BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO BỘ NÔNG NGHIỆP VÀ PTNT

VIỆN KHOA HỌC THỦY LỢI VIỆT NAM

VIỆN KHOA HỌC THỦY LỢI MIỀN NAM

PHẠM TRUNG

NGHIÊN CỨU DIỄN BIẾN HÌNH THÁI VÙNG VEN BIỂN NAM TRUNG BỘ TRONG ĐIỀU KIỆN NƯỚC BIỂN DÂNG DO BIẾN ĐỔI KHÍ HẬU

LUẬN ÁN TIẾN SĨ KỸ THUẬT

TP. HỒ CHÍ MINH, NĂM 2021

BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO BỘ NÔNG NGHIỆP VÀ PTNT

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

PHẠM TRUNG

NGHIÊN CỨU DIỄN BIẾN HÌNH THÁI VÙNG VEN BIỂN NAM TRUNG BỘ TRONG ĐIỀU KIỆN NƯỚC BIỂN DÂNG DO BIẾN ĐỔI KHÍ HẬU

Chuyên nghành: Kỹ thuật xây dựng công trình thủy
Mã Số: 958 02 02

NGƯỜI HƯỚNG DẪN KHOA HỌC:
1. PGS.TS. Trịnh Công Vấn
2. TS. Trần Thu Tâm

TP. HỒ CHÍ MINH, NĂM 2021

LỜI CAM ĐOAN

Tôi xin cam đoan đây là công trình nghiên cứu khoa học độc lập của riêng tôi. Tất cả mọi thông tin, số liệu sử dụng trong luận án đều có nguồn gốc rõ ràng, được trích dẫn theo đúng quy định. Kết quả nghiên cứu trong luận án là trung thực, khách quan và phù hợp với thực tiễn của Việt Nam. Các kết quả này chưa từng được công bố trong bất kỳ nghiên cứu nào khác.

Tác giả luận án

Phạm Trung

LỜI CẢM ƠN

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

Với lòng kính trọng, biết ơn sâu sắc, tôi xin gửi lời cảm ơn đến hai thầy giáo là PGS.TS Trịnh Công Vấn và TS Trần Thu Tâm đã tận tâm hướng dẫn tôi từ những bước đi đầu tiên từ khi xây dựng ý tưởng cũng như trong suốt quá trình nghiên cứu.

Xin chân thành cảm ơn các lãnh đạo, nhà khoa học, đồng nghiệp tại Viện Khoa học Thủy lợi miền Nam đã luôn động viên, hỗ trợ tôi.

Cuối cùng, tôi xin gửi lời cảm ơn tới tất cả các thành viên thân yêu trong gia đình đã cổ vũ, khuyến khích và luôn là chỗ dựa vững chắc để tôi có thêm thêm nghị lực, quyết tâm hoàn thành luận án.

MỤC LỤC

LỜI CAM ĐOAN i
LỜI CẢM ƠN ii
MỤC LỤC iii
DANH MỤC BẢNG BIỂU vi
DANH MỤC HÌNH ẢNH vii
DANH MỤC TỪ VIẾT TẮT xii
MỞ ĐẦU 1
1. Tính cấp thiết của luận án 1
2. Mục đích nghiên cứu 2
3. Đối tượng và phạm vi nghiên cứu 2
3.1. Đối tượng nghiên cứu 2
3.2. Phạm vi nghiên cứu 2
4. Cách tiếp cận và phương pháp nghiên cứu 3
4.1. Cách tiếp cận 3
4.2. Phương pháp nghiên cứu 3
5. Ý nghĩa khoa học và thực tiễn của luận án 4
5.1. Ý nghĩa khoa học 4
5.2. Ý nghĩa thực tiễn 4
6. Những đóng góp mới của luận án. 5
7. Cấu trúc Luận án 5
CHƯƠNG 1. TỔNG QUAN VỀ VẤN ĐỀ NGHIÊN CỨU 7
1.1. Tổng quan về vùng nghiên cứu 7
1.1.1. Vị trí địa lý 7
1.1.2. Thực trạng xói lở-bồi tụ dải ven biển Nam Trung Bộ 8
1.1.3. Nguyên nhân chính gây xói lở-bồi tụ vùng ven biển Nam Trung Bộ 10
1.2. Nghiên cứu trên thế giới về ảnh hưởng của NBD đến diễn biến hình thái vùng ven biển 21
1.2.1. Mô hình xác định hình thái dài hạn 21

1.2.2. Mô hình xác định hình thái ngắn hạn 24
1.3. Nghiên cứu liên quan thực hiện ở Việt Nam và Nam Trung Bộ 32
1.4. Hướng tiếp cận của Luận án 37
CHƯƠNG 2. CƠ SỞ KHOA HỌC VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU DIỄN BIẾN HÌNH THÁI VÙNG VEN BIỂN NAM TRUNG BỘ 38
2.1. Cơ sở lý thuyết về diễn biến hình thái vùng ven biển 38
2.1.1. Khái niệm chung về mô hình vận chuyển bùn cát 39
2.1.2. Mô hình mặt cắt bờ biển cân bằng 41
2.1.3. Mô hình vận chuyển bùn cát dọc bờ 46
2.2. Cơ sở lý thuyết về năng lượng sóng 50
2.2.1. Sự hình thành và lan truyền của sóng biển 50
2.2.2. Năng lượng sóng đơn sắc 53
2.2.3. Phổ năng lượng sóng 54
2.2.4. Công thức tính thông lượng năng lượng sóng 57
2.2.5. Đường cơ sở và trình tự tính toán trong Luận án 60
2.3. Cơ sở khoa học các mô hình tính toán 64
2.3.1. Phân cấp các mô hình trong Luận án 66
2.3.2. Cơ sở lý thuyết mô hình MIKE21/3 Couple Model FM 69
CHƯƠNG 3. KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU VỀ DIỄN BIẾN HÌNH THÁI VÙNG VEN BIỂN NAM TRUNG BỘ 73
3.1. Xây dựng bản đồ phân vùng năng lượng sóng dải ven biển Nam Trung Bộ 73
3.1.1. Mô hình tính sóng toàn vùng biển Đông 73
3.1.2. Mô hình nghiên cứu chính vùng ven biển Nam Trung Bộ 82
3.1.3. Kết quả tính toán dòng năng lượng sóng dải ven biển Nam Trung Bộ 87
3.2. Mối liên hệ giữa dòng năng lượng sóng Pt dọc bờ và Pn hướng bờ với hiện tượng xói lở-bồi tụ ở khu vực Nam Trung Bộ 99
3.2.1. Đoạn bờ khu vực cửa Đại – Hội An (Quảng Nam) 99
3.2.2. Đoạn bờ khu vực Bãi Xép-cửa Đà Rằng- Đà Nông (Phú Yên) 104
3.2.3. Đoạn bờ từ mũi La Gàn-mũi Yến (Bình Thuận) 108

3.2.4. Đoạn bờ từ mũi Né-mũi Kê Gà (Bình Thuận)..... 112
3.2.5. Nhận xét chung..... 116
3.3. Nghiên cứu điển hình khu vực ven biển LaGi 117
3.3.1. Hiện trạng khu vực nghiên cứu..... 117
3.3.2. Sơ đồ và điều kiện biên tính toán..... 119
3.3.3. Diễn biến hình thái khu vực ven biển LaGi..... 123
3.4. Tác động BĐKH-NBD đến diễn biến hình thái dải ven biển Nam Trung Bộ .128
3.4.1. Kịch bản BĐKH-NBD cho Việt Nam [1]..... 128
3.4.2. Kịch bản NBD sử dụng tính toán cho khu vực Nam Trung Bộ..... 130
3.4.3. Kết quả tính toán đặc trưng sóng và diễn biến hình thái khu vực ven biển Nam Trung Bộ dưới tác động của NBD do BĐKH..... 130
3.5. Định hướng giải pháp nhằm cải tạo, ổn định hình thái các khu vực ven biển Nam Trung Bộ trong điều kiện NBD do BĐKH 133
3.5.1. Giải pháp công trình:..... 134
3.5.2. Giải pháp phi công trình: 146
KẾT LUẬN 148
DANH MỤC CÁC CÔNG TRÌNH ĐÃ CÔNG BỐ..... 150
TÀI LIỆU THAM KHẢO..... 151
Tiếng Việt..... 151
Tiếng Anh..... 154
Tiếng Nga 161
CÁC PHỤ LỤC..... 162

DANH MỤC BẢNG BIỂU

Bảng 1.1: Tổng hợp hiện trạng sạt lở bờ biển khu vực Nam Trung Bộ [18].....8
Bảng 1.2: Thống kê tỷ lệ chiều dài bờ biển theo phân cấp tốc độ xói lở [32].....9
Bảng 3.1: Các tham số chính của mô hình tính sóng toàn vùng Biển Đông 75
Bảng 3.2: Các tham số chính của mô hình Nam Trung Bộ 83
Bảng 3.3: Danh sách trạm hải văn hiệu chỉnh mô hình 84
Bảng 3.4: Gradient Pt theo không gian và thời gian khu vực cửa Đại-Hội An 102
Bảng 3.5: Đạo hàm của Pn theo thời gian khu vực cửa Đại-Hội An.....103
Bảng 3.6: Gradient Pt theo đường cơ sở khu vực từ cửa Đà Nông-Đà Rằng.....107
Bảng 3.7: Gradient Pt theo đường cơ sở khu vực Mũi Yến-Mũi La Gàn.....111
Bảng 3.8: Gradient Pt theo đường cơ sở khu vực Mũi Kê Gà-Mũi Né 115
Bảng 3.9: Gradient Pt theo đường cơ sở khu vực ven biển LaGi 125

DANH MỤC HÌNH ẢNH

Hình 1.1: Vị trí vùng duyên hải Nam Trung Bộ trên bản đồ Việt Nam 7
Hình 1.2: Các yếu tố gây xói lở-bồi tụ bờ biển và cửa sông.....10
Hình 1.3: Hướng của các trường gió thịnh hành trên bề mặt trái đất 13
Hình 1.4: Gió mùa Đông Bắc (trái) và gió mùa Tây Nam (phải) [64] 14
Hình 1.5: Quĩ đạo các cơn bão xuất hiện ở khu vực Tây-Bắc Thái Bình Dương (trái) và ảnh hưởng đến khu vực Nam Trung Bộ (phải) trong giai đoạn 1951÷2016.....16
Hình 1.6: Minh họa mô hình Bruun 22
Hình 1.7: Minh họa mô hình của Dean và Maur-Mayer Bruun.....23
Hình 1.8: Bản đồ năng lượng sóng trung bình năm vùng biển liên hiệp Anh [58] ..28
Hình 1.9: Bản đồ năng lượng sóng trung bình theo mùa vùng biển Đông [109] 28
Hình 1.10: Quan hệ giữa năng lượng sóng và tốc độ xói bờ Bangkhuntien [86] 29
Hình 1.11: Quan hệ công suất sóng và tỷ lệ xói mòn (không thứ nguyên) [83].....29
Hình 1.12: Phân bố trường dòng chảy lớp mặt ở biển Đông mùa đông (trái) và mùa hè (phải). Aw, Bw, Bs, và Cs biểu thị các dòng xoáy (*Xu và nnk, 1982*) [105].....30
Hình 1.13: Hướng nghiên cứu ảnh hưởng của NBD đến hình thái vùng ven biển...32
Hình 1.14: Bản đồ độ cao (phải) và năng lượng sóng (trái) trung bình năm [11] 35
Hình 2.1: Giá trị của thông số hình dạng mặt cắt A theo các tác giả khác nhau 45
Hình 2.2: Thông số hình dạng A ứng với các cỡ hạt từ 0,1÷1,1mm (*Dean, 2001*) ..45
Hình 2.3: Quan hệ giữa I_{ls} và P_{ls} (CEM, 2002). Các đường gạch dài biểu diễn mức độ dao động 50% quanh giá trị KSPM, rms = 0,92. 49
Hình 2.4: Sơ đồ mô phỏng các quá trình biến dạng sóng do ảnh hưởng của độ sâu, sóng vỡ do không ổn định, nhiễu xạ, khúc xạ và tương tác với dòng chảy [20] 52
Hình 2.5: Sóng biển, phổ sóng biển và giới hạn chu kỳ của sóng [20] 55
Hình 2.6: Phổ sóng gió 2 chiều (2-D) 55
Hình 2.7: Phổ sóng tổng hợp sóng gió và sóng lừng 2 chiều (2-D).....55
Hình 2.8: Mô hình mô phỏng sóng 1 chiều của sóng gió đã phát triển của Moskowitz (1964). 56

Hình 2.9: Mô hình mô phỏng sóng 1 chiều của sóng gió đã phát triển của Hasselmann (1973). 56
Hình 2.10: Hệ trục tọa độ và các quy ước sử dụng trong Luận án 59
Hình 2.11: Các trường hợp đổi dấu của thành phần dòng năng lượng sóng Pn 60
Hình 2.12: Minh họa vị trí đường cơ sở định nghĩa trong Luận án 62
Hình 2.13: Mức độ chi tiết của các mô hình sử dụng trong Luận án.....66
Hình 2.14: Lưới và biên tính toán của mô hình sóng và triều Biển Đông.....67
Hình 2.15: Lưới và biên tính toán của mô hình ven biển Nam Trung Bộ 68
Hình 2.16: Lưới và biên tính toán của mô hình chi tiết vùng ven biển LaGi 69
Hình 2.17: Sơ đồ mối liện hệ giữa các module tính toán.....72
Hình 3.1: Vùng nghiên cứu Nam Trung Bộ và vùng mở rộng toàn biển Đông 73
Hình 3.2: Vị trí các điểm hiệu chỉnh mô hình sóng toàn vùng Biển Đông.....76
Hình 3.3: So sánh đồng mức chiều cao, hướng và chu kỳ sóng của mô hình Biển Đông (trái) với kết quả tính bằng WaveWatch-III (phải) thời điểm tương ứng 77
Hình 3.4: So sánh kết quả tính toán chiều cao sóng bằng mô hình (MIKE-màu đỏ, nét đứt) với kết quả mô hình WaveWatch-III (WW3-màu xanh) và dữ liệu quan trắc bằng vệ tinh AVISO (màu đen, nét đứt) tại các vị trí từ O1÷O4.....78
Hình 3.5: So sánh kết quả tính toán chiều cao sóng bằng mô hình (MIKE-màu đỏ, nét đứt) với kết quả mô hình WaveWatch-III (WW3-màu xanh) và dữ liệu quan trắc bằng vệ tinh AVISO (màu đen, nét đứt) tại các vị trí từ O5÷O8.....79
Hình 3.6: So sánh kết quả tính toán chiều cao sóng bằng mô hình (MIKE-màu đỏ, nét đứt) với kết quả mô hình WaveWatch-III (WW3-màu xanh) và dữ liệu quan trắc bằng vệ tinh AVISO (màu đen, nét đứt) tại các vị trí từ O9÷O12.....80
Hình 3.7: So sánh kết quả tính toán chiều cao sóng bằng mô hình với số liệu quan trắc tại trạm Phú Quý từ 01/1/2009÷31/12/2009 81
Hình 3.8: Địa hình (trái) và hệ số nhám Manning (phải) vùng Nam Trung Bộ 82
Hình 3.9: Vị trí các trạm hải văn hiệu chỉnh theo kết quả thực đo 84
Hình 3.10: Tương quan giữa mực nước tính toán và kết quả thực đo tại các trạm ..85

Hình 3.11: So sánh kết quả tính toán chiều cao sóng bằng mô hình (MIKE-màu đỏ, nét đứt) với kết quả mô hình WaveWatch-III (WW3-màu xanh) tại các vị trí.....86
Hình 3.12: Đường cơ sở (màu xanh) và các phân vùng tính toán 88
Hình 3.13: Vùng tính toán số 1 từ Bán đảo Sơn Trà đến mũi Ba Làng An.....89
Hình 3.14: Vùng tính toán số 2 từ mũi Ba Làng An đến mũi Đại Lãnh.....90
Hình 3.15: Vùng tính toán số 3 từ mũi Đại Lãnh đến mũi Sừng Trâu 91
Hình 3.16: Vùng tính toán số 4 từ mũi Sừng Trâu đến mũi Nghinh Phong 92
Hình 3.17: Thông lượng sóng P trong mùa gió Đông Bắc 93
Hình 3.18: Thông lượng sóng P trong mùa gió Tây Nam 94
Hình 3.19: Dòng năng lượng sóng dọc bờ Pt trong mùa gió Đông Bắc 95
Hình 3.20: Dòng năng lượng sóng dọc bờ Pt trong mùa gió Tây Nam 95
Hình 3.21: Dòng năng lượng sóng hướng bờ Pn trong mùa gió Đông Bắc.....96
Hình 3.22: Dòng năng lượng sóng hướng bờ Pn trong mùa gió Tây Nam.....96
Hình 3.23: Bản đồ trung bình độ cao sóng mùa Đông Bắc (trái) và Tây Nam (phải) 97
Hình 3.24: Bản đồ năng lượng sóng trung bình mùa Đông Bắc (trái) và Tây Nam.97
Hình 3.25: Bản đồ độ cao (trái) và năng lượng sóng (phải) trung bình năm khu vực Nam Trung Bộ.....98
Hình 3.26: Cung bờ tính toán khu vực cửa Đại – Hội An 99
Hình 3.27: Dòng năng lượng sóng Pt khu vực cửa Đại mùa gió Tây Nam 100
Hình 3.28: Dòng năng lượng sóng Pt khu vực cửa Đại mùa gió Đông Bắc 101
Hình 3.29: Dòng năng lượng sóng Pn khu vực cửa Đại mùa gió Tây Nam 101
Hình 3.30: Dòng năng lượng sóng Pn khu vực cửa Đại mùa gió Đông Bắc 102
Hình 3.31: Cung bờ tính toán khu vực cửa Đà Nông-Đà Rằng-Bãi Xép 104
Hình 3.32: Dòng năng lượng sóng Pt tại cửa Đà Nông-Đà Rằng mùa Tây Nam...105
Hình 3.33: Dòng năng lượng sóng Pt cửa Đà Nông-Đà Rằng mùa Đông Bắc.....105
Hình 3.34: Dòng năng lượng sóng Pn cửa Đà Nông-Đà Rằng mùa Tây Nam 106
Hình 3.35: Dòng năng lượng sóng Pn cửa Đà Nông-Đà Rằng mùa Đông Bắc.....106
Hình 3.36: Cung bờ tính toán đoạn mũi La Gàn-mũi Yến.....108

Hình 3.37: Dòng năng lượng sóng Pt tại mũi Yến - mũi La Gàn mùa Tây Nam ...109
Hình 3.38: Dòng năng lượng sóng Pt tại mũi Yến - mũi La Gàn mùa Đông Bắc ..109
Hình 3.39: Dòng năng lượng sóng Pn tại mũi Yến - mũi La Gàn mùa Tây Nam ..110
Hình 3.40: Dòng năng lượng sóng Pn tại mũi Yến - mũi La Gàn mùa Đông Bắc .110
Hình 3.41: Cung bờ tính toán đoạn Mũi Né-Mũi Kê Gà 112
Hình 3.42: Dòng năng lượng sóng Pt dọc bờ mũi Kê Gà-mũi Né mùa Tây Nam..113
Hình 3.43: Dòng năng lượng sóng Pt dọc bờ mũi Kê Gà-mũi Né mùa Đông Bắc.113
Hình 3.44: Dòng năng lượng sóng Pn mũi Kê Gà-mũi Né mùa Tây Nam.....114
Hình 3.45: Dòng năng lượng sóng Pn mũi Kê Gà-mũi Né mùa Đông Bắc.....114
Hình 3.46: Vị trí La Gi trên bản đồ vùng Nam Trung Bộ.....117
Hình 3.47: Đường bờ biển P. Phước Lộc năm 2006 (nét đứt) và 2019 (nét liền) ..118
Hình 3.48: Sơ đồ các biên tính toán khu vực ven biển La Gi 119
Hình 3.49: Hoa gió (trái) và hoa sóng (phải) khu vực La Gi mùa Đông Bắc.....120
Hình 3.50: Hoa gió (trái) và hoa sóng (phải) khu vực La Gi mùa Tây Nam.....120
Hình 3.51: Lý thuyết sóng áp dụng (trái) và phạm vi giới hạn (phải) cho Bảng vận chuyển cát khu vực ven biển La Gi.....121
Hình 3.52: So sánh chiều cao sóng có nghĩa (Hs) tính toán và thực đo tại Trạm 1122
Hình 3.53: So sánh chu kỳ đỉnh phổ sóng (Tp) tính toán và thực đo 122
Hình 3.54: Vị trí đường cơ sở xem xét dòng năng lượng sóng ven biển La Gi.....123
Hình 3.55: Kết quả tính toán hướng của dòng năng lượng sóng ven biển La Gi ...123
Hình 3.56: Dòng năng lượng sóng Pt khu vực La Gi mùa Tây Nam 124
Hình 3.57: Dòng năng lượng sóng Pt khu vực La Gi mùa Đông Bắc 124
Hình 3.58: Dòng năng lượng sóng Pn khu vực La Gi mùa Tây Nam.....125
Hình 3.59: Dòng năng lượng sóng Pn khu vực La Gi mùa Đông Bắc 125
Hình 3.60: Biến đổi địa hình khu vực La Gi sau mùa gió Tây Nam (KB0).....127
Hình 3.61: Biến đổi địa hình khu vực La Gi sau mùa gió Đông Bắc (KB0).....127
Hình 3.62: Vị trí xem xét biến đổi chiều cao và năng lượng sóng ven biển La Gi 131
Hình 3.63: Biến đổi dòng năng lượng sóng Pt khu vực La Gi mùa Đông Bắc.....131
Hình 3.64: Biến đổi dòng năng lượng sóng Pt khu vực La Gi mùa Tây Nam.....132

Hình 3.65: Biến đổi dòng năng lượng sóng Pn khu vực La Gi mùa Đông Bắc.....132
Hình 3.66: Biến đổi dòng năng lượng sóng Pn khu vực La Gi mùa Tây Nam.....132
Hình 3.67: Một số dạng kết cấu đê ngầm giảm sóng.....135
Hình 3.68: Đê giảm sóng dạng rời tại bờ biển Palling (trái) và Elmer (phải)-Anh 136
Hình 3.69: Hiệu quả tái tạo bờ bằng đê ngầm ở bãi biển Alexandria, Ai Cập 136
Hình 3.70: Hệ thống mỏ hàn và đê giảm sóng bảo vệ bờ biển Cần Giờ - Tp. HCM.....137
Hình 3.71: Hệ thống 9 mỏ hàn dạng chữ T tại Kiên Chính - Nam Định.....137
Hình 3.72: Trường sóng tính toán mùa gió Đông Bắc sau khi có công trình.....138
Hình 3.73: Biến đổi địa hình tính toán 01 năm sau khi có công trình 138
Hình 3.74: Thi công hoàn chỉnh mỏ hàn và 02 phân đoạn đê ngầm phía Bắc 139
Hình 3.75: Các ứng dụng kết cấu mềm địa kỹ thuật-Stabiplage.....139
Hình 3.76: Quá trình thi công ống cát (trái) và sau một thời gian đưa vào sử dụng (phải) tại thành phố Atlantic bang New Jersey-Mỹ.....140
Hình 3.77: Bờ biển Bolivar Penisula (Mỹ) trước và sau khi bảo vệ bằng ống cát .141
Hình 3.78: Công trình Stabiplage thí điểm đầu tiên tại Lộc An – Vũng Tàu.....141
Hình 3.79: Thực trạng thi công Stabiplage tại Đồi Dương – Phan Thiết. 141
Hình 3.80: Bảo vệ bờ biển bằng giải pháp bù cát (nuôi bãi nhân tạo).....142
Hình 3.81: Giải pháp mềm trồng rừng ngập mặn 142
Hình 3.82: Vật liệu bảo vệ bờ dùng bao tải (trái) và ống cát GST (phải).....143
Hình 3.83: Kè biển dạng kết hợp ở Nha Trang (trái) và Quy Nhơn (phải).....143
Hình 3.84: Sơ đồ bố trí hệ thống mỏ hàn (trên) và một số dạng mỏ hàn (dưới).....144
Hình 3.85: Kè mỏ hàn bằng hàng cọc ống ở Băngladet.....145
Hình 3.86: Kè mỏ hàn chữ G ngắt quãng.....145
Hình 3.87: Tổng thể công trình kè mỏ hàn mềm sử dụng ống cát tại Bald Head...146

DANH MỤC TỪ VIẾT TẮT

AR	Báo cáo đánh giá (Assessment Report)
BĐKH	Biến đổi khí hậu
BTCT	Bê tông cốt thép
CERC	Tổ hợp kỹ thuật bờ biển thuộc quân đội Mỹ (Coastal Engineering Research Center)
CEM	Sổ tay kỹ thuật bờ biển (Coastal Engineering Manual)
CFSR	Mô hình tái phân tích hệ thống dự báo khí hậu toàn cầu
GCM	Mô hình hoàn lưu chung khí quyển
GIS	Hệ thống thông tin địa lý (Geographic Information System)
ITCZ	Dải hội tụ nhiệt đới
IPCC	Ban Liên chính phủ về Biến đổi khí hậu (Intergovernmental Panel on Climate Change)
KB	Kịch bản tính toán
KTXH	Kinh tế xã hội
NOAA	Cơ quan quản lý Khí quyển và Đại dương Quốc gia Mỹ
NBD	Nước biển dâng
RCP4.5	Kịch bản nồng độ khí nhà kính trung bình thấp
RCP8.5	Kịch bản nồng độ khí nhà kính cao
SPM	Hướng dẫn bảo vệ bờ biển (Shore Protection Manual)
TCVN	Tiêu chuẩn Việt Nam
VNC	Vùng nghiên cứu

MỞ ĐẦU

1. Tính cấp thiết của luận án

Vùng ven biển luôn là một trong những nơi phát triển năng động nhất trên thế giới và hiện có khoảng 3,0 tỷ người-chiếm 40% dân số thế giới đang sinh sống tại các vùng ven biển. Ở nước ta, duyên hải Nam Trung Bộ [6] gồm thành phố Đà Nẵng trực thuộc Trung ương và 07 tỉnh sắp theo theo thứ tự Bắc-Nam sau: Quảng Nam, Quảng Ngãi, Bình Định, Phú Yên, Khánh Hòa, Ninh Thuận, Bình Thuận. Đây là vùng trọng điểm phát triển kinh tế xã hội của miền Trung với đường bờ biển trải dài hơn 1.100 Km, diện tích tự nhiên trên đất liền chiếm khoảng 13,45% diện tích cả nước, dân số tính đến năm 2020 bằng khoảng 10,8% dân số cả nước. Duyên hải Nam Trung Bộ là khu vực đa dạng về nguồn tài nguyên biển và tập trung nhiều công trình dân sinh kinh tế, quốc phòng quan trọng.

Thời gian qua, vùng ven biển này đã được đầu tư phát triển kết cấu hạ tầng giao thông hàng hải bảo đảm nhu cầu lưu thông hàng hóa bằng đường biển với mức tăng trưởng hàng hóa hằng năm từ 10% đến 20%, trong đó tập trung phát triển hạ tầng cảng biển tại các cảng đầu mối khu vực như: Đà Nẵng, Dung Quất, Nha Trang, Ba Ngòi. Duyên hải Nam Trung Bộ có những đội tàu thuyền khai thác hải sản hùng hậu, mỗi năm ngư dân khai thác được hơn 600.000 tấn hải sản các loại, có nhiều hải sản mang lại giá trị kinh tế cao như: Cá ngừ đại dương, hải sâm, mực, tôm hùm, cua biển… Ngoài ra, với lợi thế có hệ thống đầm phá trải dài ở các tỉnh cũng như vùng bãi triều cửa sông, nghề nuôi trồng hải sản ở đây tương đối phát triển với sản lượng mỗi năm lên tới 130.000 tấn hải sản các loại. Cùng với những thế mạnh trên, duyên hải Nam Trung Bộ đã hình thành và xây dựng 5 khu kinh tế biển (Chu Lai, Dung Quất, Nhơn Hội, Nam Phú Yên, Vân Phong), 21 khu công nghiệp ven biển. Đến nay, các khu kinh tế biển này đã cơ bản hoàn thành các công tác quy hoạch chung, quy hoạch chi tiết các phân khu chức năng và đang tiến hành đầu tư xây dựng kết cấu hạ tầng kỹ thuật - xã hội.

Gần đây dưới tác động của biến đổi khí hậu (BĐKH) toàn cầu cùng với các hoạt động của con người,... hiện tượng sạt lở đã diễn ra ở hầu hết các triền sông, suối và

dọc theo bờ biển nước ta trong đó tại khu vực Nam Trung Bộ quá trình xói lở bờ biển, bồi lấp vùng cửa sông và các tuyến luồng, bến cảng…diễn ra với mức độ khá nghiêm trọng và có xu hướng ngày càng gia tăng, ảnh hưởng trực tiếp đến các hoạt động phát triển kinh tế - xã hội của các địa phương. Biến đổi hình thái bờ và bãi biển chịu tác động chủ yếu bởi các yếu tố từ biển và sự mất cân bằng nguồn bùn cát do các hoạt động phát triển của con người trên các dòng sông cũng như vùng cửa sông ven biển. Việc tìm hiểu xu hướng biến đổi hình thái dải ven biển Nam Trung Bộ dưới sự thay đổi của yếu tố sóng biển trong quá trình nước biển dâng (NBD) do BĐKH, đánh giá mức độ ảnh hưởng của chúng để đề xuất định hướng các giải pháp ổn định, kiểm soát và giảm thiểu những tác động xấu đến tự nhiên là cần thiết và cấp bách vì nó sẽ góp phần bổ sung cơ sở khoa học cho công tác quản lý sạt lở bờ biển khu vực Nam Trung Bộ. Xuất phát từ những lý do trên, tác giả đã chọn đề tài: "*Nghiên cứu diễn biến hình thái vùng ven biển Nam Trung Bộ trong điều kiện NBD do BĐKH*" để thực hiện và trình bày trong Luận án tiến sĩ.

2. Mục đích nghiên cứu

Tuy sự biến đổi hình thái vùng ven biển là hệ quả của nhiều yếu tố tác động (nội sinh, ngoại sinh, con người) nhưng mục đích của nghiên cứu này giới hạn mục tiêu là xác định xu hướng diễn biến đường bờ, bãi biển Nam Trung Bộ dưới tác động trực tiếp của các dòng năng lượng sóng trong điều kiện NBD do BĐKH, trên cơ sở đó, đề xuất giải pháp nhằm ổn định hình thái vùng ven biển Nam Trung Bộ phù hợp với điều kiện tự nhiên và nhu cầu phát triển kinh tế-xã hội khu vực nghiên cứu.

3. Đối tượng và phạm vi nghiên cứu

3.1. Đối tượng nghiên cứu

Đối tượng nghiên cứu được giới hạn là trường năng lượng sóng, yếu tố tác động chính và trực tiếp gây biến đổi hình thái vùng ven biển Nam Trung Bộ và xem xét xu hướng thay đổi của yếu tố này trong tương lai ứng với các kịch bản BĐKH-NBD.

3.2. Phạm vi nghiên cứu

Vùng bờ và bãi biển lân cận các cửa sông khu vực Nam Trung Bộ.

4. Cách tiếp cận và phương pháp nghiên cứu

4.1. Cách tiếp cận

- Cách tiếp cận hệ thống từ tổng thể đến chi tiết

Cách tiếp cận này xem khu vực nghiên cứu là một hệ thống thống nhất trong đó các điều kiện cấu thành hệ thống gồm: khí tượng, khí hậu, biển, đất liền, bùn cát, v.v…, là các thành phần của hệ tương tác có quan hệ ràng buộc, tác động lẫn nhau.

Các khu vực nghiên cứu chi tiết đều được gắn với dải ven biển Nam Trung Bộ và vùng lân cận trong tổng thể biển Đông, đánh giá chung cho đoạn đường bờ biển ở phạm vi rộng sau đó xem xét chi tiết tại các khu vực có phạm vi nhỏ hơn.

- Cách tiếp cận kế thừa, phát triển các kết quả nghiên cứu trước

Kinh nghiệm và tri thức của thế giới về các vấn đề khí hậu toàn cầu, thủy động lực học sông biển, vận chuyển bùn cát và hình thái ven biển, kinh nghiệm về các giải pháp bảo vệ bờ biển… là nền tảng cho việc thực hiện Luận án. Các kết quả của nghiên cứu trước về điều kiện tự nhiên, chế độ khí hậu, cơ chế thủy động lực và biến đổi hình thái, địa hình, địa chất, địa mạo… khu vực biển Đông nói chung cũng như khu vực ven biển các tỉnh Nam Trung Bộ nói riêng là kênh tham khảo hết sức quan trọng trong quá trình thực hiện Luận án. Kế thừa các kết quả nghiên cứu trong nước về nguồn dữ liệu cơ bản về địa hình, khí tượng, thủy hải văn của các đề tài, dự án phục vụ cho thiết lập, hiệu chỉnh và kiểm định các mô hình toán, Luận án đi sâu giải quyết vấn đề đặt ra là sự phân bố năng lượng sóng dọc theo bờ biển và sự thay đổi của nó trong quá trình NBD làm cơ sở cho việc đánh giá xu hướng biến đổi hình thái bờ biển Nam Trung Bộ cũng như đề xuất định hướng các giải pháp giảm thiểu tác động.

4.2. Phương pháp nghiên cứu

1) Phương pháp kế thừa: Kế thừa có chọn lọc những kiến thức khoa học công nghệ và sản phẩm của các đề tài, dự án, công trình nghiên cứu trong và ngoài nước có liên quan đến đến nội dung Luận án. Học hỏi kiến thức và kinh nghiệm cũng như tham vấn ý kiến của các chuyên gia trong lĩnh vực công trình biển.

2) Điều tra và khảo sát thực địa: Nhằm thu thập, cập nhật, bổ sung các số liệu (khí tượng, thủy hải văn, địa hình, …), tài liệu (báo cáo, bản đồ) về hiện trạng và qui hoạch phát triển dân sinh kinh tế, phát triển xây dựng vùng, giao thông thủy, đê biển,

khu neo đậu tránh trú bão và cảng cá,…; Khảo sát, đo đạc các yếu tố địa hình, thủy hải văn (sóng gió, dòng chảy,…); Điều tra khảo sát hiện trạng xói lở, các công trình đê kè biển, …trong vùng nghiên cứu.

3) Phương pháp thống kê: Sử dụng để phân tích, đánh giá chuỗi số liệu.

4) Phương pháp mô phỏng toán học: Nghiên cứu diễn biến hình thái vùng ven biển sẽ khó có thể thực hiện bằng các mô hình vật lý đặc biệt là yêu cầu đòi hỏi trên các mô hình lòng động. Vì thế, mô phỏng toán học luôn là sự lựa chọn phù hợp. Trong luận án này, tác giả sử dụng mô hình hai chiều MIKE21/3 Couple FM được xây dựng một cách phù hợp để đáp ứng các yêu cầu đặt ra.

