froude.

Việc xác định tỷ lệ mô hình phù hợp đóng vai trò quan trọng, quyết định tính khả thi và mức độ chính xác của kết quả thí nghiệm. Lựa chọn tỷ lệ mô hình cần phải được dựa trên điều kiện nguyên hình (tham số sóng và kích thước hình học của công trình) và sự đáp ứng của điều kiện thí nghiệm (tham số sóng tối đa có thể tạo ra bởi máy tạo sóng, kích thước của máng sóng thí nghiệm). Tỷ lệ mô hình cần phải đủ lớn để giảm thiểu các hiệu ứng do ảnh hưởng của tỷ lệ mô hình nhỏ, thông thường mô hình sóng ngắn có tỷ lệ dài $\lambda_L < 60$ [25].

2.4.5. Kiểm tra sự hợp lý của tỷ lệ mô hình

Từ kết quả phân tích chế độ thủy-hải văn VNC (xem Mục 2.2), điều kiện thủy lực nguyên mẫu làm cơ sở cho việc lựa chọn tỷ lệ mô hình như sau:

+/ Chiều cao sóng $H_s = 1,0-2,5m$, với chu kỳ $T_p = 2-6s$;

+/ Độ sâu nước tại tại vị trí công trình phía trước đai RNM có D \geq 1m.

+/ Căn cứ vào kích thước máng sóng thí nghiệm (HR Wallingford - Anh) có chiều dài 40m, chiều cao 1,5m, chiều rộng 1,2m. Khả năng máy tạo sóng có thể tạo ra với $H_s = 0,3m$ và chu kỳ $T_p = 3,0s$ là sóng ngẫu nhiên lớn nhất có thể tạo ra. Sau

khi đối chiếu với điều kiện thủy lực nguyên mẫu cho thấy việc lựa chọn tỷ lệ mô hình $\lambda_L = 15$ là hợp lý (xem Bảng 2-11).

Đặc tính sóng tại VNC thuộc loại sóng ngắn. Mô hình sóng ngắn được làm chính thái (tức là $\lambda_L = \lambda_h$), tỷ lệ mô hình $\lambda_L = 15 < 60$ là hoàn toàn phù hợp [11].

Các điều kiện sóng và mực nước thí nghiệm ($H_s \ge 0,07m$, $D \ge 0,20m$) phù hợp khuyến nghị của O.Kirchmer để chuyển động sóng không bị ảnh hưởng của lực căng bề mặt phải thỏa mãn điều kiện $H_s > 0,02m$ và D > 0,05m (xem Bảng 2-11).

Yêu cầu số Reynolds đủ lớn ($\text{Re} > 3.10^4$) để bỏ qua sức cản mặt ngoài đối với hệ cọc khi thí nghiệm. Ta có, số Re xác định theo điều kiện thí nghiệm giới hạn nhỏ nhất thỏa mãn (xem Bảng 2-11) như sau:

Re =
$$\frac{\rho. U. L_s}{\mu} = \frac{uL_s}{\nu} = 2,2.10^6 \gg [Re] = 3.10^4$$

trong đó: v là độ nhớt động học, µ là độ nhớt động lực học, ρ là khối lượng riêng của nước, v = µ/ρ (m²/s), U là vận tốc sóng (U = $\sqrt{g.D}$), L_s là chiều dài sóng (L_s = $\sqrt{g.D.T_s}$), D là độ sâu nước thí nghiệm, T_p là chu kỳ sóng thí nghiệm.

Tóm lại: Sau khi khi đối chiếu với các điều kiện nguyên mẫu và khả năng đáp ứng của hệ thống thiết bị thí nghiệm, tỷ lệ mô hình lựa chọn để nghiên cứu $\lambda_L = \lambda_h = 15$ bảo đảm tính khả thi và mức độ chính xác của kết quả thí nghiệm.

2.5. Ứng dụng phương pháp phân tích thứ nguyên thiết lập các phương trình tổng quát (lý thuyết PI-BUCKINGHAM)

Luận án sử dụng lý thuyết PI-BUCKINGHAM (Định lý PI) 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 . Đây chính là cơ sở cho việc thiết kế các chuỗi thí nghiệm phục vụ cho việc phân tích kết quả, dẫn tới các công thức thực nghiệm và bán thực nghiệm về K_t (dạng tổng quát) của công trình để rỗng phức hợp nghiên cứu trong luận án.

Theo cách tiếp cận của nghiên cứu và cũng không mất đi tính khoa học ở đây bài toán phân tích thứ nguyên về sóng truyền qua đê rỗng có cọc trong trường hợp tổng

quát được phân tách thành hai trường hợp: Sóng truyền qua thân đê ngầm rỗng không cọc và sóng truyền qua hệ cọc bên trên đỉnh đê ngầm rỗng.

2.5.1. Sóng truyền qua thân đê ngầm rỗng không cọc

Tham khảo nghiên cứu tổng quan về K_t của công trình ĐGS trong chức năng bảo vệ bờ biển (xem Chương 1), ta có thể nhận dạng các tham số chi phối độc lập có liên quan đến quá trình truyền sóng qua thân đê ngầm rỗng không cọc bao gồm 2 nhóm tham số cơ bản sau:

1- Các tham số thủy động lực:

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

+/ Độ sâu nước trước thân đê ngầm rỗng không cọc: D (với D = $h_c + R_c$, với h_c là chiều cao thân đê ngầm rỗng không cọc).

2- Các đặc trưng hình học mặt cắt ngang thân đê ngầm rỗng và bãi đê:

+/ Bề rộng đỉnh đê: B

+/ Độ ngập nước của đỉnh đê: R_c

+/ Độ dốc mái đê: tanα

+/ Độ rỗng bề mặt mái đê: n^{md} (%)

+/ Độ dốc bãi biển: i%

Theo lý thuyết PI-BUCKINGHAM thì độ dốc mái đê phía biển tanα thuộc dạng thứ nguyên phụ (không có đơn vị), do vậy sẽ không tham gia trực tiếp vào quá trình phân tích thứ nguyên (tức là sẽ được bổ sung vào sau nếu cần thiết). Ngoài ra, trong trường hợp bài toán nghiên cứu thì tanα và độ rỗng bề mặt n^{mđ} là các tham số được giữ cố định theo điều kiện cấu tạo của thân đê rỗng, do vậy các tham số này không được xem là các biến chi phối độc lập trong phân tích thứ nguyên (ảnh hưởng của chúng được xem là ẩn). Độ sâu nước D và độ dốc bãi trước i được phản ánh một cách gián tiếp trong chiều cao sóng tới trước đê (các nghiên cứu trước cũng chỉ ra rằng K_t không có sự phụ thuộc rõ ràng vào D và i – xem Chương 1) do vậy các

tham số này cũng không được xem là các biến chi phối độc lập ở đây. Như vậy, các tham số chi phối cơ bản đến quá trình truyền sóng qua thân đê ngầm không cọc chỉ bao gồm 05 tham số độc lập đó là: Chiều cao sóng tới trước đê $H_{m0,i}$; Chiều cao sóng truyền sau đê $H_{m0,i}$; Bề rộng đỉnh đê B; Độ ngập nước của đỉnh đê R_c; Chiều dài sóng L. Tổng số biến độc lập xem xét là 05, với k = 5.

Phiếm hàm miêu tả truyền sóng của thân đê ngầm rỗng không cọc có dạng là:

$$H_{m0,t} = f(H_{m0,i}, B, R_c, L) \text{ hoặc } f(H_{m0,i}, H_{m0,t}, B, R_c, L) = 0$$
(2-1)

Phương trình tổng quát xác định một đại lượng phi thứ nguyên (hàm Π) như sau:

$$\Pi = H_{m0,i}^{x_1} \cdot H_{m0,t}^{x_2} \cdot B^{x_3} \cdot R_c^{x_4} \cdot L^{x_5}$$
(2-2)

với Π là một đại lượng phi thứ nguyên, x₁, x₂, x₃, x₄, x₅ là các số mũ tương ứng với các biến độc lập được xem xét.

Để xác định số thứ nguyên cơ bản (r) và xây dựng hệ phương trình số mũ hàm Π , ma trận thứ nguyên cơ bản được xây dựng và thể hiện ở Bảng 2-9.

Bảng 2-9. Xây dựng ma trận thứ nguyên cơ bản (thân đê ngầm rỗng không cọc).

TT	H _{m0,i}	H _{m0,t}	В	R _c	L
[L]	1	1	1	1	1
[T]	0	0	0	0	0
[M]	0	0	0	0	0

Từ Bảng 2.9 chúng ta có thể thấy rằng chỉ tồn tại 01 thứ nguyên cơ bản (chiều dài [L]), tức là r = 1. Như vậy theo lý thuyết PI-PUCKINGHAM sẽ tồn tại 04 (k – r = 4) đại lượng phi thứ nguyên độc lập Π_1 , Π_2 , Π_3 , Π_4 .

Phiếm hàm Π tổng quát trong trường hợp này có dạng như sau:

$$f(\Pi_1, \Pi_2, \Pi_3, \Pi_4) = 0 \tag{2-3}$$

Cũng từ Bảng 2.9 chúng ta có 01 (r = 1) phương trình xác định các số mũ x có dạng như sau đây:

$$x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_5 = 0 \tag{2-4}$$

Đây là bài toán nhiều nghiệm, với 01 phương trình để giải chúng ta cần chọn trước 04 (k – r = 4) giá trị số mũ *x* để xác định số mũ còn lại cho mỗi một hàm Π.

Nguyên tắc cơ bản của việc lựa chọn các số mũ x là sao để các biến độc lập cần được xuất hiện ít nhất một lần trong số các đại lượng Π. Ngoài ra, tham số phụ thuộc (được xác định từ các tham số còn lại, ở đây là chiều cao sóng truyền sau đê $H_{m0,t}$) chỉ xuất hiện một lần duy nhất ở một hàm Π. Số mũ x_i tương ứng với một biến được lựa chọn xuất hiện nào đó thường được gán giá trị $x_i = 1$, nếu không xuất hiện thì $x_i = 0$. Các đại lượng Π độc lập được hình thành sau khi lựa chọn phối hợp giữa các biến có thể được bổ sung thêm với các đại lượng thứ nguyên phụ và xắp xếp lại nếu cần thiết để mang một ý nghĩa vật lý nhất định. Các đại lượng Π do vậy cần thiết được đặt tên theo ý nghĩa vật lý của chúng. Sau đây chúng ta sẽ áp dụng các nguyên tắc này để lựa chọn sự phối hợp giữa các biến độc lập (thông qua các giá trị số mũ x) để hình thành nên các đại lượng Π trong trường hợp xem xét.

+/ Π_1 : Trước tiên phải kể đến tham số phụ thuộc $H_{m0,t}$, như vậy chọn $x_2 = 1$, $x_3 = x_4 = x_5 = 0$, từ PT.(2-4) $\rightarrow x_1 = -1$. Từ PT.(2-2), Π_1 được xác định:

$$\Pi_{1} = H_{m0,i}^{-1} \cdot H_{m0,t}^{1} \cdot B^{0} \cdot R_{c}^{0} \cdot L^{0} = \frac{H_{m0,t}}{H_{m0,i}} = K_{t}^{0}$$
(2-5)

Đại lượng phi thứ nguyên Π_1 chính là hệ số truyền sóng của thân đê ngầm rỗng không cọc - xem PT.(1-1).

+/ Π_2 : Xem xét ảnh hưởng của độ ngập nước phía trên đỉnh đê R_c. Ở đây tạm thời chưa xét ảnh hưởng của B và L, do vậy chọn x₄ = 1, x₃ = x₅ = 0, do H_{m0,t} là tham số phụ thuộc chỉ xuất hiện một lần (trong Π_1), do đó x₂ = 0 từ nay về sau. Từ PT.(2-4) chúng ta suy ra x₁ = -1 và phương trình xác định Π_2 là:

$$\Pi_2 = H_{m0,i}^{-1} \cdot H_{m0,t}^0 \cdot B^0 \cdot R_c^1 \cdot L^0 = \frac{R_c}{H_{m0,i}}$$
(2-6)

 Π_2 được gọi là độ ngập tương đối của đỉnh đê ngầm rỗng không cọc.

+/ Π_3 : Xem xét ảnh hưởng của bề rộng đỉnh đê B. Tương tự chúng ta chọn $x_3 = 1$, $x_2 = 0$, $x_4 = x_5 = 0$. Từ PT.(2-4) suy ra $x_1 = -1$ và phương trình xác định đại lượng thứ nguyên Π_3 như sau đây:

$$\Pi_3 = H_{m0,i}^{-1} \cdot H_{m0,t}^0 \cdot B^1 \cdot R_c^0 \cdot L^0 = \frac{B}{H_{m0,i}}$$
(2-7)

 Π_3 được gọi là bề rộng tương đối của đỉnh đê ngầm rỗng không cọc.

+/ Π_4 : Cuối cùng là xem xét ảnh hưởng của chiều dài sóng L. Chọn x₅ = 1, x₂ = 0, x₃ = x₄ = 0, từ PT.(2-4) suy ra x₁ = -1 và phương trình xác định Π_4 như sau:

$$\Pi_4 = H_{m0,i}^{-1} \cdot H_{m0,t}^0 \cdot B^0 \cdot R_c^0 \cdot L^1 = \frac{L}{H_{m0,i}}$$
(2-8)

Tuy nhiên, để mang ý nghĩa vật lý thông dụng hơn thì Π_4 ở PT. (2-8a) có thể được biến đổi thành dạng như sau:

$$\Pi_4 = \mathbf{s}_{\mathrm{m}} = \frac{\mathrm{H}_{\mathrm{m0,i}}}{\mathrm{L}} \tag{2-9}$$

Như vậy, Π_4 cũng là tham số độ dốc sóng tại vị trí công trình s_m.

Cuối cùng, thay thế các đại lượng phi thứ nguyên $\Pi_1 \rightarrow \Pi_4$ đã xác định vào PT.(2-3) và biến đổi thành hàm tổng quát của hệ số truyền sóng qua thân đê ngầm rỗng không cọc, ta có:

$$K_{t}^{0} = f_{1} \left(\frac{R_{c}}{H_{m0,i}}, \frac{B}{H_{m0,i}}, \frac{H_{m0,i}}{L_{m}} \right)$$
(2-10)

2.5.2. Truyền sóng qua hệ cọc

Từ nghiên cứu tổng quan về tiêu hao năng lượng sóng qua hệ cọc (Chương 1), các tham số chi phối độc lập có liên quan tới quá trình truyền sóng qua hệ cọc cũng có thể được chia thành 2 nhóm cơ bản sau đây:

1- Các tham số thủy động lực:

+ Tham số sóng tại vị trí công trình: chiều cao sóng H_{m0}; chiều dài sóng L.

+/ Độ sâu ngập nước của hệ cọc h (vì hệ cọc được đặt trên đỉnh đê nên độ sâu ngập nước của hệ cọc h cũng chính là độ sâu ngập nước của đỉnh đê ngầm rỗng R_c).

2- Các tham số đặc trưng hình học và kết cấu cọc:

- Tham số chi phối chính:

+/ Chiều rộng của hệ cọc theo phương truyền sóng: X_b

+/ Đường kính cọc: Φ (chỉ giới hạn ở dạng cọc tiết diện tròn)

+/ Mật độ bố trí cọc S (cọc/m²) hay các khoảng cách giữa các cọc trong 1 hàng theo phương vuông góc với phương dòng chảy (l_i) và khoảng cách giữa các hàng cọc (b_i) theo phương dòng chảy. Trong trường hợp công trình đê rỗng phức hợp của nghiên cứu thì đường kính cọc Φ và mật độ bố trí cọc S là các tham số được giữ cố định theo điều kiện cấu tạo, do vậy các tham số này không được xem là các biến chi phối độc lập trong phân tích thứ nguyên (ảnh hưởng của chúng là ẩn được xem xét một các gián tiếp).

Như vậy, các tham số chi phối cơ bản độc lập cho bài toán truyền sóng qua hệ cọc ở đây chỉ bao gồm 05 tham số: Chiều cao sóng tới $H_{m0,i}$; Chiều cao sóng truyền sau hệ cọc $H_{m0,i}$; Độ sâu ngập nước của hệ cọc h (hay R_c); Chiều dài sóng L; Chiều rộng của hệ cọc X_b . Tổng số biến độc lập xem xét là 05, với k = 5.

Phiếm hàm miêu tả truyền sóng qua hệ cọc có dạng:

 $H_{m0,t} = f(H_{m0,i}, R_c, L, X_b) \text{ hoặc } f(H_{m0,i}, H_{m0,t}, R_c, L, X_b) = 0$ (2-11)

Phương trình tổng quát xác định một đại lượng phi thứ nguyên (hàm Π) như sau đây:

$$\Pi = H_{m0,i}^{y_1} \cdot H_{m0,t}^{y_2} \cdot R_c^{y_3} \cdot L^{y_4} \cdot X_b^{y_5}$$
(2-12)

TT	$H_{m0,i}$	H _{m0,t}	R _c	L _m	X_b
[L]	1	1	1	1	1
[T]	0	0	0	0	0
[M]	0	0	0	0	0

Bảng 2-10. Xây dựng ma trận thứ nguyên cơ bản (hệ cọc).

Từ Bảng 2-10 có thể thấy rằng số thứ nguyên cơ bản có liên quan ở đây r = 1. Như vậy, số các đại lượng phi thứ nguyên độc lập Π sẽ là (k - r) = 5 - 1 = 4.

Phiếm hàm Π tổng quát có dạng như sau:

$$f(\Pi_1, \Pi_2, \Pi_3, \Pi_4) = 0 \tag{2-13}$$

Từ Bảng 2.10 chúng ta có 01 (r = 1) phương trình xác định các số mũ y như sau (hệ không xác định, nhiều nghiệm):

$$y_1 + y_2 + y_3 + y_4 + y_5 = 0 \tag{2-14}$$

Với cách làm tương tự như trên, chúng ta phải chọn 04 giá trị số mũ và giải xác định số mũ y còn lại cho mỗi đại lượng phi thứ nguyên Π như sau:

+/ Π_1 : Hệ số truyền sóng hay tiêu hao năng lượng sóng tương đối qua hệ cọc. Chọn y₂ = 1, y₃ = y₄ = y₅ = 0, từ PT.(2-14) suy ra y₁ = -1, Π_1 được xác định từ PT. (2-12) như sau:

$$\Pi_{1} = H_{m0,i}^{-1} \cdot H_{m0,t}^{1} \cdot R_{c}^{0} \cdot L^{0} \cdot X_{b}^{0} = \frac{H_{m0,t}}{H_{m0,i}} = K_{t}^{p}$$
(2-15)

với K^p_t là hệ số truyền sóng qua hệ cọc.

Nếu chúng ta xem xét truyền sóng qua hệ cọc dưới góc độ hệ số tiêu hao năng lượng sóng D_{pr} (so sánh tương đối với năng lượng của sóng tới - xem mục 3.3 trong Chương 3) thì Π_1 trong PT.(2-15) có thể viết lại thành dạng như sau:

$$\Pi_1 = \frac{H_{m0,t}^2}{H_{m0,i}^2} = D_{pr}$$
(2-16)

+/ Π_2 : Xét tới ảnh hưởng của chiều sâu ngập nước của hệ cọc R_c. Một cách tương tự ta chọn y₃ = 1, y₂ = 0 (do H_{m0,t} đã xuất hiện ở Π_1), y₄ = y₅ = 0. Từ PT.(2-14) suy ra y₁ = -1, Π_2 được xác định từ PT. (2-12) như sau:

$$\Pi_2 = H_{m0,i}^{-1} \cdot H_{m0,t}^0 \cdot R_c^1 \cdot L^0 \cdot X_b^0 = \frac{R_c}{H_{m0,i}}$$
(2-17)

 Π_2 được gọi là chiều sâu ngập nước tương đối của hệ cọc.

+/ Π_3 : Xem xét ảnh hưởng của bề rộng hệ cọc theo phương truyền sóng X_b. Chọn y₅ = 1, y₂ = 0, y₁ = y₅ = 0. Suy ra y₄ = -1 từ PT.(2-14) và phương trình xác đinh Π_3 như sau:

$$\Pi_{3} = H_{m0,i}^{0} \cdot H_{m0,t}^{0} \cdot R_{c}^{0} \cdot L^{-1} \cdot X_{b}^{1} = \frac{X_{b}}{L}$$
(2-18)

Ta có đại lượng phi thứ nguyên Π_3 là bề rộng tương đối của hệ cọc theo phương truyền sóng.

+/ Π_4 : Cuối cùng là xem xét ảnh hưởng của chiều dài sóng L. Chọn y₄ = 1, y₂ = 0, y₃ = y₅ = 0, từ PT.(2-14) suy ra y₁ = -1. Tương tự như trên chúng ta có Π_4 chính là tham số độ dốc sóng tại vị trí công trình.

$$\Pi_4 = s_m = \frac{H_{m0,i}}{L}$$
(2-19)

Cuối cùng, thay thế các đại lượng phi thứ nguyên $\Pi_1 \rightarrow \Pi_4$ đã xác định vào PT.(2-13) chúng ta có dạng hàm tổng quát miêu tả sự tiêu hao năng lượng sóng qua hệ cọc như sau:

$$D_{\rm pr} = f_2 \left(\frac{R_{\rm c}}{H_{\rm m0,i}}, \frac{X_{\rm b}}{L}, \frac{H_{\rm m0,i}}{L} \right)$$
(2-20)

Lưu ý: Bản thân phép phân tích thứ nguyên không cho biết bản chất bên trong của quá trình vật lý xem xét, cũng như không chỉ ra mối liên hệ giữa các đại lượng phi thứ nguyên hay đại lượng nào là quan trọng hơn các đại lượng còn lại. Do vậy sau này trong quá trình thí nghiệm và phân tích kết quả, một đại lượng phi thứ nguyên có thể bị loại bỏ nếu được phát hiện là đóng vai trò không quan trọng đối với kết quả cuối cùng của bài toán xem xét.

Tóm lại: Các biểu thức PT.(2-10) và PT.(2-20) chính là các phương trình thể hiện giữa các tham số chi phối đến quá trình truyền sóng qua công trình đê rỗng phức hợp nghiên cứu trong luận án. Các biểu thức này sẽ được cụ thể hóa ở Mục 3-2 và Mục 3-4 trong Chương 3 dựa trên kết quả của các thí nghiệm MHVL.

2.6. Thiết kế mô hình và bố trí thí nghiệm

2.6.1. Thiết bị thí nghiệm và các tham số đo đạc

Luận án sử dụng máng sóng HR Wallingford (Anh) tại Phòng Thí Nghiệm Thủy Động Lực Sông Biển thuộc sở hữu của Cơ sở đào tạo Viện KHTL Miền Nam, địa chỉ phòng thí nghiệm là "CƠ SỞ THÍ NGHIỆM TỔNG HỢP BÌNH DƯƠNG", Ấp Hòa Lân, Phường Thuận Giao, Thị xã Thuận An, tỉnh Bình Dương. Máng sóng có kích thước cơ sở dài 40m, cao 1,5m và rộng 1,2m. Máy tạo sóng kiểu Piston hoạt động bằng truyền động điện-thủy lực, hệ thống hấp thụ sóng phản xạ chủ động ARC (Active Reflection Compensation) cho phép tạo sóng với độ chính xác cao. Máy tạo sóng có thể tạo sóng đều hoặc sóng ngẫu nhiên có chiều cao tối đa 0,30m và chu kỳ dài nhất 3,0s với các phổ tần chuẩn như JONSWAP (Joint North Sea Project), Peirson - Moskowitz,... Đầu đo sóng dài 1,20m bằng thép không gỉ, độ chính xác $\pm 1\%$, đường tín hiệu từ đầu đo sóng được kết nối với các cổng vào của máy tính cài đặt các phần mểm chuyên dụng có bản quyền của nhà sản xuất thuộc sở hữu của Cơ sở đào tạo Viện KHTL Miền Nam (xem Hình 2-9).

Các tham số đo đạc chủ yếu trong thí nghiệm là các đặc trưng sóng phổ (chiều cao, chu kỳ) trước và sau đê tương ứng với các độ sâu ngập nước của đỉnh đê.





2.6.2. Mô hình bãi biển

Luận án lựa chọn địa hình bãi biển khu vực huyện Trần Văn Thời và U Minh (tỉnh Cà Mau), nơi bãi biển có biến đổi mạnh về mặt hình thái và RNM làm biên địa hình thí nghiệm MHVL (sử dụng tài liệu khảo sát địa hình 3 đợt liên tục là tháng 11/2016, tháng 4/2017 và tháng 11/2017 của Đề tài ĐTĐL.CN-09/17 [24]). Lý do lựa chọn bởi vì bãi biển tại khu vực này phản ảnh đầy đủ các đặc trưng của dạng bãi biển bùn RNM tại VNC đang bị xói lở nghiêm trọng [7] [32]. Ngoài ra, kết quả nghiên cứu luận án ứng dụng để thiết kế cho công trình thử nghiệm của ĐTĐL.CN-09/17, dự kiến xây dựng tại khu vực cửa công Kênh Mới, xã Khánh Hải, huyện Trần Văn Thời, tỉnh Cà Mau.

Để bảo đảm phản ánh đúng đặc trưng sóng truyền trên bãi biển bùn RNM tại VNC, chiều dài bãi biển mô phỏng trên MHVL là 34m, với $\lambda_L = 15$ tương đương 510m ngoài thực tế (nguyên hình). Trong đó, đoạn thuộc vùng có chiều sâu khởi tạo là 2m, đoạn chuyển tiếp từ vùng có chiều sâu khởi tạo và vùng bãi nước nông dài 10m (i = 1/25), đoạn bãi nước nông trước trước và sau công trình đê giảm sóng dài 20m (i = 1/500), đoạn hấp thụ sóng phản xạ sau công trình > 2m (xem Hình 2-13).

2.6.3. Mô hình công trình thí nghiệm

Công trình đê rỗng phức hợp trong nguyên hình có cấu tạo hình học gồm phần thân đê ngầm rỗng và hệ cọc lắp ghép bên trên đỉnh đê (xem Hình 2-10).



Hình 2-10. Minh họa công trình để rỗng phức hợp trong nguyên hình (trường hợp bề rộng đỉnh để B = 2,28m ~ $n_c = 3$ hàng cọc).

Nghiên cứu với 4 kích thước bề rộng đỉnh đê B = 1,68m, 2,28m, 2,88m, 3,48m (kích thước theo điều kiện cấu tạo đảm bảo bố trí và lắp ghép hệ cọc). Hệ cọc bên trên đỉnh đê theo phương truyền sóng bố trí dạng hình hoa mai, tương ứng với 4 kích thước bề rộng đỉnh đê (B) là 4 trường hợp hệ cọc, n_c = 2, 3, 4, 5 hàng cọc (qui luật khoảng cách giữa các cọc trong một hàng bằng khoảng các hàng cọc và bằng đường kính cọc trụ tròn là 30cm). Không xem xét trường hợp cao trình đỉnh đê

ngầm rỗng nhô cao hơn mực nước tính toán và cao trình đỉnh hệ cọc thấp hơn mực nước tính toán ($R_c \ge 0$). Như vậy, trên cơ sở đặc điểm hình học của công trình đê rỗng phức hợp trong nguyên hình và tỷ lệ mô hình lựa chọn $\lambda_L = \lambda_h = 15$, ta có các đặc trưng hình học của công trình trong mô hình được thiết kế như sau:

1- Phần thân đê ngầm rộng không cọc có tiết diện ngang hình thang cân, hệ số mái đê m = 1, chiều cao thân đê h_c = 0,2m, bề rộng đỉnh đê là B = 0,112m, 0,152m, 0,192m và 0,232m, diện tích lỗ rỗng trên mái đê để giảm thiểu ảnh hưởng của sóng phản xạ do thân đê đến kết quả thí nghiệm bằng 14% diện tích mái đê, vị trí công trình được xây dựng trên bãi biển có độ dốc tiêu biểu i = 1/500. Phần hệ cọc bên trên có kích thước đường kính cọc \emptyset = 0,02m, tương ứng với 4 bề rộng đỉnh đê ngầm B là n_c = 2, 3, 4, 5 hàng cọc (xem Hình 2-11, Hình 2-12 và Hình 2-13).

2- Độ sâu ngập nước của đỉnh đê ngầm rỗng không cọc R_c biến đổi tương ứng với sự thay đổi của mực nước trong máng sóng là $R_c = 0m$, 0,05m 0,10m, 0,15m (xem Hình 2-13).

3- Để giảm thiếu ảnh hưởng của lực nhớt trong mô hình tỷ lệ nhỏ, thân đê ngầm rỗng không cọc và hệ cọc trong mô hình được thiết kế nhẵn bằng 2 loại vật liệu, tấm hợp kim nhôm nhựa (*Aluminium composite panel*) cho phần thân đê ngầm rỗng không cọc và vật liệu gỗ nhẵn cho phần hệ cọc trụ tròn bên trên đỉnh đê. Chiều cao sóng được thiết kế tối thiểu 0,07m để có thể tạo ra số Reynolds đủ lớn (Re \geq 3.10⁴) nhằm hạn chế ảnh hưởng của lực nhớt trong tất cả các thí nghiệm.



a) Trường hợp B = 0,112m; $n_c = 0$.

b) Trường hợp $B = 0,152m; n_c = 0.$



c) Trường hợp B = 0,192m; $n_c = 0$.

d) Trường hợp B = 0,232m; $n_c = 0$.





a) Trường hợp B = 0,112m; $n_c = 2$.





b) Truòng hợp $B = 0,152m; n_c = 3.$



d) Trường hợp B = 0,232m; $n_c = 5$.

Hình 2-12. Mặt cắt ngang công trình đê rỗng phức hợp trong mô hình.

Theo khuyến cáo của nhà sản xuất máng sóng HR Wallingford (Anh), để hạn chế các hiệu ứng gây nhiễu có thể ảnh hưởng đến kết quả của các đầu đo sóng phía trước và phía sau đê, mực nước thí nghiệm trong máng sóng bảo đảm $D \ge 0,05m$. Chiều cao thân đê ngầm rỗng không cọc trong mô hình được thiết kế với $h_c = 0,20m$ cho tất cả các kịch bản thí nghiệm là hợp lý, không cần theo tỷ lệ mô hình vì K_t phụ thuộc chính vào tham số độ ngập đỉnh đê R_c (xem Chương 1).

2.6.4. Các yếu tố thủy động lực trong mô hình

Căn cứ số liệu đo đạc thủy-hải văn (xem Bảng 2-4, Bảng 2-5 và Bảng 2-6) kết hợp với kết quả mô phỏng thủy động lực bằng mô hình số với công cụ hỗ trợ tính toán là bộ phần mềm mã nguồn mở với mô hình thủy lực TELEMAC 2D kết hợp với mô hình sóng TOMAWAC của đề tài ĐTĐL.CN-09/17 [24], chế độ thủy-hải văn tại VNC có các đặc trưng chính như sau:

1- Sóng xa bờ: Chiếu cao sóng (H_s) phân bố theo các mức chính là H_s \leq 0,5m (\approx 50%); 0,5m < H_s \leq 2,0m (\approx 49,5%); H_s > 2,0m (\approx 0,5%). Chu kỳ T_p = 2 - 4s (\approx 80%). Hướng chính Tây, Tây Tây Nam, Tây Nam (\approx 80%).

2- Sóng gần bờ: Chiều cao sóng (H_s) phân bố theo các mức chính là H_s \leq 0,5m (\approx 70%); 0,5m < H_s \leq 2,0m (\approx 30%); H_s > 2,0m (\approx 0%). Chu kỳ T_p = 2 - 5s (\approx 93%). Hướng chính Tây, Tây Tây Nam, Tây Nam (\approx 90%).