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

5.1. Ý nghĩa khoa học

Nghiên cứu đã xây dựng được bản đồ phân bố các thành phần của dòng năng lượng sóng có hướng dọc theo đường bờ (*Pt*) và vuông góc với đường bờ (*Pn*) được trung bình theo từng mùa khí hậu tại vị trí "*đường cơ sở*" và xu hướng biến đổi của các đại lượng này trong quá trình NBD để lý giải xu hướng diễn biến hình thái bờ biển Nam Trung Bộ làm cơ sở xác định các khu vực có nguy cơ xói lở và bồi tụ. Kết quả nghiên cứu của Luận án có ý nghĩa khoa học quan trọng trong việc nghiên cứu diễn biến hình thái vùng ven biển Nam Trung Bộ.

5.2. Ý nghĩa thực tiễn

Các sản phẩm nghiên cứu có thể sử dụng cho thực tế bao gồm: (1) Vị trí tuyến đường cơ sở của dải bờ biển Nam Trung Bộ; (2) Bản đồ phân bố các thành phần của dòng năng lượng sóng theo hướng dọc bờ Pt và hướng bờ Pn theo không gian (dọc theo đường cơ sở) và theo thời gian; (3) Đánh giá tác động NBD lên các thành phần dòng năng lượng sóng dọc theo đường cơ sở; (4) Các định hướng giải pháp công trình và phi công trình dựa vào bản đồ phân bố dòng năng lượng sóng tiếp tuyến và pháp tuyến với đường cơ sở, các đánh giá xu hướng thay đổi của chúng theo không gian và thời gian có ý nghĩa thực tiễn rất lớn. Hướng của dòng ven bờ được thể hiện qua hướng của $\overrightarrow{P}$ sẽ rất có ý nghĩa trong công tác định hướng bố trí xây dựng hệ thống công trình ổn định bãi biển như các kè mỏ hàn, đập đinh,…Khi xác định và phân tích

gradient của Pt dọc bờ theo đường cơ sở có thể liên hệ với diễn biến xói lở-bồi tụ ở các khu vực ven biển.

6. Những đóng góp mới của luận án.

(1) Luận án đã xây dựng được phương pháp xác định giá trị các thành phần của dòng năng lượng sóng theo hai hướng, dọc theo đường bờ Pt và vuông góc với bờ Pn, trên hệ trục tọa độ do tác giả định nghĩa gắn với đường bờ thực. Đó là giá trị các thành phần của thông lượng năng lượng (hay công suất sóng) tác dụng theo hai phương tiếp tuyến và pháp tuyến đối với một một đoạn bờ biển cụ thể; đồng thời xem xét xu hướng biến đổi các dòng năng lượng sóng nêu trên tại đường cơ sở trong quá trình NBD theo các kịch bản BĐKH của Bộ Tài nguyên và Môi trường.

(2) Trên cơ sở xác định và phân tích biểu đồ phân bố giá trị các thành phần dòng năng lượng sóng đoạn bờ biển khu vực Nam Trung Bộ, tác giả đã đề xuất định hướng các giải pháp công trình bao gồm bố trí không gian hệ thống công trình bảo vệ bờ biển tại một số khu vực vùng cực Nam Trung Bộ. Tác giả cũng đã áp dụng kết quả nghiên cứu này vào thực tế thiết kế công trình đê ngầm giảm sóng ven biển LaGi (Tỉnh Bình Thuận), công trình được xây dựng có hiệu quả ngay sau một năm đưa vào vận hành.

7. Cấu trúc Luận án

Ngoài các phần mở đầu và kết luận, Luận án được cấu trúc thành 3 chương như sau:

Chương 1: Tổng quan về vấn đề nghiên cứu: Chương này đề cập đến thực trạng xói lở và bồi tụ khu vực ven biển Nam Trung Bộ. Dựa vào tài liệu lịch sử về sóng, gió, dòng chảy; tài liệu địa hình, bùn cát, ảnh vệ tinh và các kết quả nghiên cứu trước,… tác giả tiến hành phân tích đánh giá mối tương quan giữa sự thay đổi hình thái vùng ven biển với các yếu tố thủy động lực, bùn cát cũng như ảnh hưởng hoạt động kinh tế xã hội tới quá trình xói lở, bồi tụ; tình hình nghiên cứu diễn biến hình thái vùng ven biển trên thế giới; các nghiên cứu giải pháp đã áp dụng ở Việt Nam và khu vực Nam Trung Bộ. Cuối chương 1 trình bày về hướng tiếp cận của Luận án.

Chương 2: Cơ sở khoa học và phương pháp nghiên cứu diễn biến hình thái vùng ven biển Nam Trung Bộ: Phần chính chương dành trình bày cơ sở lý thuyết về diễn biến hình thái vùng ven biển, năng lượng sóng, cơ sở khoa học của mô hình toán sử dụng trong Luận án. Cách xác định cũng như ý nghĩa của việc đề xuất khái niệm "Dòng năng lượng sóng Pt dọc bờ và Pn hướng bờ".

Chương 3: Kết quả nghiên cứu về diễn biến hình thái vùng ven biển Nam Trung Bộ : Chương này trình bày kết quả ứng dụng mô hình toán để mô phỏng chế độ thủy động lực học từ đó dự báo diễn biến hình thái 1 số khu vực đặc trưng Nam Trung Bộ trong tương lai dưới tác động của NBD. Từ các kết quả nghiên cứu, căn cứ vào định hướng phát triển kinh tế xã hội của địa phương, phần cuối chương này đề xuất các nhóm giải pháp cho việc ổn định vùng ven biển Nam Trung Bộ phù hợp với phát triển kinh tế, bảo vệ môi trường.

CHƯƠNG 1. TỔNG QUAN VỀ VẤN ĐỀ NGHIÊN CỨU

1.1. Tổng quan về vùng nghiên cứu

1.1.1. Vị trí địa lý

Hình 1.1: Vị trí vùng duyên hải Nam Trung Bộ trên bản đồ Việt Nam[1]

Duyên hải Nam Trung Bộ (Hình 1.1) có vị trí địa lý như sau: Phía Bắc là đèo Hải Vân, điểm cuối của dãy Trường Sơn Bắc, giáp với tỉnh Thừa Thiên Huế (vùng Bắc Trung Bộ); phía Tây là dãy Trường Sơn Nam với hệ thống cao nguyên đất đỏ bazan, giáp với Lào và các tỉnh Kon Tum, Gia Lai, Đăk Lăk, Đăk Nông, Lâm Đồng (vùng Tây Nguyên), phía Đông là biển Đông với hai quần đảo Hoàng Sa và Trường Sa; phía Nam giáp với các tỉnh Đồng Nai và Bà Rịa-Vũng Tàu (vùng Đông Nam Bộ).

[1] http://vietnamtourism.com/

Đây là một vùng lãnh thổ hẹp kéo dài theo hướng Bắc-Nam bao gồm các tỉnh từ Đà Nẵng ở phía Bắc cho đến tỉnh Bình Thuận ở phía Nam, đều là các tỉnh có phần đất tiếp giáp với biển.Với đặc điểm tự nhiên này, các tỉnh Nam Trung Bộ có lợi thế trong việc phát triển kinh tế-xã hội nhất là kinh tế biển nhưng cũng gặp nhiều khó khăn, trong đó vấn đề xói lở bờ biển và bồi tụ các cửa sông đã và đang trở thành vấn đề đặc biệt quan tâm của các cấp chính quyền và nhân dân địa phương.

1.1.2. Thực trạng xói lở-bồi tụ dải ven biển Nam Trung Bộ

Xói lở biển là một hiện tượng phổ biến ở ven bờ cả ba miền của nước ta, với 397 đoạn có tổng chiều dài trên 920 km, trong đó khu vực miền Trung xói lở xảy ra ở 233 đoạn có tổng chiều dài lên đến 492 km, chiếm 21,1% chiều dài đường bờ biển [28]. Xét riêng dải ven biển Nam Trung Bộ có tổng chiều dài đường bờ biển là 1.119 km (chiếm 34,3% của cả nước), theo thống kê đến thời điểm tháng 7/2018, trên khu vực có 61 điểm sạt lở với tổng chiều dài sạt lở 80,7km chiếm 7,21% chiều dài đường bờ biển (Bảng 1.1).

Bảng 1.1: Tổng hợp hiện trạng sạt lở bờ biển khu vực Nam Trung Bộ [18]

TT	Tỉnh/thành	Chiều dài bờ biển (Km)	Số điểm sạt lở (điểm)	Chiều dài sạt lở km)	Tỷ lệ (%)
1	Đà Nẵng	30	12	8,47	28,23
2	Quảng Nam	125	2	9,2	7,36
3	Quảng Ngãi	144	21	35,13	24,39
4	Bình Định	134	11	7,81	5,83
5	Phú Yên	189	7	8,5	4,50
6	Khánh Hòa	200	3	2,5	1,25
7	Ninh Thuận	105	1	2,5	2,38
8	Bình Thuân	192	4	6,61	3,44
Tổng cộng		1.119	61	80,72	7,21

Xói lở diễn ra trên các kiểu cấu tạo bờ là sỏi cát, bùn sét, bùn, cát…song xu thế xói bờ có vật chất thành tạo chủ yếu là cát (chiếm trên 94%) hiện đang tăng lên đáng kể và diễn ra trên hầu hết bờ biển, tại địa bàn của tất cả các tỉnh. Điển hình về xói lở bờ biển xảy ra tại các khu vực: phía Bắc cửa Đại-Hội An, Tam Hải, Xuân Hòa, Xuân

Hải, Núi Thành (Quảng Nam); Đức Phổ, Sa Huỳnh (Quảng Ngãi); Sông Cầu, An Phú, An Hòa, Xóm Rớ (Phú Yên); Liên Hương, Phan Thiết, LaGi (Bình Thuận)…

Quá trình xói lở bờ diễn ra với tốc độ khác nhau (Bảng 1.2). Đối với bờ biển Nam Trung Bộ có tốc độ xói phổ biến dưới 5m/năm, và có xu thế gia tăng. Nhiều nơi, xói lở có tốc độ đến 40÷60 m/năm (những năm 1999÷2000), thậm chí 150÷250 m/năm. Tính trung bình xói lở bờ biển làm mất đi khoảng 389,9 ha/năm [32]. Chiều dài các đoạn xói lở có thể chỉ một vài trăm mét, cho đến hàng chục kilomet. Có những khu vực, xói lở xảy ra theo những thời khoảng xen kẽ với bồi tụ. Khu vực có địa hình khúc khuỷu, răng cưa nhiều vũng vịnh và bán đảo, đá gốc, các vùng cửa sông, hiện tượng xói lở xảy ra với quy mô nhỏ, cường độ yếu đến trung bình. Khu vực bị xói lở mạnh thường xảy ra ở kiểu bờ biển lồi, thẳng hướng sóng và có vật chất tạo bờ chủ yếu là cát [31].

Bảng 1.2: Thống kê tỷ lệ chiều dài bờ biển theo phân cấp tốc độ xói lở [32]

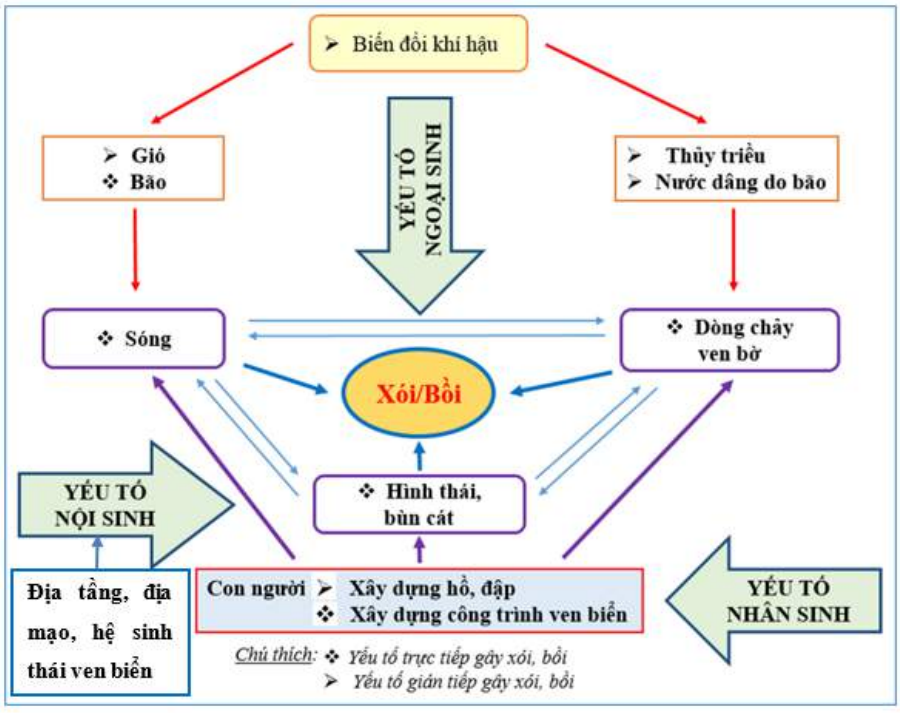
Khu vực bị xói lở	Chiều dài xói lở bờ biển theo tốc độ xói lở (%)			
	Yếu < 5m/năm	Trung bình (5÷15 m/năm)	Mạnh (15÷30 m/năm)	Rất mạnh (> 30 m/năm)
Toàn quốc	21,4%	19,5%	28,3%	30,7%
Miền Trung	52,2%	24,3%	10,0%	13,5%

Song song với quá trình xói lở bờ biển, hiện tượng bồi lấp các cửa sông, tuyến luồng, bến cảng,…ở Nam Trung Bộ cũng có xu hướng ngày càng gia tăng trong những năm gần đây. Một số cửa sông đã và đang xảy ra tình trạng bồi tụ và dịch chuyển luồng lạch phức tạp có thể kể đến là cửa Đại sông Vũ Gia-Thu Bồn, cửa Lở sông Trường Giang ở Quảng Nam, cửa sông Vệ, cửa sông Trà Khúc ở Quảng Ngãi, cửa sông Bàn Thạch và cửa đầm Ô Loan ở Phú Yên…Trong thời gian 1985÷1995 cửa Đại (Hội An) dịch về phía Nam 50m/năm; cửa Lở (sông Trường Giang) dịch về phía Đông Nam trên 50m/năm; cửa Vệ, cửa Đà Rằng, cửa Đà Nông dịch đáng kể về phía Bắc [18].

Như vậy, vùng duyên hải Nam Trung Bộ đang tồn tại hai vấn đề đối lập nhau. Trong khi dải ven biển bị xói lở mạnh thì hầu hết các cửa sông, đầm phá, bến cảng ở đây lại đang bị bồi lấp làm giảm khả năng thoát lũ, gây ngập lụt cục bộ và cản trở đến các hoạt động giao thông thủy trong khu vực.

1.1.3. Nguyên nhân chính gây xói lở-bồi tụ vùng ven biển Nam Trung Bộ

Có nhiều nguyên nhân gây xói lở bờ biển và bồi lấp cửa sông ở miền Trung Việt Nam nói chung và vùng duyên hải Nam Trung Bộ nói riêng. Hình 1.2 trình bày về các yếu tố tác động chính gây xói lở-bồi tụ bờ biển và cửa sông trong khu vực, được đúc kết thông qua những công trình nghiên cứu gần đây như của *Nguyễn Văn Cư và nnk (2003)* [2], [3], *Nguyễn Kim Đan (2017)* [4], *Đặng Đình Đoan (2014)* [5], *Nguyễn Thanh Hùng và nnk (2018)* [13], *Phạm Thu Hương (2012)* [15], *Võ Công Hoang, Hitoshi Tanaka và nnk (2016)* [16], *Nguyễn Bá Quỳ (1994)* [22], *Lê Đình Thành (2009)* [26], *Phạm Huy Tiến (2005)* [31], *Nguyễn Đức Vượng và nnk (2015)* [39].



Hình 1.2: Các yếu tố gây xói lở-bồi tụ bờ biển và cửa sông

Theo Hình 1.2, nguyên nhân gây ra hiện tượng xói lở-bồi tụ gồm tương tác của 3 nhóm yếu tố sau: *yếu tố nội sinh* (cấu trúc địa chất địa mạo và chuyển động tân kiến tạo, hệ sinh thái ven biển, bùn cát), *yếu tố ngoại sinh* (điều kiện sóng, gió, bão, dòng chảy, BĐKH, …) và *yếu tố nhân sinh* (con người). Các nhóm yếu tố này có liên quan mật thiết, tương tác qua lại lẫn nhau trong một thể thống nhất, tuân theo quy luật của tự nhiên và chịu sự chi phối sâu sắc bởi hoạt động của con người. Khi có một hay

một số yếu tố thay đổi thì các yếu tố còn lại cũng sẽ thay đổi theo nhằm thiết lập trật tự cân bằng mới. Vì bờ biển chỉ có tính chất cân bằng động, tồn tại ở ba trạng thái là ổn định, bồi tụ hoặc xói lở phụ thuộc vào sự cân bằng giữa nguồn trầm tích đưa đến và mang đi, dưới tác động của các yếu tố ngoại sinh thường xuyên biến đổi, trên nền tác động chậm chạp, lâu dài của yếu tố nội sinh [57].

1.1.3.1. Nguyên nhân do yếu tố nội sinh

Các yếu tố nội sinh bao gồm đặc điểm địa hình, cấu trúc địa chất địa mạo và các hệ thống đứt gãy trong vùng, đặc biệt là các hệ thống đứt gãy hiện đại. Do tác động của hoạt động tân kiến tạo và chuyển động hiện đại gây nên chuyển động nâng, hạ, tách dãn, trượt của lớp hoặc các mảng đất đá dẫn tới xói lở hoặc bồi tụ ở khu bờ.

Địa hình

Về mặt địa hình, dãy núi Trường Sơn ở phía Tây chạy dọc theo đường bờ biển có hàng loạt các đỉnh cao trên 1.500m, đổ trực tiếp xuống biển Đông qua khoảng cách nhỏ hẹp vì vậy độ dốc địa hình trong vùng Nam Trung Bộ rất lớn. Cấu trúc của dãy Trường Sơn là các núi sắp xếp song song chạy theo hướng Tây Bắc-Đông Nam cùng với hướng của đường bờ biển chuyển từ Tây Bắc-Đông Nam chếch sang hướng Bắc-Nam nên thường xuất hiện những nhánh núi chạy sát tới đường bờ biển khiến địa hình khu vực này thường bị chia cắt thành những ô nhỏ.

Kiểu đường bờ ở Nam Trung Bộ có hai dạng chính sau [31]:

- Đường bờ vùng núi ven biển:

Dạng này phân bố chủ yếu từ Đà Nẵng đến mũi Cà Ná (Ninh Thuận). Đặc điểm chính là đường bờ phát triển trên nền đá gốc cứng chắc xen kẽ các đoạn phát triển trên các thành tạo bở rời Đệ tứ.

Đường bờ khu vực từ Đà Nẵng đến mũi Cà Ná rất khúc khuỷu, có nhiều mũi, vịnh và bán đảo. Đây là khu vực biển sâu (đường đẳng sâu 20m nằm gần sát bờ, có nơi chỉ cách vài chục mét), đáy biển có độ dốc lớn. Từ Đà Nẵng đến Quy Nhơn (Bình Định) có các mũi đâm ra biển như mũi Đà Nẵng, mũi An Hòa, mũi Ba Làng An (hay Batangan). Nhiều vịnh nước sâu như vịnh Đà Nẵng, vịnh Dung Quất, vịnh Nước ngọt và vịnh Quy Nhơn thuận tiện xây dựng các cảng biển. Từ Quy Nhơn đến mũi Dinh (Ninh Thuận) dãy Trường Sơn Đông đã tiến ra sát biển, bờ biển phát triển thành nhiều

mũi, vịnh xen nhau. Một số vịnh có diện tích lớn như vịnh Xuân Đài, Vân Phong, Cam Ranh ăn khá sâu vào đất liền và được che chắn bởi các bán đảo. Khu vực này còn có nhiều đảo ở ngoài như đảo Hòn Lớn, đảo Hòn Tre.

- Đường bờ vùng đồng bằng duyên hải có xen các núi sót ven biển:

Phân bố chủ yếu từ mũi Cà Ná đến Bà Rịa-Vũng Tàu. Đường bờ phát triển chủ yếu trên các thành tạo bở rời chủ yếu là cát biển xen kẽ các mũi đá gốc nhô ra sát biển (Sừng Trâu, La Gàn, Kê Gà, Kỳ Vân…).

Địa chất

Về địa chất, đồng bằng ven biển Nam Trung Bộ nằm trong phạm vi 4 đới kiến tạo, 2 đới A Vương-Sê Công và Nông Sơn thuộc hệ uốn nếp Việt-Lào và 2 đới Kon Tum-Đà Lạt thuộc địa khối Indosinia (*Nguyen Xuan Bao và nnk 1995*) [17]. Trên các đới này phân bố khá đầy đủ những thành tạo trầm tích và trầm tích - nguồn núi lửa có tuổi từ Arkei đến ngày nay. Trong khu vực có sự hoạt động của các đứt gãy hiện đại hướng á tuyến và á kinh tuyến, các trũng hạ dạng chậu. Theo tính chất cơ lý của đất đá cho thấy, bờ biển Nam Trung Bộ nằm trên hai loại đá: đá cứng chủ yếu là các thành tạo trước Đệ tứ, bao gồm đá biến chất, đá macma và đá phun trào; đất đá bở rời là các trầm tích bở rời thuộc hệ Đệ tứ chủ yếu là cát, bột, sét, sạn, sỏi, cuội,..., phân bố rộng rãi ở vùng cửa sông và các đồng bằng ven biển. Các trầm tích bở rời này có độ gắn kết kém, không chống đỡ được tác động của sóng vỗ trực tiếp với áp lực và dòng chảy lớn. Đây chính là một trong những yếu tố ảnh hưởng đáng kể đến quá trình sạt lở bờ biển của dải ven biển Nam Trung Bộ.

Mặc dù yếu tố địa chất đóng vai trò quan trọng trong việc định hình cấu trúc địa chất-địa mạo và quá trình bóc mòn vận chuyển và lắng đọng trầm tích trong khu vực, tuy nhiên tác động của chúng thường mang tính lâu dài cùng với thời gian hoạt động của các quá trình địa chất.

Hệ sinh thái, nguồn trầm tích ven biển

Sự đa dạng về hệ sinh thái ven biển (như cửa sông, đầm phá, vũng vịnh, rừng ngập mặn, rạn san hô, thảm cỏ biển …) cũng góp phần không nhỏ vào quá trình diễn biến xói/bồi trong khu vực duyên hải Nam Trung Bộ. Vào lúc triều kiệt hay triều rút,

bãi biển ở đây thường lộ ra và bị khô rất nhanh. Dưới tác động của gió mạnh ven bờ, cát có thể bị thổi vào bờ và tạo nên sự dịch chuyển của các đụn cát.

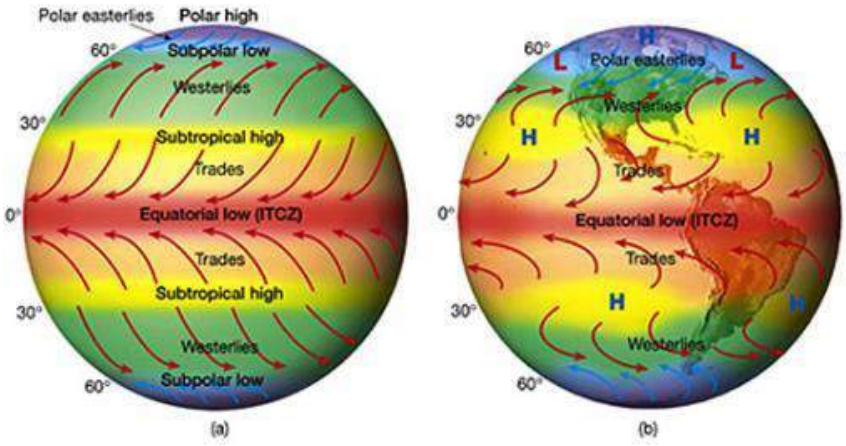
Bùn cát ven bờ có mối quan hệ mật thiết với bùn cát trong sông, được chuyển tải và bồi tụ ở cửa sông. Các sông suối vùng duyên hải Nam Trung Bộ có độ dốc địa hình lớn, chiều dài sườn dốc thường dài và lồi, lớp thổ nhưỡng mỏng do các đá gốc chủ yếu là đá cứng như granit, riolit…, bị rửa trôi lâu năm nên các vật liệu xói mòn bề mặt đưa xuống sông hàng năm của khu vực này thấp. Độ đục trung bình của các sông suối duyên hải Nam Trung Bộ theo các số liệu quan trắc được chỉ dao động từ 100÷500 g/m^3. Ngoài ra, quỹ bùn cát ở khu vực này đã cơ bản bị khống chế do sự phát triển hầu hết các hồ chứa thủy lợi/thủy điện ở thượng lưu (*full development*) còn các đụn cát (*sand dune*) cũng đã bị chiếm đoạt bởi các dự án hoặc bị ngăn cách bởi các tuyến đường giao thông ven biển.

1.1.3.2. Nguyên nhân do yếu tố ngoại sinh

Xói bồi cửa sông, ven biển chủ yếu được quyết định bởi chế độ thủy động lực, vận chuyển bùn cát do các yếu tố ngoại sinh tác động trực tiếp như sóng, dòng chảy ven bờ, thủy triều…và bị chi phối bởi chế độ gió mùa, bão, nước dâng hay BĐKH.

Chế độ gió mùa

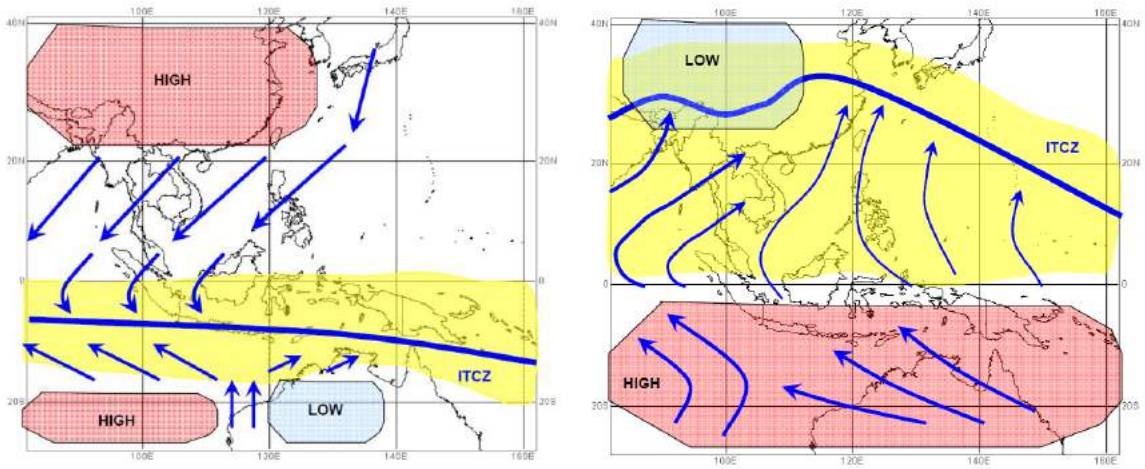
Gió mùa có liên quan đến chu kỳ dịch chuyển hàng năm của một vùng hội tụ còn gọi là dải hội tụ nhiệt đới (*Intertropical Convergence Zone-ITCZ*) hay rãnh áp thấp xích đạo-nhiệt đới (*Equatorial low*), thể hiện như trong Hình 1.3.



Hình 1.3: Hướng của các trường gió thịnh hành trên bề mặt trái đất

Dải hội tụ nhiệt đới (ITCZ) là một khu vực có điều kiện khí quyển không ổn định nằm giữa các trường gió mậu dịch hướng Đông Bắc phía Bắc bán cầu và các trường gió mậu dịch hướng Đông Nam phía Nam bán cầu. Vị trí của nó trên bề mặt trái đất bị ảnh hưởng bởi cường độ của các trường gió mậu dịch thịnh hành và bởi sự nung nóng bề mặt trái đất của mặt trời. Hệ quả là, ITCZ dịch chuyển theo sự chuyển động của mặt trời trên bề mặt trái đất, với độ trễ khoảng một vài tháng.

Hình 1.4 trình bày về hai mùa gió mùa. Mũi tên màu xanh biểu thị cho tốc độ gió và hướng gió tương ứng và các khu vực ghi chú 'high' (cao) và ' low' (thấp) biểu thị cho vùng khí áp. Đường màu xanh biểu thị cho vị trí của dải hội tụ nhiệt đới, vùng màu vàng biểu thị phạm vi của ITCZ, với các giới hạn bên ngoài được gọi là giới hạn hội tụ phía Bắc và phía Nam (hoặc các vùng áp thấp gió mùa).



Hình 1.4: Gió mùa Đông Bắc (trái) và gió mùa Tây Nam (phải) [64]

Chế độ gió mùa ở các tỉnh ven biển Nam Trung Bộ có tính chất điển hình của miền Nam và do chịu ảnh hưởng của không khí biển nên khí hậu vùng này có những nét đặc trưng so với các khu vực khác.

Thời kỳ hoàn lưu Đông Bắc (tháng XI÷III): Trên vùng biển khơi thịnh hành gió Đông Bắc, còn ở dải bờ biển hướng gió biến động mạnh theo điều kiện địa hình địa phương. Hướng gió có tần suất cao nhất không còn là Đông Bắc như trên biển khơi mà biến đổi theo hướng của dãy Trường Sơn như sau:

- Từ Đà Nẵng đến Khánh Hòa: Hướng Bắc
- Vùng cực Nam Trung Bộ (Ninh Thuận, Bình Thuận): Hướng Đông.

Các tháng IV÷V là thời kỳ chuyển tiếp giữa hai mùa gió chính, hướng gió Đông và Đông Nam chiếm ưu thế.

Thời kỳ hoàn lưu Tây Nam (tháng VI÷VIII): Gió Tây và Tây Nam chiếm ưu thế tuyệt đối trong các tháng VI, VII, VIII ở khu vực Bình Thuận. Những nơi khác cùng với hướng Tây và Tây Nam cũng xuất hiện gió Nam và Đông Nam với tần suất khá lớn. Tháng IX, X là thời kỳ chuyển tiếp, tần suất các hướng Tây, Tây Nam giảm dần đồng thời tần suất các hướng có thành phần Bắc tăng lên.

Về tốc độ gió, sức gió ở dải bờ biển tương đối mạnh so với trên đất liền, giá trị trung bình năm biến thiên từ 2÷4m/s. Tốc độ gió biến đổi phức tạp theo địa hình địa vật và thường càng ra xa bờ sức gió càng tăng vì lực ma sát với bề mặt giảm dần.

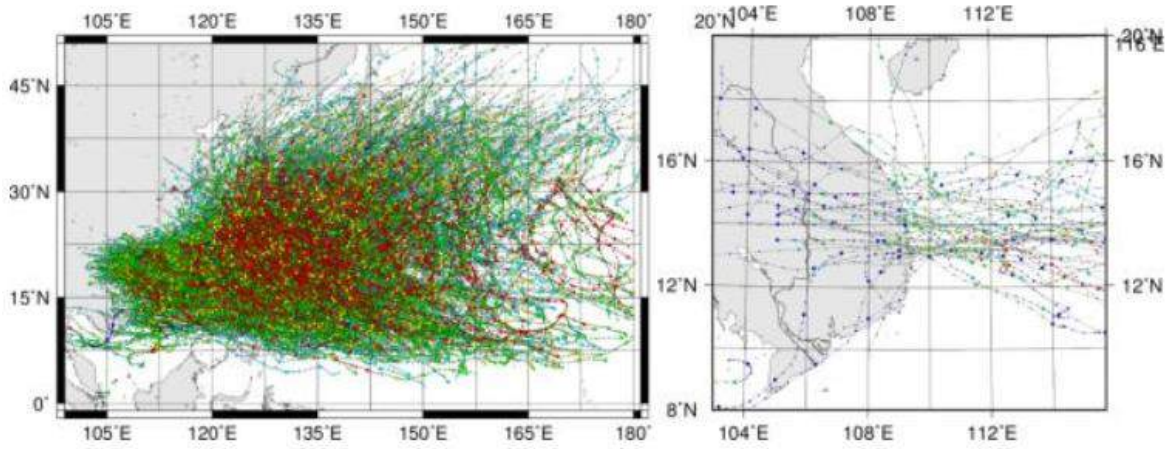
Trong thời kỳ gió mùa Đông Bắc, tốc độ gió trung bình lên đến 4÷6m/s còn trong thời kỳ gió mùa Tây Nam, sức gió tăng lên ở một số khu vực, rõ nhất là các tỉnh cực Nam Trung Bộ. Trong các thời kỳ chuyển tiếp giữa hai mùa, sức gió giảm xuống còn khoảng 1÷2m/s. Trường hợp gió mạnh và cực mạnh xuất hiện cùng với các hiện tượng bão, dông và gió mùa Đông Bắc. Gió mùa Đông Bắc thường gây gió mạnh ở bờ biển Nam Trung Bộ, thông thường từ cấp 5÷7, tương đương với 10÷20m/s, tối đa lên đến 25m/s. Các cơn dông xuất hiện chủ yếu trong thời kỳ hè thu, cũng thường kèm theo những cơn gió mạnh (tố lốc) có thể đạt 35m/s. Vùng gần tâm bão đi qua đều có gió mạnh từ cấp 8 trở lên tức là >20m/s. Sức gió có thể đạt tới 40÷50m/s khi có bão mạnh trên cấp 10. Tại trạm Quy Nhơn đã ghi nhận được tốc độ gió 59m/s (cấp 17) trong ngày 15/9/1972 khi bão FLOSIE đổ bộ vào Quảng Ngãi.

Bão

Biển Đông nằm trong khu vực Tây Bắc Thái Bình Dương, nơi có sự hiện diện của bồn nước ấm khổng lồ của Đại dương toàn cầu. Đây cũng là khu vực có sự dịch chuyển rộng nhất của vị trí trung bình dải hội tụ nhiệt đới theo hướng Bắc Nam. Với những đặc điểm đó, số lượng bão và áp thấp nhiệt đới phát sinh và hoạt động tại khu vực Tây-Bắc Thái Bình Dương vào hạng nhiều nhất so với các khu vực khác trên trái đất (*Đinh Văn Ưu, 2008*) [37].

Tại Việt Nam, miền Trung nói chung và Nam Trung Bộ nói riêng là nơi có bão và áp thấp nhiệt đới (ATNĐ) đổ bộ nhiều nhất so với cả nước (Hình 1.5). Chỉ tính từ

năm 1980 đến năm 2017 trong số 177 cơn bão và ATNĐ đổ bộ vào nước ta thì có 126 cơn vào miền Trung (chiếm 71,2% số cơn) trong đó gần một nửa rơi vào vùng Nam Trung Bộ (61 cơn, chiếm 34,5% số cơn) [35].



Hình 1.5: Quĩ đạo các cơn bão xuất hiện ở khu vực Tây-Bắc Thái Bình Dương (trái) và ảnh hưởng đến khu vực Nam Trung Bộ (phải) trong giai đoạn 1951÷2016[2]

Về thời gian xuất hiện của bão, kết quả thống kê gần 60 năm từ 1961÷2017, trong số 375 cơn bão cơn bão ảnh hưởng đến Việt Nam, tập trung nhiều nhất vào tháng IX (chiếm 23%), sau đó là tháng X (chiếm 20%), tháng VIII và tháng XI (đều chiếm 15%), tháng VII (chiếm 14%) [27], [35]. Tuy nhiên đối với từng vùng thì đặc điểm của bão lại khác nhau về thời gian ảnh hưởng, tần số ảnh hưởng và cường độ gió mạnh do bão.

Mùa bão ở Nam Trung Bộ thường bắt đầu từ tháng VII đến tháng XII, càng đi về phía Nam bão càng xuất hiện muộn dần. So sánh thời gian ảnh hưởng của bão ở các vùng, từ Đà Nẵng đến Ninh Thuận, bão ảnh hưởng tập trung chủ yếu vào ba tháng IX÷XI (chiếm 80%), còn khu vực Bình Thuận, bão ảnh huởng tập trung chủ yếu từ tháng X÷XII (chiếm 86%) [27].

Về xu thế biến đổi bão và áp thấp nhiệt đới trong thế kỷ 21, đánh giá của Ủy ban Liên chính phủ về Biến đổi khí hậu (IPCC) cho thấy chưa thể nhận định một cách chắc chắn về xu thế tăng/giảm của tần số bão trên quy mô toàn cầu (bao gồm cả Tây Bắc Thái Bình Dương). Về cường độ, nhận định tương đối đáng tin cậy là dưới tác

[2] Nguồn: http://agora.ex.nii.ac.jp/

động của BĐKH, cường độ bão có khả năng tăng khoảng 2%÷11%, mưa trong khu vực bán kính 100 km từ tâm bão có khả năng tăng khoảng 20% trong thế kỷ 21 (*IPCC, 2013*) [70].

Theo tài liệu *Kịch bản biến đổi khí hậu và nước biển dâng cho Việt Nam* [1] được Bộ Tài nguyên và Môi trường công bố năm 2016 (*Bộ TN&MT, 2016*), kết quả tính toán của các mô hình độ phân giải cao cho khu vực Biển Đông khá thống nhất với kết quả của IPCC. Tuy nhiên, kết quả một số mô phỏng cho thấy số lượng bão và áp thấp nhiệt đới hoạt động trên Biển Đông có xu thế giảm trong các tháng đầu mùa bão nhưng lại có xu thế tăng ở cuối mùa bão. Hoạt động của bão và áp thấp nhiệt đới có xu thế dịch chuyển về cuối mùa bão, thời kỳ mà bão hoạt động chủ yếu ở phía Nam. Nói cách khác, *trong tương lai tần suất xuất hiện bão ở khu vực Nam Trung Bộ có thể nhiều hơn, đồng thời cường độ bão cũng có thể tăng lên (từ 2% đến 11%)*.

Như vậy có thể thấy rằng BĐKH sẽ có ảnh hưởng đáng kể đến diễn biến bờ biển nước ta trong đó có khu vực Nam Trung Bộ.

Nước biển dâng

Các kết quả nghiên cứu về mực nước biển cả trên thế giới và ở Việt Nam trong thời gian qua đều xác nhận mực nước biển có xu thế dâng lên từ đầu thế kỷ 20 đến nay và với mức độ ngày càng nhanh hơn. Theo công bố *Kịch bản biến đổi khí hậu và mực nước biển dâng cho Việt Nam* của Bộ Tài nguyên và Môi trường năm 2016 [1], số liệu mực nước quan trắc tại các trạm hải văn cho thấy mực nước trung bình tại hầu hết các trạm đều có xu thế tăng, giai đoạn 1993÷2014 mực nước trung bình tại các trạm có xu thế tăng khoảng 3,34mm/năm. Khi nước biển dâng cao, hiện tượng sóng vỡ xảy ra càng gần bờ - lúc này năng lượng sóng được giải phóng tác dụng trực tiếp lên phần bãi và bờ biển làm cho các hạt cát bị cuốn đi gây ra hiện tượng sạt lở bờ hoặc hạ thấp bãi biển.

Chế độ sóng

Là yếu tố quan trọng nhất trong quá trình xói mòn trầm tích và vận chuyển bùn cát ven bờ, sóng trực tiếp tham gia vào quá trình vận chuyển bùn cát hoặc tạo ra dòng ven bờ tải bùn cát từ nơi này đến nơi khác. Sóng bị chi phối bởi gió nên có cùng đặc điểm phân bố hướng như với gió.

Vùng ven biển Nam Trung Bộ, sóng chịu ảnh hưởng trực tiếp của hai hệ thống gió mùa Đông Bắc, gió mùa Tây Nam và bão đã trình bày ở phần trên. Ở ngoài khơi, sóng có hướng gần trùng với hướng gió của hai hệ thống gió mùa còn vào gần bờ, do ảnh hưởng của địa hình đáy biển và hình thái đường bờ mà hướng cũng như độ cao sóng có nhiều thay đổi tùy theo khu vực. Qua tài liệu thống kê nhiều năm đặc trưng sóng của các trạm Hải văn ven biển có thể phân khu vực Nam Trung Bộ thành hai vùng có chế độ sóng khác nhau:

- Vùng ven biển Đà Nẵng

Đây là vùng biển khá sâu, độ dốc đường bờ lớn. Chế độ sóng phù hợp với chế độ gió khu vực và có thể chia làm hai mùa chính:

Mùa Đông Bắc: Sóng biển có hướng thịnh hành Đông Bắc, độ cao trung bình 0,8÷0,9m, riêng ba tháng đầu mùa độ cao sóng trung bình khoảng 1,1÷1,2m. Độ cao sóng lớn nhất 4,0÷4,5m.

Mùa Tây Nam: Sóng biển có hướng thịnh hành Đông Nam và có khi là Đông Bắc hoặc Bắc. Độ cao sóng trung bình khoảng 0,6÷0,7m, độ cao sóng lớn nhất có thể tới 3,5m. Từ tháng VII÷VIII, hướng sóng thịnh hành là Tây và Tây Nam chiếm ưu thế, độ cao sóng trung bình khoảng 0,7m, cao nhất có thể tới 4,0m. Trong các tháng IX÷X thường có bão hoạt động nên độ cao sóng có thể tới 6,0÷7,0m.

- Vùng ven biển Quảng Nam-Bình Thuận

Hướng sóng thịnh hành trong tháng I là hướng Bắc, từ tháng II÷IV hướng sóng thịnh hành là Đông Bắc. Độ cao sóng trung bình khoảng 0,9÷1,0m, độ cao sóng cực đại khoảng 4,0m. Từ tháng V÷IX, hướng sóng thịnh hành là Tây Nam, độ cao trung bình khoảng 0,8÷1,0m, độ cao sóng cực đại khoảng 3,5m. Các tháng X÷XII, hướng sóng thịnh hành là Bắc và Đông Bắc, độ cao trung bình xấp xỉ 0,9m, độ cao cực 3,5÷4,0m.

Dòng chảy ven bờ

Dòng chảy vùng nghiên cứu cũng chịu sự chi phối mạnh mẽ của hai mùa gió Đông Bắc và Tây Nam đồng thời chịu ảnh hưởng không nhỏ của yếu tố hình thái đáy biển. Xu hướng chung của dòng chảy ven biển là từ Bắc xuống Nam vào mùa gió Đông Bắc và ngược lại vào mùa gió Tây Nam. Hướng dòng chảy thay đổi theo địa

thế đường bờ từ Tây Nam đến Nam và Nam Đông Nam, đến khu vực Bắc đảo Lý Sơn đổi thành hướng Đông và đi vòng ra ngoài (Tây đảo Hải Nam) để tiếp tục chảy lên phía Bắc tạo thành hoàn lưu kín. Tốc độ trung bình khoảng 0,2÷0,25m/s, đặc biệt khi đi qua các eo hẹp có tốc độ dòng chảy rất lớn (xấp xỉ 1,0m/s).

Thủy triều

Hiện tượng thủy triều được hình thành trong Biển Đông, chủ yếu là do sóng triều truyền từ Thái Bình Dương vào. Khi truyền từ đại dương vào, thoạt tiên các sóng bán nhật triều có biên độ lớn hơn rõ rệt với năng lượng bằng khoảng gấp rưỡi năng lượng của các sóng nhật triều. Tuy nhiên trong quá trình truyền sóng triều do điều kiện địa hình biến đổi, nhất là khi truyền vào vùng thềm lục địa phía Tây, trong đó có hai Vịnh lớn là Vịnh Bắc Bộ và Vịnh Thái Lan, các sóng nhật triều đã được mạnh lên rõ rệt và tại nhiều nơi đã áp đảo thành phần bán nhật triều. Ngoài ra do địa hình đáy và hình thái bờ đặc biệt của các vịnh này đã tạo nên các vùng nhật triều thuần túy hoặc nhật triều không đều đồng thời thu hẹp những vùng bán nhật triều hoặc làm cho những vùng bán nhật triều tuy vẫn tồn tại song các thành phần nhật triều trong đó đã lớn lên đáng kể, có nghĩa là thành những vùng bán nhật triều không đều. Chính vì vậy, bức tranh thủy triều ở Biển Đông đa dạng và đặc sắc, có thể nói hiếm thấy trên thế giới so với sự chi phối nổi bật của thành phần nhật triều (*Đinh Văn Ưu, 2008*) [37].

Nam Trung Bộ có chế độ triều khá phức tạp, bao gồm nhiều tính chất thủy triều khác nhau:

- Vùng biển Đà Nẵng-Bắc Quảng Nam

Chế độ thủy triều thiên về bán nhật triều không đều, hầu hết các ngày trong tháng có hai lần nước lên và hai lần nước xuống. Độ lớn thủy triều trung bình lớn nhất trong kỳ nước cường, đạt khoảng 1,0÷1,2m.

- Vùng biển Nam Quảng Nam-Quy Nhơn-Nha Trang

Thủy triều lập lại tính chất nhật triều không đều, trong tháng có khoảng 18÷22 ngày quan trắc thấy một lần nước lên và một lần nước xuống, độ lớn thủy triều trung bình lớn nhất trong kỳ nước cường tăng lên từ 1,2÷2,0m.

- Vùng biển Phan Rang-Phan Thiết

Là nơi chuyển tiếp giữa chế nhật triều chủ yếu ở miền Trung và bán nhật triều ở phía Nam. Hàng tháng có khoảng 5÷10 ngày nhật triều (vào những ngày triều cường), 5÷10 ngày bán nhật triều (vào những ngày triều kém), số ngày còn lại là triều hỗn hợp. Biên độ triều tăng dần từ 1,5÷2,0m ở vùng Phan Rang đến 2,0÷2,5m ở vùng Phan Thiết. Biên độ thời kỳ triều kém khoảng 0,5÷0,7m. Càng về phía Nam đến mũi Hàm Tân (Bình Thuận) độ lớn thủy triều càng tăng dần, mực nước trung bình trong kỳ nước cường đạt 1,5 đến trên 2,0m và số ngày nhật triều trong tháng giảm xuống.

1.1.3.3. Nguyên nhân do yếu tố nhân sinh

Xói lở bờ biển tăng lên còn có lý do là chịu tác động lớn của hoạt động nhân sinh như xây dựng các công trình ở những nơi bờ biển không ổn định, đắp đập ngăn sông, đào kênh tưới tiêu và thoát lũ; quai đê lấn biển, hủy hoại hệ sinh thái rạn san hô; khai thác sa khoáng làm vật liệu xây dựng gây thiếu hụt, thay đổi cân bằng và phân bố bùn cát ven bờ.

Thực tế trên dải ven biển Nam Trung Bộ trong những năm gần đây với lợi thế phát triển du lịch biển, nhiều công trình dịch vụ nghỉ dưỡng cao cấp đã được xây dựng một cách ồ ạt, thậm chí lấn biển làm mất đi sự cân bằng tự nhiên của dòng vận chuyển bùn cát dọc bờ biển nên đã bị sóng biển tác động mạnh gây sạt lở nghiêm trọng, tiêu biểu như ở Cửa Đại (Quảng Nam).

Mất cân bằng bùn cát do việc xây dựng các hồ chứa ở thượng nguồn và khai thác cát, sỏi ở lòng sông, ven biển đã làm giảm đáng kể lượng bùn cát. Các đập thượng nguồn giữ lại bùn cát nên dòng chảy hạ lưu bị thiếu hụt bùn cát, buộc phải bào xói bờ để cân bằng năng lượng dư thừa. Việc khai thác cát trái phép với quy mô lớn là một trong những nguyên nhân chính gây ra tình trạng sạt lở bờ. Thực tế tại các địa phương cho thấy, việc quản lý của các cấp, các ngành đối với các hoạt động khai thác cát, sỏi trái phép ở lòng sông, cửa sông, ven biển chưa thường xuyên và quyết liệt. Hoạt động chặt phá rừng, khai thác tài nguyên vùng đầu nguồn cũng là nguyên nhân gây biến đổi lượng bùn cát, dòng chảy ra cửa sông gây sạt lở ven biển.

Việc chặt phá rừng ngập mặn và cây chắn cát ven biển cũng đã làm cho nhiều đoạn bờ trước đây vốn bồi tụ thì nay đã bị xói lở như tại Bình Phú (Bình Sơn, Quảng Nam), LaGi (Bình Thuận)…

1.1.3.4. Nhận xét chung

Theo các phân tích trên, sự biến đổi hình thái bờ và bãi biển vùng Nam Trung Bộ là hệ quả tổng hợp của rất nhiều yếu tố gây nên sự mất cân bằng về bùn cát từ đó dẫn đến các quá trình bồi xói vùng ven biển bao gồm đặc điểm địa hình bờ/bãi biển, cấu tạo địa chất và đặc tính của trầm tích (yếu tố nội sinh), những tác động có nguồn gốc từ biển và sông như dòng thủy triều, hải lưu, sóng do gió (yếu tố ngoại sinh), khai thác thượng nguồn (yếu tố nhân sinh)... trong đó tác động ngoại sinh bởi sóng do gió đóng vai trò quan trọng hàng đầu. Sóng là nguyên nhân khởi tạo (sơ cấp) còn dòng chảy là nguyên nhân thứ cấp tải bùn cát từ nơi này đến nơi khác và các thành phần vận chuyển bùn cát dọc bờ và thành phần ngang bờ có mối quan hệ hữu cơ với thành phần dọc bờ và ngang bờ của dòng năng lượng sóng. Vì thế, nói đến các giải pháp giảm thiểu sạt lở bờ và bãi biển, tất cả các công trình nghiên cứu, thử nghiệm đều hướng tới việc đầu tiên là làm sao giảm thiểu được tác động của sóng. Trong khi thừa nhận các yếu tố ảnh hưởng đến diễn biến bồi/xói ven biển, phạm vi nghiên cứu của luận án chỉ giới hạn trong việc phân tích tác động một yếu tố nguồn từ biển là năng lượng sóng và xu thế biến đổi của của tác động này trong quá trình NBD do BĐKH.

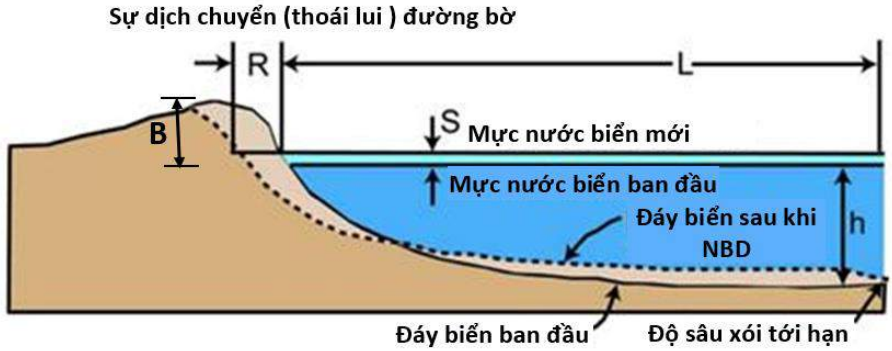
1.2. Nghiên cứu trên thế giới về ảnh hưởng của NBD đến diễn biến hình thái vùng ven biển

Nhiều nghiên cứu về ảnh hưởng của NBD đến diễn biến hình thái vùng ven biển trên thế giới đều đã chỉ ra những thay đổi mực nước biển trung bình có thể ảnh hưởng đến quá trình ven biển, làm thay đổi hình dạng và vị trí đường bờ biển. Ảnh hưởng của NBD có thể được xem xét trong nhiều khoảng thời gian khác nhau, từ vài phút đến vài ngày (sóng, thủy triều, bão), hàng tuần tới nhiều năm (chu kỳ triều, mùa) và cả quá trình địa chất từ hàng ngàn đến hàng trăm ngàn năm. Sự tan chảy của các sông băng ở Bắc bán cầu dẫn đến việc định dạng lại bờ biển nhiều nơi trên thế giới, đặc biệt ở các khu vực có vĩ độ trung bình và thấp là điều chúng ta dễ nhận thấy nhất.

1.2.1. Mô hình xác định hình thái dài hạn

Vào giữa thế kỷ XX, cách tiếp cận cũng là điểm khởi đầu cho nhiều nghiên cứu sau này đã bị chi phối bởi mô hình khái niệm đơn giản về phản ứng bờ biển đối với

nước biển dâng của *Per Bruun* (*Bruun, 1954*) [45]. Các tài liệu do *Bruun* (*1962*) [46] và *Schwartz* (*1965, 1967*) [90], [91] công bố thực sự là những tài liệu mang tính bước ngoặt trong việc thúc đẩy nghiên cứu về sự thay đổi hình thái vùng ven biển trên một loạt các quy mô không gian và thời gian. Mô hình Bruun đã được áp dụng cho các bài toán khác nhau như đảo chắn (*Dean và Maur-Meyer, 1983*) [54] hoặc với kiểu bờ biển có cấu tạo bằng vật liệu dính (*Bray và Hooke, 1997*) [44]. Từ sự xuất hiện mô hình Bruun, một số mô hình khác về phản ứng của bờ biển với nước biển dâng đã được phát triển, nhưng đều dựa trên mô hình khái niệm Bruun, và nó vẫn đang được sử dụng rộng rãi để giải thích phản ứng ven biển đối với sự thay đổi mực nước biển (*Bray, Hooke, và Carter, 1997; French, 2001*) [49], [63]. *Schwartz* (*1967*) [91] đã đề xuất gọi chung các phương pháp dự đoán sự chuyển dịch bờ biển là "*Quy tắc Bruun*".



Hình 1.6: Minh họa mô hình Bruun

Theo *Bruun*, sự chuyển dịch bờ biển theo phương ngang, R, có quan hệ với quá trình gia tăng mực nước biển, S, bằng công thức sau [45]:

$$R = \frac{L}{B+h} S \qquad (1.1)$$

L là khoảng cách ngang bờ đến độ sâu tới hạn xói h (Depth of closure)

B là chiều cao tính từ mực nước biển của đụn cát ven bờ bị xói lở

Kể từ khi mô hình Bruun được đề xuất đầu tiên, nhiều nỗ lực đã được thực hiện để kiểm tra mô hình và khả năng dự báo (*Bruun, 1988* [48]; *List và cộng sự, 1997* [75]; *Pilkey và Davis, 1987* [84]*; Rosen, 1978 [88]; Schwartz, 1967, 1987* [91]).

Vào năm 1991, Nhóm nghiên cứu của Ủy ban Khoa học Nghiên cứu Đại dương (*Scientific Committee on Ocean Research, SCOR; Working group 89*) đề xuất cải tiến công thức của Bruun [89]:

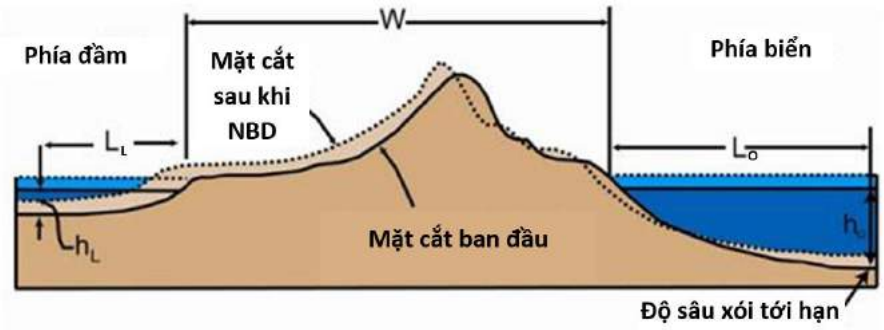
$$R = \frac{L}{B+h}S = \frac{1}{tan\theta}S \quad (1.2)$$

Trong đó:

tanθ≈(B+h)/L: Độ dốc trung bình bờ biển theo phương ngang bờ L.

Còn *Dean và Maur-Mayer* (*1983*) [54] và *Dean* (*1991*) [56] khi xem xét ảnh hưởng của các đầm phá (Lagoon) tại vùng ven biển đã đề nghị sử dụng công thức Bruun điều chỉnh sau (Hình 1.7):

$$R = \frac{L_0+W+L_L}{(h_0-h_L)}S \quad (1.3)$$



Hình 1.7: Minh họa mô hình của Dean và Maur-Mayer Bruun

Trong đó: L_O và L_L lần lượt là khoảng cách ngang bờ đến độ sâu tới hạn xói phía biển (h_O) và phía đầm (h_L).

Khi mở rộng tra cứu khả năng ứng dụng trong công tác quản lý vùng ven biển hiện nay, rõ ràng việc sử dụng quy tắc Bruun là rất phổ biến. Quy tắc này đã được ứng dụng gần như trên toàn cầu, từ Bắc Mỹ, Caribbean, Nam Mỹ, Châu Âu, New Zealand, Úc, Đông Nam Á đến Trung Đông.

Mặc dù vậy, quy tắc Bruun đã bỏ qua các nguyên tắc địa chất và hải dương học quan trọng khác nhau mang tính địa phương, nên nó không và không thể dự đoán sự thoái lui của bờ biển do nước biển dâng một cách cục bộ. Vì thế, chiến lược quản lý vùng ven biển như những khoảng lùi (*setback zones*), các mô hình kỹ thuật ven biển, thiết kế nuôi dưỡng bãi dựa trên quy tắc Bruun và khái niệm *mặt cắt cân bằng* (*profile of equilibrium*) vẫn đang được xem xét.

Các nghiên cứu kiểu như trên được coi là hướng nghiên cứu trực tiếp tác động của NBD đến diễn biến hình thái vùng ven biển, xác định hình thái dài hạn trên quy mô lớn theo mức độ dâng, rút của mực nước biển trung bình.

1.2.2. Mô hình xác định hình thái ngắn hạn

Theo một hướng khác, việc nghiên cứu ảnh hưởng của NBD đến diễn biến hình thái vùng ven biển được tập trung vào các quá trình thủy thạch động lực bao gồm sóng, triều, dòng chảy biển, vận chuyển bùn cát,...trong đó không thể thiếu sự góp mặt của yếu tố mực nước biển và chủ yếu được thực hiện dựa trên số liệu quan trắc ngoài hiện trường, nghiên cứu trên mô hình vật lý, mô hình toán. Những nghiên cứu này đã được quan tâm từ thế kỷ XIX và phát triển mạnh từ khoảng thập kỷ 30 đến thập kỷ 60 trong thế kỷ XX ở các nước Âu Mỹ. Nghiên cứu quá trình phát triển Delta và động lực ven bờ có *Ven Techow, GA. Skrintunov, I.V.Popov*… Nghiên cứu về động lực dòng chảy và vận chuyển bùn cát có *Bijker E.W* [41], [42], *Engelund & Fredsoe, Englund & Hansen* [62], *Meyer Peter & Müller* [80]…Nghiên cứu chế độ, đặc điểm động lực vùng cửa sông, bờ biển, xét đến hoạt động của con người, đã có nhiều công trình được công bố của *T.Elliot* [61], *N.Ya.Danilevski* [111], *I.V.Xamoilov* [112],…

Theo *Dean và Dalrymple (2004)* [57], trong vòng 50 năm trở lại đây, kỹ thuật bờ biển đã trở thành một ngành khoa học hoàn chỉnh với các nghiên cứu chuyên sâu với mục tiêu là nắm bắt được các quy luật của quá trình diễn biến bờ biển và phát triển các chiến lược ứng phó có hiệu quả đối với hiện tượng xói lở bờ biển. Các tiếp cận nghiên cứu ngày càng cụ thể và sâu sắc hơn, cho tới nay những vấn đề về quá trình diễn biến bờ biển đã được hiểu biết một cách tương đối toàn diện bao gồm: khả năng phân tích, tổng hợp các quá trình diễn ra trong tự nhiên cũng như năng lực diễn giải, giải thích các hiện tượng phức tạp; đôi khi là sự mâu thuẫn giữa các căn cứ, bằng chứng và các kinh nghiệm đạt được từ các nghiên cứu trên một loạt các bờ biển cũng như công việc thực hiện tại các dự án có liên quan tới kỹ thuật bờ biển.

Tổng quan lý thuyết và chi tiết về các quá trình động lực bờ biển (thủy động lực và hình thái) nói riêng và về kỹ thuật bờ biển nói chung được trình bày trong rất nhiều sách học thuật và tạp chí chuyên ngành của nhiều tác giả, đặc biệt là bộ sách về kỹ thuật đại dương nâng cao (*Advanced Series on Ocean Engineering*) [102] gồm nhiều tập của các nhà nghiên cứu nổi tiếng trên thế giới như *Chiang (1999), Dean và Dalrymple (1999), Fredsoe và Deigaard (1999), Nielsen (1999), Massel (1999), Maarten (1999), Silvester và Hsu (1999).* Ngoài ra phải kể đến bộ Sổ tay kỹ thuật bờ

biển (*Coastal Engineering Manual* - CEM) của tổ chức kỹ thuật quân đội Mỹ (*US Army Engineering Corps, 2008*) [100] được xem như cẩm nang của các kỹ sư công trình biển.

Sóng biển là một trong số các tác động mang tính quyết định tới diễn biến bờ biển vì thế trên thế giới có rất nhiều nhóm, các nhà khoa học quan tâm nghiên cứu. *US Army Engineering Corps* (*2008*) đã tổng quan về quá trình phát triển của lý thuyết tính sóng bắt đầu từ những nghiên cứu cơ bản của *Kelvin* (*1887*) và *Helmholtz* (*1888*) từ cuối thế kỷ 19.

Vào những năm 1950, các nhà nghiên cứu nhận ra rằng quá trình hình thành sóng được mô phỏng tốt nhất là dưới dạng phổ sóng *(Pierson và nnk, 1955)* nên đã xem xét lại các ý tưởng về quá trình hình thành sóng trên góc độ nghiên cứu sự xáo động của trường gió tương tác với bề mặt ngẫu nhiên của biển. Theo hướng này, *Phillips* (*1958*) *và Miles* (*1957*) đã đưa ra hai lý thuyết nền tảng cho vật lý hình thành sóng trong nhiều năm. Khái niệm của *Phillips* đề cập đến sự tương tác cộng hưởng của các biến động nhiễu loạn của trường khí áp với sự lan truyền sóng cùng tốc độ. Khái niệm của *Miles* tập trung vào việc truyền thông lượng động năng của một lớp (không khí) phía trên vào trường sóng di chuyển với cùng tốc độ. Lý thuyết của *Phillips* mô phỏng quá trình phát triển sóng tuyến tính và được cho là mô tả các giai đoạn đầu của sự phát triển sóng. Lý thuyết của *Miles* dự báo quá trình phát triển theo dạng hàm mũ và được cho là mô tả các phần chính của sự phát triển sóng quan sát được trong tự nhiên.

Dựa trên những khái niệm về sự phát triển phổ sóng do gió đầu vào thông qua các cơ chế *Miles-Phillips* và dạng giới hạn chung đối với mật độ phổ sóng, các mô hình sóng thế hệ đầu tiên (1G) đã ra đời. Trong các mô hình này, sóng tự nhiên được cho là sóng tổng hợp từ vô số các sóng nhỏ với tần suất và hướng khác nhau. Cách tiếp cận này cho phép kết hợp sóng do gió và sóng lừng dự báo. Mô hình đầu tiên của thế hệ này được phát triển bởi Trung tâm dự báo thời tiết Pháp (*Gelci, Cazale, và Vassel, 1957*) và được sử dụng chủ yếu vào dự báo sóng vùng biển Bắc Atlantic. Vào những năm 1970, mô mình phổ sóng đại dương SWOM cũng được phát triển và sử

dụng tại Trung tâm tính toán hải dương Fleet trong dự báo sóng toàn cầu (*Inoue, 1967; Bunting, 1970*).

Các mô hình sóng thế hệ 1G không bao gồm các tương tác sóng phi tuyến. Vào đầu những năm 1980, các mô hình sóng thế hệ thứ hai (2G) ra đời trong đó các tương tác sóng phi tuyến nói trên đã được thông số hóa, bao gồm các công thức dạng lai ghép và dạng kết hợp rời rạc (*Konmen*), trong đó các thành phần nguồn mô tả tương tác sóng phi tuyến được kết hợp với các ràng buộc về dạng phổ sóng để mô phỏng sự phát triển tổng thể của sóng.

Vào giữa những năm 1980, những nghiên cứu mô phỏng toán học rộng rãi đã cho thấy rằng các mô hình thế hệ 1G và 2G không thể áp dụng cho tất cả các trường gió, đặc biệt là các trường hợp gió bão, đồng thời với sự tiến bộ trong công nghệ tính toán các tích phân dạng *Boltzman của Hasselmann (1985)* và *Snyder (1993)* đã vượt qua được các khó khăn trong tính toán của các mô hình thế hệ 2G và đặt nền móng cho các mô hình thế hệ thứ ba (3G). Các mô hình này với những đặc điểm mới cơ bản là cho phép tính được năng lượng phổ bằng cách tích phân trực tiếp phương trình cân bằng năng lượng sóng, tham số hóa chính xác hàm nguồn truyền tải phi tuyến năng lượng có cùng bậc tự do với phổ năng lượng sóng, sử dụng xấp xỉ tương tác rời rạc của *Hasselmann (1985)*, phương trình cân bằng năng lượng sóng được khép kín bằng cách định rõ các hàm nguồn tiêu tán, các hàm này phù hợp với các dạng được *Komen (1984)* đề xuất. Các mô hình đại diện là WAM, WAVEWACH III, SWAN, MIKE 21 SW, TELEMAC, ROMS,..

Đánh giá chung về các mô hình tính sóng vùng nước sâu thấy rằng, các loại mô hình tính sóng thế hệ thứ ba hiện nay cho phép dự báo hoặc hồi tính khá tốt trường sóng vùng nước sâu ngay cả trường sóng trong bão. Đối với sóng nước nông, trong các trường hợp địa hình đơn giản, hiện nay để tiện lợi cho sử dụng các phần mềm máy tính đã được xây dựng cho phép tính toán các đặc trưng sóng, như chương trình CRESSWIN của Viện Thủy lực IHE Delft, Hà Lan; ACES, Breschneider của Trung tâm công nghệ ven bờ thuộc Hải quân Mỹ CERC, có thể sử dụng cho quy hoạch và thiết kế công trình biển. Việc tính toán trường sóng khi các yếu tố tạo sóng biến đổi phức tạp, đặc biệt là đối với các vùng bờ biển phức tạp, địa hình đáy biển biến đổi

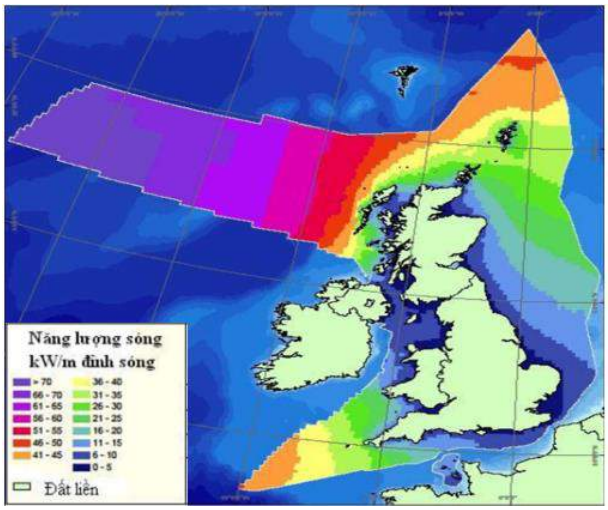
mạnh, có các vật cản (tự nhiên và công trình nhân tạo) theo các phương pháp đã nêu sẽ tốn nhiều thời gian, độ chính xác kém và trong nhiều trường hợp không thể tính toán chi tiết được sự biến đổi của các yếu tố tạo sóng theo không gian và thời gian. Với các trường hợp phức tạp nêu trên để tính toán các yếu tố sóng vùng ven bờ, hiện nay thường sử dụng phương pháp tính toán số trên cơ sở phương trình lan truyền sóng. Các mô hình đại diện là: STWAVE, WABED, SWAN, MIKE 21 SW, MIKE 21 NSW, MIKE 21 BW, CGWAVE.

Trên cơ sở nghiên cứu về cơ chế và quá trình truyền sóng, các nhà khoa học trên thế giới cũng đã xem xét những ảnh hưởng của dòng năng lượng sóng vì tiềm năng năng lượng rất lớn của sóng biển đã được ghi nhận từ lâu. Từ những năm 1799 đến nay đã có hơn 1.000 đăng ký sáng chế khai thác năng lượng sóng tại Nhật và Tây Âu (Liên hiệp Anh) chỉ riêng năm 1973 có tới 340 đăng ký bản quyền sáng chế thiết bị chuyển đổi năng lượng sóng. Trong thế kỷ 19 đã sử dụng năng lượng sóng để làm bơm hoặc các thiết bị cơ học khác. Năm 1910, tại Royan gần Bordeaux (Pháp) đã sử dụng không khí được dao động sóng bơm trên bờ dốc để chạy tuốc bin có công suất 1kW sử dụng điện trong sinh hoạt. Một loại thiết bị gọi là "mô tơ sóng" do công ty năng lượng sóng của Mỹ đăng tải trong Tạp chí Năng lượng vào năm 1911 từng được xem là thiết bị sóng hiện đại nhất thời đó.

Tuy nhiên việc ứng dụng năng lượng sóng về cơ bản được tiến hành từ các năm 1940 với các máy phát điện cho đèn tín hiệu tại các phao hàng hải tại các nước có vùng biển rộng và khoa học tiên tiến như Na Uy, Thụy Điển, Mỹ, Pháp và Nhật Bản. Và chỉ đến thời gian khủng hoảng năng lượng vào những năm 1970 của thế kỷ trước, khi mà các nhà khai thác năng lượng tập trung sự chú ý vào khai thác các nguồn năng lượng từ thiên nhiên, thì lúc đó việc nghiên cứu khai thác năng lượng sóng mới được tập trung nghiên cứu chi tiết. Các công trình nghiên cứu vào các năm 1970 tại Na Uy và Anh tuy không phát triển đến giai đoạn thương mại nhưng là các nghiên cứu tiền đề cho các thiết bị chuyển đổi năng lượng sóng hiện nay.