3- Mực nước: VNC có chế độ triều hỗn hợp (bán nhật và toàn nhật), triều toàn nhật chiếm ưu thế. Biên độ triều dao động khá nhỏ, khoảng $(1,1 \pm 0,1)$ m.

Luận án lựa chọn thông số sóng và mực nước làm điều kiện biên trong nguyên hình để thiết kế cho mô hình là: $H_s = 1,00 - 2,50m$, $T_p < 8,0s$, độ sâu ngập nước của đỉnh đê ngầm rỗng $R_c = 0 - 2,25m$ (độ ngập sâu tối đa được xác định < 1 lần chiều cao sóng H_s). Thông số thủy - hải văn dự kiến sử dụng làm điều kiện biên thủy lực trong thí nghiệm đảm bảo phản ánh đúng đặc trưng sóng và biến đổi mực nước của VNC, các yếu tố thủy động lực trong mô hình cũng hoàn toàn phù hợp khi so sánh với các nghiên cứu trước như của Lê Thanh Chương và nnk (2018) [5], Lê Thanh Chương và Trần Bá Hoằng (2017) [6], AFD và Viện KHTLMN, (2016- 2018) [7], Nguyễn Hữu Nhân và nnk (2014) [18], Thiều Quang Tuấn và nnk (2018) [32].

Điều kiện t	hủy lực ngu	yên hình	Điều kiện t	Ghi chú		
(gia	á trị dự kiến))	=	$=\lambda_h = 15)$		
$H_{m0,i}(m)$	$T_{m-1,0}(s)$	$R_{c}(m)$	$H_{m0,i}(m)$	$T_{m-1,0}(s)$	$R_{c}(m)$	
1,05	4,38		0,07	1,13		- Tỷ lệ mô
1,05	5,19		0,07	1,34		hình $\lambda_L = 15$.
1,50	5,23		0,10	1,35		- Tiêu chuẩn
1,50	6,20	0;	0,10	1,60	0;	Froude.
1,80	5,73	0,75;	0,12	1,48	0,05;	- 10 kịch bản
1,80	6,78	1,50;	0,12	1,75	0,10;	sóng thí
2,10	6,20	2,25;	0,14	1,60	0,15;	ngniệm.
2,10	7,32		0,14	1,89		- 4 dọ ngạp đỉnh đê R
2,40	6,62		0,16	1,71		
2,40	7,86		0,16	2,03		

Bảng 2-11. Các yếu tố thủy động lực nghiên cứu trong nguyên hình và mô hình.

Ghi chú: Thực tế đặc trưng sóng nước sâu tại VNC chỉ dao động trong khoảng $H_s = 1,0 - 1,75m$, $T_p = 2 - 6s$. Trong nghiên cứu của luận án, chuỗi số liệu thí nghiệm MHVL đã xem xét đầy đủ các đặc trưng riêng này, đồng thời mở rộng thêm biên độ với $H_s < 2,50m$, $T_p < 8,0s$ nhằm khái quát hóa đầy đủ được mức độ ảnh hưởng của các tham số chi phối cơ bản đến quá trình truyền sóng, làm tăng thêm độ tin cậy của các công thức thực nghiệm và bán thực nghiệm của nghiên cứu.

Đối với ĐGS ngầm, để có thể giảm sóng hiệu quả thì cao trình đỉnh đê cần được thiết kế nằm xung quanh cao trình mực nước tính toán, với độ ngập sâu tối đa < 1 lần chiều cao sóng (tức là $0 \le R_c < H_s = 2,5m$), hiệu quả giảm sóng tốt nhất khi $R_c = 0$. Thực tế VNC có biên độ triều khá nhỏ (< 1,20m), do đó cao trình đỉnh đê ngầm rỗng không cọc nếu được chọn ở cao trình mực nước trung bình (theo tần suất thiết kế) sẽ bảo đảm yêu cầu kỹ thuật và hiệu quả về kinh tế (\approx độ ngập đỉnh đê ngầm $R_c = 0$). Đây là cơ sở khoa học để khẳng định thêm sự hợp lý của giải pháp công trình đê rỗng phức hợp áp dụng cho VNC, bởi vì khi đó chiều cao thân đê ngầm rỗng không cần phải cao vẫn phát huy tối đa được hiệu quả giảm sóng.

2.6.5. Sơ đồ thí nghiệm MHVL

Để quan sát và đo đạc các thông số sóng thí nghiệm trên MHVL máng sóng thủy lực, sử dụng 06 đầu đo sóng bố trí dọc theo tim máng sóng, trong đó 5 đầu đo phía trước công trình (WG1, WG2, WG3, WG4, WG5) và 1 đầu đo phía sau công trình (WG6). Nhóm đầu đo (WG1, WG2, WG3, WG4) sử dụng để kiểm định thông số sóng thí nghiệm và phân tách sóng phản xạ. Đầu đo WG5 đặt trước công trình để ghi nhận kết quả đặc trưng sóng tới. Đầu đo WG6 đặt phía sau công trình (đối xứng với WG5) để ghi nhận kết quả đặc trưng sóng trưng sóng truyền qua công trình.

Vị trí đặt đầu đo WG5 rất quan trọng, thường đặt cách công trình < 1 lần chiều dài sóng (<1 x L_p), là vị trí mà chiều cao sóng bắt đầu thay đổi do sự tồn tại của công trình, đầu đo WG6 thường được bố trí đối xứng với WG5 để đánh giá hiệu quả giảm sóng của công trình. Ngoài ra, với khoảng cách bố trí đầu đo WG5 này còn để hạn chế tối đa ảnh hưởng của sóng phản xạ do công trình đến kết quả thí nghiệm (xem Hình 2-13).



a. Trường hợp công trình là thân đê ngầm rỗng không cọc.



b. Trường hợp công trình đê rỗng phức hợp

Hình 2-13. Sơ đồ thí nghiệm MHVL (máng sóng HR Wallingford – Anh).

2.6.6. Kiểm tra kỹ thuật

Hiệu chỉnh và kiểm định các đầu đo sóng bảo đảm đúng chuẩn sai số cho phép theo các bước như sau: (1) xem điện áp đầu ra \rightarrow tăng hoặc giảm mực nước (tăng hoặc giảm mức cơ học của giá đỡ đầu đo) 1 khoảng chính xác, quan sát thay đổi đầu ra \rightarrow điều chỉnh chiết áp khuyếch đại nếu cần. Lặp lại các bước từ (1) \rightarrow cho đến khi quan sát được độ nhạy mong muốn. Qui trình thực hiện lần lượt từ đầu đo WG1 \rightarrow WG6 (xem Phụ lục 5).

2.7. Chương trình thí nghiệm MHVL

2.7.1. Chương trình thí nghiệm tổng quát

Căn cứ điều các yếu tố thủy động lực trong nguyên hình và mô hình, cấu tạo hình học của công trình đê rỗng phức hợp trong nguyên hình và mô hình, năng lực của thiết bị máng sóng thí nghiệm. Chương trình thí nghiệm tổng quát cần phải thực hiện với các kịch bản như sau: (i) Hiện trạng không có công trình; (ii) Thân đê ngầm rỗng không cọc; (iii) Công trình đê rỗng phức hợp (xem Bảng 2-12).

Thông số sóng thí nghiệm	Bề rộng đỉnh	Số hàng	Độ ngập R_c
(giá trị dự kiến)	đê B (m)	cộc n _c	(m)
H07T113 ($H_{m0} = 0,07m; T_{m-1,0} = 1,13s$)			
H07T134 ($H_{m0} = 0,07m; T_{m-1,0} = 1,34s$)			
H10T135 ($H_{m0} = 0,10m; T_{m-1,0} = 1,35s$)			
H10T160 ($H_{m0} = 0,10m; T_{m-1,0} = 1,60s$)	B = 0,112	$n_c = 0; 2$	0,00
H12T148 ($H_{m0} = 0,12m; T_{m-1,0} = 1,48s$)	B = 0,152	$n_c = 0; 3$	0,05
H12T175 ($H_{m0} = 0,12m; T_{m-1,0} = 1,75s$)	B = 0,192	$n_c = 0; 4$	0,10
H14T160 ($H_{m0} = 0,14m; T_{m-1,0} = 1,60s$)	B = 0,232	$n_c = 0; 5$	0,15
H14T189 ($H_{m0} = 0,14m; T_{m-1,0} = 1,89s$)			
H16T171 ($H_{m0} = 0,16m; T_{m-1,0} = 1,71s$)			
H16T203 ($H_{m0} = 0,16m; T_{m-1,0} = 2,03s$)			

Bảng 2-12. Xây dựng chương trình thí nghiệm tổng quát.

Ghi chú: H_{m0} là chiều cao sóng và T_p là chu kỳ sóng thí nghiệm; B là bề rộng đỉnh đê ngầm rỗng không cọc, n_c là số hàng cọc bên trên đỉnh đê ngầm rỗng, R_c là độ sâu ngập ngập nước của đỉnh đê ngầm rỗng không cọc trong mô hình.

2.7.2. Thiết kế thí nghiệm

Để xây dựng được công thức bán thực nghiệm dạng tổng quát tính K_t của công trình đê rỗng phức hợp (xem Nội dung 2.7). Ma trận gồm 300 kịch bản thí nghiệm MHVL cần phải thực hiện (xem Bảng 2-13) như sau: (i) Hiện trạng không có công trình - 40 thí nghiệm; (ii) Thân đê ngầm rỗng không cọc - 100 thí nghiệm (xem Hình 2-13a); (iii) Công trình đê rỗng phức hợp - 160 thí nghiệm (xem Hình 2-13b).

1- Các thí nghiệm được tiến hành với sóng ngẫu nhiên phổ JONSWAP dạng chuẩn, bảo đảm phù hợp với đặc trưng sóng tại VNC và thiết bị thí nghiệm.

2- Thời gian thí nghiệm cho 1 kịch bản t = 500 x T_p + 300s = (865 \div 1.315)s, bảo đảm mỗi kịch bản thí nghiệm có > 500 con sóng để bảo đảm dải tần số cơ bản của phổ sóng yêu cầu được tạo ra một cách hoàn chỉnh.

3- Các đầu đo được hiệu chỉnh trước mỗi kịch bản thí nghiệm để đảm bảo độ chính xác cao nhất cho kết quả thí nghiệm.

Kịch bản	Hiện	-	Trường hợp thân đê ngầm rỗng không cọc							
thí nghiệm	trạng		và công trình đê rỗng phức hợp							ngập
	B = 0	B = (),112	B = 0	0,152	B = 0),192	B = 0),232	R _c
	$n_c = 0$	n _c =0	n _c =2	n _c =0	n _c =3	n _c =0	n _c =4	n _c =0	n _c =5	
H07T113	Х	Х	X	х	х	Х	x	Х	х	
H07T134	х	-	х	Х	х	-	х	-	х	
H10T135	х	х	х	Х	х	х	х	х	х	0,00
H10T160	х	-	х	х	х	-	х	-	х	0,05
H12T148	Х	х	X	х	х	х	x	х	X	0,10
H12T175	Х	-	X	X	X	-	X	-	X	0,15

Bảng 2-13. Tổng hợp các kịch bản thí nghiệm MHVL.

Kịch bản	Hiện	-	Trường hợp thân đê ngầm rỗng không cọc							
thí nghiệm	trạng		và công trình đê rỗng phức hợp							ngập
	$\mathbf{B}=0$	B = (B = 0,112 $B = 0,152$ $B = 0,192$ $B = 0,232$),232	R _c
	$n_c = 0$	n _c =0	n _c =2	n _c =0	n _c =3	n _c =0	n _c =4	n _c =0	n _c =5	
H14T160	Х	х	X	Х	x	х	x	х	X	
H14T189	Х	-	X	Х	x	-	x	-	X	
H16T171	Х	Х	X	х	х	х	х	х	х	
H16T203	Х	-	х	х	х	-	х	-	х	
Tổng số	40	20	40	40	40	20	40	20	40	300

2.7.3. Các tham số sóng đo đạc từ thí nghiệm

Tham số sóng đo đạc trực tiếp từ thí nghiệm bao gồm chiều cao sóng phổ H_{m0} , chu kỳ đặc trưng của sóng phổ T_p và T_{m0} (xem Hình 2-14) [25] [32]. Chiều cao sóng H_{m0} (chiều cao sóng mô men bậc 0) được xác định từ mô men bậc 0 của phổ mật độ năng lượng sóng như sau:

$$H_{m0} = 4,004\sqrt{m_0} = 4,004\sqrt{\int_{f_{min}}^{f_{max}} S_{(f)} df}$$
(2-21)

trong đó: $S_{(f)}$ là mật độ năng lượng phổ sóng tương ứng với tần số f, và m₀ là giá trị mô men bậc 0 của phổ sóng [32]. Hệ số truyền sóng được xác định là tỷ số của giá trị thực đo tại đầu đo phía trước WG5 là $H_{m0,t}$ và đầu đo phía sau WG6 là $H_{m0,i}$.

Chu kỳ T_p đựợc xác định tại ví trí tương ứng với đỉnh của phổ sóng. Tuy nhiên phổ sóng có xu thế bị biến dạng (duỗi ra về phạm vi dải tần số thấp) khi sóng vào khu vực bãi nông trước công trình. Để đánh giá ảnh hưởng này đến hệ số truyền sóng thường sử dụng chu kỳ phổ sóng đặc trưng, ký hiệu là $T_{m-1,0}$, được xác định:

$$T_{m-1,0} = \frac{m_{-1}}{m_0} = \frac{\left[\int_{f_{\min}}^{f_{\max}} f^{-1} S_{(f)} df\right]}{\left[\int_{f_{\min}}^{f_{\max}} S_{(f)} df\right]}$$
(2-22)

Chu kỳ phổ $T_{m-1,0}$ được xác định từ số liệu đo đạc phổ sóng trong thí nghiệm.



a) Kịch bản H07T113 - $(B = 0,112m; n_c \ b)$ Kịch bản H07T113 - $(B = 0,112m; n_c \ = 0; R_c = 0,05)$.

Hình 2-14. Phổ sóng thí nghiệm MHVL tại vị trí đầu đo WG1, WG5, WG6.

Sóng phản xạ C_r được tính toán phân tách từ kết quả đo đạc của 4 đầu đo (WG1, WG2, WG3, WG4) trong các thí nghiệm MHVL. Việc tính toán phân tách sóng phản xạ từ kết quả đo đạc của 04 đầu đo sóng (WG1 \rightarrow WG4) được thực hiện theo phương pháp của Zelt và Skjelbreia (1992) [77].

Tóm lại: Kết quả các tham số sóng đo đạc trực tiếp từ thí nghiệm MHVL sử dụng để nghiên cứu trong luận án này xem Phụ lục 6.

2.8. Cơ sở khoa học đánh giá chức năng giảm sóng cho công trình đê rỗng phức hợp

2.8.1. Phương trình năng lượng sóng

Năng lượng sóng cho một đơn vị bề rộng (y) bao gồm 2 thành phần là thế năng và động năng (xem Hình 2-15).



Hình 2-15. Năng lượng sóng cho 1 đơn vị bề rộng (y).

Thế năng hình thành do sự phân bố của dạng sóng so với mặt nằm ngang của mực nước tĩnh:

$$E_{\rm p} = \frac{\rho g H^2}{16} \tag{2-23}$$

Động năng sóng hình thành do dao động các hạt phần tử chất lỏng:

$$E_k = \frac{\rho g H^2}{16} \tag{2-24}$$

Tổng năng lượng sóng trên một đơn vị diện tích được xác định như sau:

$$E = E_p + E_k = \frac{\rho g H^2}{16} + \frac{\rho g H^2}{16} = \frac{\rho g H^2}{8}$$
(2-25)

Sóng biên độ nhỏ không truyền khối lượng, nhưng năng lượng vẫn lan truyền theo phương truyền sóng. Năng lượng lan truyền trung bình trong một đơn vị thời gian của chu kỳ sóng được gọi là dòng năng lượng (*energy flux*) có dạng là:

$$E_{ef} = \frac{\rho g H^2}{8} c_g = E c_g; \quad v \acute{o}i c_g = \frac{c}{2} \left(1 + \frac{2kh}{\sinh(2kh)} \right)$$
 (2-26)

2.8.2. Phương trình cân bằng năng lượng sóng

Xét một trạng thái biển dừng (cho một thời đoạn ngắn), khi đó chúng ta có thể sử dụng các đặc trưng năng lượng sóng trung bình được biểu diễn thông qua các tham số sóng đặc trưng cho trạng thái biển đó. Phương trình cân bằng năng lượng sóng trung bình (thời gian) viết cho một tia sóng truyền vào bờ lúc này có thể được viết thành dạng như sau:

$$\frac{\partial(E. c_g. \cos\phi)}{\partial x} = -\sum_{i=1}^{i=n} D_i$$
(2-27)

Xét trường hợp sóng truyền vuông góc với bờ ($\phi = 0^{\circ}$) thì PT.(2-27) có thể viết thành dạng như sau:

$$\frac{\partial(E.c_g)}{\partial x} = -\sum_{i=1}^{i=n} D_i$$
(2-28)
với E = $\frac{1}{8}\rho g H_s^2$ và $c_g = \frac{c}{2} \left(1 + \frac{2kh}{\sinh(2kh)}\right)$

trong đó: ϕ là góc truyền sóng (so với phương pháp tuyến của đường bờ x, x có chiều hướng ra phía biển); E là tổng năng lượng đơn vị của sóng (J/m²); c_g là vận tốc nhóm sóng (m/s); D_i là các thành phần năng lượng sóng bị tiêu tán do quá trình sóng vỡ, do ma sát đáy, do vật cản (W/m²); H_s là chiều cao sóng (m); c là vận tốc đỉnh sóng (m/s); k là hằng số sóng; h là độ sâu nước (m); ρ là khối lượng riêng của nước biển.

Tóm lại: Luận án sẽ áp dụng PT.(2-28) để thiết lập các phương trình cân bằng năng lượng của sóng ngẫu nhiên truyền vuông góc với bờ qua công trình (trường hợp thân đê ngầm rỗng không cọc và đê rỗng phức hợp). Trong đó, vế phải của PT.(2-28) là các thành năng lượng sóng bị tiêu hao do thân đê ngầm rỗng không cọc, ma sát đáy, sức cản của hệ cọc. Kết hợp đồng thời với bộ số liệu 300 kịch bản thí nghiệm truyền sóng khác nhau trên MHVL máng sóng thủy lực, thông qua các giả thiết khoa học và các bước biến đổi toán học trung gian, chúng ta sẽ xây dựng được công thức bán thực nghiệm tính toán xác định K_t cho dạng công trình đê rỗng phức hợp nghiên cứu trong luận án này (xem Chương 3).

2.9. Kết luận Chương 2

NCS đã phân tích đánh giá các điều kiện tự nhiên, diễn biến đường bờ biển và hệ sinh thái RNM, từ đó làm sáng tỏ được nét đặc thù của VNC là dạng bờ biển bùn RNM, tác nhân gây xói lở bờ biển là do yếu tố sóng biển vào MGTN gây ra. Đây chính là cơ sở khoa học góp phần minh chứng cho tính đúng đắn của việc nghiên cứu đề xuất giải pháp công trình đê rỗng phức hợp trong luận án này.

Kế thừa các kết quả nghiên cứu tổng quan ở Chương 1, NCS sử dụng lý thuyết PI-BUCKINGHAM (Định lý PI) phân tích thứ nguyên thiết lập được 2 phương trình tổng quát là PT.(2-10) và PT.(2-20) thể hiện quan hệ giữa các tham số chi phối cơ bản, được tổ hợp dưới dạng các đại lượng phi thứ nguyên miêu tả sự truyền sóng qua thân đê ngầm rỗng không cọc và hệ cọc bên trên. Đây chính là cơ sở cho việc thiết kế các chuỗi thí nghiệm phục vụ cho việc phân tích kết quả, dẫn tới các công thức thực nghiệm và bán thực nghiệm liên quan đến quá trình truyền sóng của công trình đê rỗng phức hợp nghiên cứu trong luận án. Để có được sự tương tự về động học và động lực sóng, NCS lựa chọn thiết kế theo mô hình mặt cắt, lòng cứng, chính thái, hướng sóng ban đầu của mô hình giống với nguyên hình (hướng sóng tới truyền vuông góc với công trình), tỷ lệ mô hình lựa chọn để nghiên cứu $\lambda_L = \lambda_h = 15$, tương quan tỷ lệ của một số đại lượng vật lý cơ bản để nghiên cứu theo luật Froude. Thí nghiệm tiến hành trong điều kiện độ sâu nước D ≥ 0,2m, chiều cao sóng H_s ≥ 0,07m, dòng chảy trong mô hình là dòng chảy rối với Re ≥ 3.10⁴. Từ đó, NCS đã thực hiện và thiết lập được bộ dữ liệu thực nghiệm với 300 kịch bản thí nghiệm MHVL trên máng sóng HR Wallingford (Anh) của cơ sở đào tạo Viện KHTLMN, kết quả thí nghiệm đảm bảo độ tin cậy làm cơ sở để đánh giá chức năng giảm sóng cho công trình đê rỗng phức hợp (xem Phụ lục 2). NCS đã trình bày cơ sở khoa học đánh giá chức năng giảm sóng cho công trình đê rỗng phức hợp là sử dụng phương trình PT.(2-28) phân tích các thành phần năng lượng sóng tiêu hao, trình tự các bước nghiên cứu kết hợp giữa lý thuyết và thực nghiệm xây dựng công thức bán thực nghiệm dạng tổng quát tính toán xác định hệ

CHƯƠNG 3. NGHIÊN CỨU XÂY DỰNG PHƯƠNG PHÁP TÍNH TOÁN TRUYỀN SÓNG CHO CÔNG TRÌNH ĐỂ RỖNG PHỨC HỢP

3.1. Đặt vấn đề

Công trình đê rỗng phức hợp nghiên cứu đề xuất trong luận án có cấu tạo gồm phần thân đê ngầm rỗng tiêu hao năng lượng sóng thông qua quá trình sóng vỡ, phản xạ, ma sát và dòng chảy thân đê, phần hệ cọc bên trên tiêu hao năng lượng sóng nhờ công của lực cản. Khi chiều cao thân đê ngầm rỗng tăng thì năng lượng sóng tiêu hao tăng trong khi của hệ cọc thì lại giảm và ngược lại. Do quá trình tương tác và cơ chế tiêu hao năng lượng sóng giữa hai bộ phận này với sóng là khác nhau, do vậy cần có những đánh giá, phân tích độc lập về mức độ ảnh hưởng của tham số chi phối để từ đó xây dựng phương pháp tính toán truyền sóng qua công trình đê rỗng phức hợp (trường hợp tổng quát).

Nghiên cứu sử dụng linh hoạt các nhóm số liệu thí nghiệm MHVL các trường hợp: (i) Hiện trạng không có công trình; (ii) Thân đê ngầm rỗng không cọc; (iii) Công trình đê rỗng phức hợp để nghiên cứu xây dựng công thức bán thực nghiệm dạng tổng quát tính toán xác định hệ số truyền sóng của công trình đê rỗng phức hợp (xem Bảng 2-13, Phụ lục 2, Phụ lục 3, Phụ lục 4).

Kết quả nghiên cứu trong Chương 3 được lập trình bằng ngôn ngữ MATLAB [60] để thực hiện việc phân tích dữ liệu thực nghiệm, xây dựng các biểu đồ tương quan, phân tích hồi quy, xây dựng các công thức thực nghiệm và bán thực nghiệm đánh giá chức năng giảm sóng cho công trình đê rỗng phức hợp dạng tổng quát trong nghiên cứu luận án (xem Phụ lục 1). Các bước nghiên cứu được thực hiện như sau:

3.2. Truyền sóng qua thân đê ngầm rỗng không cọc

3.2.1. Ảnh hưởng của chỉ số vỡ (γ)

Ånh hưởng của chỉ số vỡ $\gamma = H_{m0,i}/D$ đến K_t^0 cho trường hợp thân đê ngầm rỗng không cọc (tức là $n_c = 0$) với các bề rộng đỉnh đê (B) khác nhau như sau: Khi có công trình là thân đê ngầm rỗng không cọc thì K_t^0 giảm mạnh nhưng vẫn còn ở mức

cao, phổ biến $K_t^0 = 0,60 \div 0,80$. Khi γ tăng thì K_t^0 giảm nhẹ, sự phụ thuộc này khá yếu và không rõ ràng (xem Hình 3-1).



Hình 3-1. Ảnh hưởng của chỉ số sóng vỡ γ đến K_t^0 .

3.2.2. Ảnh hưởng của độ sâu ngập nước tương đối của đỉnh đê $(R_c/H_{m0,i})$

Quan hệ $K_t^0 \sim R_c/H_{m0,i}$ được thể hiện trên Hình 3-2 cho trường hợp công trình là thân đê ngầm rỗng không cọc như sau:

- Nhìn chung R_c/H_{m0,i} có ảnh hưởng chi phối đến K⁰_t, quan hệ là đồng biến, tương tự như các trường hợp đê ngầm giảm sóng khác. Tuy nhiên, do cấu tạo thân đê rỗng nên chỉ cho thấy hiệu quả giảm sóng rõ rệt với độ ngập sâu nhỏ R_c/H_{m0,i} <1,0. Khi R_c/H_{m0,i} > 1,0 thì K⁰_t tăng rất nhẹ hoặc hầu như là không đổi.

- Khi $R_c = 0$ thì đê có hiệu quả giảm sóng tốt nhất với $K_t^0 = 0,50$ (trung bình).



Hình 3-2. Ảnh hưởng của độ ngập sâu tương đối $(R_c/H_{m0,i})$ đến K_t^0 .

3.2.3. Ảnh hưởng bề rộng tương đối của đỉnh đê $(B/L_m, B/L_p)$

Ảnh hưởng của bề rộng tương đối B/L_m và B/L_p (L_m và L_p là chiều dài sóng nước nông tại khu vực công trình tương ứng với chu kỳ đặc trưng phổ T_{m-1,0} và chu kỳ đỉnh phổ T_p) với hệ số K⁰_t được thể hiện lần lượt trên các Hình 3-3 và Hình 3-4 như sau:

- Ảnh hưởng của B/L_m hay B/L_p nhìn chung là yếu hơn so với độ ngập nước tương đối $R_c/H_{m0,i}$ (xem Hình 3-3, Hình 3-4 và Hình 3-2).

- Quan hệ là nghịch biến.

- Ảnh hưởng của B/L_m hay B/L_p trở nên yếu dần khi độ ngập tăng, với độ ngập lớn ($R_c = 0,10$ và 0,15m) thì B/L_m hay B/L_p hầu như không còn ảnh hưởng.

- Việc sử dụng $B/H_{m0,i}$ thay vì B/L_m hay B/L_p cho kết quả tương quan tương tự nhưng ở mức độ yếu hơn (xem Hình 3-5).



Hình 3-3. Ảnh hưởng của bề rộng tương đối B/L_m đến K_t^0 .



Hình 3-4. Ảnh hưởng của bề rộng tương đối B/L_p đến K_t^0 .



Hình 3-5. Ảnh hưởng của bề rộng tương đối $B/H_{m0,i}$ đến K_t^0 .

Lưu ý: Nên sử dụng $T_{m-1,0}$ trường hợp sóng nước nông, khi mà phổ sóng đã bị dẹt không còn rõ đỉnh, $T_{m-1,0}$ được dùng để nhấn mạnh vai trò của sóng dài ở vùng nước nông do sóng võ. Xu thế cũng được thể hiện rõ hơn hay mức độ phân tán của số liệu nhỏ hơn khi sử dụng $T_{m-1,0}$ (xem Hình 3-3) so với khi sử dụng T_p (xem Hình 3-4).

3.2.4. Ảnh hưởng của tương tác sóng với mái đê (s_m)

Thông thường tính chất tương tác sóng với mái dốc thể hiện qua giá trị của số Iribarren ξ_{m0} cũng có ảnh hưởng đến truyền sóng qua đê ngầm. Tuy nhiên, ở đây hệ số mái đê là một hằng số (tan $\alpha = 1$), do vậy có thể xét tính chất tương tác này thông qua giá trị độ dốc sóng tại vị trí công trình s_m:




Hình 3-6. Tương quan $s_m \sim K_t^0$.

Hình 3-6 trình bày kết quả phân tích tương quan phụ thuộc giữa s_m và K_t^0 cho các trường hợp bề rộng và độ sâu ngập khác nhau. Nhìn chung xu thế ảnh hưởng của s_m đến K_t^0 là nghịch biến khá rõ ràng, đặc biệt là với độ ngập nước lớn cho thấy sóng càng dài thì càng ít bị tiêu hao năng lượng hơn khi qua đê so với sóng ngắn.

3.2.5. Hệ số truyền sóng qua thân đê ngầm rỗng không cọc

Từ các phân tích ảnh hưởng nêu trên, chúng ta có thể thấy rằng hệ truyền sóng qua thân đê ngầm rỗng không cọc chịu sự chi phối chủ yếu của 3 tham số đó là: (i) Độ ngập sâu tương đối ($R_c/H_{m0,i}$); (ii) Bề rộng tương đối ($B/H_{m0,i}$); (iii) Độ dốc sóng tại vị trí công trình (s_m). Như vậy, phương trình dạng tổng quát xác định hệ số truyền sóng cho thân đê ngầm rỗng không cọc có dạng là:

$$K_{t}^{0} = \frac{H_{m0,i}}{H_{m0,t}} = f_{1}\left(\frac{R_{c}}{H_{m0,i}}, \frac{B}{H_{m0,i}}, s_{m}\right)$$
(3-2)

Từ những phân tích tương quan nêu trên đây và tương tự như với các dạng ĐGS ngầm khác, hệ số truyền sóng qua thân đê ngầm rỗng không cọc có dạng tổng quát như sau (ví dụ xem nghiên cứu của Angremond và nnk (1996) [40], Van der Meer và nnk (2005) [74] trình bày trong Chương 1). Lưu ý ở đây chúng ta sử dụng tham số độ dốc sóng (s_m) thay vì sử dụng số Iribarren (ξ_{m0}), R_c là độ sâu ngập nước của đỉnh đê mang giá trị dương.

$$K_{t}^{0} = a.\left(\frac{R_{c}}{H_{m0,i}}\right) + b.\left(\frac{B}{H_{m0,i}}\right)^{c_{1}}.\left(1 - e^{\frac{c_{2}}{\sqrt{s_{m}}}}\right)$$
(3-3)

trong đó: Các hệ số a, b (giá trị dương) và các số mũ c_1 , c_2 (giá trị âm) được xác định bằng phương pháp hồi quy với các số liệu thí nghiệm cho trường hợp thân đê ngầm rỗng không cọc (100 thí nghiệm - xem Phụ lục 2).

Sử dụng phương pháp dò tìm theo các tổ hợp đối với hai số mũ c₁ và c₂ sao để PT.(3-3) phù hợp nhất với các số liệu thí nghiệm, tức là có hệ số hồi quy R² lớn nhất. Ứng với mỗi một giá trị c₂ sẽ có một chuỗi các giá trị c₁ được giả thiết để phân tích hồi quy và lựa chọn bộ tham số c₁ và c₂ cho R² lớn nhất. Kết quả quan hệ giữa c₂ và R² được thể hiện trên Hình 3-7 cho thấy R² độ nhạy không lớn khi c₂ < 0. Khi c₂ $\leq -1,0$ thì R² đạt giá trị cực đại, do đó chọn c₂ = -1,0 để phân tích hồi quy.



Hình 3-7. Quan hệ $c_2 \sim R^2$

Với c₂ đã xác định, xem Hình 3-8 thể hiện quan hệ giữa c₁ và R² ứng với giá trị c₂ = -1,0. Kết quả c₁ = -0,19 đem lại giá trị R² lớn nhất đạt xấp xỉ 0,94.