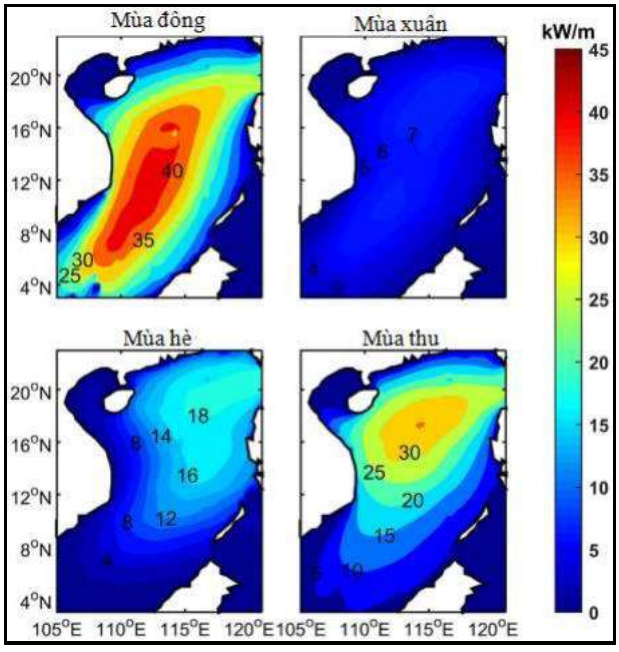
Tháng 9 năm 2004, Bộ Thương mại và Công nghiệp Anh lần đầu tiên công bố bản đồ tài nguyên năng lượng tái tạo biển cho vùng biển khu vực Liên hiệp Anh bao gồm các thông tin về trường sóng (độ cao sóng có nghĩa, chu kỳ sóng trung bình,

hướng truyền năng lượng sóng, năng lượng sóng theo các tháng, mùa hoặc trung bình năm) để phục vụ cho việc quy hoạch khai thác các nguồn năng lượng biển nói chung và năng lượng sóng nói riêng (Hình 1.8) [58].



Hình 1.8: Bản đồ năng lượng sóng trung bình năm vùng biển liên hiệp Anh [58]

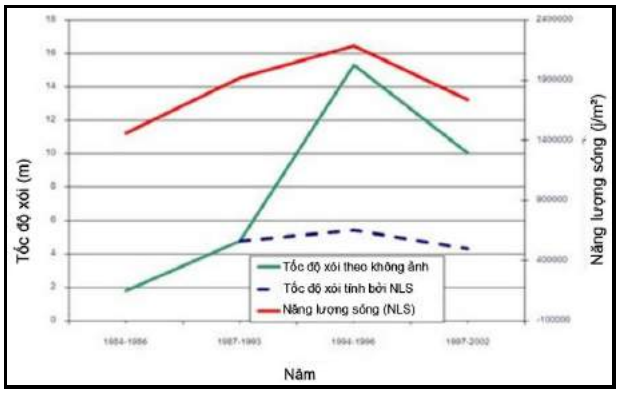
Tương tự, *Zhifeng Wang và nnk (2018)* [109] cũng đã công bố bản đồ tiềm năng năng lượng sóng cho khu vực Biển Đông, gồm các tập Atlat năng lượng sóng trung bình tháng và năng lượng sóng theo bốn mùa trong năm (Hình 1.9).



Hình 1.9: Bản đồ năng lượng sóng trung bình theo mùa vùng biển Đông [109]

Các nghiên cứu ảnh hưởng của dòng năng lượng sóng đối với diễn biến đường bờ biển nói chung còn khá hạn chế và chỉ được xem xét trong thời gian gần đây. Hình

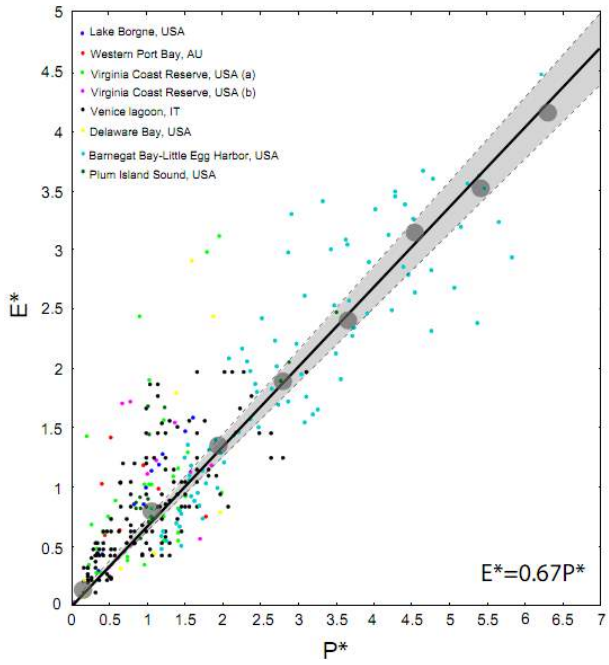
1.10 trình bày kết quả nghiên cứu về quan hệ giữa năng lượng sóng và tốc độ xói lở bờ biển trung bình tại tỉnh Bangkhuntien (phía Bắc vịnh Thái Lan) [86]. Đường màu đỏ nét liền trên cùng trong đồ thị thể hiện năng lượng sóng (J/m^2) tại bãi biển Bangkhuntien từ năm 1984 đến 2002, đường màu xanh ở giữa là tốc độ xói lở được quan sát thông qua sử dụng không ảnh và đường nét đứt bên dưới cho thấy tốc độ xói lở được tính toán bởi năng lượng sóng từ năm 1984÷2002



Hình 1.10: Quan hệ giữa năng lượng sóng và tốc độ xói bờ Bangkhuntien [86]

Trong một nghiên cứu gần đây nhất của Đại học Boston (Mỹ) năm 2015 [83] thực hiện tại 8 địa điểm khác nhau ở Mỹ, Úc và Italia đã xây dựng quan hệ tuyến tính giữa công suất (thông lượng) sóng và tốc độ xói mòn bờ biển như sau (Hình 1.11):

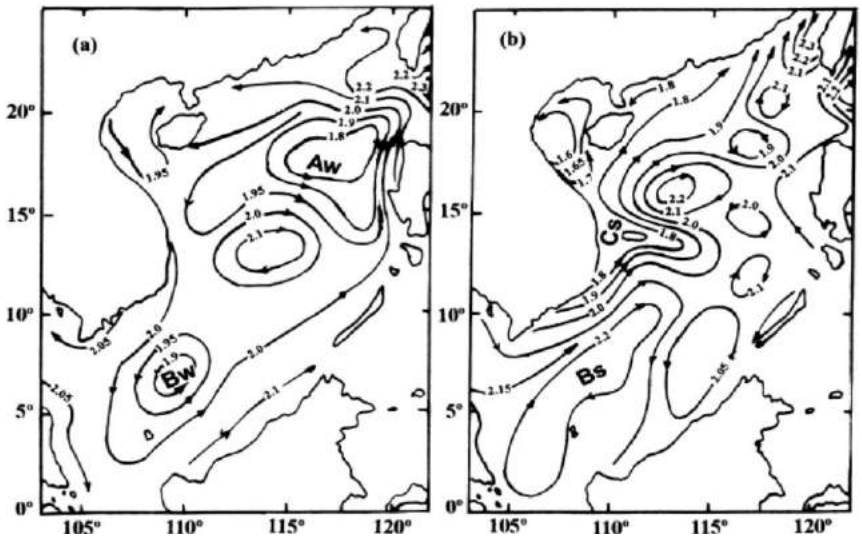
$$E^* = a^* P^* \quad , a^* = 0{,}67 \tag{1.4}$$



Hình 1.11: Quan hệ công suất sóng và tỷ lệ xói mòn (không thứ nguyên) [83]

Trong đó: $E^*=E/E_{avg}$ và $P^*=P/P_{avg}$ tương ứng là tỷ lệ xói mòn và công suất sóng không thứ nguyên thu được bằng cách chia số liệu thực địa của tốc độ xói mòn E và công suất sóng P theo các điều kiện trung bình tại mỗi vị trí (E_{avg} và P_{avg}).

Về dòng chảy biển, đặt nền móng cho việc nghiên cứu hoàn lưu biển Đông phải kể đến các nghiên cứu của Cục Thủy văn thuộc Hải quân Mỹ (*Hydrographic Office of the U.S. Navy, 1945*), *Dale (1956)* và *Wyrtki (1961)*. Những kết quả này chủ yếu dựa trên số liệu từ các tàu quan trắc và số liệu gió thịnh hành, đã khám phá ra một số đặc điểm quan trọng của dòng hải lưu biển Đông. Kết quả của cả *Dale (1956)* [51] và *Wyrtki (1961)* [104] thông qua các chuyến khảo cứu thực hiện bởi Chương trình nghiên cứu tổng hợp vùng biển Nam Việt Nam và Vịnh Thái Lan (NAGA) của Mỹ trong các năm 1959÷1961 được biết tới như là dạng dòng hoàn lưu bề mặt điển hình của khu vực biển Đông, do gió mùa là tác nhân chính gây ra. Từ kết quả của *Wyrtki (1961)* và phân bố độ mặn, *Tomczak và Godfrey (1994)* [98] đã tổng hợp thành các biểu đồ về phân bố dòng hoàn lưu lớp mặt. *Xu và nnk* (*1982*) [105] đã sử dụng chuỗi số liệu quan trắc từ 1921÷1970 để phân tích sâu hơn về chế độ dòng chảy theo mùa khí hậu của biển Đông. Về cơ bản, đặc điểm về dòng hoàn lưu đưa ra bởi nghiên cứu này là tương tự với các kết quả của *Dale* (*1956*) và *Wyrtki* (*1961*), điểm khác là các tác giả đã chỉ ra sự tồn tại của các dòng hoàn lưu xoáy thuận (chiều kim đồng hồ) trong mùa đông và xoáy nghịch trong mùa hè (Hình 1.12).



Hình 1.12: Phân bố trường dòng chảy lớp mặt ở biển Đông mùa đông (trái) và mùa hè (phải). Aw, Bw, Bs, và Cs biểu thị các dòng xoáy (*Xu và nnk, 1982*) [105]

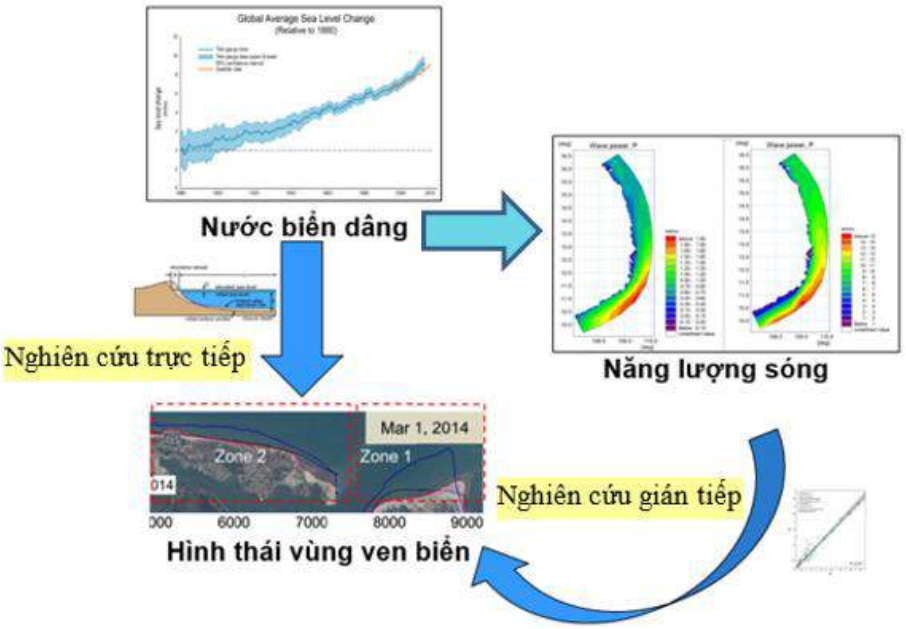
Một số nghiên cứu khác tập trung chi tiết cho các vùng Bắc Biển Đông như *Williamson (1970)* [101], *Uda và Nakao (1974)* [99], *Yanagi và nnk (2001)* phân tích các đặc điểm chi tiết về điều kiện biển biến đổi theo mùa của vùng vịnh Thái Lan dựa trên các quan trắc của SEAFDEC (*South East Asian Fisheries Development Center*) thực hiện trong các năm 1995 và 1996.

Quan trắc bằng ảnh vệ tinh trong những năm gần đây đã mang tới một cách tiếp cận mới trong việc nghiên cứu dòng hoàn lưu đại dương. Những nghiên cứu theo hướng này phải kể đến các công trình của *Yanagi và nnk (1997)* [107], *Li và nnk (1999)* [73], *Mao và nnk (1999)* [79], *Shaw và nnk (1999)* [92] và *Morimoto (2000)* [82] cho toàn biển Đông, *Soong và nnk* (*1995*) [93] và *Chen* (1983) [50] cho vùng Bắc Biển Đông. Các nghiên cứu này cấp thêm những luận cứ minh chứng cho những dạng dòng hoàn lưu của các nghiên cứu trước đây. Đặc biệt, kết quả nghiên cứu của *Shaw và nnk (1999)* [92] sử dụng số liệu quan trắc từ vệ tinh Topex/Poseidon từ năm 1992÷1995 đã bổ sung dòng hoàn lưu của gió là nguyên nhân chính gây ra dòng hoàn lưu dòng chảy tại vũng sâu biển Đông ngoại trừ vùng gần eo biển Luzon.

Nhiều mô hình số cũng đã được phát triển để mô phỏng dòng hoàn lưu trung bình mùa và trung bình tháng trên biển Đông. Các nghiên cứu sử dụng mô hình hai chiều để tính toán dòng hoàn lưu trung bình tháng bao gồm *Zeng và nnk (1992)* [108], *Su và Liu (1992)* [94], *Li và nnk (1994)* [74], và *Liu và Su (1993)* [76]. Các nghiên cứu sử dụng mô hình nhiều lớp hay 3 chiều phải kể đến *Pohlmann (1987)* [85], *Ly và Luong (1997)* [78], *Takano và nnk (1998)* [95], *Wu và nnk (1998)* [103], *Yanagi và Takao (1998), Yang và nnk* (*2002*) [106]. Các nghiên cứu này đã cung cấp thêm kiến thức nhằm làm sáng tỏ hơn cơ chế hoàn lưu trên biển Đông…

Tóm lại, nghiên cứu ảnh hưởng của NBD đến xói-bồi vùng ven biển trên thế giới từ trước đến nay đã đi theo hai cách tiếp cận có thể được tóm tắt như Hình 1.13. Cách tiếp cận thứ nhất nhằm xây dựng các mô hình, biểu thức… xác định mối quan hệ giữa yếu tố NBD và sự dịch chuyển của đường bờ biển, đáng chú ý trong tiếp cận này là nghiên cứu của *Bruun* và các tác giả khác, gọi chung là "*Quy tắc Bruun*" tức là xác định hình thái theo mức độ dâng của nước biển trung bình trong thời gian dài. Cách tiếp cận thứ hai xây dựng các mô hình xác định hình thái ngắn hạn thông qua

các mô hình thủy thạch động lực và năng lượng sóng,..xem xét ảnh hưởng của các yếu tố tác động chính (năng lượng sóng, dòng chảy, vận chuyển bùn cát…) đến hình thái cục bộ một vùng ven biển.



Hình 1.13: Hướng nghiên cứu ảnh hưởng của NBD đến hình thái vùng ven biển

1.3. Nghiên cứu liên quan thực hiện ở Việt Nam và Nam Trung Bộ

Ở Việt Nam, các nghiên cứu về hình thái vùng ven biển thông qua chế độ thủy động lực và vận chuyển bùn cát được bắt đầu từ những năm 60 của thế kỷ trước. Một số cơ quan tiêu biểu trong lĩnh vực này là Đại học Khoa học Tự nhiên, Viện Khoa học Thủy lợi, Viện Cơ học, Viện Hải dương học Nha Trang...

Nhiều công trình nghiên cứu thuộc các chương trình biển, đề tài độc lập cấp Nhà nước, đề tài cấp Bộ, cấp địa phương và ngành được thực hiện đã đề cập khá toàn diện đến các vấn đề như thoát lũ, giao thông thủy, phòng chống sạt lở bờ biển trong đó những nghiên cứu khoa học về khu vực Nam Trung Bộ là tư liệu rất có giá trị đối với Luận án. Kết quả nghiên cứu cho thấy quá trình diễn biến hình thái tại các vùng cửa sông Nam Trung Bộ chịu chi phối bởi những yếu tố động lực của cả sông và biển, bao gồm sóng, thủy triều, bão, nước dâng do bão và dòng chảy từ sông trong đó sóng là yếu tố động lực chính, trực tiếp còn thủy triều và dòng chảy từ sông có vai trò ảnh hưởng thứ hai, gián tiếp gây nên diễn biến bờ và bãi biển trong khu vực.

Hiện nay các mô hình về thủy triều đã tương đối hoàn thiện trong đó phải kể đến đề tài KT03.03/91-95 của *Nguyễn Ngọc Thụy*, gồm các nhóm thực hiện như *Nguyễn Thọ Sáo, Đỗ Ngọc Quỳnh, Nguyễn Thị Việt Liên, Lê Trọng Đào, Bùi Hồng Long, Đặng Công Minh, Trần Hồng Lam* nghiên cứu về các mô hình thủy triều và năng lượng triều ở Biển Đông [38].

Về năng lượng sóng biển tại Việt Nam chỉ bắt đầu ứng dụng từ khoảng năm 2000 đến nay. Một số nghiên cứu điển hình thuộc lĩnh vực này như sau:

- Đỗ Ngọc Quỳnh *"Đánh giá tiềm năng năng lượng biển Việt Nam"*. Báo cáo tổng kết đề tài cấp Viện Khoa học và Công nghệ Việt Nam 2002÷2003 [23];

- Nguyễn Mạnh Hùng *" Nghiên cứu đánh giá tiềm năng các nguồn năng lượng biển chủ yếu và đề xuất các giải pháp khai thác"*. Báo cáo tổng kết đề tài cấp Nhà nước mã số KC.09.19/06-10, Viện Khoa học và Công nghệ Việt Nam 2010 [11];

- Nguyễn Mạnh Hùng, Dương Công Điển và nnk. *"Năng lượng sóng biển khu vực biển Đông và vùng biển Việt Nam"*. Nhà xuất bản Khoa học tự nhiên và Công nghệ 2009 [12].

- Trần Thanh Tùng và nnk "*Nghiên cứu áp dụng giải pháp nuôi bãi nhân tạo cho các đoạn bờ biển bị xói lở ở khu vực miền Trung Việt Nam*". Đề tài nghiên cứu tiềm năng cấp Nhà nước, 2011 [33].

Các công trình nghiên cứu về năng lượng sóng biển nói trên tập trung chủ yếu vào xác định những khu vực có năng lượng sóng lớn để đánh giá tiềm năng khai thác nguồn năng lượng này phục vụ phát triển kinh tế-xã hội, với mục đích đó, phạm vi nghiên cứu năng lượng sóng thường là ngoài khơi.

Cụ thể, để đưa ra bức tranh tổng hợp về tiềm năng năng lượng sóng ở vùng biển Việt Nam, tác giả Đỗ Ngọc Quỳnh [23] đã sử dụng mô hình SWAN tính toán trường sóng theo phổ sóng của Davidan rồi từ đó xác định thông lượng năng lượng sóng theo công thức sau :

$$P_0 \approx = \frac{\rho g^2}{64\pi} T_e H_s^2 \qquad (1.5)$$

Trong đó:

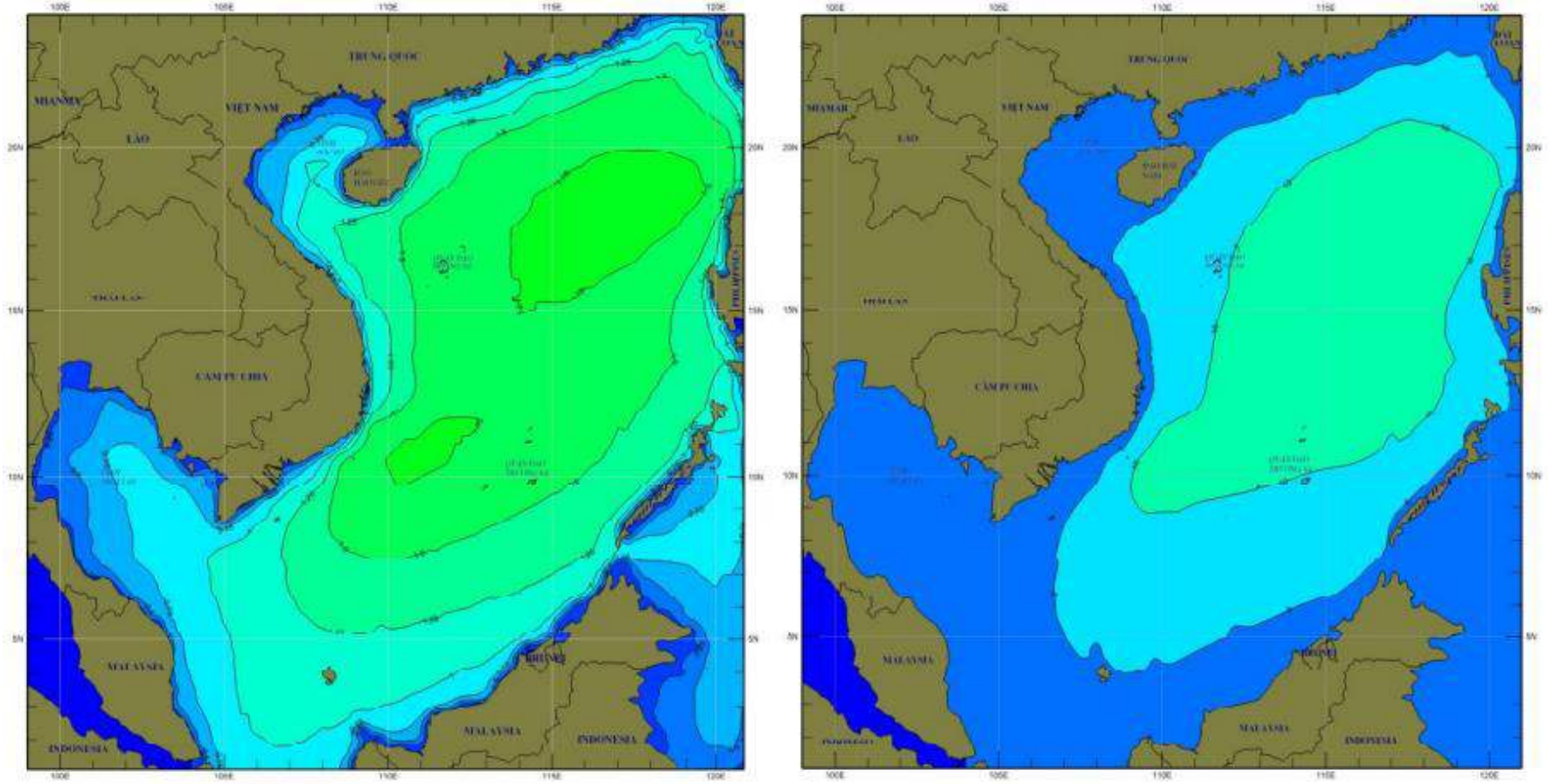
P_0 là thông lượng năng lượng sóng (ở nước sâu)

g: Gia tốc trọng trường

H_s: Độ cao sóng có nghĩa

T_e: Chu kỳ sóng xác định thông qua Tp - chu kỳ đỉnh phổ sóng ($T_e=\alpha T_p$) với hệ số phụ thuộc dạng phổ $\alpha=0,9$.

Theo tác giả, trên quan điểm phổ sóng, thông lượng năng lượng sóng P có thể được đánh giá bằng cách tích phân toàn dải phổ sóng. Tuy nhiên, thường rất khó có được một phổ toàn phần của sóng nên thông lượng năng lượng sóng thường được tính thông qua các tham số sóng như công thức (1.5). Các kết quả tính toán là trường năng lượng sóng (độ cao, thông lượng sóng) trung bình tháng, mùa và năm cho khu vực biển Đông và vùng ven bờ biển Việt Nam biểu diễn dưới dạng tập bản đồ năng lượng sóng (Hình 1.14). Về phương pháp thể hiện, tập bản đồ này được lập theo Atlas năng lượng sóng của Vương quốc Anh [58]. Cùng với thông tin dưới dạng bản đồ là kết quả dưới dạng số cho 20 điểm nước sâu sâu dọc bờ biển Việt Nam.



Hình 1.14: Bản đồ độ cao (phải) và năng lượng sóng (trái) trung bình năm [11]

Trong khi đó, nghiên cứu về năng lượng sóng liên quan đến tính toán dòng chảy ven bờ và vận chuyển bùn cát còn giới hạn bởi các dự án cụ thể ở một số địa phương.

Vào năm 2011, tác giả Trần Thanh Tùng [33] tiến hành tính toán **năng lượng sóng tương đương** cho dải ven biển miền Trung Việt Nam từ Hà Tĩnh đến Bình Thuận bằng mô hình số trị MIKE21 SW nhằm xác định các khu vực có tiềm năng nuôi bãi, phục vụ phát triển kinh tế xã hội và phòng tránh thiên tai. Theo tác giả, đối với vùng bờ biển này, chỉ những con sóng được quan trắc tại trạm Cồn Cỏ có độ cao lớn hơn 0,5m khi lan truyền vào khu vực ven bờ mới có khả năng gây vận chuyển bùn cát một cách đáng kể. Bởi vậy, khi tính toán sóng phục vụ vận chuyển bùn cát thì các con sóng có độ cao nhỏ hơn 0,5m có thể bỏ qua. Thay vì tính đến tất cả các sóng có độ cao lớn hơn 0,5m theo một hướng nào đó, có thể dùng một sóng có năng lượng bằng năng lượng trung bình của tất cả các sóng có độ cao lớn hơn 0,5m với thời gian tác dụng của sóng này bằng tổng thời gian tác dụng của tất cả các sóng có độ cao lớn hơn 0,5m. Kết quả đạt được là tập bản đồ năng lượng sóng tương đương trung bình năm được xây dựng dựa trên bản đồ lan truyền sóng theo 5 hướng chính trong vùng nghiên cứu.

Cũng dựa trên quan điểm chung là lượng bùn cát vận chuyển dọc bờ tỷ lệ thuận với truờng năng lượng sóng ven bờ, để xác định nguyên nhân xói lở-bồi tụ bờ biển khu vực miền Trung, Phạm Huy Tiến [31] ngoài việc xem xét áp lực sóng lên sườn bờ đã tính toán dòng vận chuyển bùn cát dọc bờ theo công thức CERC **[**91]. Công thức này được lập trình sẵn trong phần mềm CRESS (*Coastal River Engineering Support System*) của Hà Lan…

Nhìn chung, các chương trình, đề tài nghiên cứu kể trên đã thu được nhiều kết quả có giá trị về mặt khoa học và thực tiễn, góp phần lớn vào việc chỉnh trị cửa sông, bờ biển giảm nhẹ thiên tai. Song sự gắn kết giữa các vùng nghiên cứu còn hạn chế, nhiều vấn đề về qui luật diễn biến bờ biển, cơ chế của quá trình xói lở, bồi tụ vẫn chưa được giải quyết thỏa đáng. Mối quan hệ giữa các quá trình thủy động lực tại các khu vực ven biển với các hoạt động khai thác bề mặt lưu vực như chặt phá rừng,

xây dựng hệ thống hồ thủy lợi, thủy điện, xây dựng hệ thống cơ sở hạ tầng chưa nghiên cứu chi tiết, đặc biệt là chưa xét đến tác động của BĐKH tới biến động các vùng ven biển [5].

1.4. Hướng tiếp cận của Luận án

Để nghiên cứu diễn biến hình thái vùng ven biển Nam Trung Bộ dưới tác động của NBD do BĐKH, tác giả lựa chọn cách tiếp cận thứ hai trong Hình 1.13 do việc nghiên cứu năng lượng sóng là vấn đề quan trọng và cần thiết, đặc biệt với khu vực dải ven bờ Nam Trung Bộ, nơi chịu tác động trực tiếp của sóng, diễn biến xói lở bờ biển do sóng là thường xuyên và phức tạp. Cụ thể, Luận án tiến hành xem xét ảnh hưởng của NBD đến dòng năng lượng sóng là yếu tố ngoại sinh chính gây ra các quá trình vận chuyển bùn cát trong vùng sóng đổ từ đó dẫn đến xói lở và bồi tụ khu vực dải ven biển Nam Trung Bộ.

Ngoài ra, việc xây dựng bản đồ năng lượng sóng trong các nghiên cứu trước đây (Hình 1.14) đều dựa trên giá trị thông lượng năng lượng sóng (kW/m) tại các *điểm* rời rạc trong toàn bộ miền tính. Tại mỗi điểm như vậy, sóng sẽ truyền theo nhiều hướng khác nhau khi vào bờ. Vì thế, trong Luận án này, tác giả xây dựng cách xác định "*Dòng năng lượng sóng Pt dọc bờ và Pn hướng bờ*" (cơ sở lý thuyết được trình bày trong phần tiếp theo) nhằm mục đích tính toán các thành phần năng lượng sóng tại vị trí đường cơ sở để từ đó xem xét tác động đến từng *đoạn* đường bờ vốn dĩ rất dích dắc. Trên cơ sở đó, cùng với nguyên tắc xác định Gradient của dòng năng lượng sóng có thể dự báo các khu vực có nguy cơ xói lở và bồi tụ ứng với các cấp độ khác nhau.

CHƯƠNG 2. CƠ SỞ KHOA HỌC VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU DIỄN BIẾN HÌNH THÁI VÙNG VEN BIỂN NAM TRUNG BỘ

2.1. Cơ sở lý thuyết về diễn biến hình thái vùng ven biển

Biến động vùng ven biển (gồm cả xói lở và bồi tụ) là một quá trình tự nhiên luôn luôn tồn tại. Đây chính là quá trình tiến hóa địa hình bờ biển (theo nghĩa rộng là một dải dất nằm trong phạm vi tương tác giữa các quá trình trên lục địa và các quá trình biển). Việc nghiên cứu biến động vùng ven biển thực chất là nghiên cứu các quá trình địa mạo bờ nhằm tìm ra các đặc điểm hình thái và động lực hiện nay, diễn biến trong quá khứ và dự báo xu hướng phát triển của nó trong tương lai. Hoạt động của các quá trình địa mạo ở bờ biển được biểu hiện cụ thể ở sự hình thành một dạng địa hình nào đó (quá trình bồi tụ) hoặc ở sự phá hủy một thành tạo địa hình khác đang tồn tại (quá trình xói lở) dưới tác động của rất nhiều nhân tố động lực khác nhau từ phía biển cũng như từ phía lục địa, cả các nhân tố tự nhiên cũng như các tác động của con người.

Trên quy mô toàn cầu hiện nay thì xói lở bờ biển chiếm ưu thế hơn hẳn so với quá trình bồi tụ. Theo ước tính, có khoảng trên 70% đường bờ có cấu tạo bởi các vật liệu bở rời (cát) trên toàn thế giới đang bị xói lở nghiêm trọng, hầu hết các đường bờ biển đều bị giật lùi trong thế kỷ 20 và kéo dài cho đến nay. Hiện tượng này được các nhà khoa học thừa nhận có liên quan chặt chẽ đến một trong những tác động quan trọng nhất của biến đổi khí hậu là mực nước biển dâng. Tác động trực tiếp của mực nước biển dâng đến bờ bao gồm: ngập nước do thủy triều và nước dâng trong bão trở nên thường xuyên hơn, ngập úng các vùng đất thấp,…Tác động gián tiếp là làm xói lở bờ thông qua việc làm tăng độ sâu đáy biển ven bờ dẫn đến năng lượng sóng tác động tới bờ cũng tăng và cuối cùng làm tăng xói lở bờ biển. Giống như xói mòn đất trên các lưu vực sông, xói lở bờ biển cũng là một nguồn cung cấp trầm tích cho các hệ bờ bao gồm các bãi biển, cồn cát, bãi bùn và bãi lầy mặn. Sự thay đổi mực nước biển có ý nghĩa quyết định đối với vị trí tác động của sóng-nhân tố động lực chính trong quá trình bờ, tới bờ biển. Khi mực nước biển dâng lên, thì đới tác động của sóng

tới bờ sẽ dịch chuyển về phía đất liền và ngược lại. Tùy thuộc vào địa hình ban đầu (chủ yếu là hình dạng và độ dốc của bờ biển), phạm vi không gian dịch chuyển sẽ được mở rộng hay thu hẹp.

Như vậy, xói lở hay bồi tụ xảy ra trên một đoạn bờ biển là do sự mất cân bằng về (quỹ) bùn cát trên những quy mô không gian và thời gian khác nhau dưới tác động của nhiều yếu tố trong đó đáng kể nhất là tác động của sóng biển. Xét về quy mô thời gian thì diễn biến hình thái bờ và bãi biển có thể chia thành dài hạn-mãn tính (quy mô thời gian từ năm tới nhiều năm, chủ yếu liên quan tới vận chuyển bùn cát dọc bờ) và ngắn hạn-cấp tính (xảy ra trong bão hoặc một đợt gió mùa, quy mô thời gian ngày đến nhiều ngày, chủ yếu liên quan đến bùn cát ngang bờ). Việc tính toán vận chuyển bùn cát ở vùng ven bờ là một nội dung hết sức quan trọng trong nghiên cứu diễn biến bờ biển, vì bùn cát chính là yếu tố trung gian trong quá trình gây nên hiện tượng xói lở hay bồi lấp ở bờ biển. Biết được lượng vận chuyển bùn cát ven bờ mới có thể dự báo được sự biến đổi của đường bờ trong điều kiện tự nhiên cũng như đánh giá được ảnh hưởng của các công trình xây dựng ở vùng ven bờ sau này. Vì thế, việc nghiên cứu diễn biến hình thái vùng ven biển cần xem xét cơ sở khoa học của các quá trình vận chuyển cát (dọc và ngang bờ) thông qua các mô hình toán.

2.1.1. Khái niệm chung về mô hình vận chuyển bùn cát

Để đơn giản tính toán, bài toán trong không gian 3 chiều được đưa về dạng phẳng, thường phân biệt hai loại mô hình vận chuyển bùn cát trong vùng ven biển: Mô hình vận chuyển bùn cát ngang bờ và mô hình vận chuyển dọc bờ.

- Các mô hình vận chuyển bùn cát ngang bờ mô phỏng tác động của các hiện tượng thủy lực phức tạp trong và ngoài vùng sóng vỡ đến quá trình bồi xói ở đáy làm thay đổi mặt cắt ngang bờ.

Mặt cắt ngang bờ biển thực tế thay đổi liên tục và có thể diễn biến rất nhanh trong một cơn bão. Có thể xem hình dạng mặt cắt ngang bờ biển được quyết định chủ yếu bởi quá trình vận chuyển bùn cát theo hướng vuông góc với bờ. Các kết quả diễn biến mặt cắt ngang bờ này có thể tích hợp với một mô hình vận chuyển bùn cát dọc bờ để dự kiến diễn biến đường bờ.