Sử dụng bộ số mũ $c_1 = -0,19$ và $c_2 = -1,0$ chúng ta xác định được các hằng số thực nghiệm tương ứng là a = 0,18 và b = 0,58. Trong đó a, b là các hệ số hồi quy thực nghiệm với, c_1 và c_2 là các hệ số mũ xác định theo phương pháp dò tìm sao để phương trình phù hợp nhất với bộ số liệu thực nghiệm. Trong đó, kết quả phân tích hồi quy giá trị trung bình của các hệ số (khoảng xác suất tin cậy từ kết quả thống kê) như sau: a = 0,18 ($0,167 \div 0,186$) và b = 0,58 ($0,573 \div 0,593$).

Như vậy PT.(3-3) trên đây được viết lại có dạng như sau:





Hình 3-9. Số liệu thực nghiệm so sánh với K_t^0 tính toán theo công thức thực nghiệm và của các nghiên cứu khác.

Kết quả so sánh hệ số truyền sóng qua thân đề ngầm rỗng không cọc giữa tính toán theo công thức thực nghiệm PT.(3-4) và các số liệu thí nghiệm được thể hiện trên Hình 3-9a với mức độ phù hợp cao ($R^2 = 0,94$). Trong trường hợp không thể xác định $T_{m-1,0}$ một cách chính xác thì vẫn có thể sử dụng PT.(3-4) với s_p thay vì s_m tuy nhiên với độ tin cậy đạt được thấp hơn một chút.

3.2.6. So sánh mức độ tin cậy với các nghiên cứu trước

Hình 3-9b thể hiện số liệu thực nghiệm hệ số sóng truyền qua thân đê ngầm rỗng không cọc so sánh với kết quả tính toán hệ số truyền sóng bằng công thức thực nghiệm PT.(3-4) của nghiên cứu và với 2 nghiên cứu trước là: (1) Nghiên cứu của T. Q. Tuan và nnk (2017) [7] [32] cho dạng ĐGS ngầm có kết cấu lỗ rỗng; và (2) Nghiên cứu của d' Angremond và nnk (1996) [40] cho dạng ĐGS ngầm kết cấu đá đổ, mái nghiêng, thấm nước (xem Chương 1).

Có thể thấy công thức thực nghiệm tính toán xác định hệ số truyền sóng theo nghiên cứu của T. Q. Tuan và nnk (2017) [7] cho trường hợp ĐGS ngầm có kết cấu rỗng (ký hiệu là Đê rỗng AFD) cho kết quả khá gần với nghiên cứu của luận án (ký hiệu là Nghiên cứu LATS) và số liệu thực nghiệm hệ số sóng truyền qua thân đê ngầm rỗng không cọc. Tuy nhiên, kết quả đánh giá có sự khác biệt thiên cao về giá trị K_t⁰ của Đê rỗng AFD. Nguyên do là bởi sự tương đồng trong dạng kết cấu khối rỗng, điều kiện sóng và mô hình bãi biến thí nghiệm tương tự nhau, thí nghiệm trên cùng một máng sóng (HR Wallingford - Anh) của Viện KHTLMN. Tuy nhiên, dạng đê rỗng trong nghiên cứu của T. Q. Tuan và nnk (2017) [7] có tỷ lệ lỗ rỗng bề mặt lớn hơn và đặc biệt không xét đến ảnh hưởng của bề rộng đỉnh đê khi (chỉ xem xét 1 trường hợp bề rộng nhỏ B = 0,12m), do vậy dẫn đến kết quả tính toán hệ số truyền sóng lớn hơn là hoàn toàn hợp lý. Ngược lại, công thức tính toán xác định hệ số truyền qua đê ngầm đá đổ, mái nghiêng, thấm nước theo nghiên cứu của d' Angremond và nnk (1996) [40] cho kết quả đánh giá khá thấp các số liệu thực nghiệm của nghiên cứu, cũng như có sự khác biệt đáng kể khi so sánh với kết quả tính toán hệ số truyền sóng theo công thức thực nghiệm PT.(3-4) của nghiên cứu. Sự khác biệt này có thể lý giải là do đê ngầm đá đổ mái nghiêng là kết cấu thân thẩm rỗng với khả năng tiêu giảm năng lượng sóng cao hơn nhiều so với dạng kết cấu rỗng bề mặt được xem xét của nghiên cứu luận án. Như vậy, có thể thấy rằng với 2 dạng ĐGS ngầm kết cấu rỗng bề mặt (Đê rỗng AFD và Nghiên cứu LATS) cho kết quả rất tương đồng (xem Hình 3-9b), song mức độ tin cậy và phạm vi ứng dung của công thức thực nghiệm PT.(3-4) lớn hơn do đã xem xét đầy đủ được các tham số chi phối chính đến quá trình truyền sóng khi xây dựng công thức.

3.3. Tiêu hao năng lượng sóng qua hệ cọc bên trên

3.3.1. Nguyên lý tiêu hao năng lượng sóng

Khi sóng ngẫu nhiên truyền vuông góc với bờ qua công trình đê rỗng phức hợp sẽ trải qua các quá trình tiêu hao năng lượng, làm giảm chiều cao sóng như sóng vỡ trên đỉnh đê do độ sâu nước bị hạn chế, ma sát, sức cản do hệ cọc. Trong phân tích, có thể chia thành các thành phần năng lượng sóng tiêu hao như sau:

- Năng lượng tiêu hao do thân đê ngầm rỗng không cọc.
- Năng lượng tiêu hao do ma sát.
- Năng lượng tiêu hao của hệ cọc.

Áp dụng PT.(2-28), ta có phương trình cân bằng năng lượng của sóng ngẫu nhiên truyền vuông góc với bờ qua công trình đê rỗng phức hợp như sau:

$$\frac{\partial (E. c_g)}{\partial x} = -D_d - D_f - D_p$$
(3-5)

$$E = \frac{1}{8}\rho g H_{\rm rms}^2; \ c_g = \frac{c}{2} \left(1 + \frac{2kh}{\sinh(2kh)} \right)$$
(3-6)

trong đó:

x là một độ dài đặc trưng theo phương truyền sóng (m).

h là độ sâu nước (m).

E là tổng năng lượng đơn vị của sóng (J/m^2) .

H_{rms} là chiều cao sóng trung bình quân phương trong trường hợp công trình đê rỗng phức hợp (đê gồm cả hệ cọc) (m).

cg là vận tốc nhóm sóng (m/s).

c là vận tốc đỉnh sóng (m/s).

 D_d là suất tiêu hao năng lượng sóng do phần thân đê ngầm rỗng (W/m²).

 D_f là suất tiêu hao năng lượng sóng do ma sát đáy (W/m²).

 $D_{\rm p}$ là suất tiêu hao năng lượng sóng do sức cản của hệ cọc (W/m²).

Trong cùng một điều kiện, áp dụng PT.(2-28) ta cũng có phương trình cân bằng năng lượng của sóng ngẫu nhiên truyền vuông góc với bờ qua thân đê ngầm rỗng không cọc như sau:

$$\frac{\partial (E^{(0)}.c_g)}{\partial x} = -D_d^{(0)} - D_f^{(0)}$$
(3-7)

trong đó:

 $E^{(0)}$ là năng lượng sóng trong trường hợp thân đê ngầm rỗng không cọc (J/m²).

 $D_{d}^{\left(0\right)}$ là suất tiêu hao năng lượng sóng do phần thân đê rỗng (W/m²).

 $D_{f}^{(0)}$ là suất tiêu hao năng lượng sóng do ma sát đáy (W/m²).

Lưu ý: PT.(3-7) dựa trên giả thiết bỏ qua sự thay đổi vận tốc nhóm sóng c_g khi sóng truyền qua thân đê ngầm rỗng không cọc và qua công trình đê rỗng phức hợp (theo lý thuyết thì c_g chỉ phụ thuộc độ sâu nước và chu kỳ sóng).

Từ PT.(3-5), PT.(3-6) và PT.(3-7), chúng ta có thể rút ra phương trình cân bằng năng lượng sóng cho hệ cọc có dạng như sau:

$$\frac{\partial \left[(E - E^{(0)}) \cdot c_g \right]}{\partial x} = \left[\left(D_d^{(0)} - D_d \right) + \left(D_f^{(0)} - D_f \right) \right] - D_p = \Delta_p - D_p$$
(3-8)

trong đó: Δ_P là tổng phần chênh lệch của suất tiêu hao năng lượng sóng do phần thân đê ngầm rỗng và do ma sát đáy khi đê có hệ cọc và không có hệ cọc.

Với giả thiết năng lượng sóng tiêu hao bởi ma sát và sóng phản xạ là như nhau giữa hai trường hợp công trình là đê rỗng phức hợp và đê ngầm rỗng không cọc các số liệu thí nghiệm cho thấy hệ số phản xạ có sự chênh lệch không đáng kể giữa hai trường hợp này - xem Phụ lục 3). Ngoài ra, sự chênh lệch này còn được kể đến bằng cách lấy chiều cao sóng trước đê là chiều cao sóng trung bình giữa hai trường hợp công trình là thân đê ngầm rỗng không cọc và có hệ cọc bên trên và sau này còn được xem xét thông qua hệ số hiệu chỉnh mô hình) và sự có mặt của hệ cọc không làm thay đổi suất tiêu hao năng lượng của thân đê ngầm rỗng so với khi đê không có hệ cọc. Do đó, giá trị Δ_P là rất nhỏ, không đáng kể ($\Delta_P \approx 0$). Như vậy, PT.(3-8) được rút gọn và viết lại như sau:

$$\Leftrightarrow D_{p} = \frac{\partial \left[\frac{1}{8}\rho g \left(H_{rms,(0)}^{2} - H_{rms}^{2}\right). c_{g}\right]}{\partial x} = \frac{\partial \left(\frac{1}{8}\rho g H_{rms,p}^{2}. c_{g}\right)}{\partial x}$$
(3-9)

trong đó: $H_{rms,p}$ gọi là thành phần chiều cao sóng bị suy giảm chỉ bởi hệ cọc.

Nếu như sóng đến là như nhau thì PT.(3-9) có diễn giải một cách đơn giản là năng lượng sóng tiêu hao bởi hệ cọc chính là phần chênh lệch về năng lượng sóng phía sau đê giữa hai trường hợp đê có và không có hệ cọc.

$$D_{p} = \frac{1}{8}\rho gc_{g} \frac{\left(H_{rms,t}^{2}\right)_{0} - \left(H_{rms,t}^{2}\right)_{p}}{X_{b}} = \frac{1}{8}\rho gc_{g} \frac{\Delta H_{rms,p}^{2}}{X_{b}}$$
(3-10)

trong đó: $H_{rms,t}$ là chiều cao sóng phía sau đê, các chỉ số "0" và "p" tương ứng dùng để chỉ trường hợp đê ngầm rỗng không cọc và có hệ cọc; X_b là chiều rộng ảnh hưởng của hệ cọc bên trên (tương ứng với số hàng cọc) theo phương truyền sóng (hay X_b được xác định là khoảng cách tim của hai hàng cọc biên).

Ở đây, chúng ta đưa ra khái niệm năng lượng sóng tương đối tiêu hao bởi hệ cọc D_{pr} , là đại lượng phi thứ nguyên được định nghĩa như sau:

$$D_{pr} = \frac{\Delta H_{rms,p}^2}{H_{rms,i}^2} = \frac{\left(H_{rms,t}^2\right)_0 - \left(H_{rms,t}^2\right)_p}{H_{rms,i}^2}$$
(3-11)

Từ PT. (3.10) và (3.11), chúng ta có liên hệ như sau:

$$D_{p} = \frac{1}{8}\rho gc_{g} \frac{D_{pr} H_{rms,i}^{2}}{X_{b}} = \frac{D_{pr} E c_{g}}{X_{b}}$$
(3-12)

Sử dụng đại lượng phi thứ nguyên D_{pr} xác định từ các số liệu thí nghiệm cho hai trường hợp công trình là thân đê ngầm rỗng không cọc và đê rỗng phức hợp theo PT.(3-11) để phân tích sự suy giảm chiều cao sóng do ảnh hưởng của hệ cọc.

Kết quả tính toán D_{pr} theo PT.(3-10) và PT.(3-11) được thể hiện ở Phụ lục 4 (tương ứng 100 cặp thí nghiệm có cùng điều kiện biên sóng và mực nước và được chạy đối sánh cho trường hợp không cọc và có hệ cọc) cho thấy nhìn chung giá trị D_{pr} khá nhỏ, chỉ chiếm khoảng (10-20)% so với tổng năng lượng sóng tới.

3.3.2. Phân tích mức độ ảnh hưởng của các tham số chi phối đến tiêu hao năng lượng sóng qua hệ cọc

Tương tự như với trường hợp công trình là thân đê rỗng ngầm rỗng không cọc trên đây, độ ngập sâu tương đối $R_c/H_{m0,i}$ (chiều dài của phần cọc ngập trong nước) cũng có ảnh hưởng nhiều đến tiêu hao năng lượng sóng qua hệ cọc như thể hiện trên Hình 3-10. Nhìn chung, có thể thấy rằng quan hệ này là đồng biến rõ ràng với xu

thế phi tuyến. D_{pr} tăng mạnh với $R_c/H_{m0,i} < 1,20$ sau đó thì hầu như không tăng nữa. D_{pr} cũng tăng tỷ lệ với số hàng cọc (bề rộng hệ cọc).



Hình 3-10. Ảnh hưởng của của độ ngập sâu tương đối $R_c/H_{m0,i}$ đến D_{pr} .



Hình 3-11. Ảnh hưởng bề rộng tương đối của hệ cọc (X_b/L_p) và $(X_b/H_{m0,i})$. Ảnh hưởng của bề rộng tương đối của hệ cọc (X_b/L_p) và $(X_b/H_{m0,i})$ đối với D_{pr} được lần lượt thể hiện trên Hình 3-11, cũng cho thấy sự phụ thuộc mạnh mẽ theo quan hệ đồng biến của bề rộng hệ cọc đến sự tiêu hao năng lượng sóng qua hệ cọc. Ảnh hưởng này rõ rệt nhất đối với các mức độ ngập sâu thấp.

Việc D_{pr} có xu thế tăng chậm với các mức độ ngập sâu lớn được lý giải là khi độ sâu nước đủ lớn thì phần lớn năng lượng sóng ở dải tần số ngắn đã bị tiêu hao bởi hệ cọc, chỉ còn lại năng lượng sóng ở dải tần số thấp. Như đã phân tích ở trên, sóng ở dải tần số dài ít bị tiêu hao năng lượng khi qua hệ cọc, do vậy khi độ sâu tiếp tục tăng hoặc số hàng cọc tăng thì D_{pr} sẽ không tiếp tục tăng nữa.



Hình 3-12. Ảnh hưởng của độ dốc sóng địa phương s_p (trái) và s_m (phải).



Hình 3-13. Ảnh hưởng của độ sâu nước tương đối R_c (hay h) /L_p.



Hình 3-14. Ảnh hưởng của chỉ số vỡ $H_{m0,i}/R_c$ (hay h).

Hình 3-12 là kết quả phân tích sự phuộc vào độ dốc sóng ($s_p = H_{m0,i}/L_p$ và $s_m = H_{m0,i}/L_m$) tại vị trí công trình đối với D_{pr} . Xu thế chung là đồng biến, tuy nhiên khá yếu so với trường hợp thân đê rỗng không có cọc.

Các ảnh hưởng khác như độ sâu nước tương đối (R_c/L_p) và chỉ số vỡ $(H_{m0,i}/R_c$ đến D_{pr} được lần lượt trình bày trên Hình 3-13 và Hình 3-14, cho thấy các tham số này hầu như không có chi phối trực tiếp đến tiêu hao năng lượng sóng qua hệ cọc.

Ngoài ra, tiêu hao năng lượng sóng qua hệ cọc còn phụ thuộc vào mật độ cọc hay độ rỗng của hệ cọc (khoảng cách giữa các cọc trong một hàng l_i và khoảng cách các hàng cọc b_i), kích thước đường kính cọc Ø. Tuy nhiên, trong thí nghiệm tham số này được giữ cố định, do vậy nghiên cứu không được xem xét một cách trực tiếp nhưng đã xem xét gián tiếp nằm trong các thông số khác được phân tích ở trên.

3.3.3. Tiêu hao năng lượng sóng qua hệ cọc bên trên

Với những phân tích tương quan nêu trên, ở đây chúng ta sẽ xây dựng công thức thực nghiệm tính toán xác định năng lượng sóng bị tiêu hao bởi hệ cọc nằm phía trên thân đê ngầm rỗng.

Một cách tương tự như trên, chúng ta có phương trình tổng quát có dạng:

$$D_{\rm pr} = f_2 \left(\frac{R_{\rm c}}{H_{\rm m0,i}}, \frac{X_{\rm b}}{L_{\rm m}} \right) \tag{3-13}$$

 D_{pr} mang ý nghĩa là năng lượng sóng tiêu hao tương đối bởi hệ cọc so với tổng năng lượng sóng tới (D_{pr} còn có thể được hiểu là hiệu năng của hệ cọc $D_{pr} < 1,0$). Như vậy, D_{pr} phụ thuộc vào tổng thể tích phạm vi cản nước tương đối của hệ cọc so với toàn bộ thể tích khối nước dao động xét trong trong một chu kỳ sóng. Ngoài ra, lưu ý khi $R_c = 0$ (mực nước ngang bằng cao trình đỉnh của thân đê ngầm rỗng) thì $D_{pr} > 0$ do một phần sóng vẫn truyền qua đỉnh đê ngầm rỗng và vẫn bị tiêu hao năng lượng bởi hệ cọc bên trên.

Xuất phát từ những phân tích trên, chúng ta có đề xuất tham số biểu diễn thể tích cản sóng tương đối của hệ cọc như sau:

$$\widehat{V}_{p} = \frac{V_{p}}{V_{w}} = \frac{\left(R_{c} + H_{m0,i}\right) \cdot X_{b}}{H_{m0,i} \cdot L_{m}} = \frac{R_{c} + H_{m0,i}}{H_{m0,i}} \cdot \frac{X_{b}}{L_{m}}$$
(3-14)

trong đó: \hat{V}_p là thể tích cản sóng tương đối của hệ cọc; V_p và V_w lần lượt là thể tích phạm vi cản sóng của hệ cọc và tổng thể tích phần khối nước dao động xét trong một chu kỳ sóng.

PT.(3-14) vẫn bảo toàn các tham số chi phối của PT.(3-13). Hình 3-15 biểu diễn quan hệ giữa thể tích cản sóng tương đối của hệ cọc và D_{pr} , qua đó có thể thấy rằng tương tự như các phân tích tương quan ở phần trước, D_{pr} có xu thế tăng khi \hat{V}_p tăng, tức là khi độ ngập tương đối tăng hoặc bề rộng hệ cọc tăng. Khi \hat{V}_p tăng đến một giới hạn nào đó thì D_{pr} không tăng nữa (lý do đã giải thích ở trên). Như vậy, tương quan này tồn tại một số điều kiện biên như sau: có tiệm cận trên là $D_{pr,max}$ và $D_{pr} = 0$ khi không có hệ cọc ($X_b = 0$), và $D_{pr} > 0$ khi $R_c = 0$. Với những tính chất này và với đại lượng miêu tả hiệu năng ($D_{pr} < 1,0$) thì hàm tanh(x) (với x <1) là một dạng hàm phù hợp.



Hình 3-15. Đường hồi quy thực nghiệm xác định $D_{pr} \sim \hat{V}_p$ (với L_m).

Sử dụng phương pháp hồi quy với bộ số liệu thí nghiệm (100 cặp thí nghiệm cùng điều kiện sóng thí nghiệm truyền qua công trình là thân đê ngầm rỗng không cọc và đê ngầm rỗng phức hợp - xem Phụ lục 4), chúng ta xây dựng được quan hệ đường hồi quy như sau (xem Hình 3-15), mức độ phù hợp cao $R^2 = 0,80$. Trong đó, kết quả phân tích hồi quy giá trị trung bình của các hệ số (hay khoảng xác suất tin cậy từ kết quả thống kê) như sau: a = 0,153 (0,144 – 0,163) và b = 20,6 (18,78 – 24,31).

$$D_{pr} = 0,153 \tanh\left[20,6\frac{(R_{c} + H_{m0,i})}{H_{m0,i}} \cdot \frac{X_{b}}{L_{m}}\right]$$
(3-15)

Khi sử dụng T_p thay vì T_{m-1,0} (L_p thay vì L_m) trong tính toán thì mức độ phù hợp với các số liệu thực nghiệm đạt được sẽ thấp hơn một chút với $R^2 = 0,71$ (xem Hình 3-16). Lúc này công thức xác định D_{pr} sẽ có dạng là:



Hình 3-16. Đường hồi quy thực nghiệm xác định $D_{pr} \sim \hat{V}_p$ (với L_p).

3.4. Truyền sóng qua công trình đê rỗng phức hợp (trường hợp tổng quát)

Xuất phát từ các phương trình cân bằng năng lượng sóng cho các trường hợp công trình là thân đê ngầm rỗng không cọc và đê rỗng phức hợp (xem PT.2-25). Khi công trình là đê ngầm rỗng không cọc:

$$E_{tot} = E_t^0 + E_d^0 + E_f^0 + E_r^0$$
(3-17)

Khi công trình là đê rỗng phức hợp:

$$E_{tot} = E_t^p + E_d^p + E_p^p + E_f^p + E_r^p$$
(3-18)

trong đó: E_t , E_d , E_p , E_f , và E_r lần lượt là năng lượng của sóng phía sau đê, phần năng lượng tiêu hao bởi phần thân đê, bởi hệ cọc, ma sát và năng lượng sóng phản xạ lại. E_{tot} là tổng năng lượng sóng (bao gồm cả sóng tới và sóng phản xạ trở lại từ công trình). Các chỉ số (⁰) và (^p) tương ứng dùng để chỉ trường hợp công trình là đê ngầm rỗng không cọc và đê rỗng phức hợp.

Giả thiết với cùng một tổng năng lượng sóng E_{tot} , thì sự khác biệt của thành phần năng lượng sóng bị tiêu hao bởi ma sát E_f và thân đê E_d là rất nhỏ, không đáng kể trong cả hai trường hợp công trình là thân đê ngầm rỗng không cọc và đê rỗng phức hợp, tức là $E_d^0 \sim E_d^p$ và $E_f^0 \sim E_f^p$. Khi đó, từ PT.(3-17) và PT.(3-18) suy ra:

$$(E_t^0 - E_t^p) + (E_r^0 - E_r^p) - E_p^p = 0$$

$$\Leftrightarrow \frac{1}{8} \rho g(H_{rms,t}^{0^2} - H_{rms,t}^{p^2}) + \frac{1}{8} \rho g H_{rms,i}^2 (C_r^{0^2} - C_r^{p^2}) - \frac{D_p X_b}{c_g} = 0$$
(3-19)

trong đó: C_r (⁰ và ^p) là các hệ số phản xạ trong hai trường hợp công trình là thân đê ngầm rỗng không cọc và đê rỗng phức hợp.

PT.(3-19) có thể viết lại dưới dạng các hệ số truyền sóng ($K_t = H_{rms,t}/H_{rms,i}$) cho hai trường hợp công trình, bằng cách chia hai vế phương trình này cho năng lượng sóng tới đơn vị $E = 1/8\rho g H_{rms,i}^2$ (xem PT.(1-1), PT.(1-2) và PT.(2-25)), ta có:

$$(K_t^{0^2} - K_t^{p^2}) + (C_r^{0^2} - C_r^{p^2}) - \frac{D_p X_b}{\frac{1}{8} \rho g H_{rms,i}^2 c_g} = 0$$
(3-20)

Liên hệ PT.(3-20) với PT.(3-12) chúng ta có:



Hình 3-17. Quan hệ giữa chênh lệch năng lượng sóng phản xạ tương đối và tiêu hao năng lượng do hệ cọc D_{pr}.

Lưu ý: Chênh lệch năng lượng sóng phản xạ tương đối $(E_r^0 - E_r^p)/E = (C_r^{0^2} - C_r^{p^2})$ có giá trị rất nhỏ và tỷ lệ thuận so với năng lượng sóng tiêu hao bởi thân đê có hệ cọc như trình bày trên Hình 3-17 có từ kết quả thực nghiệm (xem Phụ lục 3). Do vậy, ảnh hưởng chênh lệch về sóng phản xạ có thể được xét đến một cách gián tiếp thông qua D_{pr} với một hệ số điều chỉnh mô hình.

Từ PT.(3-21), chúng ta có thể đưa ra công thức bán thực nghiệm xác định hệ số truyền sóng của công trình đê rỗng phức hợp như sau:

$$K_{t} = \sqrt{K_{t}^{0^{2}} - m. D_{pr}}$$
(3-22)

trong đó: *m* là hệ số mô hình (theo lý thuyết thì m < 1,0) được hiệu chỉnh với các số liệu thí nghiệm nhằm kể đến ảnh hưởng của sóng phản xạ và các sai lệch do các giả thiết đã nêu khác trong quá trình xây dựng PT.(3-22).

Lưu ý: K_t^0 chính là hệ số truyền sóng qua thân đê ngầm rỗng không cọc, được xác định từ PT.(3-4) và D_{pr} là năng lượng sóng tương đối tiêu hao bởi hệ cọc được xác định từ PT.(3-15) hoặc PT.(3-16). Khi công trình là đê ngầm rỗng không cọc (tức là $D_{pr} = 0$) thì PT.(3.22) sẽ trở về PT.(3.4).

Sử dụng các PT.(3-4), PT.(3-15) và PT.(3-22) cùng với bộ số liệu thí nghiệm cho trường hợp công trình đê rỗng phức hợp (đê có cọc) để xác định hệ số mô hình m (160 thí nghiệm – xem Phụ lục 2). Kết quả trên Hình 3-18 cho thấy m = 0,94 cho kết quả phù hợp tốt nhất với bộ số liệu thí nghiệm ($\mathbb{R}^2 = 0,87$). Hình 3-19 trình bày so sánh giữa kết quả tính toán K_t theo PT. (3-22) với hệ số mô hình m = 0,94 và bộ số liệu thí nghiệm.

Sự phù hợp rất tốt của công thức bán kinh nghiệm PT.(3-22) với bộ số liệu thí nghiệm khẳng định tính đúng đắn của phương pháp và các giả thiết đưa ra trong quá trình xây dựng công thức.



Hình 3-18. Hiệu chỉnh hệ số mô hình *m* với các số liệu thí nghiệm.



Hình 3-19. So sánh kết quả tính toán hệ số truyền sóng K_t với số liệu thực nghiệm cho trường hợp tổng quát là công trình đê rỗng phức hợp (hệ số mô hình m = 0.94). Sau cùng, Hình 3-20 là so sánh tổng hợp giữa kết quả tính toán với tất cả các trường hợp công trình là thân đê ngầm rỗng không cọc và công trình đê rỗng phức hợp, tương ứng với tổng số 260 thí nghiệm (xem Phụ lục 1).



Hình 3-20. Tổng hợp so sánh kết quả tính toán hệ số truyền sóng với toàn bộ số liệu thực nghiệm (≈ 260 thí nghiệm MHVL).

3.5. Phạm vi ứng dụng của nghiên cứu

Giới hạn phạm vi ứng dụng theo điều kiện thí nghiệm: $0 \le R_c/H_{m0,i} \le 2,459$; $0,713 \le B/H_{m0,i} \le 3,803$; $0,020 \le s_m \le 0,047$; $1,0 \le (R_c+H_{m0,i})/H_{m0,i} \le 3,459$; $0,010 \le X_b/L_m \le 0,087$; $0,012 \le X_b/L_p \le 0,118$; $0 \le R_c < H_{m0,i}$.

Giới hạn phạm vi ứng dụng thích hợp trong thực tế: Công trình xây dựng trên bãi biển ở khu vực nước nông ven bờ, phía trước đai RNM thuộc vùng biển Tây của ĐBSCL. Các yếu tố thủy hải văn thiết kế $H_s = 1,00 \div 1,75m$, $T_p = 2 \div 6s$, biên độ triều < 1,2m, cao trình đỉnh đê ngầm rỗng không cọc (khối đế) chọn đặt tại cao trình mực nước trung bình theo tần suất thiết kế ($\approx R_c = 0$). Hệ cọc có cao trình đỉnh không ngập nước, bố trí dạng hoa mai theo qui luật chung là $l_i = b_i = \emptyset = 30cm$.

Ngoài ra, riêng phần khối đế có thể ứng dụng độc lập tương tự như một đê ngầm rỗng, mái nhẵn, có mặt cắt thực dụng hình thang cân, hệ số mái m = 1, diện tích lỗ trên mái nghiêng cho phép nước xuyên qua để giảm thiểu sóng phản xạ chiếm 14% diện tích của mái nghiêng.

3.6. Ứng dụng kết quả nghiên cứu thiết kế công trình thử nghiệm

Ứng dụng kết quả nghiên cứu tính toán và lựa chọn các thông số kỹ thuật cơ bản của công trình đê rỗng phức hợp theo chức năng thiết kế, dựa trên cơ sở khoa học là giá trị hệ số truyền sóng K_t thích hợp cho mục đích trồng cây ngập mặn ven biển tại khu vực cửa cống Kênh Mới, xã Khánh Hải, huyện Trần Văn Thời, tỉnh Cà Mau (công trình thử nghiệm của Đề tài cấp Quốc gia, mã số ĐTĐL.CN-09/17) [24].

3.6.1. Tài liệu viện dẫn

Theo TCVN 9901:2014 "Công trình Thủy lợi - Yêu cầu thiết kế đê biển" [27], xác định được các căn cứ áp dụng để tính toán thiết kế công trình như sau:

 Công trình thuộc dạng tường giảm sóng cho mục đích bảo vệ bãi trước đê, cấp công trình cấp IV, tần suất thiết kế 3,33%.

- Vị trí xây dựng công trình tại mặt cắt số 118 (Phụ lục B) có các cao trình mực nước thiết kế tương ứng với tần suất 3,33% là: Mực nước cao thiết kế Z_{HWL} = +0,77m, mực nước trung bình Z_{MSL} =+ 0,06m, mực nước thấp Z_{LWL} = - 0,73m.

3.6.2. Tính toán chiều cao sóng thiết kế

3.6.2.1 Đặc trưng sóng nước sâu

Sử dụng chuỗi số liệu sóng tại khu vực nước sâu, được tính toán bằng mô hình phân bố sóng toàn cầu WAVEWATCH III [24]. Ba điểm được lựa chọn ngoài khơi khu vực biển Tây của ĐBSCL như sau:

STT	Tên điểm	Kinh độ	Vĩ độ	Thời đoạn số liệu
1	NOAA 1	104°00'00"	9°30'00	2005 - 2018
2	NOAA 2	104°00'00"	9°00'00	2005 - 2018
3	NOAA 3	104°00'00"	8°30'00	2005 - 2018

Bảng 3-1. Thông tin các điểm phân tích số liệu sóng nước sâu.



Hình 3-21. Vị trí phân tích sóng nước sâu (NOAA1, NOAA2, NOAA3).





Hình 3-22. Hoa sóng nước sâu tại 3 vị trí NOAA1, NOAA2, NOAA3.

Các con sóng sẽ được lọc ra để lựa chọn những con sóng có hướng vào bờ biển khu vực xây dựng công trình, được sử dụng làm điều kiện biên cho các tính toán lan truyền sóng từ vùng nước sâu vào vùng nước nông (xem Hình 2-23).



Hình 3-23. Hướng sóng nước sâu tại vị trí NOAA1, NOAA2, NOAA3.

Tham số	Chu kỳ lặp lại (năm)							
	1	5	10	20	30	50	100	
H _s (m)	0,38	1,72	2,07	2,39	2,62	2,78	3,06	
$T_{p}(s)$	2,97	5,63	6,3	6,9	7,0	7,61	8,11	
Vận tốc gió (m/s)	6,52	10,66	11,86	12,95	-	14,29	15,24	

Bảng 3-2. Thông số sóng, gió tại điểm NOAA1.