Các mô hình vận chuyển bùn cát ngang bờ giả thiết bài toán hoàn toàn phẳng trong mặt phẳng thẳng đứng vuông góc với đường bờ, đường bờ được giả định là dài và có mặt cắt ngang bờ hoàn toàn đều (mặt cắt ngang tại mọi vị trí dọc đường bờ đều như nhau), sóng đến vuông góc với bờ. Hệ quả là dòng chảy trung bình theo hướng ngang bờ phải bằng không.

Tuy nhiên, điều kiện dòng chảy ngang bờ trung bình bằng không chỉ đúng trong phòng thí nghiệm, còn trong thiên nhiên mặt cắt ngang bờ không hoàn toàn đều, một sai lệch nhỏ của mặt cắt ngang cũng có thể gây ra các dòng chảy trong mặt phẳng nằm ngang, ngay cả tình huống hoàn toàn đều cũng có thể trở nên mất ổn định và phát sinh các dòng chảy dọc bờ (*long-shore current*) hoặc dòng chảy ngang bờ (*rip-current*).

Bài toán hoàn toàn phẳng, không có dòng chảy trung bình ngang bờ, lại có những điểm phức tạp hơn một số tình huống thực tế 3 chiều. Trong các mô hình 3 chiều thường có một dòng chảy trung bình trong mặt phẳng nằm ngang mạnh, dòng chảy này sẽ khống chế ứng suất ma sát đáy trung bình và lưu lượng bùn cát, các dòng chảy do các nguyên nhân khác có thể xem là yếu hơn nhiều và bỏ qua được. Ngược lại trong bài toán 2 chiều trên mặt cắt ngang, không có dòng chảy trung bình mạnh, các cơ chế vận chuyển bùn cát tham gia vào quá trình diễn biến đáy biển đều phải xem xét đến và không thể bỏ qua.

- Khác với các mô hình theo phương ngang bờ, các mô hình vận chuyển bùn cát dọc bờ mô tả dòng chảy do sóng và quá trình bồi xói dọc theo đường bờ. Khác với diễn biến khá nhanh của mặt cắt ngang bờ biển, sự thay đổi hình dạng đường bờ thường diễn ra chậm, chu kỳ rất dài và xảy ra khi có sự thay đổi theo không gian của lưu lượng dòng bùn cát dọc bờ, ví dụ khi gặp mũi đất hoặc cửa sông.

Trong các mô hình dọc bờ mặt cắt ngang bờ biển được giả thiết là đã biết và không thay đổi dạng, dạng của mặt cắt ngang có thể được tính toán từ một mô hình chuyển động bùn cát ngang bờ, tuy nhiên do các mô hình bùn cát ngang bờ hiện nay chưa đủ chính xác nên các mô hình dọc bờ thường phải dựa vào dạng của mặt cắt ngang thực tế, đo đạc trong thời kỳ ít sóng gió. Sự vận chuyển bùn cát dọc theo bờ sẽ

làm mặt cắt ngang được bồi (tiến) hay xói (lùi) và đường bờ sẽ tiến ra biển hoặc lùi vào trong đất liền tương ứng.

Như vậy chuyển động bùn cát ngang bờ và dọc bờ có những cơ chế đặc trưng khác nhau và được mô phỏng theo những cách khác nhau. Hình dạng đường bờ, sự tiến hay lùi của đường bờ được mô phỏng bằng các mô hình vận chuyển bùn cát dọc bờ. Hình dạng mặt cắt ngang và quá trình bồi xói trên mặt cắt ngang được mô phỏng bằng các mô hình vận chuyển bùn cát ngang bờ.

Một mô hình vận chuyển bùn cát thông thường bao gồm: Phần thủy lực mô tả cơ chế thủy động lực (sóng, phân bố vận tốc dòng chảy trung bình, hệ số nhớt rối γ_t và ma sát đáy τ_b); Phần vận chuyển bùn cát mô tả phân bố nồng độ bùn cát và/hoặc lưu lượng bùn cát hình thành từ các điều kiện thủy lực; Kết quả phân bố bùn cát (nồng độ, lưu lượng bùn cát) sau đó sẽ được đưa vào một mô hình diễn biến (đáy hoặc bờ) để tính toán mức độ bồi xói địa hình của bờ và bãi biển. Độ chính xác, khả năng ứng dụng của một mô hình bùn cát như thế sẽ phụ thuộc không những vào cách mô phỏng cơ chế vận chuyển bùn cát mà còn phụ thuộc vào mức độ chi tiết của việc mô tả dòng chảy.

2.1.2. Mô hình mặt cắt bờ biển cân bằng

Đây là mội ví dụ về mô hình ngang bờ, trên cơ sở cân bằng tổn thất năng lượng sóng trong vùng sóng vỡ và sóng đổ dP/dx với tổn thất do ma sát đáy ε, dẫn đến một mô hình lý thuyết là mô hình mặt cắt bờ biển cân bằng, là cách chứng minh ra công thức $h = A. x^{2/3}$ (còn gọi là mặt cắt ngang dạng *Bruun/Dean* [45], [52] trong đó h là độ sâu nước tại điểm cách bờ theo phương ngang một khoảng là x, A là hệ số kinh nghiệm thứ nguyên của hình dạng mặt cắt, thứ nguyên $L^{1/3}$).

Nếu chỉ xét bài toán phẳng trên mặt cắt ngang bờ thì bên ngoài vùng sóng vỡ, các thành phần bậc hai, không đối xứng, gây ra dòng chảy trung bình yếu và có khuynh hướng hướng vào bờ. Trong vùng sóng vỡ, lượng nước đưa vào sẽ thoát ra khơi dưới dạng dòng chảy đáy ngang bờ. Như vậy bên ngoài vùng sóng vỡ có dòng bùn cát yếu đi vào bờ còn trong vùng sóng vỡ sẽ có dòng bùn cát đáy hướng ra khơi, khuynh hướng hình thành một dải cát ngầm dọc bờ tại vị trí sóng vỡ có thể xem là hệ

quả của quá trình vận chuyển bùn cát theo hướng ngang bờ mặc dù còn nhiều quá trình khác cũng góp phần tạo nên dải cát ngầm này (Ví dụ: Các xoáy nước lớn do sóng vỡ cuộn (*plunging breaker*), các dao động tần số thấp do nhóm sóng gây ra).

Đa số các mô hình diễn biến mặt cắt ngang bờ biển đều có thể dự báo sự hình thành ban đầu của dải cát ngầm dọc bờ trên một bờ biển ban đầu phẳng. Tuy nhiên các diễn biến sau khi có dải cát ngầm của các mô hình có nhiều điểm khác nhau do sự khác biệt khi mô hình sóng trong vùng sóng vỡ và sự khác biệt trong mô hình chi tiết về bùn cát.

Sau đây là một ví dụ về một mô hình đơn giản để xác định mặt cắt ngang bờ cân bằng (*equilibrium shoreface profile hay equilibrium beach profile*) hay mặt cắt ổn định trong điều kiện mực nước, sóng không thay đổi trong một thời gian đủ dài.

Dean (1977) [52] cho rằng mức độ rối cao trong vùng sóng vỡ là do tổn thất năng lượng qua sóng vỡ và sóng đổ. Năng lượng tiêu hao này tác động như một nguồn sản sinh năng lượng rối. *Dean* giả thiết rằng đáy của bãi biển chỉ có thể chịu được một mức độ tiêu hao năng lượng nhất định (hay mức độ sản sinh năng lượng rối nhất định). Vượt quá giới hạn này đáy biển sẽ định dạng lại để cho một khu sóng vỡ rộng hơn và có cường độ tiêu hao năng lượng ít hơn.

Để có thể đạt được một lời giải giải tích, phải đưa vào một số giả thiết đơn giản:

- Chiều cao sóng H trong vùng sóng đổ tỷ lệ với chiều sâu nước h:

$$H=K.h\approx 0,78.h \quad (2.1)$$

- Giả sử bài toán ổn định, đều. Phương trình cân bằng năng lượng viết là:

$$\frac{dP}{dx} = D \quad (2.2)$$

P là thông lượng năng lượng theo phương x; D là năng lượng tổn thất trung bình trên một đơn vị diện tích vùng nước; x dương theo hướng ra xa bờ.

P được viết theo lý thuyết sóng bậc nhất:

$$P=E.C_g \quad (2.3)$$

Trong đó, E là năng lượng sóng toàn phần trung bình trên một đơn vị diện tích vùng nước. Gọi H là chiều cao sóng, g là gia tốc trọng lực, ρ là khối lượng riêng của nước, ta có:

$$E = \frac{1}{8}\rho g H^2 \qquad (2.4)$$

C_g là tốc độ truyền năng lượng của sóng, trong vùng nước nông $C_g \approx C \approx \sqrt{gh}$, tức là bằng tốc độ truyền sóng nước cạn C.

Thay thông lượng P vào (2.2) và chia cho chiều sâu nước h, ta có tổn thất trung bình trên một đơn vị thể tích là:

$$\varepsilon = \frac{D}{h} = \frac{1}{h}\frac{d}{dx}\left(\frac{1}{8}\rho g H^2 \sqrt{gh}\right) \qquad (2.5)$$

$$\varepsilon = \frac{D}{h} = \frac{5}{24}\rho g K^2 \sqrt{g}\,\frac{d}{dx}\left(h^{3/2}\right)$$

Theo *Dean,* $\varepsilon = \varepsilon(d)$, là một hằng số ứng với một loại vật liệu đáy đã cho trên một bãi có mặt cắt ngang cân bằng, $\varepsilon(d)$ phụ thuộc vào đường kính hạt.

Từ đó mặt cắt ngang cân bằng có dạng:

$$h^{3/2} = \frac{24}{5}\frac{\varepsilon(d)}{\rho g K^2 \sqrt{g}}x$$

$$h = \left(\frac{24}{5}\frac{\varepsilon(d)}{\rho g K^2 \sqrt{g}}\right)^{2/3} x^{2/3} \qquad (2.6)$$

Lưu ý là phương trình trên chỉ mô tả một mặt cắt ngang đơn điệu, độ sâu h luôn tăng khi ra xa bờ. Trong trường hợp bãi có dải cát ngầm, phương trình này chỉ có thể mô tả một phần của mặt cắt ngang bờ.

Mô hình mặt cắt ngang cân bằng chỉ xét tác động của sóng vì vậy sẽ không nghiệm đúng khi có dòng chảy đáy. Mô hình này giả thiết đáy hoàn toàn là cát, không đúng khi đáy có bùn hoặc không đủ nguồn cát và các đáy có đá gốc lộ ra, khi đó các địa tầng cứng bên dưới sẽ quyết định hình dạng mặt cắt ngang bờ.

Tuy có nhiều hạn chế nhưng khái niệm về mặt cắt ngang cân bằng rất hữu ích cho các mô hình tính toán diễn biến đường bờ dài hạn hoặc để đánh giá tác động ngắn hạn của sóng do bão.

Theo (2.6), dạng của mặt cắt ngang chỉ phụ thuộc vào vật liệu đáy nên phương trình này thường được viết lại như sau:

$$h = A.x^{2/3} \qquad (2.7)$$

A là một thông số chỉ phụ thuộc vào đặc trưng vật liệu đáy và được gọi là *thông số hình dạng mặt cắt* (*profile shape parameter)*. Số mũ 2/3 đã được kiểm chứng với khoảng 500 mặt cắt thực tế và đã chứng tỏ là giá trị thích hợp nhất. (Nếu dùng mất năng do sóng vỡ, có thể tìm được dạng mặt cắt $h \approx x^2$ và không phụ thuộc cỡ hạt).

Moore (1982) [81] đã thiết lập quan hệ thực nghiệm giữa A và đường kính hạt trung bình d_{50} dựa trên phương trình (2.7) và các số liệu đo mặt cắt ngang bờ biển. Để tiện dùng *Hanson và Kraus (1989)* [65] đã xấp xỉ đường cong *Moore* với các biểu thức sau:

$$\begin{aligned}
&A = 0{,}41(d_{50})^{0{,}94} && \text{khi} \quad d_{50} < 0{,}4\ \text{mm} \\
&A = 0{,}23(d_{50})^{0{,}32} && \text{khi} \quad 0{,}4\ \text{mm} \le d_{50} < 10{,}0\ \text{mm} \\
&A = 0{,}23(d_{50})^{0{,}28} && \text{khi} \quad 10{,}0\ \text{mm} \le d_{50} < 40{,}0\ \text{mm} \\
&A = 0{,}46(d_{50})^{0{,}11} && \text{khi} \quad 40{,}0\ \text{mm} \le d_{50}
\end{aligned} \qquad (2.8)$$

Trong đó d_{50} tính bằng mm. A là một đại lượng có đơn vị, các giá trị bằng số trong các công thức trên ứng với A tính bằng $m^{1/3}$, h và x tính bằng m.

Dean (1987) [55] cho quan hệ thực nghiệm giữa A và độ thô thủy lực của vật liệu đáy w_s như sau, với w_s tính bằng cm/s, A tính bằng $m^{1/3}$:

$$A = 0{,}067 w_s^{0{,}44} \qquad (2.9)$$

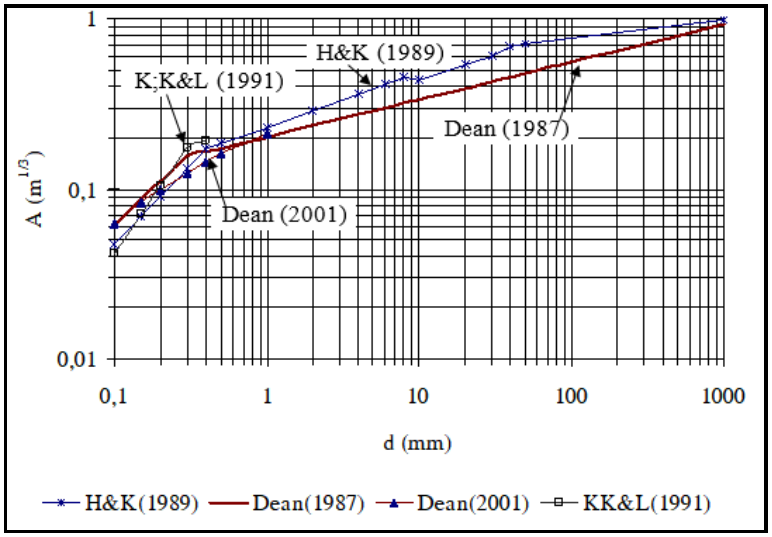
Kriebel, Kraus, and Larson (1991) [72] đề nghị một quan hệ tương tự cho các cỡ hạt d = 0,1 mm đến d = 0,4 mm, quan hệ này có dạng:

$$A = 2{,}25\left(\frac{w_s^2}{g}\right)^{1/3} \qquad (2.10)$$

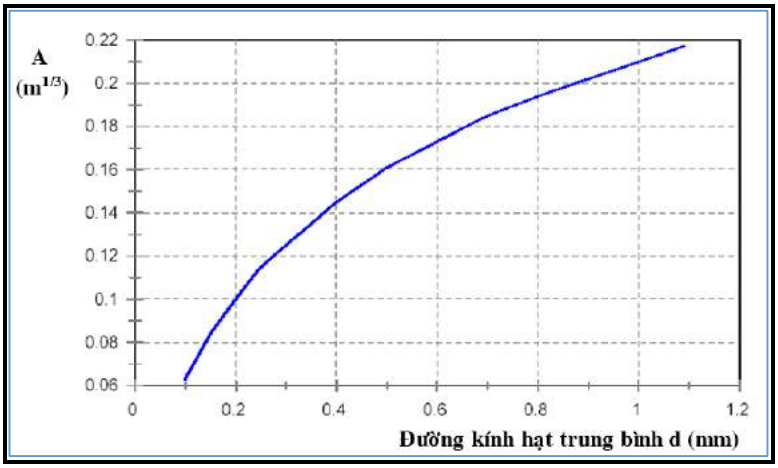
Trong đó các đại lượng được tính theo hệ SI: A tính bằng $m^{1/3}$, w_s tính bằng m/s và g tính bằng m/s^2. Qua phân tích thứ nguyên *Hughes (1994)* [66] cũng chứng minh được là A tỷ lệ với $w_s^{2/3}$.

Sử dụng các công thức tính w_s theo d, lấy chế độ chảy tầng khi d < 0,2 mm và chảy rối khi d > 0,2 mm, có thể biểu diễn A trong các công thức (2.9), (2.10) theo d

và so sánh với (2.8), kết quả thể hiện trên Hình 2.1. Đối với các cỡ hạt d từ 0,1 mm đến 1,1 mm, *Dean (2001)* đã rà soát lại các tính toán theo (2.9) và đề nghị các giá trị cho trên Hình 2.2, các giá trị này cũng được thể hiện trên Hình 2.1 để so sánh.



Hình 2.1: Giá trị của thông số hình dạng mặt cắt A theo các tác giả khác nhau



Hình 2.2: Thông số hình dạng A ứng với các cỡ hạt từ 0,1÷1,1mm (*Dean, 2001*)

Ngoài mô hình lũy thừa dạng phương trình (2.7) còn có các mô hình phức tạp hơn dạng hàm số mũ, ví dụ mô hình của *Bodge (1992)* [43]*:*

$$h(x)=h_o\left(1-e^{-kx}\right) \qquad (2.11)$$

h_o là độ sâu tiệm cận ở xa bờ ngoài khơi, k là một hệ số suy giảm.

Mặt cắt ngang dạng hàm số mũ như (2.11) có hai thông số tự do (h_o và k) cần xác định khi muốn mô tả một mặt cắt ngang cụ thể vì vậy có thể mô tả chính xác hơn

dạng lũy thừa (2.7) với số mũ 2/3 đã xác định. Tuy nhiên do phải xác định hai thông số h_o và k dựa vào mặt cắt đã biết, dạng số mũ (2.11) chỉ dùng để tính toán các mặt cắt đã biết, không dùng để dự báo dạng của mặt cắt. Ngoài ra còn có các mô hình có nhiều thông số hơn, như mô hình của *Inman, Elwany và Jenkins (1993)* [68] có đến 7 thông số, các mô hình này cũng không dự báo dạng mặt cắt được.

2.1.3. Mô hình vận chuyển bùn cát dọc bờ

2.1.3.1 Khái niệm chung

Khi sóng tiến xiên góc vào bờ, dòng chảy dọc bờ do sóng sẽ hình thành, dòng chảy này sẽ vận chuyển một khối lượng đáng kể bùn cát chảy dọc theo bờ biển, khối lượng bùn cát vận chuyển dọc bờ hàng năm tại một vị trí thường là một yếu tố quan trọng trong cân bằng bùn cát và diễn biến xói hay bồi của bờ biển có thể xem là do chuyển động bùn cát dọc bờ quyết định.

Sự vận chuyển bùn cát dọc bờ thường thể hiện rõ qua hiện tượng bồi xói quanh chân các công trình nhô ra trên đường bờ như đê chắn sóng, đập đinh, mũi đất hoặc các cửa sông, cửa vịnh tạo ra sự đột biến trong dòng dọc bờ.

Các mô hình vận chuyển bùn cát dọc bờ cũng bao gồm phần thủy lực và phần bùn cát. Phần thủy lực ngoài các hiện tượng liên quan đến sóng và dòng chảy trung bình do sóng như trong các mô hình vận chuyển bùn cát ngang bờ, còn phải xét thêm các ảnh hưởng do dòng chảy dọc bờ do các nguyên nhân khác (gió, cửa sông…). Phần bùn cát có nhiều mô hình chi tiết xác định phân bố và lưu lượng bùn cát căn cứ trên ứng suất ma sát đáy, lưu tốc dòng chảy…Trong thực tế các mô hình thực nghiệm xác định trực tiếp lưu lượng bùn cát theo năng lượng sóng được sử dụng phổ biến do tính đơn giản, dễ tiếp cận số liệu kiểm tra, sau đây là một số công thức tiêu biểu.

2.1.3.2 Công thức của CERC

Một trong những công thức xưa nhất nhưng vẫn còn hiệu quả để tính toán lưu lượng bùn cát dọc bờ là công thức của CERC (*Coastal Engineering Research Center*), còn gọi là phương pháp SPM (*Shore Protection Manual)* phát hành năm 1973, 1984.

Các công thức dạng này cho liên hệ giữa lưu lượng bùn cát dọc bờ với sóng tới, không xét đến dòng chảy biển hay thủy triều… Ý tưởng này được thừa nhận từ những

năm đầu thế kỷ 20, người ta tìm liên hệ giữa lưu lượng bùn cát dọc bờ và chiều cao sóng, hướng sóng. Cho đến nay các công thức của CERC là các quan hệ thực nghiệm $Q_{ls} = f(P_{ls})$ giữa tổng lưu lượng bùn cát dọc bờ Q_{ls} và đại lượng P_{ls} đặc trưng cho năng lượng sóng, Q_{ls} và P_{ls} được định nghĩa như sau:

- Q_{ls} là tổng lưu lượng thể tích của bùn cát di chuyển dọc bờ, thường được xem là tổng lưu lượng trên mặt cắt ngang bờ, theo định nghĩa là:

$$Q_{ls} = \int_{xo}^{xl} \overline{q_{sy}} dx \qquad (2.12)$$

q_{sy} là lưu lượng thể tích bùn cát theo phương y dọc bờ, trên một đơn vị bề rộng theo phương x ngang bờ, $[q] = [L^2/T]$.

xo là vị trí phía biển mà đáy không bị ảnh hưởng bồi xói và xl là vị trí giới hạn xa nhất của sóng leo lên bãi.

- P_{ls} được gọi là thừa số thông lượng năng lượng dọc bờ, định nghĩa bởi:

$$P_{ls} = P_v \cos\alpha_v \sin\alpha_v \qquad (2.13)$$

P_v là thông lượng năng lượng sóng tại vị trí sóng vỡ.

α_v là góc giữa đầu sóng và đường bờ tại vị trí sóng vỡ, hay góc giữa hướng truyền sóng và pháp tuyến với đường bờ.

Có rất nhiều cố gắng xác định ý nghĩa của đại lượng P_{ls} là thành phần dọc bờ của năng lượng sóng trên 1 đơn vị dài dọc theo bờ, tại vị trí sóng vỡ. Tuy nhiên *Longuet-Higgins* [77] cho rằng cách gọi này chưa chính xác và đã phân tích quan hệ giữa P_{ls} và các thành phần tiếp tuyến của ứng suất tán xạ sóng (*shear component of the radiation stress* S_{ij}). Việc xác định đại lượng P_{ls} cũng được nghiên cứu sinh thực hiện trong phạm vi luận án này ở phần tiếp theo với ký hiệu khác là *Pt*, tuy nhiên, đã được đơn giản hóa bằng cách tính toán tại ranh sóng vỡ (vị trí "*đường cơ sở*").

Gọi E_v và C_{gv} là năng lượng sóng và tốc độ truyền năng lượng sóng tại vị trí sóng vỡ, ta có:

$$F_v = E_v C_{gv} = \frac{1}{8}\rho g H_v^2 . C_{gv} \qquad (2.14)$$

H_v là chiều cao sóng vỡ và C_{gv} có thể lấy theo tốc độ truyền sóng nước rất cạn: $C_{gv} \approx C_v \approx (gh_v)^{1/2}$, với h_v là độ sâu tại vị trí sóng vỡ ($h_v = 1{,}28H_v$ theo Munk).

Các công thức dạng $Q_{ls} = f(P_{ls})$ của CERC trước đây có dạng không đồng nhất về thứ nguyên, ví dụ như công thức cho trong *SPM 1966*:

$$Q'_{ls} = 7500P_{ls} \quad (2.15)$$

Trong đó Q'_{ls} tính bằng [yards^3/year] còn P_{ls} tính bằng [Slug*ft/s^3][3].

Các đơn vị theo hệ Mỹ nên tương đối khó dùng. Sau khi hiệu chỉnh thứ nguyên và đổi đơn vị, được công thức sau:

$$I_{ls} = \rho g(s-1)Q_{ls} = 0{,}41P_{ls} \quad (2.16)$$

Với I_{ls} là trọng lượng trong nước của tổng lưu lượng bùn cát dọc bờ. Q_{ls} là lưu lượng thể tích (thể tích hạt rắn) bùn cát dọc bờ. *SPM 1977 và 1984* cập nhật và hiệu chỉnh công thức thành:

$$I_{ls} = \rho g(s-1)Q_{ls} = 0{,}39P_{ls} \quad (2.17)$$

Công thức (2.17) dùng chiều cao sóng có nghĩa H_s làm chiều cao sóng tính toán để tính P_{ls}. Thứ nguyên của hai vế là [F/T] hay [ML/T^3], tức là N/s hoặc kg.m/s^3.

Công thức hiệu chỉnh thường dùng nhất là của *Komar và Inman (1970)* [71], có dựa trên nhiều số liệu thực nghiệm và thực tế.

$$I_{ls} = \rho g(s-1)Q_{ls} = 0{,}77P_{ls} \quad (2.18)$$

Công thức (2.18) dùng H trung bình bình phương (H_{rms}) để tính P_{ls}.

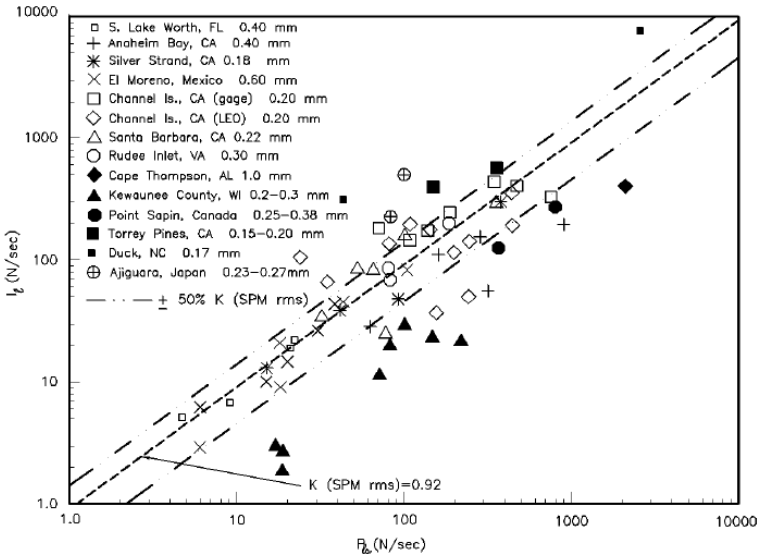
Nếu lấy phân bố chiều cao sóng theo Rayleigh thì $H_{rms} = 0{,}71H_s$, và nếu xem $P_{ls} \approx H_v^2$ thì hai công thức (2.17) và (2.18) tương đương với nhau.

Sổ tay công trình ven biển *CEM 2002*, tài liệu thay thế *SPM 1984*, gọi hệ số trong (2.17) của *SPM 1984* là $K_{SPM,sig} = 0{,}39$ ứng với chiều cao sóng tính toán là H_s.

Theo (2.14) thì thực tế F_v tỷ lệ với $H^{5/2}$ (do $C_g \approx (gh)^{1/2}$) , vì vậy khi đổi sang dùng H_{rms} làm chiều cao sóng tính toán thì hệ số tương ứng $K_{SPM,\ rms} = 0{,}92$. Tuy

[3] 1 ft = 0,305 m; 1 yd = 3 ft; 1 slug = 14,6 kg; ρ = 1,99 slug/ft^3; g = 32,2 ft/s^2.

nhiên hệ số K của *Komar và Inman (1970)*, ký hiệu $K_{K\&I,\ rms}$ = 0,77 theo công thức (2.18) vẫn thường được sử dụng vì mức độ phân tán của các số liệu thực nghiệm và thực tế khá lớn (Hình 2.3). Nghiên cứu của *Horikawa* [66] đề nghị lấy K_{rms} = 0,58.



Hình 2.3: Quan hệ giữa I_{ls} và P_{ls} (CEM, 2002). Các đường gạch dài biểu diễn mức độ dao động 50% quanh giá trị KSPM, rms = 0,92.

Công thức dạng CERC hay công thức dạng năng lượng thường dùng có dạng:

$$I_{ls} = \rho g(s-1)Q_{ls} = K\left(\frac{1}{8}\rho g H_v^2\right).C_{gv}.\sin\alpha_v \cos\alpha_v \qquad (2.19)$$

C_{gv} có thể lấy theo tốc độ truyền sóng nước rất cạn:

$$C_{gv} = C_v = \sqrt{g.d_v} = \sqrt{g\frac{H_v}{\kappa}} \qquad (2.20)$$

Với $\kappa \approx 0{,}78$ là chỉ số độ sâu sóng vỡ theo Munk.

Như vậy lưu lượng chuyển cát dọc bờ có thể viết dưới dạng:

$$I_{ls} = \rho g(s-1)Q_{ls} = K\left(\frac{\rho g^{3/2}}{8\kappa^{1/2}}\right).H_v^{5/2}.\sin\alpha_v \cos\alpha_v \qquad (2.21)$$

Hoặc: $$I_{ls} = \rho g(s-1)Q_{ls} = K\left(\frac{\rho g^{3/2}}{16.\kappa^{1/2}}\right).H_v^{5/2}.\sin 2\alpha_v \qquad (2.22)$$

Ảnh hưởng của góc sóng tới α trong các công thức dạng năng lượng như công thức CERC có dạng sinαcosα hay sin2α, dạng này cho lưu lượng bùn cát cực đại ứng

với α = 45 ^{o}, quan sát thực tế cho thấy Q_{ls} cực đại ứng với α = 50^o đến 55^o (cũng có tác giả cho là từ 60^o đến 65^o).

Công thức dạng CERC có một điểm đặc biệt là không xét gì đến bùn cát, cỡ hạt, độ dốc bờ… nhưng vẫn áp dụng có hiệu quả, người ta gọi đó là nghịch lý CERC. Lời giải thích cho nghịch lý này là sự khác biệt giữa bãi biển cát thô và bãi biển cát mịn.

Sanamura (1984) [95] đề nghị công thức tổng hợp nhiều kết quả thực nghiệm về độ dốc bãi biển ổn định như sau:

$$tg\beta = 0{,}12\left(\frac{H_v}{T.(g.d)^{1/2}}\right)^{-1/2} \qquad (2.23)$$

Trong đó, Hv là chiều cao sóng khi vỡ và g là gia tốc trọng trường.

Công thức (2.23) cho thấy khuynh hướng chung khi cỡ hạt càng thô (d_{50} > 0,4 mm), độ dốc bờ càng lớn. Hạt thô khó bị dịch chuyển hơn nhưng do độ dốc bờ lớn, dạng sóng vỡ thường là sóng vỡ cuộn (*plunging breaker*), có lợi cho sự vận chuyển bùn cát nên lưu lượng bùn cát không giảm nhiều khi cỡ hạt tăng. Khi bãi biển có cát mịn, dễ bị chuyển dịch hơn, nhưng trong trường hợp này độ dốc bờ thoải hơn, dạng sóng vỡ thiên về sóng vỡ tràn (*spilling breaker*) có khả năng vận chuyển bùn cát yếu hơn, vì vậy lưu lượng bùn cát cũng không tăng khi cỡ hạt giảm.

Tóm lại, tất cả các quá trình vật lý chi phối hình thái bờ và bãi biển đều có liên quan mật thiết đến chế độ thủy động lực (*sóng, dòng chảy do sóng* và thủy triều) trong đó sóng có ảnh hưởng và là yếu tố tác động chính. Quá trình lan truyền vào bờ, sóng tương tác với các yếu tố khác từ đó làm thay đổi cân bằng bùn cát, đặc biệt ở trong vùng sóng đổ, gây nên biến động hình thái bờ và bãi biển. Chính vì lẽ đó mà tất cả các mô hình vận chuyển cát (ngang và dọc bờ) trước nay đều đã cố gắng liên hệ năng lượng sóng với khả năng tải cát của sóng để xác định hình thái vùng ven biển.

2.2.Cơ sở lý thuyết về năng lượng sóng

2.2.1. Sự hình thành và lan truyền của sóng biển

Quá trình hình thành và phát triển của sóng do gió gồm các giai đoạn sau [25]:

- Giai đoạn phát sinh sóng: Biến dạng của mặt biển bắt đầu từ khi có gió là các

gợn nhỏ, sau có thể là những xáo động hỗn độn phụ thuộc vào tốc độ gió. Giai đoạn này chưa có biểu hiện nào về hướng truyền sóng.

- Giai đoạn phát triển của sóng: Gió tiếp tục thổi mạnh, các sóng nhỏ sẽ chồng lên nhau tạo thành sóng lớn, hình thành các con sóng rõ ràng hơn và truyền đi theo hướng gió thổi. Trong giai đoạn phát triển, đường mặt sóng có dạng không đối xứng, đầu sóng bị xô về hướng gió thổi, bụng sóng kéo dài và có độ dốc nhỏ. Khi độ dốc sóng (là tỷ số H/L) đạt một giá trị tới hạn nào đó thì các đầu sóng bị xô vỡ, đây là hiện tượng sóng vỡ ở nước sâu hay sóng bạc đầu. Những con sóng trong giai đoạn phát triển là các dao động cưỡng bức hình thành trong vùng gió thổi hay khu vực có bão, còn gọi là vùng tạo sóng hoặc khu đà gió. Độ lớn sóng do đó phụ thuộc tốc độ gió, thời gian gió thổi và cả chiều dài của khu đà gió.

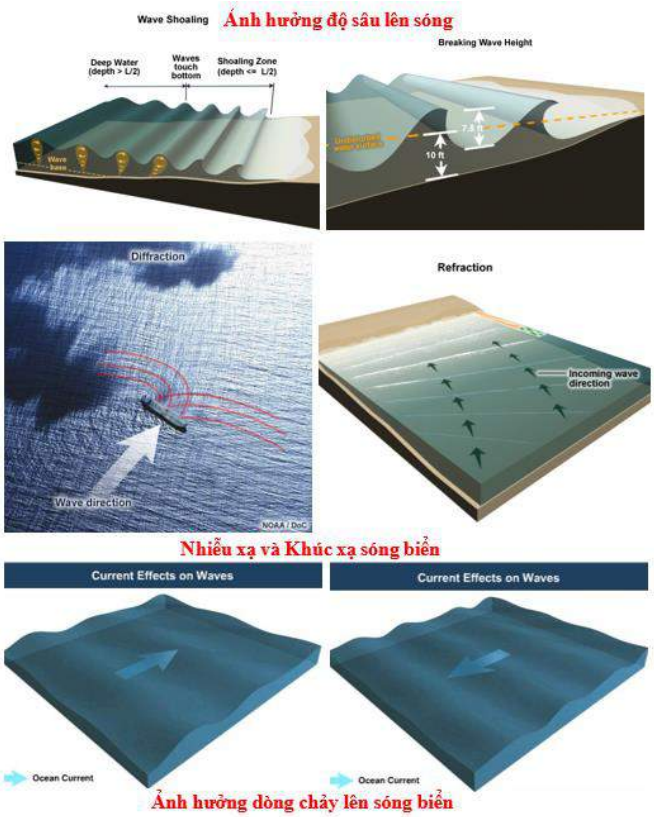
- Giai đoạn truyền sóng ổn định: Sóng cưỡng bức trong khu đà gió lại tạo ra các dao động của mặt nước và truyền ra ngoài vùng gió thổi như các dao động tự do. Các dao động này có tính ổn định và đều hơn, là các sóng biển theo nghĩa thông thường.

Tính chất có chu kỳ theo không gian và thời gian (tính đều) của sóng là tương đối vì các con sóng truyền liên tục nhưng trùng lấp lên nhau, mỗi con sóng có biên độ, chiều dài và chu kỳ khác nhau. Do tốc độ truyền sóng C tỷ lệ với chu kỳ T và chiều dài sóng ($C=gT/2\pi$) nên các sóng dài sẽ truyền nhanh hơn ra ngoài vùng tạo sóng để đến bờ, các sóng ngắn sẽ truyền chậm hơn nên càng xa vùng tạo sóng thì các sóng càng đều hơn do chỉ còn các sóng dài. Đây là hiện tượng sàng lọc tách sóng tự nhiên hay phân tán sóng theo chu kỳ.

Khi lan truyền qua các vùng có độ sâu khác nhau, trong khi chu kỳ sóng hầu như giữ nguyên thì chiều dài sóng, biên độ sóng và hướng truyền sóng có sự thay đổi. Trường hợp sóng truyền thẳng góc vào một bờ dốc thoải thì các thay đổi này làm cho chiều cao sóng giảm rồi sau đó tăng nhanh (tương tự với độ dốc sóng) khi chiều sâu giảm. Các biến dạng của sóng khi độ sâu giảm như vậy gọi là hiện tượng sóng cạn (hoặc biến dạng sóng). Chính vì có hiện tượng này, độ dốc sóng tăng dần khi vào gần bờ, cho tới một giá trị giới hạn thì sóng bị đổ ập về phía trước, đây là lúc sóng vỡ ở nước cạn. Sau khi bị vỡ, chiều cao sóng giảm hẳn do năng lượng bị tiêu hao một phần

do chuyển động rối, phần còn lại tạo thành sóng hồi phục với chiều cao nhỏ hơn, sóng tiếp tục truyền vào bờ và có thể vỡ thêm nhiều lần trước khi vào đến bờ. Khi vỡ năng lượng sóng được giải phóng một cách đột ngột nên sóng vỡ là hiện tượng hết sức quan trọng đối với bờ biển và các công trình trên biển.

Ngoài hiện tượng phân tán sóng theo chu kỳ, biến dạng sóng theo độ sâu (và vỡ ở nước cạn), còn phải kể đến các hiện tượng cơ bản sau khi đề cập đến các quá trình lan truyền của sóng biển khi vào vùng ven bờ (Hình 2.4):



Hình 2.4: Sơ đồ mô phỏng các quá trình biến dạng sóng do ảnh hưởng của độ sâu, sóng vỡ do không ổn định, nhiễu xạ, khúc xạ và tương tác với dòng chảy [20]

- Hiện tượng khúc xạ sóng (*Refraction)*: Là sự thay đổi hướng truyền sóng do địa hình đáy. Đó là khi các sóng truyền xiên góc với đường bờ, do tốc độ truyền sóng giảm dần theo độ sâu, hướng truyền sóng có khuynh hướng xoay dần trở thành vuông góc với đường bờ (đường đầu sóng song song với các đường đồng sâu).

- Hiện tượng nhiễu xạ (*Diffraction*): Là sự truyền sóng phía sau một vật cản (như các đầu đê chắn sóng, mũi đất…).

- Hiện tượng phản xạ (*Reflection)*: Sóng bị dội ngược lại khi gặp phải vật cản như một bờ dốc đứng hoặc tường chắn sóng.

2.2.2. Năng lượng sóng đơn sắc

Năng lượng sóng biển là tổng của thế năng E_p và động năng E_d. Thế năng là năng lượng do biến dạng của mặt thoáng chất lỏng, được chuyển hóa thành thế năng vị trí và thế năng áp suất của từng phân tố chất lỏng trong môi trường chất lỏng. Động năng là năng lượng do chuyển động của các phân tố chất lỏng, được gây ra bởi tốc độ quỹ đạo của hạt nước trong chuyển động sóng. Năng lượng tổng cộng chứa trong sóng được truyền đi theo hướng truyền sóng với một tốc độ nhất định. Trị số năng lượng sóng và thông lượng năng lượng là hai đại lượng quan trọng để tính toán các thay đổi của sóng khi truyền vào bờ [25].

Theo lý thuyết sóng tuyến tính, năng lượng toàn phần của sóng (trung bình trên một đơn vị diện tích vùng nước) được xác định bằng công thức sau:

$$\text{E}= E_p + E_d = \frac{\rho g H^2 L}{16} + \frac{\rho g H^2 L}{16} = \frac{\rho g H^2 L}{8} \quad (2.24)$$

Trong (2.24), thế năng và động năng có giá trị bằng nhau, là một đặc tính của các hệ thống bảo toàn, không có tiêu hao năng lượng. Lấy trung bình (theo không gian trên một chiều dài sóng L và theo thời gian trong một chu kỳ), ta có năng lượng sóng trung bình trên một đơn vị diện tích bề mặt biển còn gọi là mật độ năng lượng sóng (*Energy density*):

$$\overline{E} = \frac{E}{L} = \frac{\rho g H^2}{8} \quad (2.25)$$

Như vậy, năng lượng sóng chỉ phụ thuộc vào bình phương độ cao sóng H mà không phụ thuộc vào chiều dài L và độ sâu nước d.

Ta tính thông lượng năng lượng sóng trung bình $\overline{P}$ (hay công suất sóng) là số năng lượng trung bình truyền qua 1 mét dài theo hướng truyền sóng trong một đơn vị thời gian, qua một mặt phẳng thẳng đứng cố định vuông góc với phương truyền sóng [25]:

$$\overline{P} = (\frac{\rho g H^2}{8})\frac{\sigma}{k}\left[\frac{1}{2}(1 + \frac{2kd}{sh(2kd)})\right] = \overline{E}nC = \overline{E}C_g \quad (2.26)$$

$\overline{E}$: Mật độ năng lượng sóng theo (2.25)

n= $\frac{1}{2}(1+\frac{2kd}{sh(2kd)})$ (2.27)

Với k là số sóng (k= $\frac{2\pi}{L}$), $\sigma=\frac{2\pi}{T}$ là tần số góc của sóng.

Sh là hàm sin hyperbol theo định nghĩa shx = $\frac{1}{2}(e^{x}-e^{-x})$

- Tại vùng nước sâu (d→ ∞, $\frac{2kd}{sh(2kd)} \to 0 \to n \to 1/2$):

$\overline{P_0}=\frac{1}{2}\overline{E_0}C_0$ (2.28)

- Tại vùng nước cạn (d→ 0, $sh(2kd) \approx 2kd \ \to \ n \to 1$):

$\overline{P}=\overline{E}C_g$ (2.29)

C là tốc độ truyền dao động sóng hay tốc độ pha của sóng (C=$\frac{\sigma}{k}$) và C_g là tốc độ truyền năng lượng sóng (còn gọi là vận tốc nhóm sóng).

$$C_g=\frac{1}{2}\left(1+\frac{2kd}{sh(2kd)}\right)\frac{L}{T}=nC \quad (2.30)$$

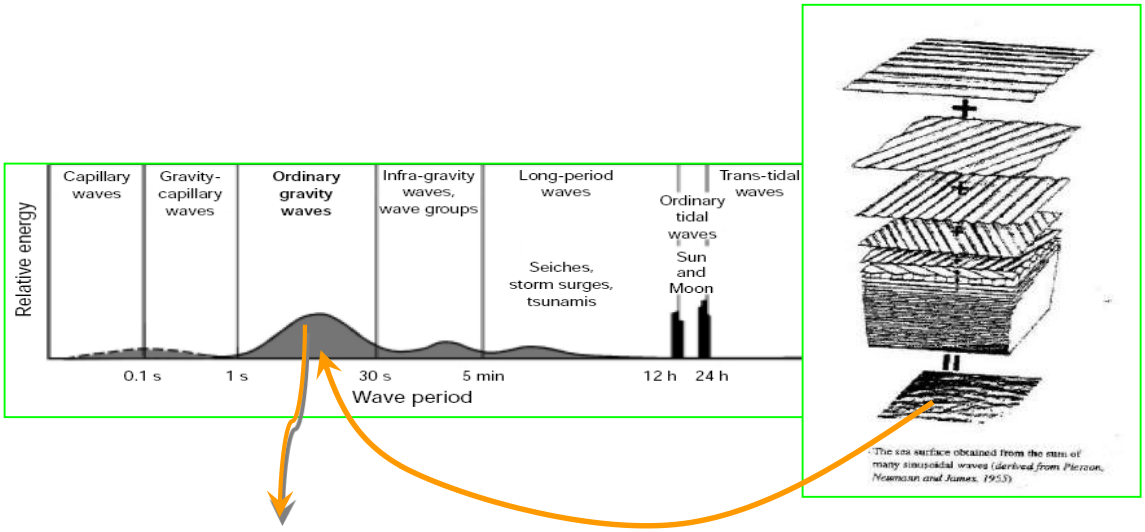
Theo (2.30), năng lượng sóng được truyền với tốc độ nhỏ hơn tốc độ truyền dao động sóng. Vùng nước sâu, tốc độ truyền năng lượng chỉ bằng nửa tốc độ truyền sóng, chỉ vùng nước cạn năng lượng và đường mặt sóng mới truyền đi với cùng vận tốc.

2.2.3. Phổ năng lượng sóng

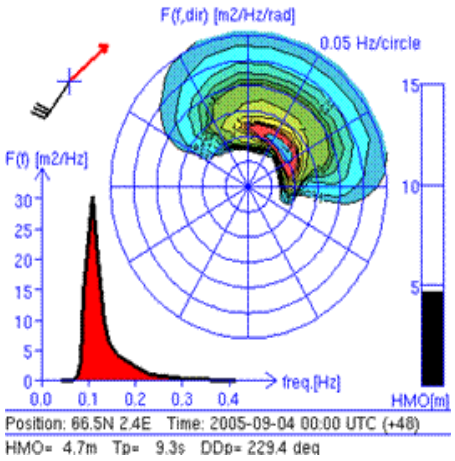
Ở phần trên chỉ khảo sát sóng hình sin hay sóng đơn sắc có các yếu tố sóng H, L, T…xác định, còn sóng biển thực có chiều cao, chiều dài và chu kỳ sóng luôn thay đổi, không theo một quy luật xác định nào. Vì dao động sóng là một quá trình ngẫu nhiên, tổng hợp từ nhiều sóng thành phần với chu kỳ, biên độ, hướng, khuôn dạng và bước sóng khác nhau nên các phương pháp thống kê chỉ có thể mô tả hình thức bên ngoài (là các độ lớn tương ứng với một khả năng được chọn) còn toàn bộ hệ sóng cần được thể hiện qua một giá trị trung bình hay trung bình bình phương của chiều cao và chu kỳ sóng. Các phương pháp dự báo và tính toán sóng tiên tiến hiện nay sử dụng phương pháp phổ, phương pháp này mô tả sóng thực như một tổng thể quan hệ chiều cao và chu kỳ sóng thể hiện qua khái niệm *phổ sóng*. Xem hệ sóng thực phức tạp đo tại một vị trí nào đó là một tổng của các sóng đơn thành phần, có biên độ (hay chiều

cao H), tần số và góc pha khác nhau. Nếu vẽ lên đồ thị thay đổi của biên độ theo tần số, ta có *phổ biên độ* của sóng.

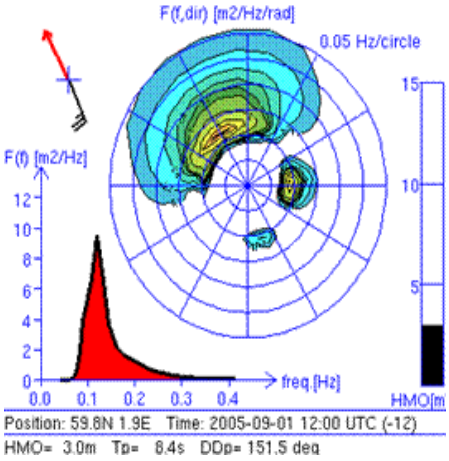
Dải phổ theo chu kỳ của sóng biển thực nói chung tương đối hẹp, ổn định và nằm trong khoảng từ 0,1 giây đến 30 giây (Hình 2.5). Vì sóng là hiện tượng cơ học có hướng, do đó phổ sóng tại mỗi vị trí địa lý là hàm có hai đối số là chu kỳ (hay tần số) và hướng, được gọi phổ hai chiều (Hình 2.6 và Hình 2.7).



Hình 2.5: Sóng biển, phổ sóng biển và giới hạn chu kỳ của sóng [20]

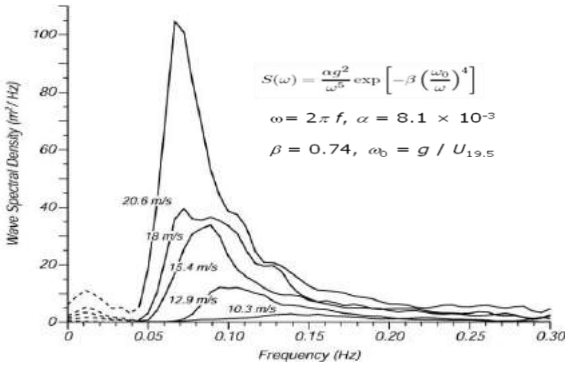


Hình 2.6: Phổ sóng gió 2 chiều (2-D)

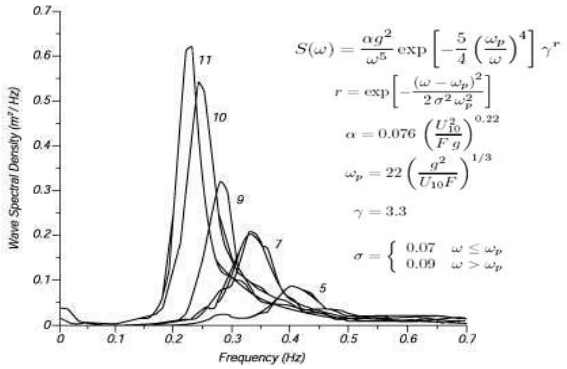


Hình 2.7: Phổ sóng tổng hợp sóng gió và sóng lừng 2 chiều (2-D)

Lát cắt phổ sóng hai chiều theo một hướng là phổ sóng một chiều (Hình 2.8 và Hình 2.9) [20]. Phổ sóng đã phát triển và sóng đang phát triển khác nhau và phổ sóng là hàm của 6 đối số là: chu kỳ, hướng, thời gian và 3 tọa độ không gian (x, y, z).



Hình 2.8: Mô hình mô phỏng sóng 1 chiều của sóng gió đã phát triển của Moskowitz (1964).



Hình 2.9: Mô hình mô phỏng sóng 1 chiều của sóng gió đã phát triển của Hasselmann (1973).

Sử dụng phổ biến nhất là *phổ năng lượng (energy spectrum)* của sóng. Vì năng lượng $E=\rho.g.H^2/8=\rho.g.a^2/2$ (a là biên độ sóng) nên thực chất phổ năng lượng biểu diễn $a^2/2$ theo tần số sóng σ. Mỗi sóng có tần số σ_n có năng lượng tương ứng là E_n, biểu diễn E_n theo σ_n là một phổ hình que hay phổ rời rạc và tổng năng lượng của hệ sóng là tổng của các que trong phổ. Thực tế có nhiều thành phần có tần số σ gần nhau trong một dải tần số được gộp chung nên người ta thường biểu diễn năng lượng trung bình trong một dải tần số $E_n/\Delta\sigma$ theo σ_n. Đường cong này liên tục và được gọi là *phổ mật độ năng lượng (energy density spectrum)* $E(\sigma)$. Thứ nguyên thường dùng cho $E(\sigma)$ là $L^2.T$ (chưa kể đến ρg nên chưa phải là thứ nguyên năng lượng thực sự). Đơn vị tần số góc $\sigma=2\pi/T$ là rad/s, cũng thường dùng tần số $f=1/T$ tính bằng Hertz. Lấy tổng hay tích phân $E(\sigma)$ trên toàn bộ dải tần số σ ta sẽ có năng lượng toàn phần của sóng thực, có thể đặc trưng cho toàn bộ hệ sóng thực: chiều cao, chu kỳ, năng lượng…

Nếu toàn bộ năng lượng sóng trong phổ $E(\sigma)$ truyền theo một hướng là hướng truyền sóng chính ta có phổ đơn hướng *(unidirectional spectrum)*. Thực tế năng lượng sóng tại một điểm là tổng của năng lượng sóng đến từ nhiều hướng và cũng sẽ truyền đi theo nhiều hướng nên trong trường hợp tổng quát năng lượng được phân bố cho các hướng khác nhau, biểu thức phổ sóng sẽ phụ thuộc cả vào tần số σ và các hướng sóng θ, ký hiệu $E(\sigma,\theta)$, gọi là phổ có hướng *(directional spectrum)*, để phân biệt với phổ tần đơn hướng $E(\sigma)$.

2.2.4. Công thức tính thông lượng năng lượng sóng

2.2.4.1 Công thức áp dụng trong lý thuyết của mô hình MIKE 21 SW

Đối với các sóng điều hòa, độ lớn của thông lượng năng lượng sóng P (đơn vị: kW/m) được tính theo công thức [59]:

$$P = \rho g C_g E \quad (2.31)$$

E: Mật độ năng lượng sóng

C_g: Vận tốc nhóm sóng

ρ: Mật độ của nước biển

g: Gia tốc trọng trường

Đối với hệ sóng thực thì sử dụng công thức sau [59]:

$$P = \rho g \int_0^{2\pi} \int_0^{\infty} C_g(f,\theta) E(f,\theta) df d\theta \quad (2.32)$$

f là tần số sóng

θ: Hướng sóng

Trong (2.32), P là thông lượng năng lượng của cả hệ sóng (tất cả các hướng, tất cả các tần số) trên 1 mét dài vuông góc với hướng sóng chính và trên 1 đơn vị thời gian 1 giây. P đại diện cho thông lượng sóng là một đại lượng véc tơ, lại tích phân theo tất cả các hướng nên hướng của nó không xác định được nữa. Vì thế (2.32) còn gọi là công thức *Omni-directional* nghĩa là trên tất cả các hướng hay toàn hướng.

Giả sử xét trong hệ trục tọa độ Descartes hai chiều XY, để đánh giá tổng thông lượng sóng truyền theo hướng nào có thể sử dụng các công thức dưới đây [59]:

$$\vec{P} = (P_X, P_Y) \quad (2.33)$$

$$\vec{P} = \rho g \int_0^{2\pi} \int_0^{\infty} \overrightarrow{C_g}(f,\theta) E(f,\theta) df d\theta \quad (2.34)$$

$$P_X = \rho g \int_0^{2\pi} \int_0^{\infty} C_g(f,\theta) \cos(\theta) E(f,\theta) df d\theta \quad (2.35)$$

$$P_Y = \rho g \int_0^{2\pi} \int_0^{\infty} C_g(f,\theta) sin(\theta) E(f,\theta) df d\theta \quad (2.36)$$

Trong các công thức trên, thông lượng sóng theo mỗi hướng được chiếu xuống trục X hoặc trục Y rồi mới cộng tất cả các hướng lại, như vậy có thành phần thông lượng theo X hoặc theo Y của tổng công suất tất cả các hướng Px hoặc Py. Các đại lượng này gọi là đại lượng đơn vị (trên 1 mét dài và trên 1 đơn vị thời gian 1s). Tổng

hợp Px và Py thành 1 véc tơ, ta có hướng truyền năng lượng chính và tổng năng lượng truyền theo hướng này. Độ lớn của véc tơ P (Px, Py) theo (2.33) khi đó không giống so với đại lượng P trong công thức (2.32). Mô hình MIKE21 SW đã sử dụng các công thức từ (2.32) đến (2.36) [59] để xác định thông lượng sóng tại mỗi điểm bất kỳ trong miền tính.

2.2.4.2 Xác định giá trị thông lượng năng lượng sóng theo các thành phần dọc bờ (Pt) và hướng bờ (Pn)

Để có thể tính thông lượng năng lượng sóng tác động đến một đoạn bờ biển (dài hàng chục, trăm km) cần phải tích phân P trên cả đoạn bờ biển đó. Phương pháp mà tác giả đã thực hiện trong Luận án là chia đường bờ biển cần tính toán thành nhiều đoạn nhỏ AB (vài trăm mét đến 1km), mỗi đoạn sẽ có hình chiếu trên hệ trục tọa độ Descartes là ($\Delta x=X_B - X_{A,}$, $\Delta y=Y_B - Y_A$) và thông lượng sóng qua đoạn AB là véc tơ có hai thành phần (Px. Δy và Py. Δx).

Bằng cách định nghĩa hệ trục tọa độ mới sao cho trục hoành mới gắn liền với đoạn bờ AB và trục tung mới vuông góc với đoạn bờ AB theo quy ước phương của đường bờ t (có chiều dương dọc theo chiều véc tơ AB) và phương pháp tuyến n (vuông góc và hướng vào đoạn bờ AB) như trên Hình 2.10, Luận án đề xuất công thức tính toán độ lớn thành phần thông lượng sóng dọc bờ ***Pt*** và thành phần ***Pn*** hướng vào bờ cho đoạn AB tại một thời điểm như sau:

$$P_t(t) = P.\cos(a - \alpha) \quad (2.37)$$

$$P_n(t) = P.sin(a - \alpha) \quad (2.38)$$

Với: $\vec{P} = (\text{Px}.\Delta y, \text{Py}.\Delta x)$: Xác định theo công thức (2.33)

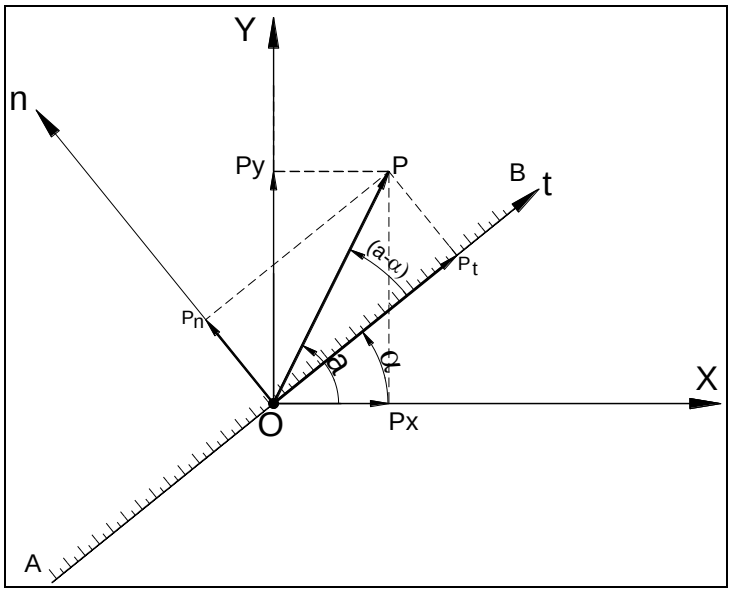
a (radian): Góc hợp bởi trục X đến $\overrightarrow{P}$ (chiều quy ước như Hình 2.10, có giá trị từ -π đến π).

α (radian): Góc hợp bởi trục X và đường bờ (chiều quy ước như Hình 2.10, có giá trị từ -π đến π).

ΔX, ΔY : Chênh lệch tọa độ giữa 2 điểm A và B ($\Delta X = X_B - X_{A,} \Delta Y = Y_B - Y_A$)

$$a = \arctan2(P_X, P_Y) \quad (2.39)$$

$$\alpha = \arctan2(\Delta X, \Delta Y) \quad (2.40)$$



Hình 2.10: Hệ trục tọa độ và các quy ước sử dụng trong Luận án

Hàm Arctan2 (sử dụng trong Microsoft Excel) sẽ trả về giá trị arctang, hay tang nghịch đảo của một góc có số gia tọa độ xác định. Arctang là góc từ trục x đến đường thẳng chứa tọa độ gốc (0, 0) và một điểm có tọa độ (x_num, y_num). Góc được tính bằng radian và có giá trị từ -pi đến pi, không bao gồm –pi. Kết quả dương thể hiện góc quay ngược chiều kim đồng hồ tính từ trục x; kết quả âm ngược lại. Lưu ý ATAN2 (a,b) bằng ATAN (b/a), ngoại trừ rằng a có thể bằng 0 trong ATAN2. Nếu cả x_num và y_num đều là 0, ATAN2 trả về giá trị lỗi #DIV/0!.

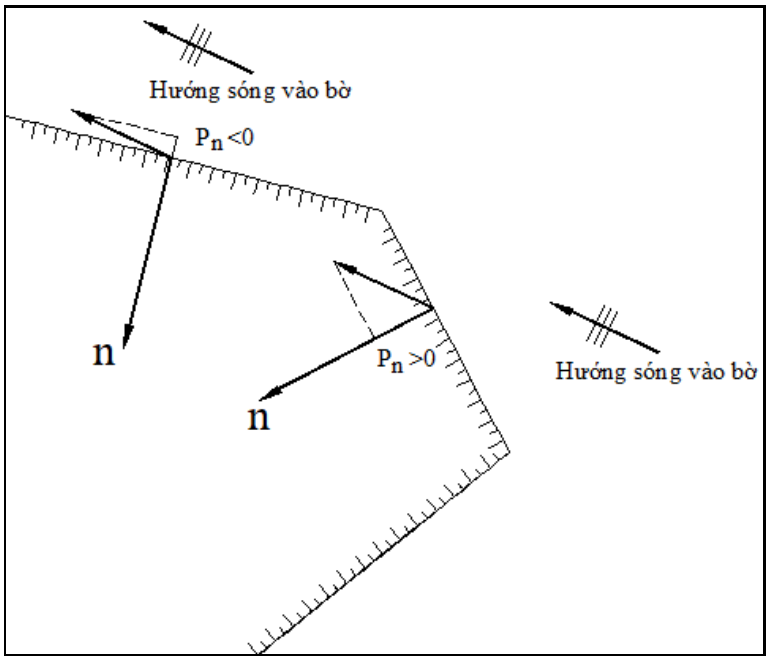
Nếu xét trong một khoảng thời gian từ T1 đến T2 (1 kỳ triều, 1 mùa gió…), ta sẽ xác định được thông lượng năng lượng (hay công suất sóng) trung bình tác động theo các phương tiếp tuyến (Pt) và pháp tuyến với đường bờ (Pn) trong khoảng thời gian đó bằng cách lấy tổng hay tích phân:

$$P_t = \frac{1}{(\mathrm{T2}-\mathrm{T1})}\int_{T1}^{T2} P.cos(a-\alpha)dt \tag{2.41}$$

$$P_n = \frac{1}{(\mathrm{T2}-\mathrm{T1})}\int_{T1}^{T2} P.sin(a-\alpha)dt \tag{2.42}$$

Theo quy ước dấu trong Hình 2.10, khi tính toán cho dải ven biển Nam Trung Bộ, chiều dương của Pt được xác định từ phía Nam lên phía Bắc (dọc theo đường bờ biển các điểm tính luôn nằm bên trái hướng ngược chiều kim đồng hồ), ngược lại thì

Pt<0. Đối với thành phần Pn, chiều dương là chiều hướng vào phía trong bờ. Giá trị của Pn có thể <0 trong trường hợp sóng truyền sau các mũi đất (Hình 2.11).



Hình 2.11: Các trường hợp đổi dấu của thành phần dòng năng lượng sóng Pn

Như vậy, Luận án đã thừa kế kết quả tính toán tại các *điểm* rời rạc bằng mô hình MIKE21 SW trong hệ tọa độ Descartes, sau đó xây dựng hệ trục tọa độ mới gắn liền với đường bờ để xác định các thành phần của dòng năng lượng sóng tác động đến từng *đoạn* bờ nhằm lý giải các hiện tượng xói bồi và dự báo diễn biến hình thái cho vùng ven biển Nam Trung Bộ.

2.2.5. Đường cơ sở và trình tự tính toán trong Luận án

2.2.5.1 Xác định đường cơ sở tính toán

Trong phần trên đã trình bày lý thuyết xác định thông lượng năng lượng sóng tác động đến một đoạn bờ biển bằng cách tích phân P trên cả đoạn bờ biển đó. Thực tế khi vào đến bờ, qua vùng sóng vỡ, tùy theo độ sâu nước (hoặc cao độ đường bờ) tại vị trí xem xét, năng lượng sóng đã bị tiêu hao đi đáng kể. Vì thế, tác giả đã đưa ra định nghĩa "*đường cơ sở*" là "*đường thể hiện hình dáng của đường bờ biển thực và cách đường bờ hay đường mép nước biển thấp nhất trung bình trong nhiều năm một khoảng cách nhất định*". Mục đích là để sử dụng tính toán và phân tích các giá trị đặc trưng của dòng năng lượng sóng trên đường cơ sở (trước khi vào đến bờ biển thực).

Việc chọn vị trí đường cơ sở có thể xem xét đặt ở những độ sâu *d* khác nhau, từ đó so sánh đưa ra kiến nghị hợp lý nhất (tức là phản ảnh được qui luật xói bồi).

Có ba vị trí đặc biệt sau có thể chọn làm đường cơ sở:

- Vị trí sóng vỡ: Từ vị trí sóng bị vỡ vào đến bờ là khu vực hoạt động mạnh nhất của chuyển động bùn cát ven biển, vì vậy để phản ảnh tình trạng xói bồi thì đường cơ sở lấy ở ranh vùng hoạt động bùn cát là hợp lý. Theo lý thuyết sóng điều hòa thì ở độ sâu d, sóng có chiều cao H >0,78d sẽ bị vỡ hay chiều cao sóng lớn nhất ở độ sâu d sẽ có giá trị bằng 0,78d (Hình 2.4). Nói cách khác, sóng có chiều cao H sẽ vỡ ở độ sâu bằng 1,0/0,78=1,28d. Đối với sóng thực, giá trị đại diện có thể chọn bằng chiều cao sóng có nghĩa H_S (*significant wave height*) và kết quả mô hình MIKE21 SW sẽ cho giá trị này ở mọi điểm tính. Với sóng thực, giới hạn độ sâu vỡ thường được thừa nhận (trong nhiều TCVN dẫn theo Hà Lan) là $d<H_S/0,6=1,67H_S$. Tuy nhiên là chiều cao sóng lại thay đổi dọc theo đường cơ sở, và thay đổi theo thời gian, nên cần ước lượng một giá trị trung bình của H_S để xác định độ sâu của đường cơ sở.

- Vị trí thứ hai là ranh giới phân biệt nước sâu và nước nông (Hình 2.4): Vị trí này về lý thuyết là tại $d = L_0/2$. Ở nước sâu, chiều dài sóng $L_0 = (gT^2/2\pi)$ không phụ thuộc d còn vào tới $d = L_0/2$ thì sóng bắt đầu bị ảnh hưởng của đáy $L=L_0 th(\frac{2\pi d}{L})$. Với sóng thực, chu kỳ đặc trưng có thể chọn là Tp (chu kỳ đỉnh phổ sóng), giá trị này do mô hình MIKE21 SW cung cấp. Và cũng như trên, cần chọn một giá trị Tp trung bình (có thể dễ hơn là chọn H_S trung bình do Tp thay đổi ít hơn).

- Vị trí thứ ba là tại các độ sâu xói tới hạn hay độ sâu đóng (*depth of closure*): Vị trí độ sâu đóng ở ngoài vùng sóng vỡ (thường khá gần bờ), giá trị khoảng 6-10m, là vị trí giới hạn phạm vi có chuyển động bùn cát ven bờ. Đây cũng là vị trí hợp lý cho đường cơ sở. Tuy nhiên độ sâu đóng được xác định dựa vào các công thức kinh nghiệm và phụ thuộc vào chế độ sóng (thay đổi theo thời gian) nên cũng chỉ xác định được một cách tương đối gần đúng.

Để đơn giản hóa thuật toán tính toán trên phạm vi toàn vùng Nam Trung Bộ, có thể chọn đường cơ sở cố định, gần với phạm vi có hoạt động bùn cát ven bờ. Khi cần đánh giá cụ thể bồi xói cho một khu vực hẹp, quanh công trình chẳng hạn, sẽ sử dụng

các mô hình đầy đủ trên nền địa hình chi tiết có tính đến tất cả các yếu tố ảnh hưởng của sóng, dòng, bùn cát, địa hình…

Theo những phân tích nêu trên đồng thời căn cứ Quyết định số 1790/QĐ-BTNMT của Bộ Tài nguyên và Môi trường ngày 06 tháng 6 năm 2018 về "Ban hành và công bố Danh mục các điểm có giá trị đặc trưng mực nước triều vùng ven biển và 10 đảo, cụm đảo lớn của Việt Nam; *Bản đồ đường mép nước biển thấp nhất trung bình trong nhiều năm* và đường ranh giới ngoài cách đường mép nước biển thấp nhất trung bình trong nhiều năm một khoảng cách 03 hải lý vùng ven biển Việt Nam", Luận án đã tiến hành chọn vị trí đường cơ sở là đường cách đường mép nước biển thấp nhất trung bình trong nhiều năm một khoảng cách 1,0 km để tính toán các đặc trưng của dòng năng lượng sóng (Hình 2.12).

Hình 2.12: Minh họa vị trí đường cơ sở định nghĩa trong Luận án

Từ đường cơ sở trở vào bờ chính là vùng sóng đổ, là khu vực hoạt động mạnh của chuyển động bùn cát ven biển. Điều này có thể nhận biết được trên bản đồ Google Map với các vệt màu sậm hơn trên toàn dải ven biển Nam Trung Bộ.

2.2.5.2 Tính toán các thành phần của dòng năng lượng sóng cấp độ chi tiết

Trên mỗi đoạn của đường cơ sở có chiều dài trung bình ds=500m÷1km ta có một giá trị $\vec{P}(\mathrm{Px}.\Delta y, \mathrm{Py}.\Delta x)$ theo công thức (2.33) đến (2.36) từ kết quả mô hình MIKE21 SW. Chiếu vectơ này xuống phương tiếp tuyến và pháp tuyến với đường bờ ds có Pt, Pn theo (2.37), (2.38) và tiến hành tích phân trong một khoảng thời gian

theo (2.41), (2.42). Vẽ đồ thị dọc theo đường cơ sở để tìm liên hệ với tình hình bồi xói của các đoạn ds (xem trong phần 3.2 sau). Có thể gọi đó là cấp nghiên cứu chi tiết cho từng đoạn ds.

2.2.5.3 Tính toán các thành phần của dòng năng lượng sóng cấp độ tổng quát

Ta cần đánh giá ở phạm vi rộng hơn, ví dụ một cung bờ cong như từ mũi Kê Gà đến Phan Thiết hay từ Phan Thiết đến Mũi Né (Bình Thuận) ... tức là ở mức hàng chục km. Để có đánh giá chung cho một đoạn dài AB (cỡ 10 km) như vậy, tiến hành tích phân (cộng) Px, Py dọc theo đường cong cơ sở đã chọn. Kết quả được véctơ (ΣPx, ΣPy) của đoạn AB. Bây giờ mới chiếu vectơ tổng này lên hướng AB để xác định $\vec{P}(P_t, P_n)$ và đánh giá chung cho đoạn bờ AB.