Hình 3-24. Đường phân bố tần suất sóng nước sâu tại điểm NOAA1.



Hình 3-25. Đường tần suất vận tốc gió ngoài khơi tại điểm NOAA1.

Tham số	Chu kỳ lặp lại (năm)							
	1	5	10	20	30	50	100	
H _s (m)	1,13	2,33	2,48	2,59	2,67	2,72	2,81	
$T_{p}(s)$	5,2	6,73	6,71	6,85	7,00	7,6	8,00	
Vận tốc gió (m/s)	7,89	11,97	13,05	14,02	-	15,19	16,01	

Bảng 3-3. Thông số sóng, gió tại điểm NOAA2.



Hình 3-26. Đường phân bố tần suất sóng nước sâu tại điểm NOAA2.



Hình 3-27. Đường tần suất vận tốc gió ngoài khơi tại điểm NOAA2.

Thom số	Chu kỳ lặp lại (năm)							
	1	5	10	20	30	50	100	
H _s (m)	1,15	1,96	2,13	2,28	2,37	2,44	2,56	
$T_{p}(s)$	5,27	6,39	6,42	6,50	6,70	6,85	7,00	
Vận tốc gió (m/s)	9,50	14,31	14,89	15,36	-	15,88	16,21	

Bảng 3-4. Thông số sóng, gió tại điểm NOAA3.



Hình 3-28. Đường phân bố tần suất sóng nước sâu tại điểm NOAA3.



Hình 3-29. Đường tần suất vận tốc gió ngoài khơi tại điểm NOAA3.

3.6.2.2 Tính toán lan truyền sóng

a. Mô hình tính toán lan truyền sóng

SwanOne là một chương trình sử dụng để biến đổi các điều kiện sóng ngoài khơi vào gần bờ bằng cách sử dụng mô hình SWAN 1Dmode. Nghiên cứu sử dụng chương trình SwanOne trong Phụ lục H của Tiêu chuẩn kỹ thuật Thiết kế đê biển (Ban hành theo Quyết định số 1613/QĐ-BNN-KHCN ngày 09/7/2012 của Bộ trưởng Bộ Nông nghiệp và Phát triển nông thôn) [2] để tính toán như sau.

b. Địa hình đáy biển

SWANONE yêu cầu nhập hoặc cung cấp file dữ liệu địa hình (profile). Đây là file định dạng kiểu ASCII (cụ thể là file txt được tạo trong Notepad). File này cung cấp thông tin về độ sâu đáy. Mặt cắt địa hình phải vuông góc với đường bờ.



Hình 3-30. Mặt cắt ngang địa hình đáy biển sử dụng để tính toán truyền sóng. c. Lan truyền đặc trưng sóng từ điểm NOAA1

Truyền sóng từ điểm NOAA1 vào bờ với các tham số mực nước cao, sóng nước sâu, gió theo chu kì lặp 10, 20, 30, 50 và 100 năm (xem Bång 3-2).



Hình 3-31. Kịch bản 1 (NOAA1) – Mô phỏng trên SWANONE.



Hình 3-32. Phân bố chiều cao sóng lan truyền từ điểm NOAA1.

d. Lan truyền đặc trưng sóng từ điểm NOAA2

Truyền sóng từ NOAA2 vào bờ với các tham số mực nước cao, sóng nước sâu, gió theo chu kì lặp 10, 20, 30, 50 và 100 năm (xem Bång 3-3).



Hình 3-33. Kịch bản 2 (NOAA2) – Mô phỏng trên SWANONE.





e. Lan truyền đặc trưng sóng từ điểm NOAA3

Truyền sóng từ NOAA3 vào bờ với các tham số mực nước cao, sóng nước sâu, gió theo chu kì lặp 10, 20, 30, 50 và 100 năm (xem Bảng 3-4).



Hình 3-35. Kịch bản 3 (NOAA3) – Mô phỏng trên SWANONE.



Hình 3-36. Phân bố chiều cao sóng lan truyền từ điểm NOAA2.

3.6.2.3 Phân tích kết quả tính toán lan truyền sóng

Từ kết quả tính toán lan truyền sóng nước sâu tại 3 vị trí NOOA1, NOOA2, NOOA3 vào vùng nước nông (xem Hình 3-32, Hình 3-34 và Hình 3-36). Ta có đặc trưng sóng thiết kế trước công trình như sau:

Bảng 3-5. Bảng tổng hợp thông số sóng thiết kế trước công trình.

Chu kỳ lặp	NOAA1					
(năm)	10	20	30	50	100	
$H_{s}(m)$	0,960	0,990	1,002	1,020	1,040	
$T_{p}(s)$	5,240	5,490	<u>5,599</u>	5,740	5,840	
	I					
Chu kỳ lặp			NOAA2			
(năm)	10	20	30	50	100	
$H_{s}(m)$	0,980	1,00	<u>1,014</u>	1,030	1,050	
$T_{p}(s)$	5,450	5,470	5,543	5,640	5,700	
	I					
Chu kỳ lặp			NOAA3			
(năm)	10	20	30	50	100	
$H_{s}(m)$	0,960	0,970	0,981	0,990	1,000	
$T_{p}(s)$	5,290	5,360	5,430	5,520	5,590	
	1					

Tóm lại: Thông số sóng lựa chọn để tính toán thiết kế công trình là $H_{m0,i} = 1,01m$, $T_p = 5,59s$. Lấy giá trị lớn nhất trong 3 trường hợp tính lan truyền sóng với chu kỳ lặp lại 30 năm (tương ứng công trình cấp IV, tần suất thiết kế 3,33%).

3.6.3. Xác định các thông số kỹ thuật cơ bản của công trình

3.6.3.1 Cao trình đỉnh hệ cọc giảm sóng

Kết quả nghiên cứu thực nghiệm trên MHVL các trường hợp đê ngầm rỗng có hệ cọc không ngập nước bên trên, hệ cọc tiêu hao từ (10-20)% tổng năng lượng sóng tới (xem Hình 3-10 ÷ Hình 3-14). Áp dụng TCVN 9901-2014 [27], cao trình đỉnh cọc được xem như cao trình đỉnh tường nhô, xác định theo công thức sau:

$$Z_{coc} = Z_{HWL} + 0.5H_{m0,i} + H_l$$
(3-23)

trong đó: $Z_{HWL} = +0,77m$ là cao trình mực nước cao, $H_{mo,i} = 1,01m$ là chiều cao sóng thiết kế ($P_{tk} = 3,33\%$) tại vị trí xây dựng công trình, $H_1 = 0,14m$ là chiều sâu lún tính toán của công trình đê rỗng phức hợp trong thời gian khai thác (tham khảo kết quả tính toán lún của ĐTĐL.CN-09/17) [24].

Thay các giá trị Z_{HWL}, H_{mo,i}, H_l vào PT.(3-23), ta có cao trình đỉnh hệ cọc là:

$$Z_{coc} = 0,77 + 0,5 \times 1,05 + 0,14 = +1,415 \text{m}$$

Chọn cao trình đỉnh hệ cọc là +1,40m.

3.6.3.2 Cao trình đỉnh đê ngầm rỗng

Kết quả nghiên cứu thực nghiệm trên MHVL cho thấy phần thân đê ngầm rỗng có vai trò rất quan trọng trong quá trình tiêu hao năng lượng sóng tới (xem Hình 3-2 ÷ Hình 3-6). Do đó, trong thực tế để phát huy tối đa hiệu quả giảm sóng của công trình đê rỗng phức hợp theo chức năng thiết kế, cao trình đỉnh đê ngầm rỗng không cọc được đặt tại cao trình mực nước trung bình thiết kế (Z_{MSL}), xác định theo tần suất thiết kế $P_{tk} = 3,33\%$ tại vị trí xây dựng công trình, ta có:

$$Z_{d\hat{e}} = Z_{MSL} + H_l = 0,06 + 0,14 = 0,20m$$

Chọn cao trình đỉnh đê ngầm rỗng là +0,20m (dự phòng lún H₁ =0,14m).

3.6.3.3 Tham số thiết kế công trình

Căn cứ vào điều kiện tự nhiên và qui mô công trình cho mục đích giảm sóng, hỗ trợ trồng cây ngập mặn. Các tham số thiết kế công trình có dạng như sau:

Tham số thiết kế công trình	Ký hiệu	Đơn vị	Giá trị
Cấp công trình	Cấp	-	IV
Tần suất thiết kế	P _{tk}	%	3,33
Chiều cao sóng thiết kế	H _{m0,i}	m	1,01
Chu kỳ sóng thiết kế	T _{m-1,0}	S	5,59
Cao trình mực nước trung bình thiết kế (MSL)	Z _{MLS}	m	+ 0,06
Cao trình mực nước cao thiết kế (HWL)	$Z_{\rm HWL}$	m	+ 0,77
Cao trình mực nước thấp thiết kế (LWL)	Z_{LWL}	m	- 0,44
Cao độ địa hình đáy biển	$Z_{ at d {ay bi en}}$	m	- 2,20
Độ sâu nước trước công trình so với MSL	D _{MSL}	m	2,26

Bảng 3-6. Tổng hợp các tham số thiết kế công trình.

Bảng 3-7. Thông số hình học của công trình.

Thông số hình học cơ bản	Công trình đê rỗng phức hợp			
Bề rộng đỉnh đê ngầm rỗng B (m)	1,68	2,28	2,88	3,48
Số hàng cọc bên trên đỉnh đê ngầm (n _c)	2	3	4	5
Cao trình đỉnh cọc Z_{coc} (m)	+ 1,40	+ 1,40	+ 1,40	+ 1,40
Cao trình đỉnh đê ngầm rỗng $Z_{d\hat{e}}$ (m)	+ 0,06	+ 0,06	+ 0,06	+ 0,06
Đường kính cọc \emptyset (m)	0,3	0,3	0,3	0,3
Bề rộng hệ cọc X_b (m)	0,90	1,50	2,10	2,70
Khoảng cách từ cọc đến mép ngoài đỉnh đê ngầm rỗng (m)	0,39	0,39	0,39	0,39
Hệ số mái thân đê ngầm rỗng không cọc	1	1	1	1

Thay thế các thông số thiết kế trong Bảng 3-6 và Bảng 3-7 vào PT.(3-4) và PT.(3-16) ta xác định được các tham số chi phối chính đến quá trình truyền sóng qua công trình đê rỗng phức hợp như sau:

Trường hợp tính	Tham số chi phối chính						
toán	Đê ngầm rỗng không cọc			Hệ cọc			
	R _c /H _{m0,i}	B/H _{m0,i}	s _m =H _{m0,i} /L _p	$(R_{c}+H_{m0,i})/H_{m0}$	X_b/L_p		
$B = 1,68m; n_c = 2$	0	1,663	0,039	1,00	0,034		
$B = 2,28m; n_c = 3$	0	2,257	0,039	1,00	0,057		
$B = 2,88m; n_c = 4$	0	2,851	0,039	1,00	0,080		
$B = 3,48m; n_c = 5$	0	3,446	0,039	1,00	0,103		

Bảng 3-8. Giá trị tính toán các tham số chính chi phối quá trình truyền sóng.

Từ kết quả tính toán các tham số chính chi phối đến quá trình truyền sóng qua công trình đê rỗng phức hợp (xem Bảng 3-8), thay thế vào các PT.(3-4), PT.(3-16) và PT.(23-22), xác định được giá trị hệ số truyền sóng K_t như sau:

Trường hợp tính toán	K ⁰ _t	D _{pr}	K _t
$B = 1,68m; n_c = 2$	0,523	0,077	0,449
$B = 2,28m; n_c = 3$	0,494	0,111	0,373
$B = 2,88m; n_c = 4$	0,472	0,131	0,316
$B = 3,48m; n_c = 5$	0,456	0,142	0,273

Bảng 3-9. Giá trị tính toán hệ số truyền sóng K_t.

Bảng 3-10. Tính toán chiều cao sóng phía sau công trình (H_{s.t}).

Thông số tính toán	Công trình đê rỗng phức hợp					
	B = 1,68m;	B = 3,48m;				
	$n_c = 2$	$n_{c} = 3$	$n_c = 4$	$n_c = 5$		
K _t (-)	0,449	0,373	0,316	0,273		
H _{m0,i} (m)	1,010	1,010	1,010	1,010		
H _{m0,t} (m)	0,453	0,377	0,319	0,275		

Nhận xét chung:

- Khi bề rộng đỉnh đê ngầm rỗng không cọc (B) tăng, thì hệ số truyền sóng K_t^0 giảm. Hiệu quả giảm sóng đạt được thông qua quá trình sóng vỡ, ma sát đáy và dòng chảy thân đê chiếm từ (48-54)% (xem Bảng 3-9).

- Khi số hàng cọc bên trên đỉnh đê ngầm rỗng (n_c) tăng, thì thành phần năng lượng sóng tiêu hao bởi hệ cọc D_{pr} tăng. Năng lượng sóng tiêu hao do hệ cọc nhờ công của lực cản chiếm từ (8-14)% tổng năng lượng sóng tới (xem Bảng 3-9).

- Hệ cọc có vai trò rất quan trọng trong quá trình làm suy giảm chiều cao sóng tới. Ví dụ, xét trường hợp sóng truyền qua đê ngầm rỗng không cọc ($D_{pr} = 0$), để đạt được giá trị $K_t^0 = 0,449$ thì bề rộng đỉnh B = 3,75m >> 1,68m, tương tự để đạt được giá trị $K_t^0 = 0,373$ thì bề rộng đỉnh B = 10,0m >> 2,28m và để đạt được giá trị $K_t^0 = 0,316$ thì bề rộng đỉnh B = 23,70m >> 2,88m,... (xem Bảng 3-9).

- Khi bề rộng đỉnh đê ngầm rỗng (B) và số hàng cọc bên trên (n_c) tăng, thì hiệu quả giảm sóng của công trình đê rỗng phức hợp đạt được khá cao khoảng từ (55-73)% (xem Bảng 3-9). Khi đó, chiều cao sóng phía sau công trình đê rỗng phức hợp ($H_{s,t}$) suy giảm khá nhiều, còn khoảng (0,45-0,28)m (xem Bảng 3-10).

3.6.5. Phân tích lựa chọn phương án công trình thử nghiệm

Cơ sở khoa học và kỹ thuật áp dụng để lựa chọn phương án công trình thử nghiệm cho đề tài ĐTĐL.CN-09/17 [24] như sau:

Theo TCVN 10405:2014 "Công trình Thủy lợi - Đai cây chắn sóng - Khảo sát và Thiết kế" [26] trong Phụ lục E quy định trong điều kiện bình thường, sóng ở khu vực bãi trồng cây ngập mặn < 0,40m.

- Theo nghiên cứu của Trịnh Văn Hạnh (2014) [9], điều kiện sóng thích hợp trồng cây ngập mặn ven biển vùng ĐBSCL nói chung và tại VNC nói riêng để cây tồn tại và sinh trưởng ổn định trong thời gian hai năm đầu < 0,40m.</p>

- Theo kết quả tính toán chiều cao sóng sau công trình đê rỗng phức hợp theo chức năng thiết kế với các phương án hệ cọc bên trên khác nhau (xem Bảng 3-10). Như vậy, phương án công trình đảm bảo điều kiện sóng < 0,40m là trường hợp công trình đê rỗng phức hợp 3 hàng cọc trụ tròn bên trên (xem Hình 3-37).</p>



Hình 3-37. Phối cảnh công trình đê rỗng phức hợp thử nghiệm.

Vị trí xây dựng tại khu vực phía Nam cống Kênh Mới, xã Khánh Hải, huyện Trần Văn Thời, tỉnh Cà Mau (xem Bảng 3-11 và Hình 3-38).





a) Vị trí xây dựng công trình thử nghiệm b) Qui mô công trình $L_{AB} = 200m$ Hình 3-38. Vị trí và qui mô công trình thử nghiệm (ĐTĐL.CN-09/17).

Tọa độ	Vị trí cống Kênh mới	Vị trí điểm A	Vị trí điểm B
Vĩ độ	9° 8'4,51" Bắc	9° 08'10,99" Bắc	9° 08'04,55" Bắc
Kinh độ	104°48'40,33" Đông	104°48'38,53" Đông	104°48'39,58" Đông

Bảng 3-11. Vị trí tọa độ địa lý của công trình thử nghiệm (ĐTĐL.CN-09/17)..

3.7. Kết luận Chương 3

1- Công trình đê rỗng phức hợp nghiên cứu trong luận án có cấu tạo gồm phần thân đê ngầm rỗng kết hợp với hệ cọc trụ tròn bên trên. Từ kết quả nghiên cứu thực nghiệm trên MHVL cho thấy quá trình tiêu hao năng lượng sóng qua công trình đê rỗng phức hợp chịu sự chi phối chính của các tham số sau:

- Phần thân đê ngầm rỗng chịu sự chi phối chủ yếu của 3 tham số là độ sâu ngập nước tương đối của đỉnh đê ($R_c/H_{m0,i}$), bề rộng tương đối của đỉnh đê ($B/H_{m0,i}$) và độ dốc sóng tại vị trí công trình ($s_m = H_{m0,i}/L_m$).

- Phần hệ cọc trụ tròn bên trên chịu sự chi phối chủ yếu của 2 tham số là độ ngập sâu tương đối hay chiều dài phần cọc ngập trong nước ($R_c/H_{m0,i}$) và bề rộng tương đối của hệ cọc (X_b/L_m).

Như vậy, quá trình tương tác và cơ chế tiêu hao năng lượng sóng giữa hai bộ phận này với sóng là khác nhau, khi chiều cao thân đê ngầm rỗng tăng thì năng lượng sóng tiêu hao bởi phần thân đê ngầm rỗng tăng, trong khi của hệ cọc thì lại giảm và ngược lại. Do vậy, cần có những đánh giá, phân tích độc lập về mức độ ảnh hưởng của tham số chi phối để từ đó xây dựng phương pháp tính toán truyền sóng qua công trình đê rỗng phức hợp trong trường hợp tổng quát.

2- Nghiên cứu xây dựng được công thức bán thực nghiệm tính toán hệ số truyền sóng qua công trình đê rỗng phức hợp dạng tổng quát thể hiện rõ quá trình tương tác và cơ chế tiêu hao năng lượng sóng giữa hai bộ phận là thân đê ngầm rỗng và hệ cọc bên trên với sóng là độc lập với nhau. Cụ thể như sau:

- Thân đê ngầm rỗng không cọc: Sử dụng phương pháp phân tích hồi qui với bộ số liệu thí nghiệm (40 kịch bản trường hợp hiện trạng, 100 kịch bản trường hợp đê ngầm rỗng không cọc) xây dựng được công thức thực nghiệm tính toán hệ số truyền sóng qua đê ngầm rỗng không cọc - xem PT.(3-4).

- Hệ cọc bên trên: Xuất phát từ các phương trình tiêu hao năng lượng sóng kết hợp với bộ số liệu thực nghiệm (100 kịch bản trường hợp đê ngầm rỗng không cọc, 100 kịch bản trường hợp đê ngầm rỗng có hệ cọc bên trên cùng điều kiện thí nghiệm sóng). Sử dụng phương pháp phân tích hồi qui với bộ số liệu thí nghiệm, xây dựng được 2 công thức bán thực nghiệm tính toán thành phần năng lượng sóng tiêu hao tương đối bởi hệ cọc bên trên - xem PT.(3-15) hoặc PT.(3-16).

- Đê rỗng phức hợp: Xuất phát từ các phương trình cân bằng năng lượng sóng xét cho các trường hợp đê ngầm rỗng không cọc và có hệ cọc bên trên kết hợp với bộ số liệu đo đạc thực nghiệm (100 kịch bản trường hợp đê ngầm rỗng không cọc, 100 kịch bản trường hợp đê ngầm rỗng có hệ cọc bên trên cùng điều kiện thí nghiệm sóng, 60 kịch bản trường hợp đê ngầm rỗng có hệ cọc bên trên nhưng khác điều kiện sóng thí nghiệm). Sử dụng phương pháp phân tích hồi qui với bộ số liệu thí nghiệm, xây dựng được công thức bán thực nghiệm tính toán hệ số truyền sóng qua công trình đê rỗng phức hợp dạng tổng quát - xem PT.(3-22).

- Các PT.(3-4), PT.(3-15), PT.(3-16) và PT.(3-22) được xây dựng có đầy đủ cơ sở khoa học, đảm bảo độ tin cậy và có khả năng ứng dụng vào trong thực tiễn để tính toán xác định hệ số truyền sóng qua đê ngầm cọc có cấu tạo phức hợp.

3- PT.(3-22) chính là cở sở khoa học để đánh giá chức năng giảm sóng cho dạng công trình đê rỗng phức hợp nghiên cứu trong luận án này.

4- Úng dụng kết quả nghiên cứu để tính toán và lựa chọn phương án công trình đê rỗng phức hợp theo chức năng thiết kế cho mục đích giảm sóng trồng cây ngập mặn tại bờ biển khu vực cửa cống Kênh Mới, xã Khánh Hải, huyện Trần Văn Thời, tỉnh Cà Mau (công trình thử nghiệm của đề tài 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 độc lập cấp Nhà nước, mã số ĐTĐL.CN-09/17) [24].

KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

1. Kết quả đạt được của luận án

1- Luận án đã tổng quan các thành tựu nghiên cứu trên thế giới và trong nước về hệ số truyền sóng của các loại công trình ĐGS và trong chức năng bảo vệ biển. Bằng phương pháp phân tích thống kê, kế thừa có chọn lọc, đã khái quát được những vấn đề KH-CN còn tồn tại hiện nay nếu áp dụng cho dạng bờ biển bùn RNM bị xói lở như tại VNC. Từ sự phân tích đánh giá các đặc điểm về điều kiện tự nhiên, địa hình, địa chất, đặc trưng về khí hậu, khí tượng, thủy-hải văn, hệ sinh thái RNM, nguyên nhân gây xói lở bờ biển và mục tiêu cần bảo vệ, luận án đã nghiên cứu đề xuất được giải pháp công trình giảm sóng có cấu trúc phức hợp (gọi là công trình đê rỗng phức hợp). Công trình có dạng lấp ghép linh hoạt bằng các cấu kiện bê tông đúc sẵn định hình để bảo vệ bờ biển bùn RNM bị xói lở từ MCM đến HT và xây dựng công thức bán thực nghiệm dạng tổng quát tính toán xác định hệ số truyền sóng của công trình phù hợp với điều kiện tự nhiên vùng biển Tây của ĐBSCL.

2- Nghiên cứu đã sử dụng lý thuyết năng lượng sóng kết hợp nghiên cứu thực nghiệm MHVL để phân tích, đánh giá và định lượng đầy đủ được các thành phần năng lượng sóng tiêu hao khi truyền qua công trình đê rỗng phức hợp. Kết quả nghiên cứu đã xây dựng được phương pháp đánh giá chức năng giảm sóng cho công trình đê rỗng phức hợp thông qua hệ số truyền sóng K_t với đầy đủ cơ sở khoa học minh chứng, đảm bảo độ tin cậy và có khả năng ứng dụng vào trong thực tiễn.

3- Ứng dụng kết quả nghiên cứu của luận án đánh giá chức năng giảm sóng của công trình đê rỗng phức hợp cho mục đích trồng cây ngập mặn tại bờ biển khu vực cửa cống Kênh Mới, xã Khánh Hải, huyện Trần Văn Thời, tỉnh Cà Mau (công trình thử nghiệm của Đề tài cấp Quốc gia, mã số ĐTĐL.CN-09/17) [24].

2. Những đóng góp mới của luận án

1- Nghiên cứu đề xuất được giải pháp công trình đê rỗng phức hợp, lắp ghép linh hoạt bằng các cấu kiện bê tông đúc sẵn định hình. Trong đó, phần khối đế là một thân đê ngầm rỗng, tiêu hao năng lượng sóng thông qua quá trình sóng vỡ, ma sát và dòng chảy thân đê, phần hệ cọc bên trên đỉnh đê ngầm tiêu hao năng lượng sóng nhờ công của lực cản. Tính mới và trình độ sáng tạo của giải pháp công trình này chính là việc đề xuất bố trí linh hoạt thêm hệ cọc bên trên đỉnh đê ngầm để tăng hiệu quả giảm sóng của đê ngầm, nhưng không ngăn cản hoàn toàn sự lưu thông của nước qua tuyến đê, giúp duy trì các quá trình trao đổi chất, trao đổi nước bên trong và ngoài tuyến đê, giảm thiểu các tác động xấu đến môi trường tự nhiên vùng phụ cận, đồng thời còn có khả năng gây bồi, tạo bãi, hỗ trợ bảo tồn hay tái sinh hệ sinh thái RNM phía biển Tây của ĐBSCL, kết cấu công trình phù hợp với địa chất nền bùn mềm yếu khả năng chịu tải kém, thi công lấp đặt nhanh, giá thành hợp lý, có khả năng luân chuyển tái sử dụng (xem Hình 2-8 và Hình 3-37).

2- Xây dựng được phương pháp và thiết lập được công thức tổng quát dạng bán thực nghiệm lượng hóa hệ số truyền sóng của công trình gắn với điều kiện tự nhiên vùng biển Tây của ĐBSCL.

$$\mathrm{K_{t}} = \sqrt{\mathrm{K_{t}^{0^{2}}} - m.\,\mathrm{D_{pr}}}$$

trong đó:

 K_t là hệ số truyền sóng của công trình đê rỗng phức hợp.

 K_t^0 là hệ số truyền sóng của thân đê ngầm rỗng không cọc, xác định theo công thức thực nghiệm như sau:

$$K_{t}^{0} = 0.18 \left(\frac{R_{c}}{H_{m0,i}}\right) + 0.58 \left(\frac{B}{H_{m0,i}}\right)^{-0.19} \cdot \left(1 - e^{-1/\sqrt{s_{m}}}\right)$$

 D_{pr} là thành phần năng lượng sóng tương đối tiêu hao bởi hệ cọc bên trên, được xác định theo công thức bán thực nghiệm như sau:

$$D_{pr} = 0.153 \tanh \left[20.6 \frac{(R_c + H_{m0,i})}{H_{m0,i}} \cdot \frac{X_b}{L_m} \right]$$

Hoặc khi sử dụng giá trị T_p thay vì $T_{m-1,0}$ (tức là L_p thay vì L_m) thì D_{pr} xác định theo công thức bán thực nghiệm như sau:

$$D_{pr} = 0.152 \tanh \left[16.3 \frac{(R_c + H_{m0,i})}{H_{m0,i}} \cdot \frac{X_b}{L_p} \right]$$

Hệ số mô hình *m* được hiệu chỉnh với các số liệu thực nghiệm nhằm kể đến ảnh hưởng của sóng phản xạ và các sai lệch do các giả thiết đã nêu khác trong quá trình xây dựng công thức, m = 0.94.

trong đó: $H_{m0,i}$ là chiều cao sóng tới trước công trình theo phân tích phổ (m), s_m là độ dốc sóng tại vị trí công trình, R_c là độ sâu ngập nước của đỉnh đê ngầm rỗng không cọc (m), B là bề rộng của đỉnh đê ngầm rỗng không cọc (m), X_b là bề rộng của hệ cọc bên trên đỉnh đê ngầm rỗng (m), L_m là chiều dài sóng theo chu kỳ đặc trưng phổ (m), L_p là chiều dài sóng theo chu kỳ đỉnh phổ (m).

Giới hạn phạm vi ứng dụng theo điều kiện thí nghiệm: $0 \le R_c/H_{m0,i} \le 2,459$; $0,713 \le B/H_{m0,i} \le 3,803$; $0,020 \le s_m \le 0,047$; $1,0 \le (R_c+H_{m0,i})/H_{m0,i} \le 3,459$; $0,010 \le X_b/L_m \le 0,087$; $0,012 \le X_b/L_p \le 0,118$; $0 \le R_c < H_{m0,i}$.

Giới hạn phạm vi ứng dụng thích hợp trong thực tế: Công trình xây dựng trên bãi biển ở khu vực nước nông ven bờ, phía trước đai RNM thuộc vùng biển Tây của ĐBSCL. Các yếu tố thủy hải văn thiết kế $H_s = 1,00 \div 1,75m$, $T_p = 2 \div 6s$, biên độ triều < 1,2m, cao trình đỉnh đê ngầm rỗng không cọc (khối đế) chọn đặt tại cao trình mực nước trung bình theo tần suất thiết kế ($\approx R_c = 0$). Hệ cọc có cao trình đỉnh không ngập nước, bố trí dạng hoa mai theo qui luật chung là $l_i = b_i = \emptyset = 30cm$.

Ngoài ra, riêng phần khối đế có thể ứng dụng độc lập tương tự như một đê ngầm rỗng, mái nhẵn, có mặt cắt thực dụng hình thang cân, hệ số mái m = 1, diện tích lỗ trên mái nghiêng cho phép nước xuyên qua để giảm thiểu sóng phản xạ chiếm 14% diện tích của mái nghiêng.

3. Tồn tại và hướng phát triển

1- Những tồn tại: Tiêu hao năng lượng sóng qua hệ cọc còn phụ thuộc vào mật độ cọc hay độ rỗng của hệ cọc (khoảng cách giữa các cọc), đường kính cọc. Tuy nhiên, trong thí nghiệm MHVL tham số này được giữ cố định. Do vậy không được xem xét một cách trực tiếp ở đây, mà gián tiếp nằm trong các thông số khác.

2- Hướng phát triển

 Nghiên cứu đánh giá chức năng giảm sóng cho công trình đê rỗng phức hợp với hệ cọc bên trên có tiết diện không tròn hay với các qui luật bố trí khác nhau. Nghiên cứu giảm thiểu dao động của hệ cọc ảnh hưởng đến kết cấu công trình do tác động của sóng biển.

 Nghiên cứu các vấn đề kỹ thuật liên quan đến ổn định tổng thể (lún, trượt, lật, đẩy nổi) và kết cấu công trình.

4. Kiến nghị

1- Bổ sung các đóng góp mới của luận án vào các tài liệu dùng để tham khảo hướng dẫn thiết kế công trình ĐGS ở nước ta, hay các tài liệu có thể dùng để tham khảo và giới thiệu trong giảng dạy chuyên ngành cho sinh viên.

2- Tiếp tục nghiên cứu đánh giá chức năng giảm sóng của công trình đê rỗng phức hợp sử dụng các loại cọc có tiết diện không tròn (tam giác, vuông, chữ nhật,...) và cách bố trí hệ cọc bên trên theo các quy luật khác.

3- Nghiên cứu đánh giá hiệu quả gây bồi của công trình đê rỗng phức hợp.

DANH MỤC CÁC CÔNG TRÌNH ĐÃ CÔNG BỐ

1. Nguyen Anh Tien, Thieu Quang Tuan (2019), "Wave damping efficiency of porous piled dikes on a mangrove foreshore", *Proceedings of the 10th International Conference on Asian and Pacific Coasts (APAC 2019) Hanoi, Vietnam, September 25-28, 2019*, pp. 863-868. (https://doi.org/10.1007/978-981-15-0291-0_118).

2. Nguyễn Anh Tiến (2019), "Nghiên cứu mức độ ảnh hưởng của các tham số chi phối và xây dựng phương pháp tính toán truyền sóng qua đê ngầm cọc phức hợp có kết cấu mới, phi truyền thống", *Tạp chí Khoa học và Công nghệ Biển, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam (ISSN:1859-3097)*, Tập 19, Số 4, trang 611-625. (https://doi.org/10.15625/1859-3097/19/4/13080).

3. **Nguyễn Anh Tiến** (2019), "Nghiên cứu xây dựng công thức bán thực nghiệm tính toán hiệu quả giảm sóng của giải pháp đê ngầm cọc phức hợp ứng dụng cho bờ biển từ mũi Cà Mau đến Hà Tiên", *Tạp chí Nông nghiệp và Phát triển Nông thôn, Bộ Nông nghiệp và Phát triển nông thôn (ISSN:1859-4581)*, Số 3+4 (02-2019), trang 194-202.

4. Lê Đức Vĩnh, Nguyễn Anh Tiến, Lieou Kiến Chinh (2018), "Nghiên cứu chế độ sóng vùng biển từ mũi Cà Mau đến Kiên Giang", *Tạp chí khoa học và Công nghệ Thủy Lợi, Viện Khoa học Thủy lợi Việt Nam (ISSN:1859-4255)*, Số 47 (9-2018), trang 72-86.

5. Nguyễn Anh Tiến, Trịnh Công Dân, Lại Phước Quí, Thiều Quang Tuấn (2018), "Nghiên cứu xây dựng phương pháp tính toán hệ số truyền sóng qua đê ngầm dạng rỗng bằng mô hình vật lý", *Tạp chí khoa học và Công nghệ Thủy Lợi, Viện Khoa học Thủy lợi Việt Nam (ISSN:1859-4255)*, Số 46 (08-2018), trang 24-34.

6. Nguyễn Anh Tiến, Trịnh Công Dân, Thiều Quang Tuấn, Tô Văn Thanh (2018), "Cơ sở khoa học xây dựng phương pháp tính toán truyền sóng qua đê ngầm cọc phức hợp", *Tạp chí khoa học và Công nghệ Thủy Lợi, Viện Khoa học Thủy lợi Việt* Nam (ISSN:1859-4255), Số 46 (8-2018), trang 81-87.
TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Tài liệu tham khảo trong nước

- [1] Nguyễn Tuấn Anh (2019), Nghiên cứu tác dụng giảm sóng của rừng cây ngập mặn ven biển Bắc Bộ phục vụ qui hoạch và thiết kế đê biển, Luận án Tiến sĩ kỹ thuật, Viện Khoa học Thủy lợi Việt Nam, Hà Nội.
- [2] Bộ Nông nghiệp và Phát triển Nông thôn (2012), Tiêu chuẩn kỹ thuật thiết kế đê biển ban hành theo Quyết định số 1613/QĐ-BNN-KHCN ngày 09/7/2012 của Bộ Nông nghiệp và Phát triển Nông thôn, Hà Nội.
- [3] Lê Thanh Chương và nnk (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.
- [4] Lê Thanh Chương và nnk (2018), 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.
- [5] Lê Thanh Chương, Nguyễn Duy Khang, Lê Mạnh Hùng (2018), "Kết quả tính sóng, nước dâng 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), Số 49 (11-2018), trang 53-62.
- [6] Lê Thanh Chương, Trần Bá Hoằng (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), trang 10-22.
- [7] 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.

- [8] Doãn Tiến Hà (2015), Nghiên cứu biến động bãi do tác động của công trình giảm sóng, tạo bồi cho khu vực Hải Hậu – Nam Định, Luận án Tiến sĩ kỹ thuật, Viện Khoa học Khí tượng Thủy văn và Biến đổi khí hậu, Hà Nội.
- [9] Trịnh Văn Hạnh (2014), Kỹ thuật trồng cây ngập mặn. Báo cáo Hội thảo "Giải Pháp Kỹ Thuật Chống Xói Lở Bờ Biển Trong Điều Kiện Biến Đổi Khí Hậu" do Tổng cục Thủy lợi tổ chức ngày 01/7/2014 tại Bạc Liêu.
- [10] 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.
- [11] 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.
- [12] Lương Phương Hậu, Trần Đình Hợi (2003), Lý thuyết thí nghiệm mô hình công trình thủy, Nhà xuất bản Xây Dựng, Hà Nội.
- [13] Nguyễn Xuân Hùng (1999), Động lực học công trình biến, Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật, Hà Nội.
- [14] Nguyễn Văn Lập, Tạ Thị 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, Số 3(1), trang 01-09.
- [15] 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 Hội thảo "Giải Pháp Kỹ Thuật Chống Xói Lở Bờ Biển Trong Điều Kiện Biến Đổi Khí Hậu" do Tổng cục Thủy lợi tổ chức ngày 01/7/2014 tại Bạc Liêu.
- [16] Nguyễn Khắc Nghĩa và nnk (2009), Nghiên cứu giải pháp khoa học công nghệ xây dựng đê biển chống được bão cấp 12, triều cường, Đề tài cấp Bộ Nông nghiệp và Phát triển Nông thôn, Viện Khoa học Thủy lợi Việt Nam, Hà Nội.
- [17] Nguyễn Khắc Nghĩa và nnk (2013), Nghiên cứu cơ sở khoa học và đề xuất giải pháp tổng thể để ổn định vùng bờ biển Nam định từ cửa Ba lạt đến cửa Đáy, Đề tài KHCN cấp Nhà nước, mã số ĐTĐL.2010T/28, Viện Khoa học Thủy lợi Việt Nam, Hà Nội.

- [18] Nguyễn Hữu Nhân và nnk (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 KHCN độc lập cấp Nhà nước, mã số ĐTĐL.2011-T/43, Viện Kỹ thuật Biển, Tp. Hồ Chí Minh.
- [19] 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), trang 4-18.
- [20] Schmitt, Thorsten Albers, Đinh Công Sản (2013), Hướng dẫn quản lý bờ biển:
 Bảo vệ bờ biển ở Đồng Bằng Sông Cửu Long, GIZ tại Việt Nam.
- [21] Sở Nông nghiệp và Phát triển Nông Thôn tỉnh Cà Mau (2017), Các giải pháp chống sạt lở tỉnh Cà Mau, Báo cáo Hội thảo "Giải pháp Phòng chống sạt lở tỉnh Cà Mau" do Tổng cục Phòng chống Thiên tai – Bộ Nông nghiệp và Phát triển Nông thôn tổ chức ngày 22/11/2017 tại Cà Mau.
- [22] Lương Văn Thanh và nnk (2012), Nghiên cứu và thử nghiệm công nghệ kè tạo bãi để phòng chống sạt lở đê biển Tây, Đề tài KHCN cấp tỉnh Cà Mau, Viện Kỹ thuật Biển, Tp. Hồ Chí Minh.
- [23] Trần Quốc Thưởng (2005), Thí nghiệm mô hình Thủy lực công trình, Nhà xuất bản Xây Dựng, Hà Nội.
- [24] Nguyễn Anh Tiến và nnk (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 KHCN độc lập cấp Nhà nước, mã số ĐTĐL.CN-09/17, Viện Khoa học Thủy lợi Việt Nam, Hà Nội.
- [25] Nguyễn Viết Tiến (2015), Nghiên cứu hiệu quả của đê ngầm đến quá trình tiêu hao năng lượng sóng tác động vào bờ biển Việt Nam, Luận án Tiến sĩ kỹ thuật, Trường đại học Thủy lợi Hà Nội, Hà Nội.
- [26] Tiêu chuẩn quốc gia, TCVN 10405:2014 "Công trình thủy lợi Đai cây chắn sóng - Khảo sát và thiết kế", Hà Nội.
- [27] Tiêu chuẩn quốc gia, TCVN 9901:2014 "Công trình TL Yêu cầu thiết kế đê biển", Hà Nội.

- [28] 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 vùng ĐBSCL, Hội nghị Phòng chống thiên tai khu vực miền Nam và giải pháp kỹ thuật phòng chống sạt lở bờ sông, bờ biển vùng ĐBSCL ngày 26/7/2018 tại Tp. Cần Thơ.
- [29] Lưu Thành Trung, Vũ Văn Phái, Vũ Tuấn Anh (2014), "Đặc điểm địa mạo dải 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*, Tập 30, Số 3 (2014), trang 55-72.
- [30] Nguyễn Thành Trung và nnk (2014), Nghiên cứu thực nghiệm xác định nguyên tắc bố trí không gian hợp lý công trình ngăn cát giảm sóng bảo vệ đê biển và bờ biển Bắc Bộ và Bắc Trung Bộ, Đề tài KHCN cấp Bộ Nông nghiệp và Phát triển Nông thôn, Hà Nội.
- [31] Lê Xuân Tú và nnk (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 KHCN độc lập cấp Nhà nước, ĐTĐL.CN-07/17, Viện Khoa học Thủy lợi Việt Nam, Hà Nội.
- [32] Thiều Quang Tuấn, Đinh Công Sản, Lê Xuân Tú, 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, Viện Khoa học Thủy lợi Việt* Nam (ISSN:1859-4255), Số 49 (11-2018), trang 95-102.
- [33] Von Lieberman (2011), Thiết kế chi tiết của đê chắn sóng cọc tre, Dự án Quản lý nguồn tài nguyên thiên nhiên vùng ven biển tỉnh Sóc Trăng, Việt Nam.

2. Tài liệu tham khảo nước ngoài

- [34] Abdul Khader M.H. and Rai, S.P. (1980), "A study of submerged breakwaters", *Journal of Hydraulic Research*, Vol. 18, No. 2, pp. 113-121.
- [35] Ahrens, J. P. (1987), "Characteristics of reef breakwaters. Coastal Engineering Research Center", *Tech. Report.* CERC-87-17, 45p. and appendices.
- [36] Allsop, N.W.H. (1983), "Low-crested breakwaters, studies in random waves", *Proceedings Coastal Structures '83*, Arlington, Virginia, pp. 94-107.

- [37] Çağdaş Bilici (2014), A Model Study on Wave Transmission through Pile Breakwaters, Master of Science in Civil Engineering Department, Middle East Technical University.
- [38] 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.
- [39] 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.
- [40] 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. 2418-2426.
- [41] Daemen, I.E.R. (1991), Wave transmission at low crested breakwaters, MS Thesis. Delft University of Technology, Delft, The Netherlands.
- [42] 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 (in German).
- [43] David L. Kriebel và Chad A. Bollmann (1995), "Wave Transmission Past Vertical Wave Barriers" *Coastal Engineering Proceedings*, pp. 2470-2481.
- [44] DELOS-US (2004), Environmental design of low-crested coastal defence structures, Final Project Report, EU fifth framework program 1998÷2002 (DELOS - US, 2004).
- [45] Envieronmnet and Sustainable Development, Environment Design of Low Creste Coastal Defence Structures. Deliverable 43, *Structural Desine Report for LCS Final Report*, EU Fifth Framework Programme 1998-2002 Energy (DELOS Delivery No 43).

- [46] Ferrant, V. (2007), Spectral analysis of wave transmission behind submerged breakwaters, PhD thesis, Italy.
- [47] Goda, Y. (1969), "Re-analysis of laboratory data on wave transmission over breakwaters", *Report of The Port and Harbour Research Institute*, Vol. 18, No. 3, pp. 3-18.
- [48] 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.
- [49] Gironella, X., Sanchez-Arcilla, A. (1999), "Hydrodynamic behaviour of submerged breakwaters. Some remarks based on experimental results", *Proc. Coastal Structures* '99, ASCE, pp. 891-896.
- [50] Hayashi, T., Hattori, M., Shirai, M. (1968), "Closely spaced pile breakwater as a protection structure against beach erosion", *Coastal Engineering Proceedings*, 1(11).
- [51] Hayashi, T., Kano, T. (1966), "Hydraulic Research on Closely Spaced Pile Breakwaters", *Proceedings of the 10th Coastal Engineering Conference*, Vol. II, Chapter 50, pp. 873-884.
- [52] Herbich, J.B., Douglas, B. (1988), "Wave Transmission through a Double row pipe Breakwater", Ch. 169, Proc. 20th International Conference on Coastal Engineering, ASCE, Taipei, Taiwan, pp. 2303-2313.
- [53] Hirose, N., Watanuki, A., Saito, M. (2002), "New type units for artificial reef development of eco-friendly artificial reefs and the effectiveness thereof", *Proceedings 30th International Navigation Congress*, PIANC.
- [54] http://www.delos.unibo.it/
- [55] https://gow.epsrc.ukri.org/NGBOViewGrant.aspx?GrantRef=EP/C013085/1
- [56] John B. Herbich (1999), Offshore (Detached) Breakwaters, Hanbook of Coastal Engineering, Chapter 5.
- [57] Johnson, J.W., Fuchs, R.A. and Morison, J.R. (1951), "The damping action of submerged breakwaters, Transactions", *American Geophysical Union*, Vol. 32, No. 5, pp. 704-718.

- [58] Jonh R.Hsu, Takaaki Uda, Richard Silvester (1999), Shoreline Protection Methods - Japanese Exeperience, *Hanbook of Coastal Engineering*, Chapter 9.
- [59] Koftis, Th., Spyrou, D., Prinos, P., Karambas, Th. (2012), "Numerical and Experimental Study of a Multiple - Row Pile Breakwater", 6th SCACR – International Short Course/Conference on Applied Coastal Research.
- [60] MATLAB: MATrix LABoratory (R2007b).
- [61] Melito, I., Melby, J.A. (2002), "Wave runup, transmission, and reflection for structures armoured with CORE-LOC", *Coastal Engineering*, (45), pp. 33-52.
- [62] Mojtaba Tajziehchi (2006), Experimental and Numerical Modelling of Wave-Induced Current and Wave Transformation in Present of Submerged Breakwaters. A thesis submitted in fulfillment of the requirements for the degree of Doctor of Philosophy, School of Civil and Environmental Engineering, The University of New South Wales, Australia.
- [63] Norzana Mohd Anuar and Faridah Jaffar Sidek (2012), "Wave Characteristics Around Perforated Piles in a Two Rows" *Malaysian Journal of Civil Engineering*, 24(1), pp. 48-66.
- [64] Powell, K.A., Allsop, J.P. (1985), "Low-crest breakwaters, hydraulic performance and stability", *Hydraulics research, Report SR 57*, Wallingford.
- [65] Rivero, F.J., Sánchez-Arcilla, A. Gironella, X. and Corrons, A. (1997),
 "Large-scale hydrodynamic experiments on submerged breakwaters", *Proc. Coastal Dynamics* '97, ASCE, pp. 754-763.
- [66] 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.
- [67] 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.
- [68] Sonia y. El Serafya, Yasser E. Mostafab, Yasser M. EL Saiec, Christena F. Gadd (2015), "Investigating the Energy Dissipation Capability of Solid Piles

Breakwater", International Journal of Sciences: Basic and Applied Research (IJSBAR) (2015), Volume 24, No 2, pp. 1-13.

- [69] Tomasichio, G.R, D'Alessandro, F. (2013), "Wave energy transmission through and over low crested breakwaters", *Journal of coastal Reseach*, Special Issue No.65. 2013.
- [70] Truitt, C., Herbich, J. (1987), "Transmission of random waves through pile breakwaters", *Coastal Engineering Proceedings*, 1(20).
- [71] Van der Meer, J.W. (1988), *Rock slopes and gravel beaches under wave attack*, Ph.D. Thesis. Delft University of Technology, Delft, The Netherlands.
- [72] Van der Meer, J.W. (1990), "Data on wave transmission due to overtopping", *Delft Hydraulics Report No. H986*, prepared for CUR C67.
- [73] 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.
- [74] 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.
- [75] Wiegel, R. L. (1960), "Transmission of waves Past a Rigid Vertical Thin Barrier", J. Waterway, Port, Coastal and Ocean Eng., Vol. 86, No. 1, pp. 1-12.
- [76] Wiegel, R.L. (1961), "Closely Spaced Piles as a Breakwater", Dock and Harbour Authority, Vol. 42, No. 491, Sept. 1961.
- [77] Zelt, J.A. and Skjelbreia, J.E. (1992), "Estimating incident and reflected wave fields using an arbitrary number of wave gauges", *Proc. 23rd Int. Conf. Coastal Eng.*, ASCE, pp. 777-789.

CÁC PHỤ LỤC

Phụ lục 1. Nghiên cứu lập trình MATLAB xây dựng các công thực thực nghiệm và bán thực nghiệm trong luận án

```
clear all;
clc;
g=9.81;
rho=1000;
nuy=1.17E-06;
tanalp=1;
prompt = { '1-Submerged dike transmission only 2-Piles Energy dissipation
& Drag coef. C D 3-Dike and piles transmission'};
 dlg title = 'Wave transmission analysis option';
 def={'3'};
 Inparm = inputdlg(prompt,dlg title,1,def,'off');
 if length(Inparm)>0
 opt= str2num(Inparm{1});
  %nt= str2num(Inparm{2});
  %plt= str2num(Inparm{3});
 end
if opt==1
Adat=load('D:\testMatb\wavedata all.DAT');
d=Adat(:,1);
B=Adat(:,2);
npr=Adat(:,3);%number of pile rows
HmOi=Adat(:,4); %gage 5
Tp=Adat(:,5);
Tm=Adat(:,6);%Tm-1,0
HmOt=Adat(:,7);%gage 6
clear Adat;
Kt=HmOt./HmOi;
Rc=d-0.2;%freeboard
Rc=round(Rc*1e3)/1e3;
km=DISPER(2*pi./Tm,d);
Lm=2*pi./km;
kp=DISPER(2*pi./Tp,d);
Lp=2*pi./kp;
Lom=g/2/pi*Tm.^2;
Lop=g/2/pi*Tp.^2;
som=Hm0i./Lom;
sm=HmOi./Lm;
sp=Hm0i./Lp;
sop=Hm0i./Lop;
Csiom=tanalp./sqrt(som);
Csiop=tanalp./sqrt(sop);
figure(1);
plot(Hm0i(B==0)./d(B==0),Kt(B==0),'ob',...
HmOi(B==0.112&npr==0)./d(B==0.112&npr==0),Kt(B==0.112&npr==0),'sr',...
HmOi(B==0.152&npr==0)./d(B==0.152&npr==0),Kt(B==0.152&npr==0),'>k',...,
HmOi(B==0.192&npr==0)./d(B==0.192&npr==0),Kt(B==0.192&npr==0),'<m',...
HmOi(B==0.232&npr==0)./d(B==0.232&npr==0),Kt(B==0.232&npr==0),'dg');
xlabel('H {m0,i}/d (-)','fontsize',9);
ylabel('K t (-) ','fontsize',9);
figure(2);
plot(Rc(B==0.112&npr==0)./Hm0i(B==0.112&npr==0),Kt(B==0.112&npr==0),'sr',
Rc(B==0.152&npr==0)./HmOi(B==0.152&npr==0),Kt(B==0.152&npr==0),'>k',...,
```

```
Rc(B==0.192&npr==0)./HmOi(B==0.192&npr==0),Kt(B==0.192&npr==0),'<m',...
Rc(B==0.232&npr==0)./HmOi(B==0.232&npr==0),Kt(B==0.232&npr==0),'dg');
legend('B = 0.112 m, n c = 0', 'B = 0.152 m, n c = 0', 'B = 0.192 m, n c =
0', 'B = 0.232 \text{ m}, \text{ n c} = 0');
xlabel('R c/H \{m0,\overline{i}\} (-)','fontsize',9);
ylabel('K t (-) ','fontsize',9);
figure(3);
plot(B(B>0&Rc==0&npr==0)./Lm(B>0&Rc==0&npr==0),Kt(B>0&Rc==0&npr==0),'bo',
. . .
B(B>0&Rc==0.05&npr==0)./Lm(B>0&Rc==0.05&npr==0),Kt(B>0&Rc==0.05&npr==0),'
sr',...
B(B>0&Rc==0.10&npr==0)./Lm(B>0&Rc==0.10&npr==0),Kt(B>0&Rc==0.10&npr==0),'
>k',...
B(B>0&Rc==0.15&npr==0)./Lm(B>0&Rc==0.15&npr==0),Kt(B>0&Rc==0.15&npr==0),'
dg');
legend('Rc = 0 m, n_c = 0', 'Rc = 0.05 m, n_c = 0', 'Rc = 0.10 m, n_c =
0', 'Rc = 0.15 m, n c = 0');
xlabel('B/L_{m} (-)','fontsize',9);
ylabel('K t (-) ','fontsize',9);
figure(4);
plot(B(B>0&Rc==0&npr==0)./Lp(B>0&Rc==0&npr==0),Kt(B>0&Rc==0&npr==0),'bo',
. . .
B(B>0&Rc==0.05&npr==0)./Lp(B>0&Rc==0.05&npr==0),Kt(B>0&Rc==0.05&npr==0),'
sr',...
B(B>0&Rc==0.10&npr==0)./Lp(B>0&Rc==0.10&npr==0),Kt(B>0&Rc==0.10&npr==0),'
>k',...
B(B>0&Rc==0.15&npr==0)./Lp(B>0&Rc==0.15&npr==0),Kt(B>0&Rc==0.15&npr==0),'
dg');
legend('Rc = 0 m, n c = 0', 'Rc = 0.05 m, n c = 0', 'Rc = 0.10 m, n c =
0', 'Rc = 0.15 m, n c = 0');
xlabel('B/L {p} (-)','fontsize',9);
ylabel('K t (-) ','fontsize',9);
figure(5);
plot (B(B>0&Rc==0&npr==0)./Hm0i(B>0&Rc==0&npr==0),Kt(B>0&Rc==0&npr==0),'bo
',...
B(B>0&Rc==0.05&npr==0)./Hm0i(B>0&Rc==0.05&npr==0),Kt(B>0&Rc==0.05&npr==0)
,'sr',...
B(B>0&Rc==0.10&npr==0)./Hm0i(B>0&Rc==0.10&npr==0),Kt(B>0&Rc==0.10&npr==0)
,'>k',...
B(B>0&Rc==0.15&npr==0)./Hm0i(B>0&Rc==0.15&npr==0),Kt(B>0&Rc==0.15&npr==0)
,'dg');
legend('Rc = 0
               m, n c = 0', 'Rc = 0.05 m, n c = 0', 'Rc = 0.10 m, n c =
0', 'Rc = 0.15 m, n c = 0');
xlabel('B/L {m} (-)', 'fontsize',9);
ylabel('K t (-) ','fontsize',9);
figure(6);
subplot(1,2,1);
plot(sm(B==0.112&Rc==0&npr==0),Kt(B==0.112&Rc==0&npr==0),'bo',...
     sm(B==0.112&Rc==0.05&npr==0),Kt(B==0.112&Rc==0.05&npr==0),'sr',...
     sm(B==0.112&Rc==0.10&npr==0),Kt(B==0.112&Rc==0.10&npr==0),'>k',...
     sm(B==0.112&Rc==0.15&npr==0),Kt(B==0.112&Rc==0.15&npr==0),'dq');
xlabel('s {0m} (-)', 'fontsize', 9);
ylabel('K t (-) ','fontsize',9);
subplot(1,2,2);
plot(sm(B==0.152&Rc==0&npr==0),Kt(B==0.152&Rc==0&npr==0),'bo',...
     sm(B==0.152&Rc==0.05&npr==0),Kt(B==0.152&Rc==0.05&npr==0),'sr',...
     sm(B==0.152&Rc==0.10&npr==0),Kt(B==0.152&Rc==0.10&npr==0),'>k',...
     sm(B==0.152&Rc==0.15&npr==0),Kt(B==0.152&Rc==0.15&npr==0),'dg');
```

```
xlabel('s {0m} (-)', 'fontsize', 9);
ylabel('K t (-) ','fontsize',9);
legend('Rc = 0 m, n_c = 0', 'Rc = 0.05 m, n_c = 0', 'Rc = 0.10 m, n_c =
0', 'Rc = 0.15 m, nc = 0');
figure(7);
subplot(1,2,1);
plot(sm(B==0.192&Rc==0&npr==0),Kt(B==0.192&Rc==0&npr==0),'bo',...
     sm(B==0.192&Rc==0.05&npr==0),Kt(B==0.192&Rc==0.05&npr==0),'sr',...
     sm(B==0.192&Rc==0.10&npr==0),Kt(B==0.192&Rc==0.10&npr==0),'>k',...
     sm(B==0.192&Rc==0.15&npr==0),Kt(B==0.192&Rc==0.15&npr==0),'dg');
xlabel('s_{0m} (-)','fontsize',9);
ylabel('K_t (-) ','fontsize',9);
subplot(1,2,2);
plot(sm(B==0.232&Rc==0&npr==0),Kt(B==0.232&Rc==0&npr==0),'bo',...
     sm(B==0.232&Rc==0.05&npr==0),Kt(B==0.232&Rc==0.05&npr==0),'sr',...
     sm(B==0.232&Rc==0.10&npr==0),Kt(B==0.232&Rc==0.10&npr==0),'>k',...
     sm(B==0.232&Rc==0.15&npr==0),Kt(B==0.232&Rc==0.15&npr==0),'dg');
xlabel('s_{0m} (-)','fontsize',9);
ylabel('K_t (-) ','fontsize',9);
               m, n_c = 0', 'Rc = 0.05 m, n_c = 0', 'Rc = 0.10 m, n c =
legend('Rc = 0
0', 'Rc = 0.15 m, n c = 0');
% Determination of Kt
% multiple linear regression (programmactic fitting)
Kt0=Hm0t(B>0&npr==0)./Hm0i(B>0&npr==0);
X1=Rc(B>0&npr==0)./Hm0i(B>0&npr==0);
nc2=0.1;
 c2=-(0:nc2:1.5);
 for jj=1:length(c2)
 for i=1:400
  c1(i) = (i-200) * 0.01;
  X2=(B(B>0&npr==0)./HmOi(B>0&npr==0)).^c1(i).*(1-
exp(c2(jj)./sqrt(sm(B>0&npr==0))));
  %X2=(B./HmOi).^c1(i).*(1-sm.^c2(jj));
  X = [X1 \ X2];
  %X=[ones(size(X1)) X1 X2];
  a=X\setminus Kt0;
  %Kt c=a(1)+a(2)*X1+a(3)*X2;
  Kt c=a(1) *X1+a(2) *X2;
  [r2(i) rmse(i)]=rsquare(Kt0,Kt c);
 end
  figure(100);
 plot(c1, r2);
  [maxer id]=max(r2);
 mc2(jj)=maxer;
 clear maxer;
 end
 figure(8);
 [maxer id2]=max(mc2);
 c2m=-(id2-1)*nc2;
 plot(c2,mc2,'-b');
 %recal c1m with c2m
 for i=1:400
  c1(i)=(i-200)*0.01;
 X2=(B(B>0&npr==0)./HmOi(B>0&npr==0)).^cl(i).*(1-
exp(c2m./sqrt(sm(B>0&npr==0))));
  %X2=(B./HmOi).^c1(i).*(1-sm.^c2m);
  %X=[ones(size(X1)) X1 X2];
  X = [X1 X2];
```

```
a=X\setminus Kt0;
  %Kt c=a(1)+a(2)*X1+a(3)*X2;
  Kt c=a(1)*X1+a(2)*X2;
  [r2(i) rmse(i)]=rsquare(Kt0,Kt c);
 end
 figure(9);
 plot(c1, r2);
 [maxer id]=max(r2);
 clear maxer;
 c1m=(id-200)*0.01;
 X2=(B(B>0&npr==0)./Hm0i(B>0&npr==0)).^c1m.*(1-
exp(c2m./sqrt(sm(B>0&npr==0))));
 %X2=(B./Hm0i).^c1m.*(1-sm.^c2m);
 %X=[ones(size(X1)) X1 X2];
X = [X1 \ X2];
 a=X\Kt0;
 Kt c=a(1)*X1+a(2)*X2;
 figure(10);
 plot(Kt0,Kt_c,'o',[0.1 1],[0.1 1],'r');
 xlabel('Measured K_t (-)','fontsize',9);
 ylabel('Calculated K_t (-) ','fontsize',9);
end % opt==1
if opt==2
%Np=2/sqrt(3)/(0.04^2+0.02^2); %pile density
%dp=0.02; %pile diameter
Adat=load('D:\testMatb\wavedata pile.DAT');
h(1:100,:)=Adat(1:100,1);
Xb(1:100,:)=Adat(1:100,2)-0.072; %width of pile rows
Xb=round(Xb*1000)/1000;
Cr(1:200,:)=Adat(:,10);
HmOi=0.5* (Adat(1:100,4)+Adat(101:200,4));
DEr=((Adat(101:200,4).*Cr(101:200)).^2-
(Adat(1:100,4).*Cr(1:100)).^2)./HmOi.^2;
Hrmsi(1:100,:)=Hm0i/1.416; %gage 5
Tp(1:100,:)=0.5*(Adat(1:100,5)+Adat(101:200,5));
Tm(1:100,:)=0.5*(Adat(1:100,6)+Adat(101:200,6));%Tm-1,0
Hrmst0(1:100,:)=Adat(1:100,7)/1.416;%gage 6
Hrmstp(1:100,:)=Adat(101:200,7)/1.416;%gage 6
fl=Adat(1:100,11);
clear Adat;
Rc=round((h-0.2)*1000)/1000;%freeboard
kp=DISPER(2*pi./Tp,h);
km=DISPER(2*pi./Tm,h);
Lp=2*pi./kp;
Lm=2*pi./km;
sm=HmOi./Lm;
sp=HmOi./Lp;
Lo=g/2/pi*Tp.^2;
wp=2*pi./Tp;
%c=L./Tp;
c=sqrt(g*(h+HmOi));
cg=1/2*c.*(1+2*kp.*h./sinh(2*kp.*h));
Dpr=(Hrmst0.^2-Hrmstp.^2)./Hrmsi.^2; %Relative wave energy dissipation by
piles
figure(1);
plot (Rc (Xb==0.04)./Hrmsi (Xb==0.04)/1.416, Dpr (Xb==0.04), 'ob', Rc (Xb==0.08).
/Hrmsi(Xb==0.08)/1.416,Dpr(Xb==0.08),'sr',...
```

```
Rc(Xb==0.12)./Hrmsi(Xb==0.12)/1.416,Dpr(Xb==0.12),'>m',Rc(Xb==0.16)./Hrms
i(Xb==0.16)/1.416,Dpr(Xb==0.16),'xk');
xlabel('Relative submerged depth R c/H {m0} (-)','fontsize',12);
ylabel('Relative energy dissipation Drp (-)','fontsize',12);
leqend('2 pile rows', '3 pile rows', '4 pile rows', '5 pile rows');
8{
plot((Rc(Xb==0.04)+Hm0i(Xb==0.04))./Hm0i(Xb==0.04),Dpr(Xb==0.04),'ob',(Rc
(Xb==0.08) +HmOi(Xb==0.08))./HmOi(Xb==0.08),Dpr(Xb==0.08),'sr',...
(Rc(Xb==0.12)+HmOi(Xb==0.12))./HmOi(Xb==0.12),Dpr(Xb==0.12),'>m',(Rc(Xb==
0.16) +HmOi(Xb==0.16))./HmOi(Xb==0.16),Dpr(Xb==0.16),'xk');
xlabel('Relative submerged depth R c/H {m0} (-)','fontsize',12);
ylabel('Relative energy dissipation Drp (-)','fontsize',12);
legend('2 pile rows', '3 pile rows', '4 pile rows', '5 pile rows');
8}
figure(2);
plot (Xb (Rc==0)./Lp (Rc==0), Dpr (Rc==0), 'ob', Xb (Rc==0.05)./Lp (Rc==0.05), Dpr (
Rc==0.05),'sr',...
Xb(Rc==0.10)./Lp(Rc==0.10),Dpr(Rc==0.10),'>m',Xb(Rc==0.15)./Lp(Rc==0.15),
Dpr(Rc==0.15), 'xk');
xlabel('Relative pile width X_b/L_{p} (-)','fontsize',12);
ylabel('Relative energy dissipation Drp (-)','fontsize',12);
legend('Rc = 0', 'Rc = 0.05m', 'Rc = 0.10m', 'Rc = 0.15m');
figure(3);
plot (Xb (Rc==0) ./Hrmsi (Rc==0) /1.416, Dpr (Rc==0), 'ob', Xb (Rc==0.05) ./Hrmsi (Rc
==0.05)/1.416,Dpr(Rc==0.05),'sr',...
Xb(Rc==0.10)./Hrmsi(Rc==0.10)/1.416,Dpr(Rc==0.10),'>m',Xb(Rc==0.15)./Hrms
i(Rc==0.15)/1.416,Dpr(Rc==0.15),'xk');
xlabel('Relative pile width X b/H {m0,i} (-)','fontsize',12);
ylabel('Relative energy dissipation Drp (-)','fontsize',12);
legend('Rc = 0', 'Rc = 0.05m', 'Rc = 0.10m', 'Rc = 0.15m');
figure(4);
plot(1.416*Hrmsi(Rc==0)./Lm(Rc==0), Dpr(Rc==0), 'ob', 1.416*Hrmsi(Rc==0.05).
/Lm(Rc==0.05), Dpr(Rc==0.05), 'sr',...
1.416*Hrmsi(Rc==0.10)./Lm(Rc==0.10),Dpr(Rc==0.10),'>m',1.416*Hrmsi(Rc==0.
15)./Lm(Rc==0.15),Dpr(Rc==0.15),'xk');
xlabel('Local wave steepness H_{m0}/L_{p} (-)','fontsize',12);
ylabel('Relative energy dissipation Drp (-)','fontsize',12);
legend('Rc = 0', 'Rc = 0.05m', 'Rc = 0.10m', 'Rc = 0.15m');
figure(5);
plot(h(Rc==0)./Lp(Rc==0), Dpr(Rc==0), 'ob', h(Rc==0.05)./Lp(Rc==0.05), Dpr(Rc
==0.05),'sr',...
h(Rc==0.10)./Lp(Rc==0.10), Dpr(Rc==0.10), '>m', h(Rc==0.15)./Lp(Rc==0.15), Dp
r(Rc==0.15), 'xk');
xlabel('Relative water depth h/L {p} (-)','fontsize',12);
ylabel('Relative energy dissipation Drp (-)','fontsize',12);
legend('Rc = 0', 'Rc = 0.05m', 'Rc = 0.10m', 'Rc = 0.15m');
figure(6);
plot(1.416*Hrmsi(Rc==0)./h(Rc==0),Dpr(Rc==0),'ob',1.416*Hrmsi(Rc==0.05)./
h(Rc==0.05), Dpr(Rc==0.05), 'sr',...
1.416*Hrmsi(Rc==0.10)./h(Rc==0.10),Dpr(Rc==0.10),'>m',1.416*Hrmsi(Rc==0.1
5)./h(Rc==0.15),Dpr(Rc==0.15),'xk');
xlabel('Relative wave energy H_{m0}/h (-)','fontsize',12);
ylabel('Relative energy dissipation Drp (-)','fontsize',12);
legend('Rc = 0', 'Rc = 0.05m', 'Rc = 0.10m', 'Rc = 0.15m');
Dpr1=Dpr(fl>0);%exclude data outliers
%x1=(Rc(Rc>=rthres)+Hm0i(Rc>=rthres)).*Xb(Rc>=rthres)./Hm0i(Rc>=rthres).^2;
x1=(Rc(fl>0)+HmOi(fl>0)).*Xb(fl>0)./HmOi(fl>0)./Lm(fl>0);
%x2=Xb(fl>0)./HmOi(fl>0);
```

```
f = fittype('a*tanh(b*x)');
s = fitoptions('Method', 'NonlinearLeastSquares');
 Supper and lower values of coefficients
figure(8);
[c gof]=fit(x1,Dpr1,f,s);
x1c=min(x1):(max(x1)-min(x1))/50:max(x1);
Dpr1c=c.a*tanh(c.b*x1c);
plot(x1,Dpr1,'o',x1c,Dpr1c,'-r','linewidth',2);
text(max(x1)/2,0.12,['R^2 =',num2str(gof.rsquare,'%3.2f')]);
end %opt==2
if opt==3
Adat=load('D:\testMatb\wavedata all.DAT');
h=Adat(:,1);
B=Adat(:,2);
npr=Adat(:,3);%number of pile rows
HmOi=Adat(:,4); %gage 5
Tp=Adat(:,5);
Tm=Adat(:,6);%Tm-1,0
HmOt=Adat(:,7);%gage 6
Xb=B-0.072; %width of pile rows
Xb=round(Xb*1000)/1000;
clear Adat;
Kt=HmOt./HmOi;
Rc=h-0.2;%freeboard (positive)
Rc=round(Rc*1e3)/1e3;
km=DISPER(2*pi./Tm,h);
kp=DISPER(2*pi./Tp,h);
Lm=2*pi./km;
Lp=2*pi./kp;
sm=HmOi./Lm;
sp=Hm0i./Lp;
Kt0=0.18*Rc(npr>0)./Hm0i(npr>0)+0.58*(B(npr>0)./Hm0i(npr>0)).^-0.19.*(1-
exp(-1./sqrt(sm(npr>0)));
Dprm=0.153*tanh(20.6*((Rc(npr>0)+Hm0i(npr>0))./Hm0i(npr>0).*Xb(npr>0)./Lm
(npr>0)); % with Lm
Dprp=0.152*tanh(16.3*((Rc(npr>0)+Hm0i(npr>0))./Hm0i(npr>0).*Xb(npr>0)./Lp
(npr>0)));%with Lp
m=0:0.01:1.2;
for i=1:length(m)
Kt c=sqrt(Kt0.^2-m(i)*Dprm);
[r(i) rmse(i)]=rsquare(Kt(npr>0),Kt c);
end
[maxer id]=max(r);
figure(1);
plot(m,r,'sb');
figure(2);
Kt c=sqrt(Kt0.^2-m(id)*Dprm);
plot(Kt(npr>0),Kt c,'o',[0.2 1.0],[0.2 1.0],'-');
xlabel('Measured K t (-)','fontsize',9);
ylabel('Calculated K_t (-) ','fontsize',9);
Kt00=0.18*Rc(npr==0&B>0)./Hm0i(npr==0&B>0)+0.58*(B(npr==0&B>0)./Hm0i(npr=
=0&B>0)).^-0.19.*(1-exp(-1./sqrt(sm(npr==0&B>0)))); %all with no piles
figure(3);
plot(Kt(npr==0&B>0),Kt00,'sb',Kt(npr>0),Kt c,'og',[0.2 1.0],[0.2 1.0],'-
');
end
```