Như vậy khảo sát tìm kiếm qui luật liên hệ giữa Pt, Pn với diễn biến bờ được phân làm 2 cấp, cấp chi tiết khảo sát trực tiếp trên các đoạn ds vài trăm mét, so sánh với thực tế để tìm qui luật. Cấp tổng quan hơn cho khu vực khoảng chục km thì tính ra Pt, Pn đại diện chung cho đoạn AB rồi căn cứ vào qui luật đã khẳng định ở bước chi tiết để đưa ra đánh giá chung cho đoạn AB.

2.2.5.4 Xác định vị trí có nguy cơ xói lở-bồi tụ theo gradient dòng năng lượng sóng

Trong giải tích vectơ, gradient của một trường vô hướng là một trường vectơ có chiều hướng về phía mức độ tăng lớn nhất của trường vô hướng, và có độ lớn là mức độ thay đổi lớn nhất.

Giả sử f là một hàm số từ R^n đến R nghĩa là f = f (x1, x2,…,xn).

Theo định nghĩa, gradient của f (ký hiệu *grad* hay ∇f) là một vectơ *n* chiều mà mỗi thành phần trong vector đó là một đạo hàm riêng phần (Partial derivative) theo từng biến của hàm f.

$$\nabla f = \left(\frac{df}{dx_1}, \frac{df}{dx_2} \dots, \frac{df}{dx_n}\right)$$

Nếu lấy gradient của thành phần năng lượng sóng dọc bờ Pt theo đường cơ sở (tức là d/ds), ta có nhận xét sau: Vì Pt đặc trưng cho khả năng tải cát dọc bờ nên nếu Pt đoạn sau lớn hơn đoạn trước (Gradient dọc bờ dương), có nghĩa khả năng tải cát tăng dần, lấy đi cát ở đáy, gây xói. Ngược lại nếu gradient dọc bờ âm thì gây bồi.

Xét sự thay đổi theo thời gian, nếu giá trị của Pt thời điểm sau lớn hơn thời điểm trước (d/dt>0), có nghĩa khả năng tải cát của đoạn đó tăng dần, lấy đi cát ở đáy, có khả năng gây xói nếu hai đoạn bên không bổ sung thêm trầm tích (vẫn phụ thuộc gradient Pt dọc bờ). Còn Pn ở thời điểm sau lớn hơn của thời điểm trước thì năng lượng sóng vào bờ tăng dần, khả năng tải cát tăng dần, dẫn đến nguy cơ gây xói.

2.3. Cơ sở khoa học các mô hình tính toán

Cơ sở khoa học lựa chọn bộ công cụ mô hình toán sử dụng trong Luận án là các quá trình sóng, dòng chảy, dao động mực nước, vận chuyển bùn cát, xói-bồi, diễn biến đáy và bờ ở vùng nghiên cứu ven biển Nam Trung Bộ (VNC). Các quá trình này thay đổi liên tục vì chúng phụ thuộc vào nhiều cơ chế biến đổi theo không-thời gian, trong đó các yếu tố chính bao gồm [20]:

- Tác động của gió lên mặt biển và tương tác biển-khí quyển. Các yếu tố này còn gọi là **biên Khí tượng**.

- Sự cưỡng bức của dao động thủy triều, sóng biển, dòng hải lưu và dòng vật chất từ biển Đông tới. Các yếu tố này tác động qua biên mở của VNC nối với biển Đông, nên còn gọi là **biên mở hạ lưu.**

- Dòng nước, bùn cát từ các lưu vực sông đến VNC. Các yếu tố này tác động qua biên mở của VNC và lân cận nối với các hệ thống sông, gọi là **biên mở thượng lưu**. Tại VNC, ảnh hưởng của các lưu vực sông chỉ diễn ra trong thời gian ngắn vào mùa lũ và không đáng kể vào mùa kiệt.

- Cấu trúc trường nhiệt muối của VNC và lân cận. Chúng là hệ quả tương tác giữa VNC với khí quyển, biển Đông và các lưu vực sông thông qua các biên nêu trên. Tại VNC khá đồng nhất về nhiệt độ và độ mặn, nên chúng ta có thể bỏ qua ảnh hưởng của bất đồng nhất nhiệt độ.

- Sự tương tác giữa sóng, dòng chảy và dao động mực nước làm thay đổi độ sâu. Cơ chế này đặc biệt quan trọng tại vùng nước nông.

- Sự tương tác bên trong giữa các thành phần phổ sóng.

- Cấu tạo hình học và chất liệu trầm tích địa hình đáy VNC và lân cận. Chúng là các yếu tố ít thay đổi, **gọi là biên cứng**. Khi xây dựng công trình, hoạt động chỉnh

trị, lấy cát, đào luồng chạy tàu... sẽ dẫn đến sự thay đổi rất đáng kể cấu tạo hình học của đáy biển và đường bờ. Ảnh hưởng của biên cứng lên quá trình sóng, dòng chảy, vận chuyển bùn cát, xói-bồi và cân bằng vật chất thể hiện chủ yếu qua các cơ chế: (1) Trường độ sâu cột nước; (2) Ma sát đáy và bờ; (3) Tốc độ xói lở/bồi lắng; (4) Sự tán xạ năng lượng sóng, dòng chảy; (5) Sự hấp thụ và phân hủy vật chất tại đáy và bờ.

- Khái niệm biên cứng và vị trí của nó trong các mô hình toán hiện đại cho vùng ven biển đã được mở rộng thành khái niệm **biên mềm** và **biên di động**. Chúng là các mô hình toán tích hợp đồng thời các quá trình trình thủy động lực học, phổ sóng, vận chuyển bùn cát, xói-bồi và cân bằng vật chất có tính đến sự tương tác giữa chúng trong hệ thống khép kín. **Biên mềm** là vì ảnh hưởng của sự vận chuyển bùn cát và xói bồi lên địa hình đáy và bờ lòng dẫn "*biên cứng*" được cập nhật liên tục trong mô hình loại này. **Biên di động** là vì vị trí đường "*biên cứng*" được xem là một biến phụ thuộc vào dao động mực nước do triều, lũ, mưa, nước dâng do gió.... Đây là những đặc điểm nổi bật, đặc biệt hữu ích và phù hợp với thực tế tại vùng biển ven bờ của các mô hình toán hiện đại tích hợp đồng thời các quá trình trình thủy động lực học, phổ sóng, vận chuyển bùn cát, bồi/ xói và cân bằng vật chất so với các mô hình toán cổ điển (thường nghiên cứu chúng một cách riêng rẽ).

Ngoài ra, để chọn ra mô hình phù hợp tác giả còn dựa trên các tiêu chí sau:

- VNC bao gồm cả vùng nước sâu và vùng nước nông, do đó mô hình số về chế độ thủy lực (HD) và phổ sóng (SW) không ổn định 2 chiều ngang là công cụ đáng tin cậy và hiệu quả, đôi khi có thể cần đến mô hình 3 chiều không gian khi độ phân tầng của nước trở nên đáng kể.

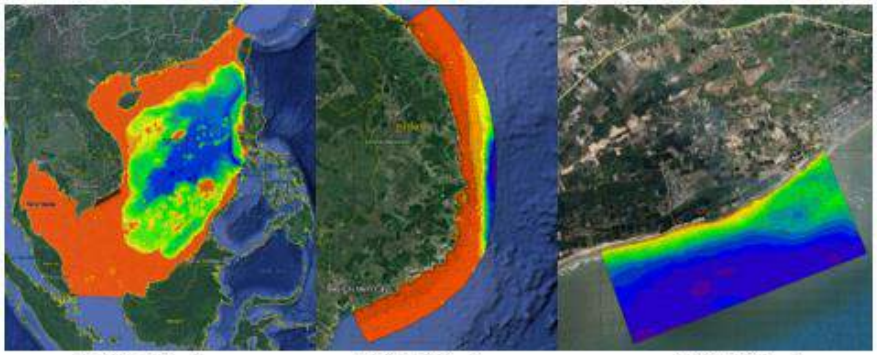
- Các quá trình thủy động học, sóng, vận chuyển bùn cát và xói-bồi tại VNC diễn ra trên một vùng có địa hình đáy và bờ bị chia cắt, đường bờ nhiều đoạn khúc khủu nên mô hình số trên lưới phi cấu trúc là lựa chọn hợp lý, lưới tính với các phần tử tam giác cho vùng gần bờ và phần tử tứ giác cho vùng xa bờ là lựa chọn tối ưu. Việc sử dụng mô hình số trên lưới như vậy cho phép nâng cao độ phân giải theo phương ngang để mô phỏng, xấp xỉ các đường bờ quanh co, các luồng tàu, các công trình chỉnh trị,… góp phần rất quan trọng để tăng độ tin cậy của kết quả tính toán.

Đối với việc ứng dụng phương pháp mô hình toán để nghiên cứu các quá trình trong vùng ven biển, vấn đề có được lưới tính hợp lý, tối ưu là vấn đề quan trọng hàng đầu.

Qua phân tích và so sánh các mô hình số đang áp dụng tại Việt Nam và trên thế giới, tác giả thấy rằng: Mô hình tích hợp MIKE 21/3 Couple FM sử dụng trong Luận án (Chi tiết học thuật trình bày trong phần Phụ lục 1) do Viện thủy lực Đan Mạch (DHI) xây dựng là một trong số rất ít các mô hình toán hiện đại đáp ứng được tất cả các yếu tố và tiêu chí nêu trên. Đây là sản phẩm tiến bộ nhất của bộ phần mềm họ MIKE mô phỏng các quá trình thủy lực liên quan chặt chẽ với nhau trên vùng nước nông (là thủy động lực, sóng, vận chuyển vật chất và bồi xói) cho miền tính có đường biên di động (theo dao động mực nước) và có thể cài đặt các công trình nhân tạo (đê, kè, cầu cống…) lên lưới tính phi cấu trúc. Các module cần sử dụng đồng thời bao gồm: (1) Module thủy động lực học để xác định trường dòng chảy và trường độ sâu cột nước; (2) Module phổ sóng để xác định trường sóng và ứng suất tán xạ sóng; (3) Module vận chuyển cát để tính toán diễn biến hình thái trong VNC. Dưới đây phân cấp mức độ chi tiết các mô hình sử dụng trong Luận án và cơ sở lý thuyết của mô hình MIKE21/3 Couple Model FM.

2.3.1. Phân cấp các mô hình trong Luận án

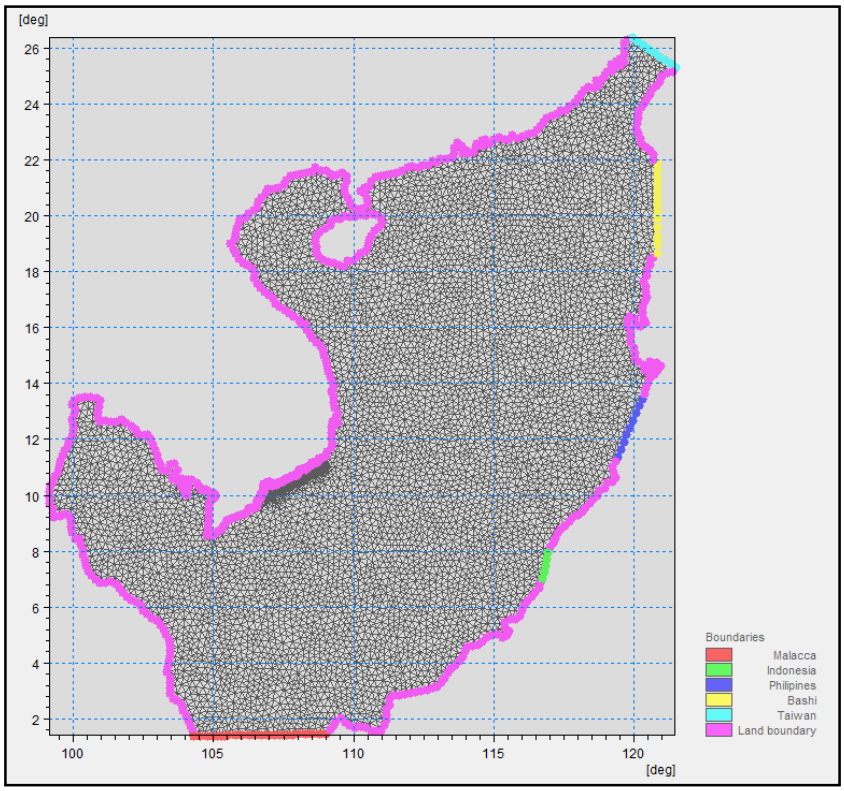
Luận án đã sử dụng 3 cấp độ mô hình, gồm: (i) Bài toán tổng quát với mô hình Biển đông để cung cấp số liệu "đầu vào" cho mô hình khu vực; (ii) Mô hình khu vực mô phỏng cho toàn bộ dải ven biển Nam Trung Bộ và (iii) Mô hình chi tiết để giải quyết cho các dự án cụ thể. Luận án đã kế thừa và sử dụng các kết quả nghiên cứu trước từ các mô hình với tỉ lệ và mức độ chi tiết như sau:



Hình 2.13: Mức độ chi tiết của các mô hình sử dụng trong Luận án

2.2.1.1. Mô hình 1 (Mô hình sóng và triều biển Đông)

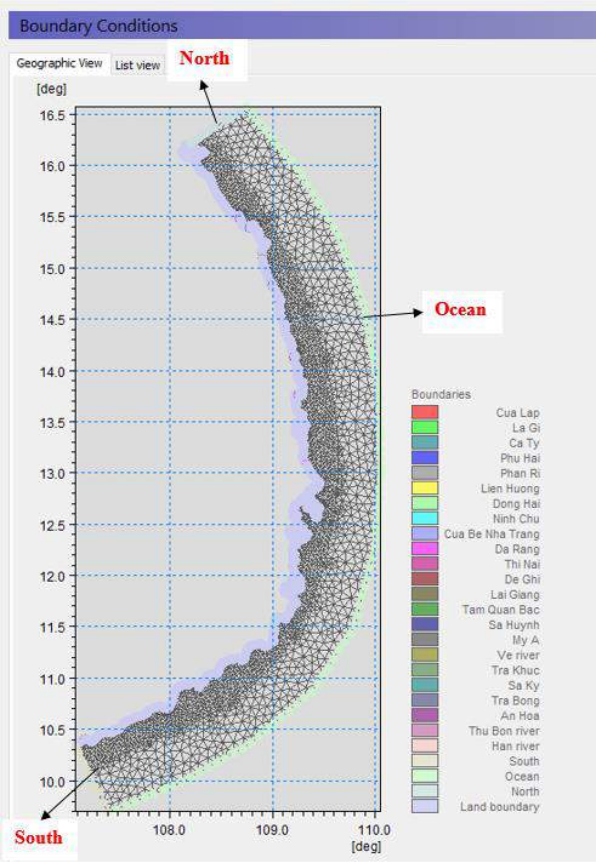
Mục đích của mô hình 1 là mô phỏng chế độ thủy động lực (thủy triều, dòng chảy) và chế độ sóng trong phạm vi toàn bộ vùng biển Đông và vịnh Thái Lan để đảm bảo tính hệ thống và liên tục nhằm cung cấp biên mở hạ lưu phía biển cho các mô hình có quy mô nhỏ hơn (mô hình 2). Mô hình sử dụng cho nghiên cứu này là MIKE21/3 Coupled FM với các module HD và SW. Lưới tính toán là lưới phi cấu trúc phần tử tam giác. Tại các vùng biển nông ven bờ, lưới tính được chia mịn hơn và được tiến hành theo trình tự thử dần nhằm đảm bảo cả 2 yếu tố là tốc độ tính toán và độ chính xác của mô hình. Biên tính toán của mô hình 1 gồm các eo biển: *Taiwan, Bashi, Philipines, Indonesia và Malacca* (Hình 2.14). Với module thủy lực HD, các biên này là các biên mực nước với số liệu mực nước triều được xây dựng từ các hằng số điều hòa. Còn module tính phổ sóng SW, các biên này được giả thiết là "*lateral boundary*" (biên cạnh). Mô hình sóng và triều biển Đông được kế thừa từ kết quả nghiên cứu thực hiện bởi Viện Khoa học Thủy lợi miền Nam trong các đề tài, dự án trước đây [39].



Hình 2.14: Lưới và biên tính toán của mô hình sóng và triều Biển Đông

2.2.1.2. Mô hình 2 (Mô hình thủy động lực ven biển Nam Trung Bộ)

Mô hình được sử dụng để mô phỏng chế độ thủy động lực cho toàn bộ dải ven biển Nam Trung Bộ và phụ cận. Trong khuôn khổ Luận án, nhằm giảm thiểu tác động tới các vùng nghiên cứu chi tiết hơn cũng như tối ưu hóa về thời gian mô phỏng, phạm vi mô hình Nam Trung Bộ bao trùm từ Đà Nẵng đến Bà Rịa-Vũng Tàu có chiều dài khoảng 940Km, khoảng cách từ bờ tới các vị trí biên mở ngoài biển từ 70÷80Km (Hình 2.15). Kích thước ô lưới nhỏ nhất vùng sát bờ có giá trị khoảng 100m. Các thông số trên biên mở về mực nước, sóng, dòng chảy… được trích xuất từ mô hình sóng và triều biển Đông (mô hình 1).

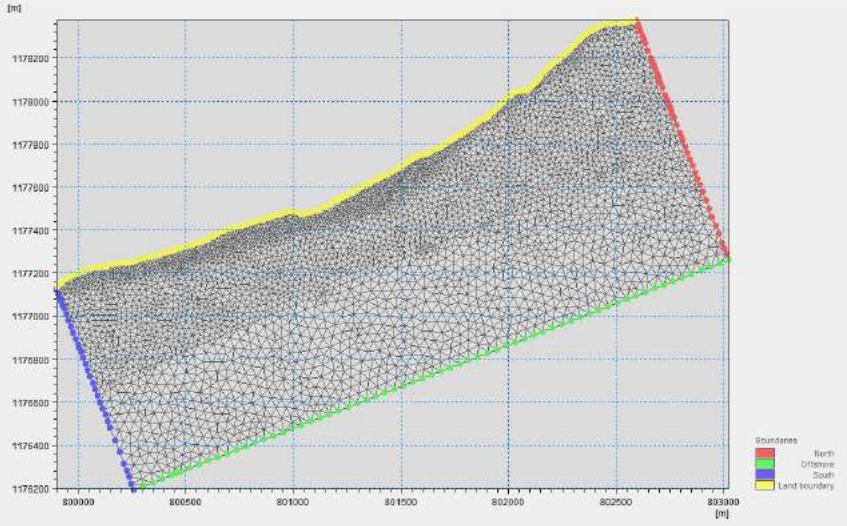


Hình 2.15: Lưới và biên tính toán của mô hình ven biển Nam Trung Bộ

2.2.1.3. Mô hình 3 (Mô hình chi tiết các khu vực ven biển)

Để làm rõ quá trình diễn biến hình thái tại các vùng ven biển, cần thiết xây dựng các mô hình nghiên cứu chi tiết hơn nữa (mô hình 3, Hình 2.13). Điều kiện biên tính toán cho các mô hình nghiên cứu chi tiết được trích xuất từ kết quả của mô hình Nam

Trung Bộ (mô hình 2) kể cả các kịch bản về nước biển dâng tương ứng tại các biên phía biển với các modules sử dụng sẽ là MIKE21/3 Couple FM (HD, SW, ST)



Hình 2.16: Lưới và biên tính toán của mô hình chi tiết vùng ven biển LaGi

2.3.2. Cơ sở lý thuyết mô hình MIKE21/3 Couple Model FM

Chi tiết của các mô hình tính sẽ được trình bày kỹ trong Phụ lục 1, dưới dây chỉ đưa ra những phương trình cơ bản.

2.3.2.1 Phương trình liên tục và hệ phương trình nước nông 2 chiều trên toàn bộ độ sâu h=η+d trong module MIKE 21HD :

$$\frac{\partial h}{\partial t}+\frac{\partial \bar{u}}{\partial x}+\frac{\partial h\bar{v}}{\partial y}=hS \tag{2.43}$$

$$\frac{\partial h\bar{u}}{\partial t}+\frac{\partial h\bar{u}^2}{\partial x}+\frac{\partial h\overline{vu}}{\partial y}=f\bar{v}h-gh\frac{\partial \eta}{\partial x}-\frac{h}{\rho_0}\frac{\partial p_a}{\partial x}-\frac{gh^2}{2\rho_0}\frac{\partial \rho}{\partial x}+$$
$$\frac{\tau_{sx}}{\rho_0}-\frac{\tau_{bx}}{\rho_0}-\frac{1}{\rho_0}\left(\frac{\partial s_{xx}}{\partial x}+\frac{\partial s_{xy}}{\partial y}\right)+\frac{\partial}{\partial x}\left(hT_{xx}\right)+\frac{\partial}{\partial y}\left(hT_{xy}\right)+hu_sS \tag{2.44}$$

$$\frac{\partial h\bar{v}}{\partial t}+\frac{\partial h\overline{uv}}{\partial x}+\frac{\partial h\bar{v}^2}{\partial y}=-f\bar{u}h-gh\frac{\partial \eta}{\partial y}-\frac{h}{\rho_0}\frac{\partial p_a}{\partial y}-\frac{gh^2}{2\rho_0}\frac{\partial \rho}{\partial y}+$$
$$\frac{\tau_{sy}}{\rho_0}-\frac{\tau_{by}}{\rho_0}-\frac{1}{\rho_0}\left(\frac{\partial s_{yx}}{\partial x}+\frac{\partial s_{yy}}{\partial y}\right)+\frac{\partial}{\partial x}\left(hT_{xy}\right)+\frac{\partial}{\partial y}\left(hT_{yy}\right)+hv_sS \tag{2.45}$$

Trong đó:

- *t:* Thời gian
- *x, y*: Các thành phần trong tọa độ Decartes

- η: Độ dâng mặt nước so với mực nước tĩnh;
- d: Độ sâu cột nước;
- $h = \eta + d$: Độ sâu cột nước tổng cộng;
- u, v: Các thành phần vận tốc lần lượt theo phương x, y;
- $f = 2\omega \sin\phi$: Tham số Coriolis (ω là vận tốc góc và ϕ là vĩ độ địa lý);
- g: Gia tốc trọng trường;
- ρ: Mật độ của nước biển;
- p_a: Áp suất khí quyển;
- ρ_o: Mật độ nước tham chiếu;
- S: Độ lớn lưu lượng của các nguồn nước đổ vào VNC và (u_s, v_s) là vận tốc dòng nước chảy từ nguồn vào VNC;
- (τ_{sx}, τ_{sy}) và (τ_{bx}, τ_{by}): Các thành phần ứng suất ma sát gió lên mặt nước và ứng suất ma sát đáy theo phương x và y tương ứng.
- (S_{xx}, S_{xy}) và (S_{yx}, S_{yy}): Các thành phần ứng suất tán xạ sóng theo phương x và y tương ứng.

Dấu gạch trên chỉ giá trị trung bình theo độ sâu h. Ví dụ, $\overline{u}$ và $\overline{v}$ là các thành phần vận tốc trung bình theo độ sâu được định nghĩa bởi các quan hệ:

$$h\overline{u} = \int_{-d}^{\eta} u dz, \quad h\overline{v} = \int_{-d}^{\eta} v dz \tag{2.46}$$

Các ứng suất trên mặt bên khối nước T_{ij} bao gồm: (1) Ma sát nhớt, (2) Ma sát rối do trượt vận tốc và được xác định qua hệ số nhớt rối và gradient vận tốc trung bình độ sâu dạng:

$$T_{xx} = 2A\frac{\partial \overline{u}}{\partial x}, \quad T_{xy} = A\left(\frac{\partial \overline{u}}{\partial y} + \frac{\partial \overline{v}}{\partial x}\right), \quad T_{yy} = 2A\frac{\partial \overline{v}}{\partial y} \tag{2.47}$$

A là hệ số nhớt rối ngang.

2.3.2.2 Phương trình cơ bản tính sóng trong module MIKE21 SW

Động lực sóng trọng lực được mô tả bởi phương trình vận chuyển mật độ tác động sóng *N*, biến thiên theo thời gian và không gian, là một hàm của hai tham số:

pha sóng, có thể là số sóng vector $\vec{k}$ với độ lớn, *k*, và hướng, θ. Mật độ tác động sóng $N(\sigma,\theta)$ liên quan đến mật độ năng lượng $E(\sigma,\theta)$ sóng bởi công thức:

$$N = \frac{E}{\sigma} \tag{2.48}$$

Trong các vùng có độ sâu thay đổi chậm và tốc độ dòng chảy nhỏ thì tần số góc tương đối σ và tần số góc tuyệt đối ω có quan hệ phân tán tuyến tính sau:

$$\sigma = \sqrt{gk\tanh(kd)} = \omega - \vec{k}.\vec{U} \tag{2.49}$$

g là gia tốc trọng trường, *d* là độ sâu cột nước và $\vec{U}$ là véc tơ vận tốc dòng chảy.

Vận tốc tương đối của nhóm sóng *Cg* so với dòng được cho bởi công thức:

$$C_g = \frac{\partial\sigma}{\partial k} = \frac{1}{2}(1 + \frac{2kd}{\sinh(2kd)}\frac{\sigma}{k}) \tag{2.50}$$

Phương trình bảo tồn mật độ tác động sóng trong hệ tọa độ Decartes nhu sau:

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \nabla.(\vec{\nu} N) = \frac{S}{\sigma} \tag{2.51}$$

$N(\vec{x},\sigma,\theta,t)$ là mật độ tác động, *t* là thời gian, $\vec{x}$ = (*x*,*y*) là tọa độ Decartes, $\vec{\nu}$ = (c_x, c_y, c_σ, c_θ) là vận tốc lan truyền sóng trong không gian pha bốn chiều $\vec{x}$, σ, θ, và *S* là số hạng nguồn của phương trình cân bằng mật độ tác động sóng. ∇ là toán tử vi phân trong không gian bốn chiều. Bốn tốc độ lan truyền đặc trưng sóng được cho bởi các công thức:

$$(c_x, c_y) = \frac{d\vec{x}}{dt} = \vec{c}_g + \vec{U} \tag{2.52}$$

$$c_\sigma = \frac{d\sigma}{dt} = \frac{\partial\sigma}{\partial d}\left[\frac{\partial d}{\partial t} + U.\vec{\nabla}_{\vec{x}} d\right] - c_g \vec{k}.\frac{\partial\vec{U}}{\partial s} \tag{2.53}$$

$$c_\theta = \frac{d\theta}{dt} = -\frac{1}{k}\left[\frac{\partial\sigma}{\partial d}\frac{\partial d}{\partial m} + \vec{k}.\frac{\partial\vec{U}}{\partial m}\right] \tag{2.54}$$

s là tọa độ trong trục có hướng là hướng sóng θ và *m* là tọa độ vuông góc với *s*. $\nabla_{\vec{x}}$ là toán tử vi phân hai chiều không gian (x,y).

2.2.2.1. Cơ sở lý thuyết của module vận chuyển cát MIKE21 ST

Mô đun tính vận chuyển bùn cát [59] được xây dựng dựa trên hai loại vận chuyển: Vận chuyển do dòng chảy và vận chuyển do sự kết hợp giữa sóng và dòng chảy. Trong nghiên cứu này chỉ xem xét sự vận chuyển gây ra do sự kết hợp giữa sóng và dòng chảy, khi đó thông lượng vận chuyển trầm tích được xét là tổng của vận chuyển di đáy q_b và vận chuyển lơ lửng q_s theo phương pháp của Bijker:

$$q_t = q_b + q_s \tag{2.55}$$

Với q_b tính theo công thức Engelund và Fredsøe (1976), trong đó thông số Shields θ là giá trị tức thời.

Phân bố thẳng đứng của cát lơ lửng tính ra từ phương trình khuếch tán theo phương đứng Fredsøe (1985), bỏ qua các số hạng bình lưu nên cuối cùng, dòng vận chuyển cát lơ lửng tính theo công thức:

$$q_s = \frac{1}{T}\int_0^T \int_{2d}^{D} (uc)dzdt \tag{2.56}$$

2.2.2.2. Sự liên kết giữa các module

Mô hình MIKE21/3 Coupled Model FM là mô hình tích hợp, có thể liên kết nhiều module lại với nhau. Trong số đó quan trọng nhất là hai module MIKE21 HD và MIKE21 SW. Việc liên kết các module cho phép tính toán sự tác động qua lại lẫn nhau giữa các quá trình như: tương tác sóng và dòng chảy, ảnh hưởng của các quá trình đến địa hình với đường bờ và ngược lại.

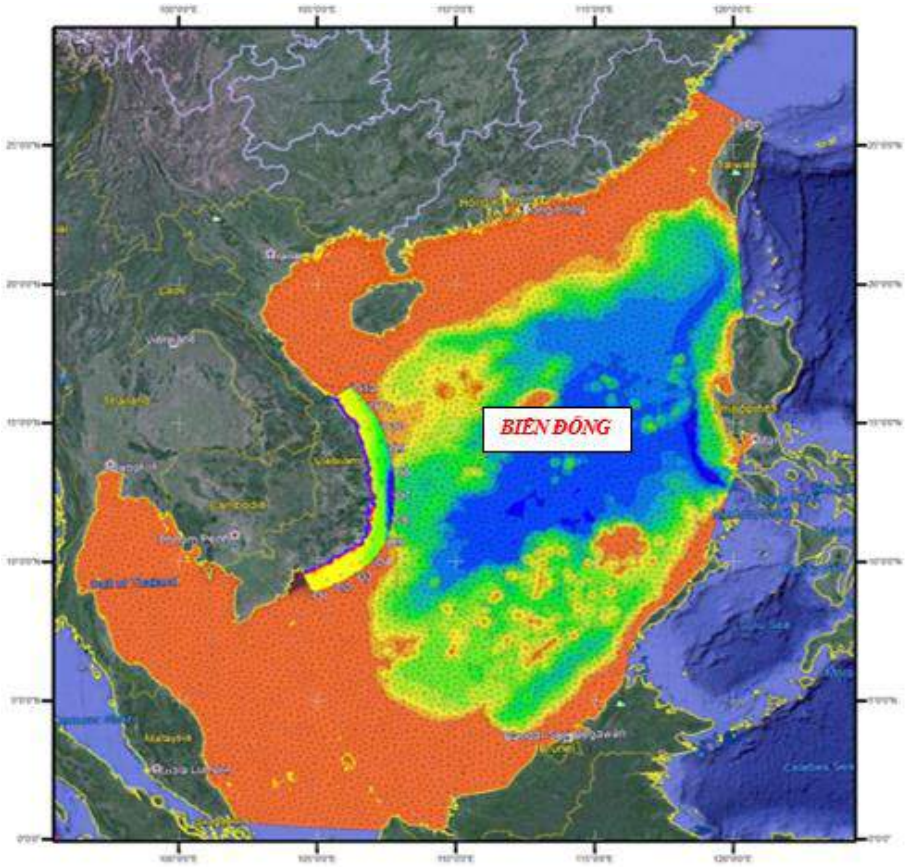
Hình 2.17: Sơ đồ mối liện hệ giữa các module tính toán

CHƯƠNG 3. KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU VỀ DIỄN BIẾN HÌNH THÁI VÙNG VEN BIỂN NAM TRUNG BỘ

3.1. Xây dựng bản đồ phân vùng năng lượng sóng dải ven biển Nam Trung Bộ

3.1.1. Mô hình tính sóng toàn vùng biển Đông

Chế độ sóng, dòng chảy, dao động mực nước và xói bồi vùng ven biển Nam Trung Bộ ngoài việc chịu ảnh hưởng của các sông phía thượng nguồn trong thời gian ngắn vào mùa lũ còn đa phần bị tác động trực tiếp bởi chế độ sóng, dòng chảy, dao động mực nước, chế độ hải văn biển của biển Đông nói chung. Để đảm báo tính hệ thống và liên tục, miền tính toán vì thế được mở rộng lên toàn biển Đông (Hình 3.1).



Hình 3.1: Vùng nghiên cứu Nam Trung Bộ và vùng mở rộng toàn biển Đông

3.1.1.1 Số liệu sử dụng và các tham số tính toán chính

Trong nội dung chương 2 đã đưa ra mô hình tính sóng toàn cầu thế hệ thứ ba-MIKE21 SW để tính toán các đặc trưng của sóng vùng Biển Đông từ các điều kiện gió, địa hình đáy và dòng chảy.

Sử dụng Mô hình 1 với lưới tính giới hạn từ 1°22'50.34"N÷26°22'33.93"N vĩ độ Bắc, 104°16'45.35"E÷119°58'1.07"E kinh độ Đông, mô hình tính sóng toàn vùng Biển Đông có 5 biên mở (Hình 2.11) còn biên cứng bao gồm toàn bộ đáy, đường bờ và các đảo. Các biên này được lập ra từ bản đồ GIS, DEM, các tài liệu địa hình, ảnh viễn thám...Kết quả tính toán trường sóng trích ra từ vùng tính toán mở rộng toàn Biển Đông sẽ được sử dụng làm cơ sở dữ liệu đầu vào cho vùng nghiên cứu chính ven biển Nam Trung Bộ.

Tài liệu địa hình được lấy từ mô hình SRM30_PLUS V8.0 có độ phân giải 30''x30'' của Viện Hải dương học Scrips thuộc Đại học Califonia (Mỹ) là mô hình số thể hiện cao độ gần như toàn cầu. Ngoài ra, địa hình ven biển Nam Trung Bộ trích từ bản đồ tỷ lệ 1/50.000 của Trung tâm Trắc địa bản đồ biển đo vẽ vào tháng 10 năm 2000 và một số khu vực khác sử dụng địa hình số hóa từ bản đồ 1: 100.000 do Hải quân xuất bản năm 1982.

Mực nước sử dụng kết quả mô hình dự báo triều với các hằng số điều hòa, đã tích hợp sẵn trong phần mềm MIKE21 Toolbox-Tidal.

Số liệu gió cho toàn miền tính mở rộng được đưa vào dưới dạng trường gió ở độ cao 10m so với mặt biển, xác định theo chế độ 1 giờ 1 lần. Số liệu này là kết quả của mô hình khí hậu toàn cầu CFSR (**C**limate **F**orecast **S**ystem **R**eanalysis), bước lưới 0.312^0 x 0.312^0 của Trung tâm Dự báo môi trường thuộc cơ quan quản lý đại dương và khí quyển Mỹ (NCEP/NOAA). Đây là trường gió thu được từ mô phỏng "tái phân tích" (*reanalysis*) bao gồm việc hiệu chỉnh mô hình sử dụng các số liệu thực đo từ các hệ thống các trạm quan trắc hải văn toàn cầu nên có độ tin cậy cao. Tương tự cho yếu tố áp suất bề mặt biển. Các tham số tính toán chính của mô hình Biển Đông được trình bày trong Bảng 3.1.