TT	Kích bản thí	D	D B		Đầ	u đo W	G5	Đầ	u đo W	G6	C _r ⁰ ;	K ⁰ ;
	nghiệm	D	Б	n _c	H _{m0}	T _p	T _{m-1,0}	H _{m0}	T _p	T _{m-1,0}	C _r ^p	K _t
		(m)	(m)		(m)	(s)	(s)	(m)	(s)	(s)	(-)	(-)
1	D20H07T113	0,20	0	0	0,061	1,14	1,60	0,058	1,14	2,01	0,14	0,95
2	D25H07T113	0,25	0	0	0,062	1,09	1,42	0,061	1,12	1,58	0,12	0,98
3	D30H07T113	0,30	0	0	0,061	1,15	1,38	0,060	1,20	1,76	0,12	0,99
4	D35H07T113	0,35	0	0	0,063	1,09	1,19	0,062	1,09	1,23	0,10	0,98
5	D20H07T134	0,20	0	0	0,066	1,42	2,51	0,063	1,42	3,00	0,11	0,96
6	D25H07T134	0,25	0	0	0,066	1,29	1,91	0,064	1,29	2,01	0,09	0,97
7	D30H07T134	0,30	0	0	0,064	1,36	1,53	0,062	1,36	1,65	0,11	0,98
8	D35H07T134	0,35	0	0	0,065	1,29	1,40	0,064	1,29	1,40	0,08	0,99
9	D20H10T135	0,20	0	0	0,082	1,53	2,54	0,079	1,55	3,13	0,10	0,96
10	D25H10T135	0,25	0	0	0,087	1,30	2,20	0,085	1,30	2,33	0,08	0,97
11	D30H10T135	0,30	0	0	0,088	1,38	1,77	0,086	1,38	1,87	0,10	0,98
12	D35H10T135	0,35	0	0	0,091	1,30	1,63	0,089	1,30	1,61	0,09	0,98
13	D20H10T160	0,20	0	0	0,084	1,72	2,42	0,082	1,78	2,65	0,08	0,97
14	D25H10T160	0,25	0	0	0,094	1,63	2,46	0,091	1,63	2,34	0,07	0,97
15	D30H10T160	0,30	0	0	0,094	1,63	2,11	0,092	1,63	2,33	0,09	0,98
16	D35H10T160	0,35	0	0	0,096	1,54	1,95	0,094	1,63	2,02	0,08	0,98
17	D20H12T148	0,20	0	0	0,086	1,59	2,46	0,085	1,59	3,18	0,09	0,99
18	D25H12T148	0,25	0	0	0,100	1,59	2,12	0,097	1,59	2,30	0,07	0,98
19	D30H12T148	0,30	0	0	0,108	1,35	2,16	0,104	1,35	2,06	0,09	0,97
20	D35H12T148	0,35	0	0	0,110	1,51	1,93	0,107	1,51	2,02	0,08	0,98
21	D20H12T175	0,20	0	0	0,091	1,75	2,64	0,087	2,02	3,02	0,08	0,96
22	D25H12T175	0,25	0	0	0,106	1,93	2,41	0,104	1,93	2,71	0,07	0,99
23	D30H12T175	0,30	0	0	0,113	1,72	2,37	0,110	1,72	2,53	0,09	0,97
24	D35H12T175	0,35	0	0	0,116	1,53	2,30	0,114	1,82	2,40	0,09	0,98
25	D20H14T160	0,20	0	0	0,092	1,78	2,76	0.089	1,78	3,26	0,08	0,96
26	D25H14T160	0,25	0	0	0,109	1,63	2,38	0,106	1,77	2,52	0,07	0,98
27	D30H14T160	0,30	0	0	0,120	1,63	2,19	0,117	1,63	2,41	0,08	0,97
28	D35H14T160	0,35	0	0	0,126	1,63	2,12	0,124	1,77	2,24	0,08	0,98
29	D20H14T189	0,20	0	0	0,094	2,15	3,17	0,090	0,00	4,26	0,08	0,96
30	D25H14T189	0,25	0	0	0,112	2,02	2,62	0,110	2,02	3,08	0,08	0,98
31	D30H14T189	0.30	0	0	0.126	1.91	2.67	0.122	1.81	2.86	0.08	0.97
32	D35H14T189	0,35	0	0	0,133	1,81	2,54	0,131	1,81	2,59	0,09	0,99
33	D20H16T171	0,20	0	0	0,094	1,97	3,09	0.090	1,97	3,64	0,08	0,96
34	D25H16T171	0,25	0	0	0,114	1,89	2,60	0,113	1,89	3,11	0,08	0,98
35	D30H16T171	0.30	0	0	0.130	1.89	2.32	0.127	1.89	2.55	0.08	0.98
36	D35H16T171	0.35	0	0	0.138	1.68	2.28	0.135	1.89	2.37	0.08	0.98
37	D20H16T203	0.20	0	0	0.093	2.24	3.70	0.090	0.00	4.85	0.09	0.97
38	D25H16T203	0.25	0	0	0.116	1.97	3.00	0.115	1.97	3.74	0.09	0.99
39	D30H16T203	0.30	0	0	0.133	2.07	2.69	0.130	2.15	3.10	0.09	0.98
40	D35H16T203	0.35	0	0	0.143	2.07	2.61	0.143	1.95	3.14	0.10	1.00
41	D20H07T113	0.20	0.112	0	0.064	1.09	1.56	0.031	1.12	2.54	0.30	0.48
42	D25H07T113	0.25	0.112	0	0.063	1.09	1,50	0.042	1.09	1.52	0.21	0.66
43	D30H07T113	0.30	0.112	0	0.063	1.07	1.22	0.051	1.07	1.30	0.18	0.80
44	D35H07T113	0.35	0.112	0	0.063	1.09	1,19	0.055	1.09	1,30	0.15	0.88
45	D20H10T135	0.20	0.112	0	0.078	1.23	2.18	0.044	1.38	2.93	0.26	0.56
					,-,-			,	00	_,//		

Phụ lục 2. Bảng tổng hợp kết quả thí nghiệm MHVL

ТТ	Kích bản thí	-	р в		Đầ	iu đo W	G5	Đầ	u đo W	G6	C ⁰ ;	K ⁰ :
	nghiệm	D	В	n _c	H _{m0}	T _p	T _{m-1.0}	H _{m0}	Tp	T _{m-1.0}	C _r ^p	K
	-	(m)	(m)		(m)	(s)	(s)	(m)	(s)	(s)	(-)	(-)
46	D25H10T135	0,25	0,112	0	0,086	1,30	2,31	0,058	1,49	2,48	0,23	0,68
47	D30H10T135	0,30	0,112	0	0,092	1,49	1,84	0,073	1,30	1,76	0,19	0,80
48	D35H10T135	0,35	0,112	0	0,093	1,49	1,65	0,078	1,38	1,60	0,16	0,84
49	D20H12T148	0,20	0,112	0	0,088	1,63	2,35	0,049	1,63	3,27	0,22	0,55
50	D25H12T148	0,25	0,112	0	0,103	1,63	2,26	0,065	1,63	2,50	0,23	0,64
51	D30H12T148	0,30	0,112	0	0,114	1,63	2,04	0,084	1,35	2,03	0,20	0,74
52	D35H12T148	0,35	0,112	0	0,119	1,51	1,81	0,094	1,51	1,87	0,17	0,79
53	D20H14T160	0,20	0,112	0	0,096	1,93	2,62	0,051	1,93	3,41	0,19	0,53
54	D25H14T160	0,25	0,112	0	0,119	1,77	2,18	0,074	1,77	2,66	0,20	0,62
55	D30H14T160	0,30	0,112	0	0,133	1,63	2,00	0,095	1,63	2,33	0,19	0,72
56	D35H14T160	0,35	0,112	0	0,138	1,63	1,97	0,108	1,63	2,14	0,17	0,78
57	D20H16T171	0,20	0,112	0	0,099	1,89	2,89	0,053	1,89	4,06	0,17	0,53
58	D25H16T171	0,25	0,112	0	0,125	1,89	2,32	0,079	1,89	2,89	0,19	0,63
59	D30H16T171	0,30	0,112	0	0,142	1,74	2,13	0,104	1,89	2,60	0,18	0,73
60	D35H16T171	0,35	0,112	0	0,149	1,74	2,14	0,118	1,89	2,40	0,17	0,80
61	D20H07T113	0,20	0,112	2	0,065	1,09	1,51	0,027	1,12	2,49	0,31	0,42
62	D25H07T113	0,25	0,112	2	0,064	1,09	1,33	0,038	1,09	1,54	0,24	0,60
63	D30H07T113	0,30	0,112	2	0,063	1,09	1,19	0,046	1,09	1,20	0,23	0,72
64	D35H07T113	0,35	0,112	2	0,063	1,09	1,17	0,052	1,09	1,13	0,19	0,82
65	D20H07T134	0,20	0,112	2	0,064	1,29	2,10	0,031	1,37	3,06	0,31	0,48
66	D25H07T134	0,25	0,112	2	0,063	1,29	1,96	0,042	1,48	2,09	0,26	0,66
67	D30H07T134	0,30	0,112	2	0,064	1,48	1,60	0,048	1,48	1,51	0,23	0,76
68	D35H07T134	0,35	0,112	2	0,066	1,48	1,43	0,053	1,48	1,39	0,20	0,80
69	D20H10T135	0,20	0,112	2	0,079	1,23	2,14	0,038	1,44	2,93	0,27	0,49
70	D25H10T135	0,25	0,112	2	0,085	1,30	2,21	0,054	1,30	2,42	0,27	0,63
71	D30H10T135	0,30	0,112	2	0,090	1,49	1,86	0,064	1,30	1,78	0,24	0,71
72	D35H10T135	0,35	0,112	2	0,093	1,49	1,65	0,070	1,38	1,53	0,22	0,76
73	D20H10T160	0,20	0,112	2	0,091	1,93	2,34	0,042	1,77	3,26	0,27	0,46
74	D25H10T160	0,25	0,112	2	0,104	1,77	2,18	0,059	1,77	2,61	0,28	0,56
75	D30H10T160	0,30	0,112	2	0,109	1,63	1,90	0,068	1,54	2,05	0,25	0,63
76	D35H10T160	0,35	0,112	2	0,108	1,63	1,75	0,075	1,63	1,81	0,22	0,69
77	D20H12T148	0,20	0,112	2	0,091	1,83	2,31	0,043	1,63	3,55	0,24	0,47
78	D25H12T148	0,25	0,112	2	0,105	1,63	2,22	0,061	1,63	2,67	0,26	0,58
79	D30H12T148	0,30	0,112	2	0,114	1,63	2,02	0,074	1,42	2,10	0,25	0,65
80	D35H12T148	0,35	0,112	2	0,121	1,51	1,72	0,084	1,42	1,77	0,23	0,69
81	D20H12T175	0,20	0,112	2	0,100	1,93	2,45	0,046	1,93	3,70	0,23	0,46
82	D25H12T175	0,25	0,112	2	0,119	1,93	2,23	0,066	1,93	2,88	0,26	0,56
83	D30H12T175	0,30	0,112	2	0,130	1,93	2,05	0,080	1,93	2,37	0,25	0,61
84	D35H12T175	0,35	0,112	2	0,132	1,76	1,93	0,089	1,78	2,12	0,23	0,68
85	D20H14T160	0,20	0,112	2	0,100	1,93	2,60	0,046	1,93	3,55	0,21	0,46
86	D25H14T160	0,25	0,112	2	0,122	1,77	2,17	0,068	1,77	2,83	0,24	0,56
87	D30H14T160	0,30	0,112	2	0,137	1,63	1,99	0,084	1,54	2,31	0,24	0,61
88	D35H14T160	0,35	0,112	2	0,145	1,77	1,86	0,097	1,77	2,06	0,23	0,67
89	D20H14T189	0,20	0,112	2	0,104	1,89	2,90	0,048	0,00	4,28	0,20	0,47
90	D25H14T189	0,25	0,112	2	0,127	2,09	2,32	0,072	2,09	3,04	0,24	0,57
91	D30H14T189	0,30	0,112	2	0,143	2,09	2,17	0,090	2,09	2,61	0,25	0,63
92	D35H14T189	0,35	0,112	2	0,145	1,81	2,24	0,102	2,09	2,50	0,23	0,70

ТТ	Kích bản thí	-	-		Đầ	iu đo W	G5	Đầ	u đo W	G6	C ⁰ ;	K ⁰ :
	nghiệm	D	В	n _c	H _{m0}	T _p	T _{m-1.0}	H _{m0}	T _p	T _{m-1.0}	C ^p	K _t
	C I	(m)	(m)		(m)	(s)	(s)	(m)	(s)	(s)	(-)	(-)
93	D20H16T171	0,20	0,112	2	0,102	1,89	2,88	0,048	1,89	4,20	0,18	0,47
94	D25H16T171	0,25	0,112	2	0,131	1,89	2,27	0,074	1,89	2,95	0,22	0,56
95	D30H16T171	0,30	0,112	2	0,148	1,89	2,09	0,091	1,89	2,60	0,23	0,62
96	D35H16T171	0,35	0,112	2	0,157	1,74	2,29	0,105	1,89	2,66	0,22	0,67
97	D20H16T203	0,20	0,112	2	0,102	2,06	2,74	0,048	2,06	5,93	0,19	0,47
98	D25H16T203	0,25	0,112	2	0,130	2,16	2,60	0,077	2,24	3,22	0,22	0,59
99	D30H16T203	0,30	0,112	2	0,144	1,78	2,39	0,096	2,24	2,86	0,23	0,67
100	D35H16T203	0,35	0,112	2	0,150	1,78	2,29	0,111	2,07	2,66	0,23	0,74
101	D20H07T113	0,20	0,152	0	0,064	1,09	1,57	0,030	1,12	2,51	0,28	0,47
102	D25H07T113	0,25	0,152	0	0,064	1,09	1,42	0,041	1,09	1,52	0,18	0,64
103	D30H07T113	0,30	0,152	0	0,064	1,07	1,24	0,049	1,07	1,33	0,16	0,78
104	D35H07T113	0,35	0,152	0	0,063	1,09	1,20	0,054	1,09	1,29	0,14	0,85
105	D20H07T134	0,20	0,152	0	0,064	1,29	2,23	0,034	1,48	3,14	0,28	0,53
106	D25H07T134	0,25	0,152	0	0,065	1,48	2,04	0,045	1,48	2,09	0,20	0,68
107	D30H07T134	0,30	0,152	0	0,065	1,48	1,56	0,052	1,48	1,51	0,18	0,80
108	D35H07T134	0,35	0,152	0	0,067	1,48	1,63	0,056	1,48	1,49	0,15	0,84
109	D20H10T135	0,20	0,152	0	0,078	1,23	2,19	0,042	1,44	2,94	0,25	0,54
110	D25H10T135	0,25	0,152	0	0,088	1,30	2,29	0,057	1,49	2,53	0,22	0,65
111	D30H10T135	0,30	0,152	0	0,092	1,49	1,81	0,071	1,30	1,75	0,19	0,77
112	D35H10T135	0,35	0,152	0	0,094	1,49	1,63	0,076	1,38	1,59	0,16	0,81
113	D20H10T160	0,20	0,152	0	0,090	1,77	2,35	0,046	1,77	3,31	0,25	0,51
114	D25H10T160	0,25	0,152	0	0,105	1,63	2,23	0,063	1,77	2,51	0,23	0,60
115	D30H10T160	0,30	0,152	0	0,107	1,63	1,95	0,075	1,63	2,08	0,20	0,70
116	D35H10T160	0,35	0,152	0	0,105	1,63	1,90	0,081	1,63	1,96	0,17	0,77
117	D20H12T148	0,20	0,152	0	0,090	1,63	2,34	0,048	1,63	3,40	0,21	0,53
118	D25H12T148	0,25	0,152	0	0,107	1,63	2,22	0,066	1,59	2,53	0,21	0,61
119	D30H12T148	0,30	0,152	0	0,116	1,64	2,03	0,082	1,35	2,03	0,19	0,71
120	D35H12T148	0,35	0,152	0	0,120	1,51	1,80	0,091	1,51	1,87	0,17	0,76
121	D20H12T175	0,20	0,152	0	0,099	1,93	2,44	0,050	1,93	3,66	0,21	0,51
122	D25H12T175	0,25	0,152	0	0,119	1,93	2,26	0,072	1,93	2,88	0,22	0,60
123	D30H12T175	0,30	0,152	0	0,125	1,78	2,13	0,089	1,93	2,34	0,20	0,71
124	D35H12T175	0,35	0,152	0	0,126	1,72	2,12	0,099	1,72	2,21	0,18	0,79
125	D20H14T160	0,20	0,152	0	0,098	1,93	2,57	0,051	1,93	3,57	0,19	0,52
126	D25H14T160	0,25	0,152	0	0,122	1,77	2,18	0,073	1,77	2,68	0,20	0,60
127	D30H14T160	0,30	0,152	0	0,135	1,63	1,99	0,094	1,63	2,34	0,19	0,69
128	D35H14T160	0,35	0,152	0	0,138	1,63	1,97	0,105	1,63	2,15	0,17	0,76
129	D20H14T189	0,20	0,152	0	0,102	1,89	2,89	0,054	0,00	4,18	0,18	0,53
130	D25H14T189	0,25	0,152	0	0,126	2,02	2,35	0,078	2,02	3,07	0,20	0,62
131	D30H14T189	0,30	0,152	0	0,135	1,89	2,36	0,100	1,89	2,68	0,19	0,74
132	D35H14T189	0,35	0,152	0	0,139	1,81	2,41	0,113	1,81	2,58	0,18	0,81
133	D20H16T171	0,20	0,152	0	0,101	1,89	2,85	0,053	1,89	4,10	0,16	0,52
134	D25H16T171	0,25	0,152	0	0,130	1,89	2,31	0,079	1,89	2,93	0,18	0,61
135	D30H16T171	0,30	0,152	0	0,144	1,74	2,11	0,103	1,89	2,56	0,18	0,71
136	D35H16T171	0,35	0,152	0	0,149	1,74	2,14	0,115	1,89	2,40	0,17	0,77
137	D20H16T203	0,20	0,152	0	0,099	2,24	3,56	0,054	0,00	5,24	0,17	0,54
138	D25H16T203	0,25	0,152	0	0,126	2,16	2,69	0,081	2,16	3,33	0,19	0,64
139	D30H16T203	0,30	0,152	0	0,137	1,90	2,50	0,107	2,15	2,94	0,19	0,78

												r
TT	Kích bản thí	п	в		Đầ	u đo W	G5	Đầ	u đo W	G6	C_{r}^{0};	K ⁰ ;
	nghiệm	D	Ъ	n _c	H _{m0}	T _p	T _{m-1,0}	H _{m0}	Tp	T _{m-1,0}	C _r ^p	K _t
		(m)	(m)		(m)	(s)	(s)	(m)	(s)	(s)	(-)	(-)
140	D35H16T203	0,35	0,152	0	0,144	1,95	2,43	0,124	2,07	2,81	0,18	0,86
141	D20H07T113	0,20	0,152	3	0,064	1,09	1,53	0,026	1,12	2,64	0,30	0,40
142	D25H07T113	0,25	0,152	3	0,063	1,09	1,37	0,036	1,09	1,61	0,22	0,57
143	D30H07T113	0,30	0,152	3	0,064	1,09	1,20	0,045	1,09	1,22	0,31	0,70
144	D35H07T113	0,35	0,152	3	0,064	1,09	1,20	0,050	1,09	2,21	0,21	0,78
145	D20H07T134	0,20	0,152	3	0,064	1,29	2,17	0,030	1,48	3,18	0,30	0,47
146	D25H07T134	0,25	0,152	3	0,062	1,48	1,96	0,039	1,48	2,12	0,25	0,63
147	D30H07T134	0,30	0,152	3	0,064	1,48	1,59	0,047	1,48	1,52	0,27	0,74
148	D35H07T134	0,35	0,152	3	0,067	1,48	1,42	0,052	1,36	1,35	0,21	0,78
149	D20H10T135	0,20	0,152	3	0,079	1,23	2,15	0,037	1,49	3,06	0,27	0,47
150	D25H10T135	0,25	0,152	3	0,085	1,30	2,19	0,050	1,49	2,53	0,27	0,59
151	D30H10T135	0,30	0,152	3	0,091	1,49	1,83	0,063	1,30	1,76	0,29	0,69
152	D35H10T135	0,35	0,152	3	0,095	1,49	1,63	0,069	1,38	1,55	0,23	0,73
153	D20H10T160	0,20	0,152	3	0,093	1,77	2,30	0,040	1,77	3,38	0,28	0,43
154	D25H10T160	0,25	0,152	3	0,105	1,63	2,16	0,055	1,77	2,71	0,28	0,53
155	D30H10T160	0,30	0,152	3	0,111	1,63	1,88	0,066	1,54	2,11	0,29	0,59
156	D35H10T160	0,35	0,152	3	0,111	1,63	1,73	0,073	1,63	1,83	0,24	0,66
157	D20H12T148	0,20	0,152	3	0,093	1,83	2,30	0,041	1,63	3,75	0,24	0,45
158	D25H12T148	0.25	0.152	3	0.106	1.63	2.19	0.058	1.64	2.72	0.26	0.54
159	D30H12T148	0.30	0.152	3	0.117	1.63	1.98	0.072	1.42	2.14	0.29	0.62
160	D35H12T148	0.35	0.152	3	0.124	1.42	1.70	0.082	1.42	1.77	0.25	0.66
161	D20H12T175	0.20	0.152	3	0.102	1.93	2.41	0.044	1.93	3.94	0.24	0.44
162	D25H12T175	0.25	0.152	3	0.120	1.93	2.22	0.063	1.93	3.00	0.27	0.52
163	D30H12T175	0.30	0.152	3	0.132	1.93	2.03	0.078	1.93	2.39	0.29	0.59
164	D35H12T175	0.35	0.152	3	0.134	1.76	1.92	0.087	1.78	2.09	0.25	0.65
165	D20H14T160	0.20	0.152	3	0.100	1.93	2.56	0.044	1.93	3.68	0.21	0.44
166	D25H14T160	0.25	0.152	3	0.123	1.77	2.17	0.064	1.93	2.95	0.24	0.52
167	D30H14T160	0.30	0.152	3	0.139	1.63	1.98	0.081	1.54	2.37	0.29	0.58
168	D35H14T160	0.35	0.152	3	0.148	1.77	1.84	0.094	1.77	2.04	0.25	0.64
169	D20H14T189	0.20	0.152	3	0.104	1.89	2.88	0.046	0.00	4.59	0.21	0.44
170	D25H14T189	0.25	0.152	3	0.127	2.09	2.32	0.067	2.09	3.16	0.24	0.53
170	D30H14T189	0.30	0.152	3	0.144	2.09	2.15	0.087	2.09	2.61	0.28	0.60
172	D35H14T189	0.35	0.152	3	0.147	1.65	2.24	0.099	2.09	2,51	0.24	0.68
172	D20H16T171	0.20	0.152	3	0.103	1.89	2.85	0.045	1.89	4.43	0.19	0.44
173	D25H16T171	0.25	0.152	3	0.131	1.89	2,00	0.069	1.89	3.09	0.22	0.53
174	D30H16T171	0.30	0.152	3	0.149	1.89	2.09	0.089	1.89	2.63	0.27	0.59
175	D35H16T171	0.35	0.152	3	0.161	1 74	2,09	0.102	1.89	2,03	0.24	0.64
170	D20H16T203	0.20	0.152	3	0,101	2.24	3 56	0.047	0.00	5 71	0.19	0.47
177	D25H16T203	0.25	0,152	3	0,100	2,24	2.62	0,047	2.24	3 38	0.23	0,47
170	D30H16T203	0,25	0,152	3	0.145	1.78	2,02	0,071	2,2+ 2.24	2 92	0,23	0,55
1/7	D35H16T203	0.35	0.152	3	0.152	1 78	2,30	0.108	2,24	2,52	0.25	0.71
100	D20H07T113	0,35	0.192	0	0.063	1,70	1.54	0.028	1.26	2,05	0,25	0.74
101	D25H07T112	0,20	0,192	0	0.062	1,09	1,54	0,020	1,20	1.60	0,27	0,44
102	D20H07T112	0,25	0,192	0	0.062	1,09	1,45	0,038	1,09	1,09	0,10	0.76
103	D30H0/1113	0,50	0,192	0	0.062	1,09	1,20	0,047	1,07	1,30	0,10	0,70
184	D30H10T125	0,35	0,192	0	0,005	1,09	1,22 2,10	0,035	1,09	2.07	0,14	0,05
185	D200101133	0,20	0,192	0	0,078	1,20	2,18	0,040	1,44	3,07	0,24	0,51
186	DZ3H101135	0,25	0,192	U	0,086	1,30	2,31	0,054	1,49	2,09	0,20	0,62

ТТ	Kích bản thí		р в		Đầ	iu đo W	G5	Đầ	u đo W	G6	C ⁰ ;	K ⁰ ;
	nghiệm	D	В	n _c	H _{m0}	Tp	T _{m-1,0}	H _{m0}	Tp	T _{m-1,0}	C _r ^p	K
	-	(m)	(m)		(m)	(s)	(s)	(m)	(s)	(s)	(-)	(-)
187	D30H10T135	0,30	0,192	0	0,091	1,49	1,81	0,067	1,30	1,82	0,18	0,74
188	D35H10T135	0,35	0,192	0	0,094	1,49	1,63	0,075	1,38	1,60	0,15	0,80
189	D20H12T148	0,20	0,192	0	0,091	1,63	2,30	0,045	1,63	3,66	0,21	0,50
190	D25H12T148	0,25	0,192	0	0,105	1,63	2,23	0,061	1,59	2,64	0,20	0,59
191	D30H12T148	0,30	0,192	0	0,115	1,63	2,02	0,079	1,35	2,11	0,19	0,69
192	D35H12T148	0,35	0,192	0	0,118	1,51	1,80	0,089	1,51	1,91	0,17	0,75
193	D20H14T160	0,20	0,192	0	0,098	1,93	2,56	0,048	1,93	3,71	0,18	0,49
194	D25H14T160	0,25	0,192	0	0,119	1,77	2,19	0,069	1,77	2,76	0,19	0,58
195	D30H14T160	0,30	0,192	0	0,133	1,63	1,99	0,089	1,63	2,37	0,19	0,67
196	D35H14T160	0,35	0,192	0	0,136	1,63	1,97	0,102	1,63	2,18	0,17	0,75
197	D20H16T171	0,20	0,192	0	0,100	1,89	2,86	0,050	1,89	4,21	0,21	0,50
198	D25H16T171	0,25	0,192	0	0,125	1,89	2,32	0,074	1,89	3,04	0,18	0,59
199	D30H16T171	0,30	0,192	0	0,141	1,74	2,13	0,098	1,89	2,66	0,18	0,70
200	D35H16T171	0,35	0,192	0	0,146	1,74	2,14	0,112	1,89	2,44	0,17	0,77
201	D20H07T113	0,20	0,192	4	0,064	1,09	1,51	0,022	1,26	2,89	0,32	0,35
202	D25H07T113	0,25	0,192	4	0,061	1,09	1,46	0,032	1,09	1,79	0,20	0,52
203	D30H07T113	0,30	0,192	4	0,062	1,09	1,35	0,043	1,09	1,56	0,22	0,69
204	D35H07T113	0,35	0,192	4	0,063	1,09	1,19	0,048	1,09	1,18	0,21	0,77
205	D20H07T134	0,20	0,192	4	0,063	1,48	2,15	0,026	1,48	3,49	0,31	0,41
206	D25H07T134	0,25	0,192	4	0,062	1,48	1,90	0,036	1,48	2,27	0,23	0,58
207	D30H07T134	0,30	0,192	4	0,064	1,48	1,59	0,045	1,48	1,59	0,23	0,71
208	D35H07T134	0,35	0,192	4	0,067	1,48	1,43	0,049	1,36	1,41	0,22	0,74
209	D20H10T135	0,20	0,192	4	0,079	1,23	2,13	0,032	1,44	3,44	0,28	0,41
210	D25H10T135	0,25	0,192	4	0,085	1,30	2,13	0,045	1,49	2,78	0,25	0,53
211	D30H10T135	0,30	0,192	4	0,091	1,49	1,80	0,059	1,30	1,87	0,25	0,65
212	D35H10T135	0,35	0,192	4	0,095	1,49	1,60	0,065	1,38	1,54	0,24	0,68
213	D20H10T160	0,20	0,192	4	0,094	1,77	2,25	0,036	1,77	3,72	0,27	0,38
214	D25H10T160	0,25	0,192	4	0,104	1,77	2,10	0,051	1,77	2,86	0,27	0,49
215	D30H10T160	0,30	0,192	4	0,111	1,63	1,85	0,063	1,54	2,24	0,27	0,57
216	D35H10T160	0,35	0,192	4	0,110	1,63	1,73	0,068	1,63	1,84	0,25	0,62
217	D20H12T148	0,20	0,192	4	0,093	1,63	2,29	0,036	1,59	4,34	0,23	0,39
218	D25H12T148	0,25	0,192	4	0,106	1,63	2,12	0,052	1,64	3,10	0,25	0,49
219	D30H12T148	0,30	0,192	4	0,116	1,63	1,92	0,069	1,42	2,28	0,26	0,59
220	D35H12T148	0,35	0,192	4	0,123	1,42	1,70	0,077	1,42	1,90	0,25	0,62
221	D20H12T175	0,20	0,192	4	0,102	1,93	2,40	0,039	1,93	4,43	0,23	0,39
222	D25H12T175	0,25	0,192	4	0,117	1,93	2,20	0,058	1,93	3,15	0,26	0,49
223	D30H12T175	0,30	0,192	4	0,130	1,71	2,02	0,074	1,93	2,49	0,27	0,57
224	D35H12T175	0,35	0,192	4	0,132	1,69	1,91	0,081	1,78	2,18	0,25	0,61
225	D20H14T160	0,20	0,192	4	0,102	1,93	2,53	0,039	1,93	4,45	0,21	0,39
226	D25H14T160	0,25	0,192	4	0,122	1,77	2,17	0,059	1,77	3,03	0,24	0,48
227	D30H14T160	0,30	0,192	4	0,137	1,54	1,96	0,076	1,54	2,44	0,25	0,56
228	D35H14T160	0,35	0,192	4	0,146	1,77	1,84	0,087	1,77	2,12	0,25	0,60
229	D20H14T189	0,20	0,192	4	0,104	1,89	2,85	0,042	0,00	5,16	0,20	0,40
230	D25H14T189	0,25	0,192	4	0,125	2,02	2,33	0,062	2,02	3,21	0,23	0,50
231	D30H14T189	0,30	0,192	4	0,140	2,09	2,15	0,082	2,09	2,69	0,26	0,59
232	D35H14T189	0,35	0,192	4	0,143	1,65	2,23	0,092	2,09	2,56	0,25	0,64
233	D20H16T171	0,20	0,192	4	0,104	1,89	2,84	0,041	1,89	5,02	0,18	0,39

TT	Kích bản thí	П	р		Đầ	iu đo W	G5	Đầ	u đo W	G6	C _r ⁰ ;	K ⁰ ;
	nghiệm		Б	n _c	H _{m0}	T _p	T _{m-1,0}	H _{m0}	T _p	T _{m-1,0}	Crp	K
		(m)	(m)		(m)	(s)	(s)	(m)	(s)	(s)	(-)	(-)
234	D25H16T171	0,25	0,192	4	0,129	1,89	2,30	0,063	1,89	3,40	0,22	0,49
235	D30H16T171	0,30	0,192	4	0,146	1,60	2,08	0,083	1,89	2,75	0,24	0,57
236	D35H16T171	0,35	0,192	4	0,157	1,65	1,98	0,094	1,65	2,39	0,25	0,60
237	D20H16T203	0,20	0,192	4	0,100	2,24	3,59	0,042	0,00	6,56	0,18	0,43
238	D25H16T203	0,25	0,192	4	0,126	2,16	2,68	0,066	2,24	3,56	0,22	0,52
239	D30H16T203	0,30	0,192	4	0,139	1,90	2,39	0,087	2,24	3,01	0,25	0,62
240	D35H16T203	0,35	0,192	4	0,149	1,78	2,28	0,100	2,07	2,74	0,26	0,67
241	D20H07T113	0,20	0,232	0	0,062	1,09	1,56	0,027	1,26	2,71	0,26	0,43
242	D25H07T113	0,25	0,232	0	0,062	1,09	1,44	0,037	1,09	1,69	0,14	0,60
243	D30H07T113	0,30	0,232	0	0,063	1,09	1,23	0,048	1,07	1,31	0,14	0,76
244	D35H07T113	0,35	0,232	0	0,063	1,09	1,19	0,053	1,09	1,19	0,12	0,84
245	D20H10T135	0,20	0,232	0	0,079	1,23	2,17	0,039	1,44	3,12	0,23	0,49
246	D25H10T135	0,25	0,232	0	0,087	1,30	2,29	0,053	1,49	2,78	0,18	0,61
247	D30H10T135	0,30	0,232	0	0,093	1,30	1,78	0,068	1,30	1,80	0,16	0,74
248	D35H10T135	0,35	0,232	0	0,094	1,49	1,60	0,074	1,38	1,60	0,14	0,78
249	D20H12T148	0,20	0,232	0	0,092	1,63	2,29	0,044	1,59	3,78	0,20	0,47
250	D25H12T148	0,25	0,232	0	0,106	1,63	2,20	0,061	1,59	2,67	0,18	0,57
251	D30H12T148	0,30	0,232	0	0,116	1.63	2,01	0,079	1,35	2,10	0,18	0,68
252	D35H12T148	0.35	0.232	0	0.119	1.51	1.80	0.089	1.51	1.86	0.16	0.74
253	D20H14T160	0,20	0,232	0	0,100	1,93	2,53	0,047	1,93	3,85	0,18	0,47
254	D25H14T160	0.25	0.232	0	0.119	1.77	2.20	0.068	1.77	2.79	0.18	0.57
255	D30H14T160	0.30	0.232	0	0.134	1.63	2.00	0.090	1.63	2.38	0.18	0.68
256	D35H14T160	0.35	0,232	0	0,137	1,63	1,96	0,102	1,63	2,15	0,17	0,74
257	D20H16T171	0.20	0.232	0	0.102	1.89	2.86	0.049	1.89	4.26	0.16	0.49
258	D25H16T171	0.25	0.232	0	0.125	1.89	2.34	0.073	1.89	3.05	0.17	0.59
259	D30H16T171	0,30	0,232	0	0,141	1,74	2,14	0,099	1,89	2,62	0,17	0,70
260	D35H16T171	0.35	0,232	0	0,147	1,74	2,14	0,112	1,89	2,41	0,17	0,76
261	D20H07T113	0,20	0,232	5	0,064	1,09	1,55	0,021	1,26	3,19	0,34	0,32
262	D25H07T113	0,25	0,232	5	0,061	1,09	1,38	0,029	1,26	2,00	0,17	0,47
263	D30H07T113	0,30	0,232	5	0,062	1,09	1,29	0,041	1,09	1,35	0,20	0,67
264	D35H07T113	0.35	0.232	5	0.061	1.09	1.19	0.047	1.09	1.15	0.22	0.77
265	D20H07T134	0.20	0.232	5	0.064	1.48	2.14	0.024	1.48	3.81	0.32	0.38
266	D25H07T134	0.25	0,232	5	0,063	1,48	1,89	0,034	1,48	2,31	0,21	0,54
267	D30H07T134	0.30	0.232	5	0.064	1.48	1.56	0.043	1.48	1.51	0.22	0.67
268	D35H07T134	0.35	0.232	5	0.067	1.48	1.43	0.049	1.48	1.39	0.22	0.73
269	D20H10T135	0.20	0.232	5	0.081	1.53	2.11	0.030	1.44	3.75	0.29	0.37
270	D25H10T135	0.25	0.232	5	0.086	1.30	2.13	0.043	1.49	2.91	0.23	0.50
271	D30H10T135	0.30	0.232	5	0.091	1.49	1.79	0.056	1.30	1.96	0.25	0.62
272	D35H10T135	0.35	0.232	5	0.096	1.49	1.57	0.064	1.38	1.57	0.24	0.66
273	D20H10T160	0.20	0.232	5	0.097	1.77	2.20	0.034	1.77	3.91	0.28	0.35
274	D25H10T160	0.25	0.232	5	0.106	1.54	2.08	0.048	1.77	2.91	0.26	0.46
275	D30H10T160	0.30	0.232	5	0.111	1.54	1.84	0.060	1.54	2,17	0.27	0.54
276	D35H10T160	0.35	0.232	5	0.110	1.63	1.71	0.067	1.63	1.85	0.26	0.61
277	D20H12T148	0.20	0.232	5	0.096	1.68	2.25	0.034	1.59	4,69	0.24	0.36
278	D25H12T148	0.25	0.232	5	0.108	1.63	2.09	0.050	1.64	2.97	0.24	0.46
279	D30H12T148	0.30	0.232	5	0.117	1.63	1.89	0.065	1.42	2.28	0.26	0.55
280	D35H12T148	0.35	0.232	5	0.124	1.42	1.67	0.075	1.42	1.81	0.26	0.60
-00		- ,	- ,	-		, , . <u> </u>	,		, , · _	.,		- , ~ ~

TT	Kích bản thí	D	р		Đầ	iu đo W	G5	Đầ	u đo W	G6	C _r ⁰ ;	K ⁰ ;
	nghiệm	D	В	n _c	H _{m0}	T _p	T _{m-1,0}	H _{m0}	T _p	T _{m-1,0}	C_r^p	K
		(m)	(m)		(m)	(s)	(s)	(m)	(s)	(s)	(-)	(-)
281	D20H12T175	0,20	0,232	5	0,105	1,93	2,37	0,038	1,93	4,72	0,24	0,36
282	D25H12T175	0,25	0,232	5	0,117	1,93	2,29	0,055	1,93	3,19	0,25	0,47
283	D30H12T175	0,30	0,232	5	0,130	1,71	2,02	0,071	1,93	2,37	0,27	0,54
284	D35H12T175	0,35	0,232	5	0,132	1,69	1,90	0,080	1,78	2,19	0,27	0,61
285	D20H14T160	0,20	0,232	5	0,103	1,93	2,49	0,037	1,93	4,50	0,22	0,36
286	D25H14T160	0,25	0,232	5	0,123	1,77	2,14	0,057	1,77	3,15	0,23	0,46
287	D30H14T160	0,30	0,232	5	0,138	1,54	1,95	0,073	1,54	2,52	0,26	0,53
288	D35H14T160	0,35	0,232	5	0,147	1,54	1,82	0,086	1,63	2,12	0,27	0,59
289	D20H14T189	0,20	0,232	5	0,106	1,89	2,85	0,040	0,00	5,41	0,21	0,38
290	D25H14T189	0,25	0,232	5	0,125	2,02	2,34	0,060	2,02	3,35	0,23	0,48
291	D30H14T189	0,30	0,232	5	0,143	2,09	2,15	0,081	2,09	2,63	0,26	0,57
292	D35H14T189	0,35	0,232	5	0,142	1,65	2,24	0,091	2,09	2,60	0,27	0,64
293	D20H16T171	0,20	0,232	5	0,106	1,89	2,83	0,039	1,89	5,28	0,18	0,37
294	D25H16T171	0,25	0,232	5	0,130	1,89	2,30	0,061	1,89	3,33	0,21	0,47
295	D30H16T171	0,30	0,232	5	0,150	1,60	2,09	0,082	1,89	2,73	0,25	0,55
296	D35H16T171	0,35	0,232	5	0,158	1,65	1,98	0,093	1,89	2,46	0,29	0,59
297	D20H16T203	0,20	0,232	5	0,100	2,24	3,58	0,040	0,00	6,85	0,19	0,40
298	D25H16T203	0,25	0,232	5	0,126	2,16	2,72	0,064	2,24	3,60	0,22	0,51
299	D30H16T203	0,30	0,232	5	0,142	1,90	2,39	0,086	2,24	3,01	0,26	0,60
300	D35H16T203	0,35	0,232	5	0,147	1,78	2,30	0,099	2,07	2,78	0,27	0,67

Ghi chú: Ký hiệu D là độ sâu nước thí nghiệm (với D = $h_c + R_c$), trong đó chiều cao thân đê ngầm rỗng không cọc $h_c = 0,20cm = constant$, R_c là độ ngập đỉnh đê ngầm rỗng không cọc, (ví dụ kịch bản thí nghiệm số 300: D35H16T203, có nghĩa là D35 = 0,20 + 0,15 = 0,35cm).

		Độ	Bề		Đầ	u đo W	'G5	Đ	ầu đo V	VG6	C _r ⁰ ;
	Kịch bản thí	sâu	rộng	n.	H _m o	Т.	T	H	Т.	T 1.0	C_r^p
TT	nghiệm	(D)	(B)	II _C	11m0	- p	- m-1,0	m0	- p	- m-1,0	
		(m)	(m)		(m)	(s)	(s)	(m)	(s)	(s)	(-)
1	D20H07T113	0,20	0,112	0	0,064	1,09	1,56	0,031	1,12	2,54	0,30
2	D25H07T113	0,25	0,112	0	0,063	1,09	1,42	0,042	1,09	1,52	0,21
3	D30H07T113	0,30	0,112	0	0,063	1,07	1,22	0,051	1,07	1,30	0,18
4	D35H07T113	0,35	0,112	0	0,063	1,09	1,19	0,055	1,09	1,20	0,15
5	D20H10T135	0,20	0,112	0	0,078	1,23	2,18	0,044	1,38	2,93	0,26
6	D25H10T135	0,25	0,112	0	0,086	1,30	2,31	0,058	1,49	2,48	0,23
7	D30H10T135	0,30	0,112	0	0,092	1,49	1,84	0,073	1,30	1,76	0,19
8	D35H10T135	0,35	0,112	0	0,093	1,49	1,65	0,078	1,38	1,60	0,16
9	D20H12T148	0,20	0,112	0	0,088	1,63	2,35	0,049	1,63	3,27	0,22
10	D25H12T148	0,25	0,112	0	0,103	1,63	2,26	0,065	1,63	2,50	0,23
11	D30H12T148	0,30	0,112	0	0,114	1,63	2,04	0,084	1,35	2,03	0,20
12	D35H12T148	0,35	0,112	0	0,119	1,51	1,81	0,094	1,51	1,87	0,17
13	D20H14T160	0,20	0,112	0	0,096	1,93	2,62	0,051	1,93	3,41	0,19
14	D25H14T160	0,25	0,112	0	0,119	1,77	2,18	0,074	1,77	2,66	0,20
15	D30H14T160	0,30	0,112	0	0,133	1,63	2,00	0,095	1,63	2,33	0,19
16	D35H14T160	0,35	0,112	0	0,138	1,63	1,97	0,108	1,63	2,14	0,17
17	D20H16T171	0,20	0,112	0	0,099	1,89	2,89	0,053	1,89	4,06	0,17
18	D25H16T171	0,25	0,112	0	0,125	1,89	2,32	0,079	1,89	2,89	0,19
19	D30H16T171	0,30	0,112	0	0,142	1,74	2,13	0,104	1,89	2,60	0,18
20	D35H16T171	0,35	0,112	0	0,149	1,74	2,14	0,118	1,89	2,40	0,17
21	D20H07T113	0,20	0,152	0	0,064	1,09	1,57	0,030	1,12	2,51	0,28
22	D25H07T113	0,25	0,152	0	0,064	1,09	1,42	0,041	1,09	1,52	0,18
23	D30H07T113	0,30	0,152	0	0,064	1,07	1,24	0,049	1,07	1,33	0,16
24	D35H07T113	0,35	0,152	0	0,063	1,09	1,20	0,054	1,09	1,29	0,14
25	D20H07T134	0,20	0,152	0	0,064	1,29	2,23	0,034	1,48	3,14	0,28
26	D25H07T134	0,25	0,152	0	0,065	1,48	2,04	0,045	1,48	2,09	0,20
27	D30H07T134	0,30	0,152	0	0,065	1,48	1,56	0,052	1,48	1,51	0,18
28	D35H07T134	0,35	0,152	0	0,067	1,48	1,63	0,056	1,48	1,49	0,15
29	D20H10T135	0,20	0,152	0	0,078	1,23	2,19	0,042	1,44	2,94	0,25
30	D25H10T135	0,25	0,152	0	0,088	1,30	2,29	0,057	1,49	2,53	0,22
31	D30H10T135	0,30	0,152	0	0,092	1,49	1,81	0,071	1,30	1,75	0,19
32	D35H10T135	0,35	0,152	0	0,094	1,49	1,63	0,076	1,38	1,59	0,16
33	D20H10T160	0,20	0,152	0	0,090	1,77	2,35	0,046	1,77	3,31	0,25
34	D25H10T160	0,25	0,152	0	0,105	1,63	2,23	0,063	1,77	2,51	0,23
35	D30H10T160	0,30	0,152	0	0,107	1,63	1,95	0,075	1,63	2,08	0,20
36	D35H10T160	0,35	0,152	0	0,105	1,63	1,90	0,081	1,63	1,96	0,17
37	D20H12T148	0,20	0,152	0	0,090	1,63	2,34	0,048	1,63	3,40	0,21
38	D25H12T148	0,25	0,152	0	0,107	1,63	2,22	0,066	1,59	2,53	0,21
39	D30H12T148	0,30	0,152	0	0,116	1,64	2,03	0,082	1,35	2,03	0,19
40	D35H12T148	0,35	0,152	0	0,120	1,51	1,80	0,091	1,51	1,87	0,17
41	D20H12T175	0.20	0.152	0	0.099	1.93	2,44	0.050	1.93	3.66	0.21
42	D25H12T175	0,25	0,152	0	0,119	1,93	2,26	0,072	1,93	2,88	0,22

Phụ lục 3. Bảng tổng hợp kết quả thí nghiệm MHVL truyền sóng qua thân đê rỗng không cọc và có cọc với cùng điều kiện sóng thí nghiệm

		Độ	Bề		Đầ	u đo W	'G5	Đ	ầu đo V	VG6	C ⁰ _r ;
	Kịch bản thí	sâu	rộng	n	н.	т	т	н.	т	Т	C _r ^p
TT	nghiệm	(D)	(B)	n _c	11 _{m0}	тр	1 m-1,0	11 _{m0}	тр	1 m-1,0	
		(m)	(m)		(m)	(s)	(s)	(m)	(s)	(s)	(-)
43	D30H12T175	0,30	0,152	0	0,125	1,78	2,13	0,089	1,93	2,34	0,20
44	D35H12T175	0,35	0,152	0	0,126	1,72	2,12	0,099	1,72	2,21	0,18
45	D20H14T160	0,20	0,152	0	0,098	1,93	2,57	0,051	1,93	3,57	0,19
46	D25H14T160	0,25	0,152	0	0,122	1,77	2,18	0,073	1,77	2,68	0,20
47	D30H14T160	0,30	0,152	0	0,135	1,63	1,99	0,094	1,63	2,34	0,19
48	D35H14T160	0,35	0,152	0	0,138	1,63	1,97	0,105	1,63	2,15	0,17
49	D20H14T189	0,20	0,152	0	0,102	1,89	2,89	0,054	0,00	4,18	0,18
50	D25H14T189	0,25	0,152	0	0,126	2,02	2,35	0,078	2,02	3,07	0,20
51	D30H14T189	0,30	0,152	0	0,135	1,89	2,36	0,100	1,89	2,68	0,19
52	D35H14T189	0,35	0,152	0	0,139	1,81	2,41	0,113	1,81	2,58	0,18
53	D20H16T171	0,20	0,152	0	0,101	1,89	2,85	0,053	1,89	4,10	0,16
54	D25H16T171	0,25	0,152	0	0,130	1,89	2,31	0,079	1,89	2,93	0,18
55	D30H16T171	0,30	0,152	0	0,144	1,74	2,11	0,103	1,89	2,56	0,18
56	D35H16T171	0,35	0,152	0	0,149	1,74	2,14	0,115	1,89	2,40	0,17
57	D20H16T203	0,20	0,152	0	0,099	2,24	3,56	0,054	0,00	5,24	0,17
58	D25H16T203	0,25	0,152	0	0,126	2,16	2,69	0,081	2,16	3,33	0,19
59	D30H16T203	0,30	0,152	0	0,137	1,90	2,50	0,107	2,15	2,94	0,19
60	D35H16T203	0,35	0,152	0	0,144	1,95	2,43	0,124	2,07	2,81	0,18
61	D20H07T113	0,20	0,192	0	0,063	1,09	1,54	0,028	1,26	2,53	0,27
62	D25H07T113	0,25	0,192	0	0,062	1,09	1,45	0,038	1,09	1,69	0,16
63	D30H07T113	0,30	0,192	0	0,062	1,09	1,26	0,047	1,07	1,36	0,16
64	D35H07T113	0,35	0,192	0	0,063	1,09	1,22	0,053	1,09	1,22	0,14
65	D20H10T135	0,20	0,192	0	0,078	1,23	2,18	0,040	1,44	3,07	0,24
66	D25H10T135	0.25	0,192	0	0,086	1,30	2,31	0,054	1,49	2,69	0,20
67	D30H10T135	0,30	0,192	0	0,091	1,49	1,81	0,067	1,30	1,82	0,18
68	D35H10T135	0.35	0,192	0	0,094	1,49	1,63	0,075	1,38	1,60	0,15
69	D20H12T148	0.20	0.192	0	0.091	1.63	2.30	0.045	1.63	3.66	0.21
70	D25H12T148	0.25	0.192	0	0.105	1.63	2.23	0.061	1.59	2.64	0.20
71	D30H12T148	0.30	0.192	0	0.115	1.63	2.02	0.079	1.35	2.11	0.19
72	D35H12T148	0.35	0.192	0	0.118	1.51	1.80	0.089	1.51	1.91	0.17
73	D20H14T160	0.20	0.192	0	0.098	1.93	2.56	0.048	1.93	3.71	0.18
74	D25H14T160	0.25	0.192	0	0.119	1.77	2.19	0.069	1.77	2.76	0.19
75	D30H14T160	0.30	0.192	0	0.133	1.63	1.99	0.089	1.63	2.37	0.19
76	D35H14T160	0.35	0.192	0	0.136	1.63	1.97	0.102	1.63	2.18	0.17
77	D20H16T171	0.20	0.192	0	0.100	1.89	2.86	0.050	1.89	4.21	0.21
78	D25H16T171	0.25	0.192	0	0.125	1 89	2.32	0.074	1.89	3.04	0.18
79	D30H16T171	0.30	0.192	0	0.141	1 74	2,32	0.098	1.89	2 66	0.18
80	D35H16T171	0.35	0.192	0	0.146	1 74	2,13	0.112	1.89	2,00	0.17
81	D20H07T113	0.20	0.232	0	0.062	1,74	1 56	0.027	1,05	2,44	0.26
82	D25H07T113	0.25	0.232	0	0.062	1.09	1 4/	0.037	1.09	1 60	0.14
02 92	D30H07T112	0,25	0,232	0	0.062	1.09	1 72	0.037	1,07	1 21	0.14
03	D35H07T112	0,30	0,232	0	0,003	1,09	1,23	0,040	1,07	1,51	0,14
04	D3011071113	0,33	0,232	0	0,003	1.09	2 17	0,033	1.09	3 1 2	0,12
0J 02	D2011101133	0,20	0,232	0	0,079	1,20	2,17	0,039	1,44	2 70	0,23
00	D20H10T125	0,23	0,232	0	0,007	1,30	2,29	0,033	1,49	2,70	0,10
8/	D30H101133	0,50	0,232	0	0,093	1,30	1,/ð	0,008	1,30	1,00	0,10
88	0331101135	0,33	0,232	U	0,094	1,49	1,00	0,074	1,38	1,00	0,14

			,								
		Độ	Bê		Đâ	u đo W	G5	Đ	âu đo V	VG6	$C_r^0;$
	Kịch bản thí	sâu	rộng	n _o	H_{m0}	T.	T_{m+0}	H_{m0}	T _n	$T_{m,1,0}$	C _r ^p
TT	nghiệm	(D)	(B)	110		- p	- 111-1,0		- p	- 111-1,0	
		(m)	(m)		(m)	(s)	(s)	(m)	(s)	(s)	(-)
89	D20H12T148	0,20	0,232	0	0,092	1,63	2,29	0,044	1,59	3,78	0,20
90	D25H12T148	0,25	0,232	0	0,106	1,63	2,20	0,061	1,59	2,67	0,18
91	D30H12T148	0,30	0,232	0	0,116	1,63	2,01	0,079	1,35	2,10	0,18
92	D35H12T148	0,35	0,232	0	0,119	1,51	1,80	0,089	1,51	1,86	0,16
93	D20H14T160	0,20	0,232	0	0,100	1,93	2,53	0,047	1,93	3,85	0,18
94	D25H14T160	0,25	0,232	0	0,119	1,77	2,20	0,068	1,77	2,79	0,18
95	D30H14T160	0,30	0,232	0	0,134	1,63	2,00	0,090	1,63	2,38	0,18
96	D35H14T160	0,35	0,232	0	0,137	1,63	1,96	0,102	1,63	2,15	0,17
97	D20H16T171	0,20	0,232	0	0,102	1,89	2,86	0,049	1,89	4,26	0,16
98	D25H16T171	0,25	0,232	0	0,125	1,89	2,34	0,073	1,89	3,05	0,17
99	D30H16T171	0,30	0,232	0	0,141	1,74	2,14	0,099	1,89	2,62	0,17
100	D35H16T171	0,35	0,232	0	0,147	1,74	2,14	0,112	1,89	2,41	0,17
101	D20H07T113	0,20	0,112	2	0,065	1,09	1,51	0,027	1,12	2,49	0,31
102	D25H07T113	0.25	0.112	2	0.064	1.09	1.33	0.038	1.09	1.54	0.24
103	D30H07T113	0.30	0.112	2	0.063	1.09	1.19	0.046	1.09	1.20	0.23
104	D35H07T113	0.35	0.112	2	0.063	1.09	1,17	0.052	1.09	1,13	0.19
105	D20H10T135	0.20	0.112	2	0.079	1 23	2.14	0.038	1 44	2.93	0.27
105	D25H10T135	0.25	0.112	2	0.085	1,20	2,11	0.054	1 30	2,23	0.27
100	D30H10T135	0.30	0.112	2	0,000	1,30	1.86	0.064	1,30	1 78	0.24
107	D35H10T135	0.35	0.112	2	0.093	1,19	1,00	0.070	1 38	1,70	0.22
100	D20H12T148	0.20	0.112	2	0.091	1,12	2 31	0.043	1,50	3 55	0.24
110	D25H12T148	0.25	0.112	2	0.105	1,03	2,31	0.061	1,63	2 67	0.26
111	D30H12T148	0.30	0.112	2	0.114	1,63	2.02	0.074	1.42	2,07	0.25
112	D35H12T148	0.35	0.112	2	0.121	1,00	1 72	0.084	1 42	1 77	0.23
112	D20H14T160	0.20	0,112	2	0,121	1,93	2.60	0.046	1,12	3 55	0.21
113	D25H14T160	0.25	0.112	2	0.122	1,77	2,00	0.068	1,75	2.83	0.24
115	D30H14T160	0.30	0.112	2	0.137	1,77	1 99	0.084	1,77	2,03	0.24
115	D35H14T160	0.35	0,112	2	0.145	1,05	1,99	0,004	1,34	2,51	0.24
117	D20H16T171	0,35	0,112	2	0,143	1,77	2.88	0,077	1,77	4 20	0.18
117	D25H16T171	0.25	0,112	2	0,102	1,07	2,00	0,040	1,09	2.95	0.22
110	D20H16T171	0,25	0,112	2	0,131	1,07	2,27	0,074	1,07	2,55	0.22
119	D35H16T171	0,30	0,112	2	0,140	1,09	2,09	0,091	1,09	2,00	0,23
120	D20H07T113	0,35	0,112	3	0,157	1,74	1.53	0,105	1,07	2,00	0,22
121	D25H07T113	0,20	0,152	3	0,004	1,09	1,33	0,020	1,12	1.61	0,30
122	D20H07T113	0,25	0,152	3	0,003	1,09	1,37	0,030	1,09	1,01	0,22
123	D35H07T113	0,30	0,152	3	0,004	1,09	1,20	0,045	1,09	2 21	0,31
124	D33H07T124	0,55	0,152	2	0,004	1,09	1,20	0,030	1,09	2,21	0,21
125	D20H07T134	0,20	0,152	2	0,004	1,29	2,17	0,030	1,48	3,18	0,50
126	D25H07T134	0,25	0,152	3	0,062	1,48	1,90	0,039	1,48	2,12	0,25
12/	D30H0/1134	0,30	0,152	3	0,004	1,48	1,39	0,047	1,48	1,52	0,27
128	D35H0/1134	0,35	0,152	3	0,067	1,48	1,42	0,052	1,30	1,55	0,21
129	D20H10T135	0,20	0,152	5	0,079	1,23	2,15	0,037	1,49	3,06	0,27
130	D25H10T135	0,25	0,152	5	0,085	1,30	2,19	0,050	1,49	2,53	0,27
131	D30H10T135	0,30	0,152	3	0,091	1,49	1,83	0,063	1,30	1,/6	0,29
132	D35H10T135	0,35	0,152	3	0,095	1,49	1,63	0,069	1,38	1,55	0,23
133	D20H10T160	0,20	0,152	3	0,093	1,77	2,30	0,040	1,77	3,38	0,28
134	D25H10T160	0,25	0,152	3	0,105	1,63	2,16	0,055	1,77	2,71	0,28

		Độ	Bề		Đầ	u đo W	'G5	Đ	ầu đo V	VG6	C ⁰ _r ;
	Kịch bản thí	sâu	rộng	n	ц	т	т	ц	т	т	C ^p _r
TT	nghiệm	(D)	(B)	Π _C	n _{m0}	Iр	1 _{m-1,0}	n _{m0}	Iр	1 _{m-1,0}	
		(m)	(m)		(m)	(s)	(s)	(m)	(s)	(s)	(-)
135	D30H10T160	0,30	0,152	3	0,111	1,63	1,88	0,066	1,54	2,11	0,29
136	D35H10T160	0,35	0,152	3	0,111	1,63	1,73	0,073	1,63	1,83	0,24
137	D20H12T148	0,20	0,152	3	0,093	1,83	2,30	0,041	1,63	3,75	0,24
138	D25H12T148	0,25	0,152	3	0,106	1,63	2,19	0,058	1,64	2,72	0,26
139	D30H12T148	0,30	0,152	3	0,117	1,63	1,98	0,072	1,42	2,14	0,29
140	D35H12T148	0,35	0,152	3	0,124	1,42	1,70	0,082	1,42	1,77	0,25
141	D20H12T175	0,20	0,152	3	0,102	1,93	2,41	0,044	1,93	3,94	0,24
142	D25H12T175	0,25	0,152	3	0,120	1,93	2,22	0,063	1,93	3,00	0,27
143	D30H12T175	0,30	0,152	3	0,132	1,93	2,03	0,078	1,93	2,39	0,29
144	D35H12T175	0,35	0,152	3	0,134	1,76	1,92	0,087	1,78	2,09	0,25
145	D20H14T160	0,20	0,152	3	0,100	1,93	2,56	0,044	1,93	3,68	0,21
146	D25H14T160	0,25	0,152	3	0,123	1,77	2,17	0,064	1,93	2,95	0,24
147	D30H14T160	0,30	0,152	3	0,139	1,63	1,98	0,081	1,54	2,37	0,29
148	D35H14T160	0,35	0,152	3	0,148	1,77	1,84	0,094	1,77	2,04	0,25
149	D20H14T189	0,20	0,152	3	0,104	1,89	2,88	0,046	0,00	4,59	0,21
150	D25H14T189	0,25	0,152	3	0,127	2,09	2,32	0,067	2,09	3,16	0,24
151	D30H14T189	0,30	0,152	3	0,144	2,09	2,15	0,087	2,09	2,61	0,28
152	D35H14T189	0,35	0,152	3	0,147	1,65	2,24	0,099	2,09	2,51	0,24
153	D20H16T171	0,20	0,152	3	0,103	1,89	2,85	0,045	1,89	4,43	0,19
154	D25H16T171	0,25	0,152	3	0,131	1,89	2,29	0,069	1,89	3,09	0,22
155	D30H16T171	0,30	0,152	3	0,149	1,89	2,09	0,089	1,89	2,63	0,27
156	D35H16T171	0,35	0,152	3	0,161	1,74	2,00	0,102	1,89	2,33	0,24
157	D20H16T203	0,20	0,152	3	0,100	2,24	3,56	0,047	0,00	5,71	0,19
158	D25H16T203	0,25	0,152	3	0,129	2,16	2,62	0,071	2,24	3,38	0,23
159	D30H16T203	0,30	0,152	3	0,145	1,78	2,38	0,092	2,24	2,92	0,27
160	D35H16T203	0,35	0,152	3	0,152	1,78	2,29	0,108	2,07	2,65	0,25
161	D20H07T113	0,20	0,192	4	0,064	1,09	1,51	0,022	1,26	2,89	0,32
162	D25H07T113	0,25	0,192	4	0,061	1,09	1,46	0,032	1,09	1,79	0,20
163	D30H07T113	0,30	0,192	4	0,062	1,09	1,35	0,043	1,09	1,56	0,22
164	D35H07T113	0.35	0,192	4	0,063	1.09	1,19	0,048	1.09	1,18	0,21
165	D20H10T135	0.20	0.192	4	0.079	1.23	2.13	0.032	1.44	3.44	0.28
166	D25H10T135	0,25	0,192	4	0,085	1,30	2,13	0,045	1,49	2,78	0,25
167	D30H10T135	0,30	0,192	4	0,091	1,49	1,80	0,059	1,30	1,87	0,25
168	D35H10T135	0.35	0.192	4	0.095	1.49	1.60	0.065	1.38	1.54	0.24
169	D20H12T148	0,20	0,192	4	0.093	1,63	2,29	0,036	1,59	4,34	0,23
170	D25H12T148	0.25	0.192	4	0.106	1.63	2.12	0.052	1.64	3.10	0.25
171	D30H12T148	0.30	0.192	4	0.116	1.63	1.92	0.069	1.42	2.28	0.26
172	D35H12T148	0.35	0.192	4	0.123	1.42	1.70	0.077	1.42	1.90	0.25
172	D20H14T160	0.20	0.192	4	0.102	1.93	2.53	0.039	1.93	4.45	0.21
173	D25H14T160	0.25	0.192	4	0.122	1 77	2.17	0.059	1 77	3.03	0.24
175	D30H14T160	0.30	0.192	4	0.137	1 54	1.96	0.076	1 54	2.44	0.25
176	D35H14T160	0.35	0.192	4	0.146	1 77	1 84	0.087	1 77	2.12	0.25
177	D20H16T171	0.20	0 192	4	0 104	1 89	2 84	0.041	1 89	5.02	0.18
178	D25H16T171	0.25	0 192	4	0.129	1 89	2,04	0.063	1.89	3 40	0.22
170	D30H16T171	0.30	0.192	4	0.146	1.60	2,08	0.083	1.89	2.75	0.22
180	D35H16T171	0.35	0.192	4	0.157	1 65	1.98	0.094	1.65	2,75	0.25
100		-,	~, . / 4		~,	-,00		~,~/	-,00	_,_,	

		Độ	Bề		Đầ	u đo W	'G5	Đ	ầu đo V	VG6	C ⁰ ;
TT	Kịch bản thí nghiệm	sâu (D)	rộng (B)	n _c	H _{m0}	T _p	T _{m-1,0}	H_{m0}	T _p	T _{m-1,0}	C ^p _r
		(m)	(m)		(m)	(s)	(s)	(m)	(s)	(s)	(-)
181	D20H07T113	0,20	0,232	5	0,064	1,09	1,55	0,021	1,26	3,19	0,34
182	D25H07T113	0,25	0,232	5	0,061	1,09	1,38	0,029	1,26	2,00	0,17
183	D30H07T113	0,30	0,232	5	0,062	1,09	1,29	0,041	1,09	1,35	0,20
184	D35H07T113	0,35	0,232	5	0,061	1,09	1,19	0,047	1,09	1,15	0,22
185	D20H10T135	0,20	0,232	5	0,081	1,53	2,11	0,030	1,44	3,75	0,29
186	D25H10T135	0,25	0,232	5	0,086	1,30	2,13	0,043	1,49	2,91	0,23
187	D30H10T135	0,30	0,232	5	0,091	1,49	1,79	0,056	1,30	1,96	0,25
188	D35H10T135	0,35	0,232	5	0,096	1,49	1,57	0,064	1,38	1,57	0,24
189	D20H12T148	0,20	0,232	5	0,096	1,68	2,25	0,034	1,59	4,69	0,24
190	D25H12T148	0,25	0,232	5	0,108	1,63	2,09	0,050	1,64	2,97	0,24
191	D30H12T148	0,30	0,232	5	0,117	1,63	1,89	0,065	1,42	2,28	0,26
192	D35H12T148	0,35	0,232	5	0,124	1,42	1,67	0,075	1,42	1,81	0,26
193	D20H14T160	0,20	0,232	5	0,103	1,93	2,49	0,037	1,93	4,50	0,22
194	D25H14T160	0,25	0,232	5	0,123	1,77	2,14	0,057	1,77	3,15	0,23
195	D30H14T160	0,30	0,232	5	0,138	1,54	1,95	0,073	1,54	2,52	0,26
196	D35H14T160	0,35	0,232	5	0,147	1,54	1,82	0,086	1,63	2,12	0,27
197	D20H16T171	0,20	0,232	5	0,106	1,89	2,83	0,039	1,89	5,28	0,18
198	D25H16T171	0,25	0,232	5	0,130	1,89	2,30	0,061	1,89	3,33	0,21
199	D30H16T171	0,30	0,232	5	0,150	1,60	2,09	0,082	1,89	2,73	0,25
200	D35H16T171	0,35	0,232	5	0,158	1,65	1,98	0,093	1,89	2,46	0,29

		Đô	Bề	Trường hợp thân đê rỗng Trường hợp có hệ cọc bên			cọc bên			
тт	Kịch bản thí	sâu	rộng		không cọc		trên			D_{pr}
	nghiệm	(D)	(B)	\$	H _{m0}	(m)	5	H _{m0}	(m)	1
		(m)	(m)	n _c	WG5	WG6	II _c	WG5	WG6	(-)
1	D20H07T113	0,20	0,112	0	0,064	0,031	2	0,065	0,027	0,0558
2	D25H07T113	0,25	0,112	0	0,063	0,042	2	0,064	0,038	0,0794
3	D30H07T113	0,30	0,112	0	0,063	0,051	2	0,063	0,046	0,1222
4	D35H07T113	0,35	0,112	0	0,063	0,055	2	0,063	0,052	0,0809
5	D20H10T135	0,20	0,112	0	0,078	0,044	2	0,079	0,038	0,0798
6	D25H10T135	0,25	0,112	0	0,086	0,058	2	0,085	0,054	0,0613
7	D30H10T135	0,30	0,112	0	0,092	0,073	2	0,090	0,064	0,1489
8	D35H10T135	0,35	0,112	0	0,093	0,078	2	0,093	0,070	0,1369
9	D20H12T148	0,20	0,112	0	0,088	0,049	2	0,091	0,043	0,0689
10	D25H12T148	0,25	0,112	0	0,103	0,065	2	0,105	0,061	0,0466
11	D30H12T148	0,30	0,112	0	0,114	0,084	2	0,114	0,074	0,1216
12	D35H12T148	0,35	0,112	0	0,119	0,094	2	0,121	0,084	0,1236
13	D20H14T160	0,20	0,112	0	0,096	0,051	2	0,100	0,046	0,0505
14	D25H14T160	0,25	0,112	0	0,119	0,074	2	0,122	0,068	0,0587
15	D30H14T160	0,30	0,112	0	0,133	0,095	2	0,137	0,084	0,1080
16	D35H14T160	0,35	0,112	0	0,138	0,108	2	0,145	0,097	0,1126
17	D20H16T171	0,20	0,112	0	0,099	0,053	2	0,102	0,048	0,0500
18	D25H16T171	0,25	0,112	0	0,125	0,079	2	0,131	0,074	0,0467
19	D30H16T171	0,30	0,112	0	0,142	0,104	2	0,148	0,091	0,1206
20	D35H16T171	0,35	0,112	0	0,149	0,118	2	0,157	0,105	0,1238
21	D20H07T113	0,20	0,152	0	0,064	0,030	3	0,064	0,026	0,0547
22	D25H07T113	0,25	0,152	0	0,064	0,041	3	0,063	0,036	0,0955
23	D30H07T113	0,30	0,152	0	0,064	0,049	3	0,064	0,045	0,0918
24	D35H07T113	0,35	0,152	0	0,063	0,054	3	0,064	0,050	0,1032
25	D20H07T134	0,20	0,152	0	0,064	0,034	3	0,064	0,030	0,0625
26	D25H07T134	0,25	0,152	0	0,065	0,045	3	0,062	0,039	0,1250
27	D30H07T134	0,30	0,152	0	0,065	0,052	3	0,064	0,047	0,1190
28	D35H07T134	0,35	0,152	0	0,067	0,056	3	0,067	0,052	0,0962
29	D20H10T135	0,20	0,152	0	0,078	0,042	3	0,079	0,037	0,0641
30	D25H10T135	0,25	0,152	0	0,088	0,057	3	0,085	0,050	0,1001
31	D30H10T135	0,30	0,152	0	0,092	0,071	3	0,091	0,063	0,1280
32	D35H10T135	0,35	0,152	0	0,094	0,076	3	0,095	0,069	0,1137
33	D20H10T160	0,20	0,152	0	0,090	0,046	3	0,093	0,040	0,0616
34	D25H10T160	0,25	0,152	0	0,105	0,063	3	0,105	0,055	0,0856
35	D30H10T160	0,30	0,152	0	0,107	0,075	3	0,111	0,066	0,1068
36	D35H10T160	0,35	0,152	0	0,105	0,081	3	0,111	0,073	0,1056
37	D20H12T148	0,20	0,152	0	0,090	0,048	3	0,093	0,041	0,0744
38	D25H12T148	0,25	0,152	0	0,107	0,066	3	0,106	0,058	0,0875
39	D30H12T148	0,30	0,152	0	0,116	0,082	3	0,117	0,072	0,1135
40	D35H12T148	0,35	0,152	0	0,120	0,091	3	0,124	0,082	0,1046
41	D20H12T175	0,20	0,152	0	0,099	0,050	3	0,102	0,044	0,0558
42	D25H12T175	0,25	0,152	0	0,119	0,072	3	0,120	0,063	0,0851
43	D30H12T175	0,30	0,152	0	0,125	0,089	3	0,132	0,078	0,1113
44	D35H12T175	0,35	0,152	0	0,126	0,099	3	0,134	0,087	0,1321

Phụ lục 4. Bảng kết quả tính toán giá trị $D_{\rm pr}$

		Đô	Bề	Trườn	g hợp thân	hợp thân đê rỗng		Trường hợp có hệ cọc bên		
тт	TT Kich bản thí		rông	rộng		không cọc		trên		D_{pr}
	nghiệm	(D)	(B)		$H_{m0}(m)$			$H_{m0}(m)$		P
		(m)	(m)	n _c	WG5	WG6	n _c	WG5	WG6	(-)
45	D20H14T160	0,20	0,152	0	0,098	0,051	3	0,100	0,044	0,0679
46	D25H14T160	0,25	0,152	0	0,122	0,073	3	0,123	0,064	0,0822
47	D30H14T160	0,30	0,152	0	0,135	0,094	3	0,139	0,081	0,1212
48	D35H14T160	0,35	0,152	0	0,138	0,105	3	0,148	0,094	0,1070
49	D20H14T189	0,20	0,152	0	0,102	0,054	3	0,104	0,046	0,0754
50	D25H14T189	0,25	0,152	0	0,126	0,078	3	0,127	0,067	0,0997
51	D30H14T189	0,30	0,152	0	0,135	0,100	3	0,144	0,087	0,1249
52	D35H14T189	0,35	0,152	0	0,139	0,113	3	0,147	0,099	0,1451
53	D20H16T171	0,20	0,152	0	0,101	0,053	3	0,103	0,045	0,0754
54	D25H16T171	0.25	0,152	0	0,130	0,079	3	0,131	0,069	0,0869
55	D30H16T171	0,30	0,152	0	0,144	0,103	3	0,149	0,089	0,1252
56	D35H16T171	0.35	0,152	0	0,149	0,115	3	0,161	0,102	0,1174
57	D20H16T203	0,20	0,152	0	0.099	0,054	3	0,100	0,047	0,0714
58	D25H16T203	0,25	0,152	0	0,126	0,081	3	0,129	0,071	0,0935
59	D30H16T203	0.30	0.152	0	0.137	0.107	3	0.145	0.092	0.1501
60	D35H16T203	0.35	0.152	0	0.144	0.124	3	0.152	0.108	0.1695
61	D20H07T113	0.20	0.192	0	0.063	0.028	4	0.064	0.022	0.0744
62	D25H07T113	0.25	0.192	0	0.062	0.038	4	0.061	0.032	0.1110
63	D30H07T113	0.30	0.192	0	0.062	0.047	4	0.062	0.043	0.0937
64	D35H07T113	0.35	0.192	0	0.063	0.053	4	0.063	0.048	0.1272
65	D20H10T135	0.20	0.192	0	0.078	0.040	4	0.079	0.032	0.0935
66	D25H10T135	0.25	0.192	0	0.086	0.054	4	0.085	0.045	0.1219
67	D30H10T135	0.30	0.192	0	0.091	0.067	4	0.091	0.059	0.1217
68	D35H10T135	0.35	0.192	0	0.094	0.075	4	0.095	0.065	0.1568
69	D20H12T148	0.20	0.192	0	0.091	0.045	4	0.093	0.036	0.0861
70	D25H12T148	0.25	0.192	0	0.105	0.061	4	0.106	0.052	0.0914
71	D30H12T148	0.30	0.192	0	0.115	0.079	4	0.116	0.069	0.1109
72	D35H12T148	0.35	0.192	0	0.118	0.089	4	0.123	0.077	0.1372
73	D20H14T160	0.20	0.192	0	0.098	0.048	4	0.102	0.039	0.0783
74	D25H14T160	0.25	0.192	0	0.119	0.069	4	0.122	0.059	0.0882
75	D30H14T160	0.30	0.192	0	0,133	0.089	4	0.137	0.076	0.1177
76	D35H14T160	0.35	0.192	0	0.136	0.102	4	0.146	0.087	0.1426
77	D20H16T171	0.20	0.192	0	0.100	0.050	4	0.104	0.041	0.0787
78	D25H16T171	0.25	0.192	0	0.125	0.074	4	0.129	0.063	0.0934
79	D30H16T171	0.30	0.192	0	0.141	0.098	4	0.146	0.083	0.1318
80	D35H16T171	0.35	0.192	0	0.146	0.112	4	0.157	0.094	0.1616
81	D20H07T113	0.20	0.232	0	0.062	0.027	5	0.064	0.021	0.0726
82	D25H07T113	0.25	0.232	0	0.062	0.037	5	0.061	0.029	0.1396
83	D30H07T113	0.30	0.232	0	0.063	0.048	5	0.062	0.041	0,1595
84	D35H07T113	0.35	0.232	0	0.063	0.053	5	0.061	0.047	0,1561
85	D20H10T135	0.20	0.232	0	0.079	0.039	5	0.081	0.030	0.0970
86	D25H10T135	0.25	0.232	0	0.087	0.053	5	0.086	0.043	0 1283
87	D30H10T135	0.30	0.232	0	0.093	0.068	5	0.091	0.056	0.1758
88	D35H10T135	0.35	0.232	0	0.094	0.074	5	0.096	0.064	0.1529
89	D20H12T148	0.20	0.232	0	0.092	0.044	5	0.096	0.034	0.0883
90	D25H12T148	0,25	0,232	0	0,106	0,061	5	0,108	0,050	0,1066

		Độ	Bề	Trườn	g hợp thân đê rỗng		Trường hợp có hệ cọc bên			
ΤТ	TT Kịch bản thí		rộng		không cọc		trên			D _{pr}
	nghiệm	(D)	(B)	(B) n		(m) n		$H_{m0}(m)$		
		(m)	(m)	n _c	WG5	WG6	n _c	WG5	WG6	(-)
91	D30H12T148	0,30	0,232	0	0,116	0,079	5	0,117	0,065	0,1485
92	D35H12T148	0,35	0,232	0	0,119	0,089	5	0,124	0,075	0,1555
93	D20H14T160	0,20	0,232	0	0,100	0,047	5	0,103	0,037	0,0815
94	D25H14T160	0,25	0,232	0	0,119	0,068	5	0,123	0,057	0,0939
95	D30H14T160	0,30	0,232	0	0,134	0,090	5	0,138	0,073	0,1498
96	D35H14T160	0,35	0,232	0	0,137	0,102	5	0,147	0,086	0,1492
97	D20H16T171	0,20	0,232	0	0,102	0,049	5	0,106	0,039	0,0814
98	D25H16T171	0,25	0,232	0	0,125	0,073	5	0,130	0,061	0,0989
99	D30H16T171	0,30	0,232	0	0,141	0,099	5	0,150	0,082	0,1453
100	D35H16T171	0,35	0,232	0	0,147	0,112	5	0,158	0,093	0,1675

Ghi chú: 100 cặp thí nghiệm có cùng điều kiện sóng và mực nước thí nghiệm và được chạy đối sánh cho trường hợp đê ngầm rỗng không cọc và đê rỗng phức hợp (đê có hệ cọc bên trên).

$$D_{pr} = [(H_{rms,t}^{2})_{0} - (H_{rms,t}^{2})_{p}]/H_{rms,i}^{2} = [(H_{rms,t}^{2})_{0} - (H_{rms,t}^{2})_{p}]/\{[(H_{rms,i})_{0} + (H_{rms,i})_{p}]/2\}^{2}$$
hay $D_{pr} = [(H_{m0,t}^{2})_{0} - (H_{m0,t}^{2})_{p}]/H_{m0,i}^{2} = [(H_{m0,t}^{2})_{0} - (H_{m0,t}^{2})_{p}]/\{[(H_{m0,i})_{0} + (H_{m0,i})_{p}]/2\}^{2}$
trong đó:

- $(H_{m0,t})_0$ và $(H_{m0,t})_p$ lần lượt là kết quả chiều cao sóng thí nghiệm tại đầu đo WG6 và $(H_{m0,i})_0$ và $(H_{m0,i})_p$ lần lượt là kết quả chiều cao sóng thí nghiệm tại đầu đo WG5 trường hợp đê ngầm rỗng không cọc và đê rỗng phức hợp (đê có hệ cọc bên trên).

- $H_{m0,i}$: là kết quả chiều cao sóng tới lấy giá trị trung bình tại đầu đo WG5 trường hợp đê ngầm rỗng không cọc và đê rỗng phức hợp (đê có hệ cọc bên trên)

- H_{rms} là chiều cao sóng trung bình quân phương, H_{rms} = H_{m0}/1,416 (Nguyễn Tuấn Anh, 2019) [1].

Phụ lục 5. Trình tự các bước thực hiện thí nghiệm MHVL

Trình bày trình tự kịch bản D30H16T203 ($H_{m0} = 0,16m; T_p = 2,03s; R_c = 0,10m; B = 0,232m; n_c = 5$) như sau.

1. Thiết lập chuỗi sóng thí nghiệm trên máy tạo sóng: Kịch bản D30H16T203.

Fill Marcin - 012 HEIB TED1 File Window Anange View Heip	1) Khởi động phần mềm tạo sóng HR Merlin
Project Project Vitree Spectral Progular Vitrees Solitary Wares From File Time Species Spectral Integer ADVINUE Pail Project Spectral Spectral Project Spectral Spectral Project	và tạo tên kịch bản thí nghiệm
Pill Countrier Pill Countrier Pier point () 201 C Countrier Countrier Countrier	010_HD0.16_T2.03; Chon Condition: Chon
Lang Diestel Argle (*) 0.00 € Snot Diestel Sinnen Loon *Ni 1 1 State 3 Fölsand försa detarke (b) 00	phổ: JONSWAP (H _s);
Wuter Depth 0.675 Int Focus prime (1) 100 - 100	Khai báo giá trị đặc trưng phổ sóng đầu vào:
He - 0.56 km/ TP - 2.56 km/ Theoretical 107 Gala: 3 Call One 4 TF /Ta	$H_s=0,16$; $T_s=2,03$ (theo kich bản tạo sóng).
The second	2) Chọn Time Series khai báo thời gian tạo
And	sóng theo điều kiện:
	$t=500xT_p+300=500x2,03+300=1315s.$
23- 27- 28- 29-	
Anna Mariana Anna Anna Anna Anna Anna Anna Anna	
A data and a	3) Chọn Run để xác định chiều sâu phủ sóng
	là 0,70m bảo đảm lớn hơn độ sâu mực nước
	thí nghiệm là 0,675m.
2 and 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10	
12 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0	
Gain 1 500 Packrath.com	(1) Hoàn thành thiết lận chuỗi sóng cho kich
Reservice include State Reservices Induce Televice	4) Hoan thann thet tap chuot song cho kịch h_{res}^{2}
REACY TO START WAREA	ban thi nghiệm là 010_HD0.16_12.03: Độ
- water and the second second	sau nước = $0.6/5m$; H _s = $0.16m$; T _s = $2.03s$;
Programs Ligned (2010)	Phô: JONSWAP_H _s ; Thời gian thực hiện thí
Transfelde Danse felder Danse felder teller Danse felder teller Danse felder teller Danse felder teller	nghiệm = 1315s.



5) Sau khi hiệu chỉnh xong máy đo sóng, chọn Power On kích hoạt máy tạo sóng, đồng thời chọn Abs On để chuyển dữ liệu sóng từ máy tính sang máy tạo sóng để thực hiện quá trình thí nghiệm.

2. Hiệu chỉnh đầu đo và thực hiện quá trình đo sóng: Kịch bản D30H16T203.

Protection Protection <th> Kích hoạt phân mêm đo sóng HR DAQ Suite. Thiết lập tên file đo sóng và chọn số lượng các đầu đo theo sơ đồ bố thí nghiệm (Channal 1;2;3;4;5;6 – Wave Probe); Chọn biểu tượng Add để xác nhận số lượng các đầu đo </th>	 Kích hoạt phân mêm đo sóng HR DAQ Suite. Thiết lập tên file đo sóng và chọn số lượng các đầu đo theo sơ đồ bố thí nghiệm (Channal 1;2;3;4;5;6 – Wave Probe); Chọn biểu tượng Add để xác nhận số lượng các đầu đo
Process Contract Contracts Ry Contract Total Description Total Total Difference Configuration Information Configuration Information Configuration Information Configuration Information Configuration Information Configuration Information Configuration Information Configuration Information Configuration Information Information Configuration Information Information Configuration Information Configuration Information Information Configuration Information Information Configuration Information	 2. Tái thiết lập 6 đầu đo về vị trí chuẩn 0 trên hộp giải mã. Ví dụ: Các bước cân chỉnh đầu đo WG1 thực hiện như sau: Hiệu chỉnh lần 1: Nâng đầu đầu đo lên (-0.04m) so với mức chuẩn 0 ban đầu.
Produced Collector Catilization By Comment Hat Setting's Catilization By Comment Hat Nature Hat Internet Configuration Internet Configuration Internet Configuration Internet Configuratio	3. Hiệu chỉnh lần 2 : Hạ đầu đầu đo xuống (+0.04m) so với mức chuẩn 0 ban đầu.

Settings Calibration fly Note Settings Calibration fly Note Note Settings Settings Note Note Settings Settings Note Note Settings Settings Note Note Note Settings Settings Note Note Note Note Settings Settings Note Note Note Note Note Settings Settings Settings Note	4. Hiệu chỉnh lần 3 : Hạ đầu đầu đo về mặt chuẩn 0 ban đầu.
Image: Section	5. Chọn Table: Kiểm tra mức độ sai lệch giữa 3 lần cân chỉnh, bảo đảm sai số quân phương $R^2 >= 0,9999$ đạt yêu cầu cho đầu đo WG1. Tiếp theo cân chỉnh tương tự cho 5 đầu đo còn lại.
Control transme	6. Chuẩn bị ghi dữ liệu đo sóng
Sector Sector	7. Gán giá trị hiệu chỉnh của các đầu đo đã hiệu chỉnh trên để chuẩn bị đo



3. Trích xuất kết quả đo sóng cho kịch bản D30H16T203.

171226		1. Kết thúc quá trình đo sóng theo thời gi
Add fault poynes	Terra	
Instrument Carlos James Anno 1222 Naire Annochtim De Anno 2022 Anno Annochtim De Anno 2022 Anno Annochtim De Anno 2022 Anno 2022	Other and Instantial Processing Type Optimization Dama Processing Dama Dama <thdama< th=""> Dama Dama<th>thực</th></thdama<>	thực
1410 T 1 7 100 400 10 1414 T 1200 55 40 10 1414 T 1200 55 40 10 1414 T 1200 55 40 10 1417 T 750 56 40 10 1417 T 1400 56 40 10 1417 T 1400 56 40 10 1417 T 1540 56 40 10 1407 T 1540 56 40 10 1407 T 1540 56 40 10 1407 T 1540 56 40 10	There is a set of the	

1 : MenuermentComputing 128 19195	2. Kết quả số liêu chiều cao sóng (dao đông
Settings Channel List 1: Obarrel 12: 1: 2Dawel 1 2: 1: ADamed 2 2: 1: ADamed 5 2: 1: ADamed 6 2: 1: ADamed 7 2: 1: ADamed 6 2: 1: ADamed 7 2: 1: ADa	2. Ket qua so neu chieu cao song (dao dọng mực nước) của 6 đầu đo theo thời gian thực $(t = 1315s)$.
And Face Insets Inset <	3. Chọn công cụ để xử lý số liệu đo sóng
Peat Processing Series Series Name H16T20385R010 Graded By quy Series Description Total Series Constituence Date Analysis Tools Series Description Uvert Denn State Requency Interval (Hz) 0.000 description descript	4. Xử lý số liệu: Chọn các phương pháp xuất số liệu theo dạng phân tích thống kê, tính toán chiều cao sóng và tính toán phổ sóng.
Image: Section of the section of t	5. Chọn xuất số liệu dao động mực nước và phổ sóng ra file csv.

Schwarzyskie Design (Strategy (Strat	6. Kết quả phân tích thống kê số liệu đo sóng theo từng đầu đo.
Ch 1 Chard 1 /g 1/12/12/12/14 4/0 1/1 4/0 1/1 <th>7. Kết quả phân tích thống kê số liệu đo sóng</th>	7. Kết quả phân tích thống kê số liệu đo sóng
2010-001 2010-001 2010-001 1 </th <th>theo từng đâu đo (tiêp)</th>	theo từng đâu đo (tiêp)
Notice Note: Note: <t< th=""><th>8. Kết quả phân tích thống kê số liệu đo sóng theo từng đầu đo (tiếp)</th></t<>	8. Kết quả phân tích thống kê số liệu đo sóng theo từng đầu đo (tiếp)
	9. Chọn công cụ tính hệ số sóng phản xạ.
Number Number </th <th>10. Khai báo khoảng cách 4 đầu đầu để tính sóng phản xạ.</th>	10. Khai báo khoảng cách 4 đầu đầu để tính sóng phản xạ.


Phụ lục 6. Số liệu thí nghiệm trích xuất từ kết quả đo đạc

Thông số sóng đo đạc của kịch bản thí nghiệm D30H16T203 ($H_{m0} = 0,16m$; $T_p = 2,03s$; $R_c = 0,10m$; B = 0,232m; $n_c = 5$) như sau:



Đầu đo	H _s	H _{max}	H _{1/10}	H _{2%}	T _{1/3}	H _{m0}	T _{m0,2}	T _{m-1,0}	T _p
WG1	0,151	0,260	0,190	0,205	2,139	0,16	1,54	2,03	2,24
WG 2	0,154	0,261	0,197	0,217	2,102	0,16	1,55	1,99	1,95
WG 3	0,152	0,263	0,195	0,211	2,117	0,16	1,56	2,01	1,95
WG 4	0,151	0,277	0,193	0,211	2,118	0,16	1,55	2,00	1,95
WG 5	0,145	0,202	0,174	0,190	2,229	0,14	1,31	2,39	1,90
WG 6	0,083	0,128	0,099	0,108	2,295	0,09	1,33	3,01	2,24

Ghi chú: Đặc trưng sóng đo được lại 6 đầu đo WG1 \rightarrow WG6 với các thông số đặc trưng là H_s; H_{max}; H_{1/10}; H_{2%}; T_{1/3}: H_{m0}; T_{m0,2}; T_{m-1,0}; T_p.









_____//////______