Bảng 3.1: Các tham số chính của mô hình tính sóng toàn vùng Biển Đông

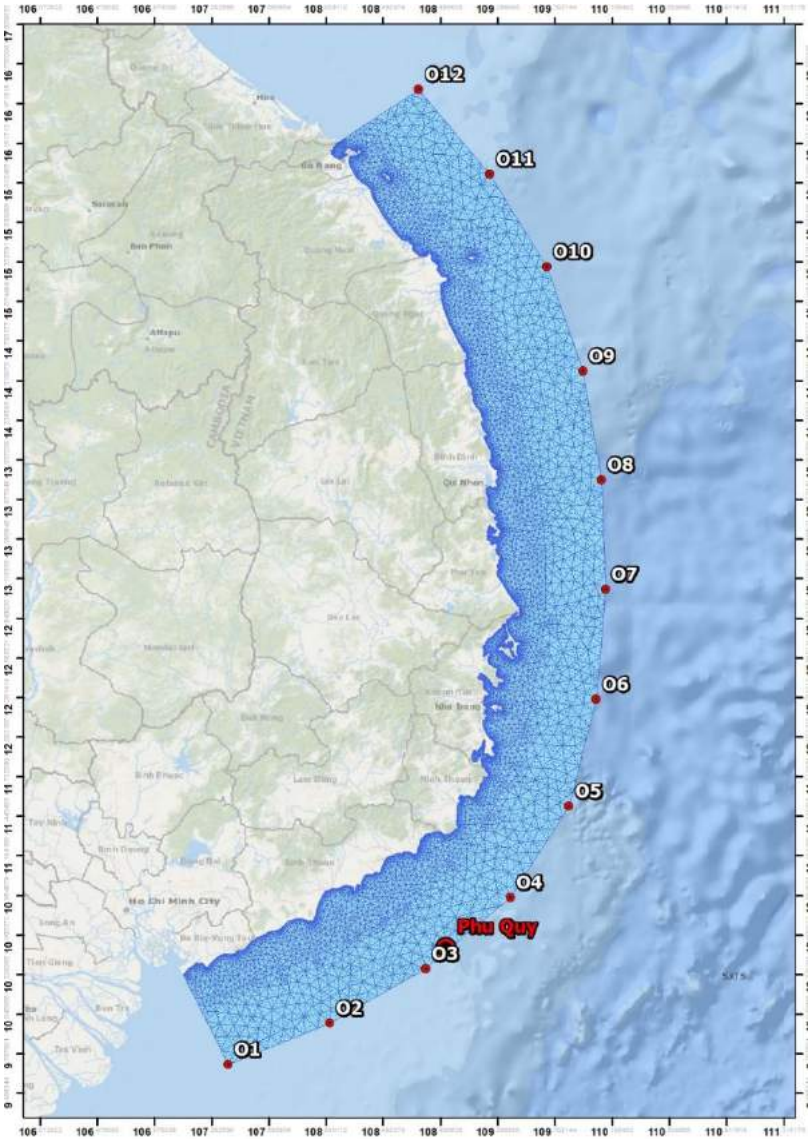
Tham số	Giá trị
Phương trình cơ bản	Mô hình phổ toàn phần (Fully spectral formulation) Chế độ động (Instationary formulation)
Rời rạc hóa phổ sóng (Spectral discretization)	Kiểu: Phân phối tần số Logarit Hướng: Quét hết không gian phổ (360 độ) Không phân tách gió biển và sóng lừng (No separation of wind-sea and swell)
Giải pháp kỹ thuật	Bước thời gian tối đa trong tính toán vận chuyển: 32 (Sơ đồ Vilsmeier và Hänel) Số bước thời gian trong tính toán nguồn: 1 (Komen et al và Hersbach)
Điều kiện mực nước	Biến đổi theo kết quả mô phỏng thủy lực song song
Điều kiện dòng chảy	Biến đổi theo kết quả mô phỏng thủy lực song song
Lực gió (Wind forcing)	Trường gió ở độ cao 10m so với mặt biển
Nhiễu xạ (Diffraction)	Bỏ qua
Hệ số truyền năng lượng	Sử dụng lý thuyết "sóng tứ" (Quadruplet-wave interaction)
Điều kiện sóng vỡ	Hằng số $\gamma = Hs/h = 0,78$
Nhám Nikuradse	Hằng số Kn =0,04
Hiệu ứng sóng bạc đầu	Hệ số phân tán Cdis = 4,5 và DELTA = 0,5
Điều kiện biên	Sử dụng tại tất cả các biên khống chế biển Đông (Lateral boundary)
Điều kiện ban đầu	Công thức kinh nghiệm phổ kiểu JONSWAP fetch growth expression

3.1.1.2 Hiệu chỉnh và kiểm định mô hình

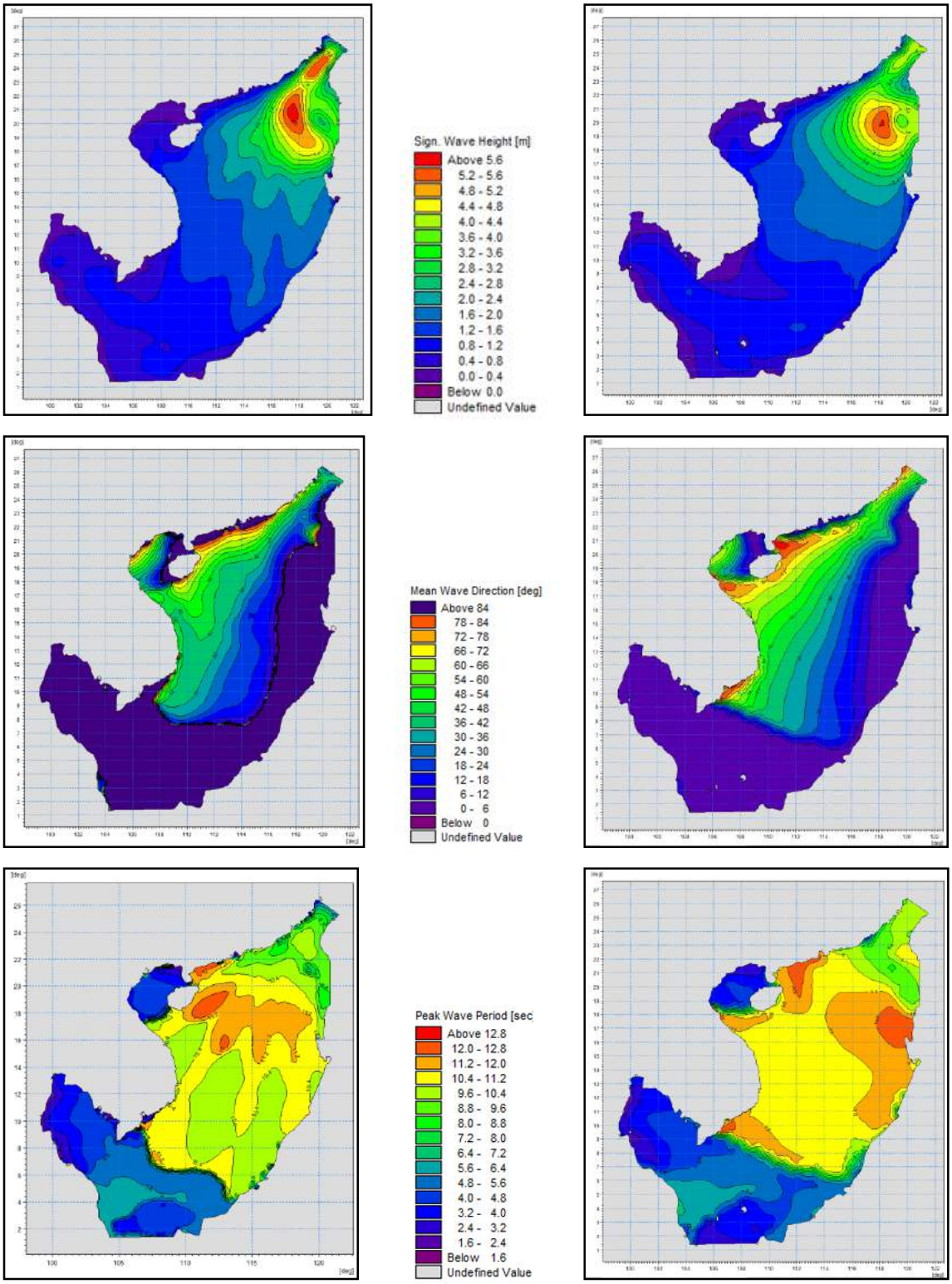
Số liệu sóng quan trắc tại trạm hải văn Phú Quý năm 2009 được thu thập phục vụ mục đích kiểm chứng mô hình Biển Đông. Ngoài ra còn sử dụng số liệu sóng quan trắc từ vệ tinh của tổ chức AVISO (Pháp). Đây là bộ sản phẩm trường sóng Ssalto/Duacs tổng hợp từ số liệu quan trắc bởi rất nhiều vệ tinh như Jason 1&2, Topex/Poseidon, Envisat, GFO, ERS1&2, và Geosat. Tuy nhiên, số liệu chỉ bao gồm chiều cao sóng có nghĩa, có bước thời gian là 1 ngày, bước lưới $1^o \times 1^o$. Kết quả sóng mô phỏng của mô hình WAVEWATCH-III cung cấp bởi NCEP/NOAA cũng được dùng để so sánh với kết quả mô hình MIKE21 SW. Số liệu này bao gồm các yếu tố như chiều cao sóng có nghĩa, chu kỳ sóng cực đại, và hướng sóng chính trung bình. Số liệu có bước thời gian là 3 giờ, bước lưới $0.5^o \times 0.5^o$.

Thời gian hiệu chỉnh và kiểm định mô hình gồm 2 giai đoạn, giai đoạn 1 từ tháng 7/2009÷9/2009 (mùa gió Tây Nam) và giai đoạn 2 từ tháng 10/2009÷12/2009 (mùa gió Đông Bắc).

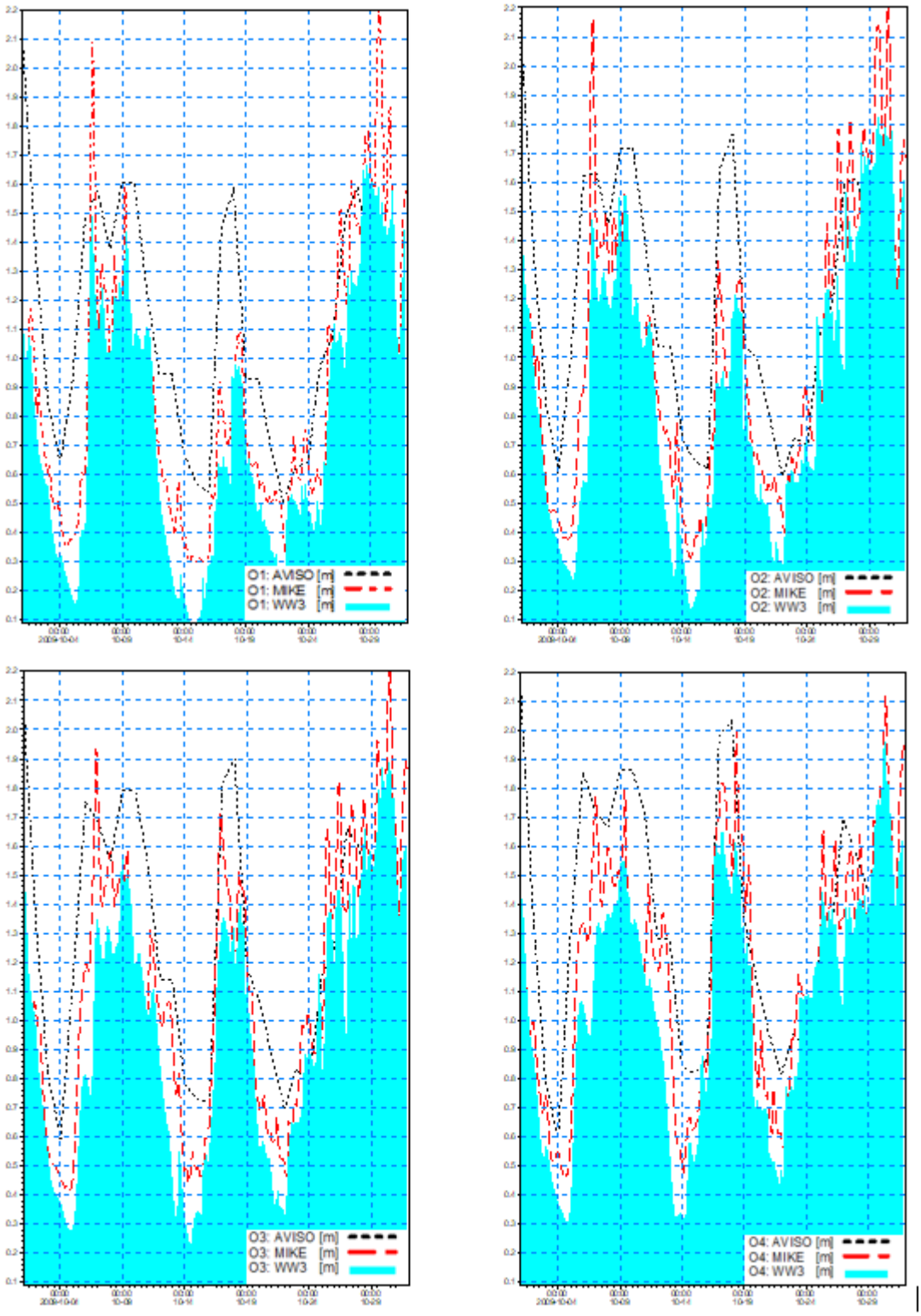
Kết quả so sánh các yếu tố sóng tính toán của mô hình Biển Đông với kết quả của mô hình WAVEWATCH-III cũng như sóng quan trắc từ vệ tinh AVISO tại các điểm từ O1÷O12 (nằm dọc trên biên mở phía biển của mô hình Nam Trung Bộ (Hình 3.2) và trạm hải văn Phú Quý được thể hiện ở các hình dưới đây.



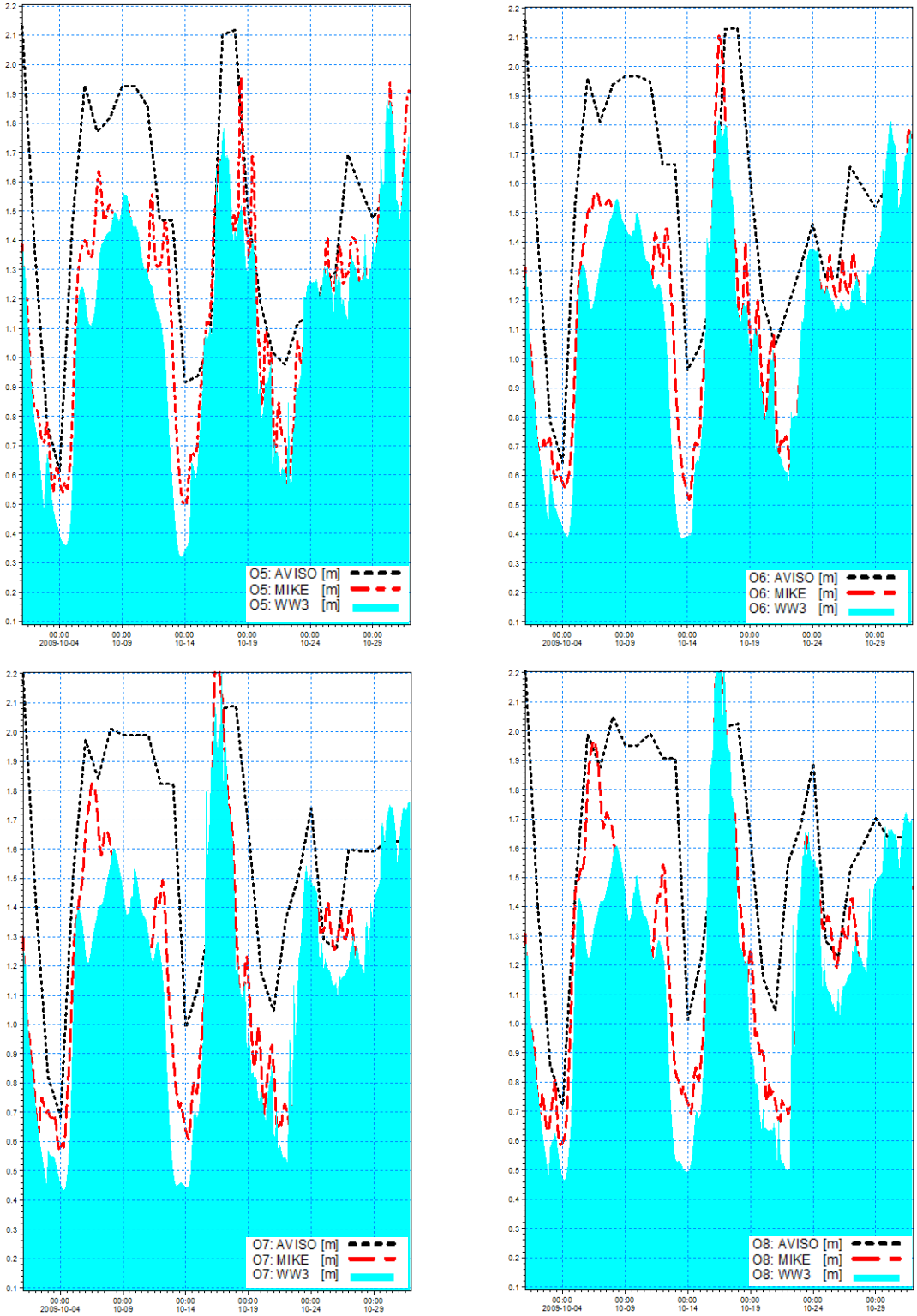
Hình 3.2: Vị trí các điểm hiệu chỉnh mô hình sóng toàn vùng Biển Đông



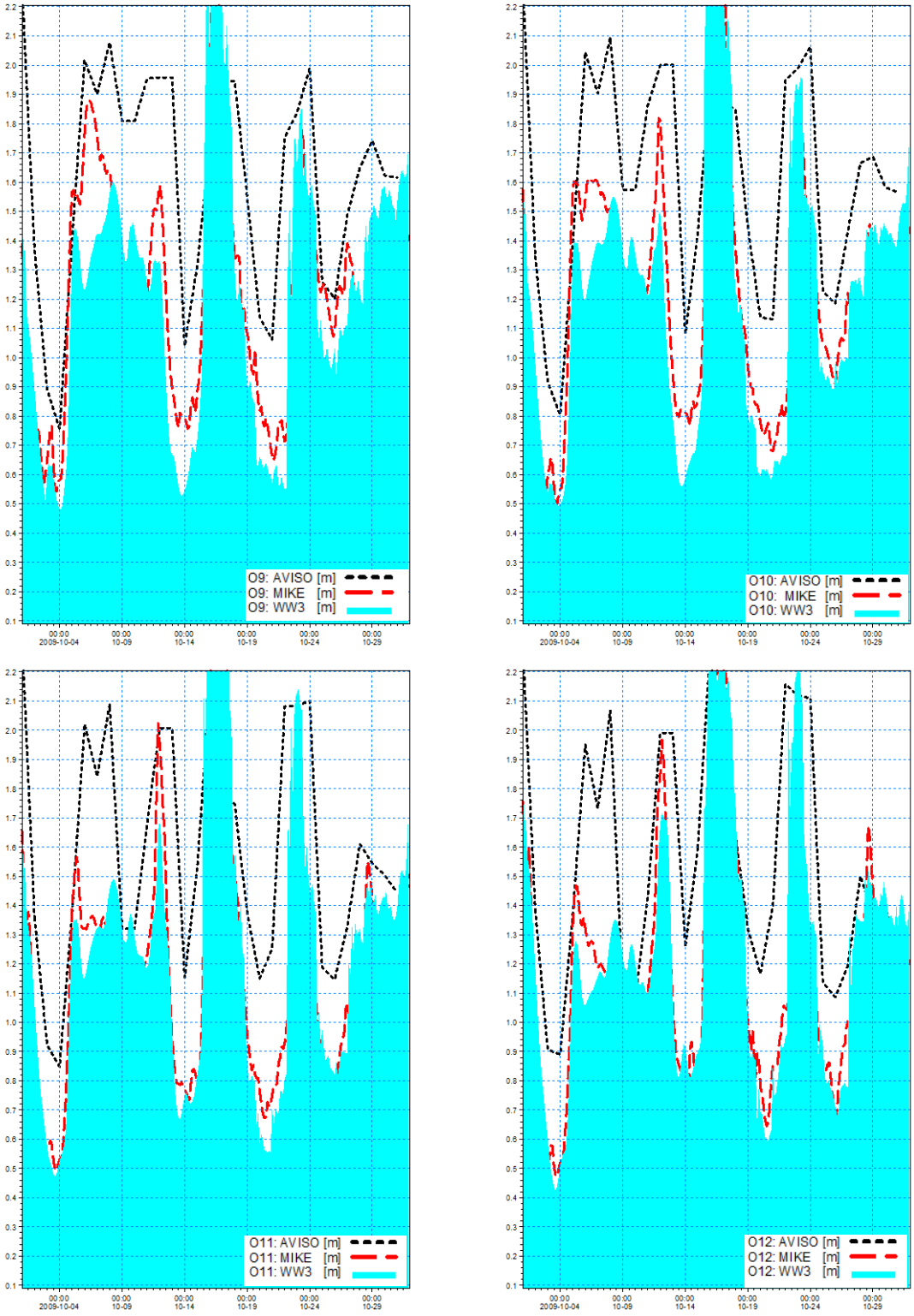
Hình 3.3: So sánh đồng mức chiều cao, hướng và chu kỳ sóng của mô hình Biển Đông (trái) với kết quả tính bằng WaveWatch-III (phải) thời điểm tương ứng



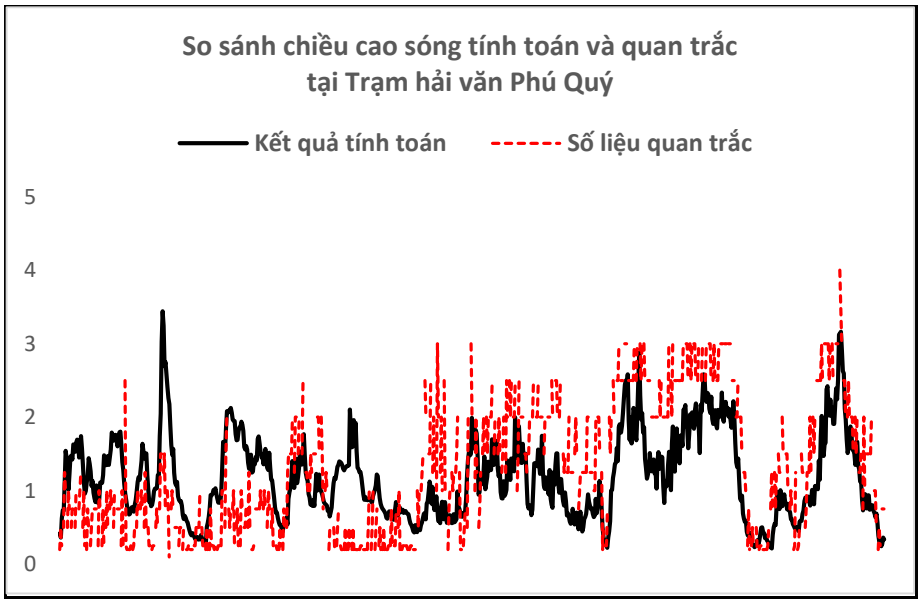
Hình 3.4: So sánh kết quả tính toán chiều cao sóng bằng mô hình (MIKE-màu đỏ, nét đứt) với kết quả mô hình WaveWatch-III (WW3-màu xanh) và dữ liệu quan trắc bằng vệ tinh AVISO (màu đen, nét đứt) tại các vị trí từ O1÷O4



Hình 3.5: So sánh kết quả tính toán chiều cao sóng bằng mô hình (MIKE-màu đỏ, nét đứt) với kết quả mô hình WaveWatch-III (WW3-màu xanh) và dữ liệu quan trắc bằng vệ tinh AVISO (màu đen, nét đứt) tại các vị trí từ O5÷O8



Hình 3.6: So sánh kết quả tính toán chiều cao sóng bằng mô hình (MIKE-màu đỏ, nét đứt) với kết quả mô hình WaveWatch-III (WW3-màu xanh) và dữ liệu quan trắc bằng vệ tinh AVISO (màu đen, nét đứt) tại các vị trí từ O9÷O12



Hình 3.7: So sánh kết quả tính toán chiều cao sóng bằng mô hình với số liệu quan trắc tại trạm Phú Quý từ 01/1/2009÷31/12/2009

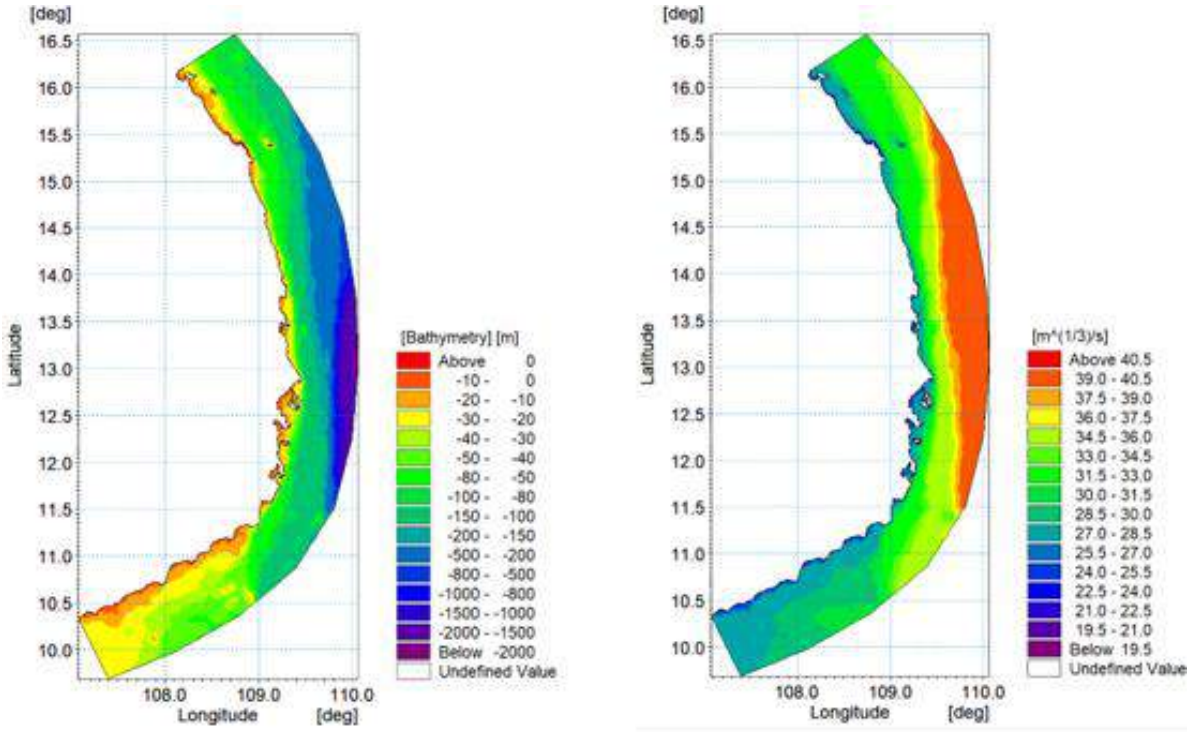
Do nguồn tài liệu sóng thực đo tại các vùng nước sâu còn hạn chế (trạm hải văn Phú Quý quan trắc sóng 6 giờ/lần chủ yếu bằng mắt thường nên khó chính xác đặc biệt khi có sóng lớn, xem Hình 3.7), Luận án đã tiến hành so sánh kết quả tính toán của mô hình Biển Đông sử dụng phần mềm MIKE21 SW (bước thời gian 1 giờ) với kết quả mô hình tái phân tích sóng quy mô toàn cầu WAVEWATCH III của Mỹ (bước thời gian 3 giờ) và dữ liệu quan trắc sóng bằng vệ tinh AVISO (bước thời gian 1 ngày). Bộ cơ sở dữ liệu sử dụng hiệu chỉnh mô hình được thu thập, chọn lọc có độ tin cậy cao, nguồn gốc rõ ràng và kết quả tính toán của mô hình Biển Đông gần như là giá trị trung bình của 2 nguồn tài liệu kể trên (Hình 3.4÷Hình 3.6).

Mô hình lan truyền sóng toàn vùng biển Đông sau khi được hiệu chỉnh cho thấy kết quả mô phỏng hoàn toàn phù hợp với các quy luật phổ biến của sóng tại khu vực nghiên cứu. Thay vì sử dụng số liệu sóng của mô hình WAVEWATCH III với bước lưới tương đối thô (0.5^0 x 0.5^0 tương ứng độ phân giải khoảng 50 Km/điểm), hoàn toàn có thể trích xuất biên tính toán từ mô hình mở rộng Biển Đông cho mô hình nghiên cứu chính ven biển Nam Trung Bộ cũng như các mô hình chi tiết khác.

3.1.2. Mô hình nghiên cứu chính vùng ven biển Nam Trung Bộ

3.1.2.1 Các tham số chính theo mô hình MIKE21/3 Couple FM

Lưới tính toán được giới hạn từ 9°41'22.00"÷16°34'2.58" vĩ độ Bắc, 107°23'59.40"÷108°44'36.63" kinh độ Đông với 3 biên mở phía biển (Hình 2.12), các biên cứng bao gồm toàn bộ đáy, đường bờ và một số đảo. Các đoạn biên mở phía biển (North, Ocean, South) sử dụng số liệu từ mô hình Biển Đông (đã tính toán phần trên) về mực nước và điều kiện sóng.



Hình 3.8: Địa hình (trái) và hệ số nhám Manning (phải) vùng Nam Trung Bộ

Tham số chính của mô hình Nam Trung Bộ về thủy lực và sóng được tóm tắt trong Bảng 3.2.

Bảng 3.2: Các tham số chính của mô hình Nam Trung Bộ

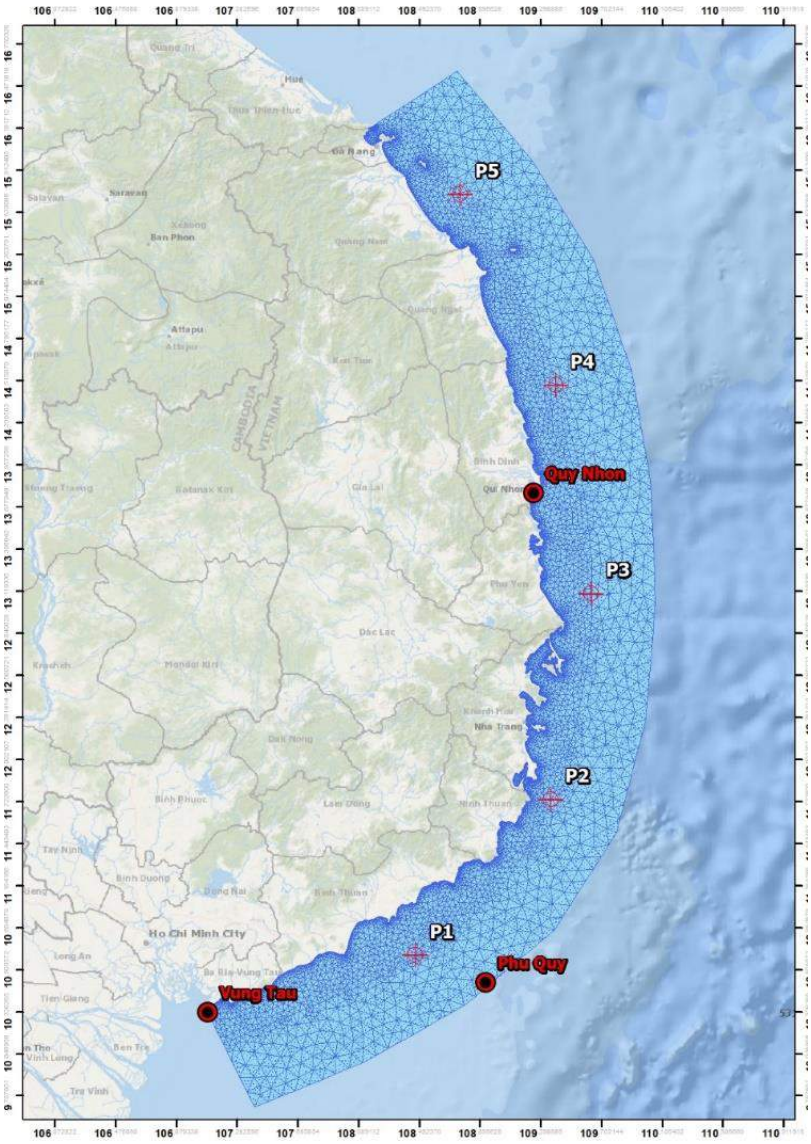
Tham số	Giá trị
Lưới tính toán	9.494 nút, 15.939 phần tử
Giải pháp kỹ thuật thủy lực	Bước thời gian tối thiểu: 0,1s Bước thời gian tối đa: 900s Số CFL tới hạn: 0,8
Điều kiện mực nước ban đầu	Sử dụng kết quả mô phỏng trước (Hotstart file)
Lực gió (Wind forcing)	Trường gió ở độ cao 10m so với mặt biển và trường áp suất bề mặt biển Đông
Bức xạ sóng (Wave radiation)	Theo kết quả mô phỏng sóng song song
Mực nước tại 3 biên hở	Lấy từ kết quả mô hình Biển Đông (Mô hình 1)
Độ nhớt rối	Giá trị từ 0,25÷0,5 m^2/s theo công thức Smagorinsky
Hệ số nhám đáy biển Manning	Giá trị từ 20÷42 $m^{1/3}/s$ theo độ sâu (Hình 3.8)
Phương trình cơ bản sóng	Phổ: Mô hình tham số được tách riêng theo hướng (Directionally decoupled parametric formulation)
Rời rạc hóa phổ sóng (Spectral discretization)	Kiểu: Phân phối tần số Logarit Hướng quét: 360 độ (Degree rose and directional sector)
Giải pháp kỹ thuật sóng	Công thức giả ổn định theo phương pháp lặp Newton-Raphson, dung sai $1x10^{-5}$
Điều kiện mực nước	Biến đổi theo kết quả mô phỏng thủy lực song song
Điều kiện dòng chảy	Biến đổi theo kết quả mô phỏng thủy lực song song
Wind forcing	Trường gió ở độ cao 10m so với mặt biển (phát triển theo SPM84)
Nhiễu xạ (Diffraction)	Bỏ qua
Điều kiện sóng vỡ	Hằng số $\gamma = Hs/h = 0,78$
Nhám Nikuradse	Hằng số Kn =0,04
Điều kiện biên	Đóng tại tất cả các biên trong sông (Closed boundary) Các biên còn lại: North, South và Ocean lấy kết quả từ Mô hình Biển Đông
Điều kiện ban đầu	Công thức kinh nghiệm phổ kiểu JONSWAP fetch growth expression

3.1.2.2 Hiệu chỉnh và kiểm định mô hình:

Bộ thông số của mô hình Nam Trung Bộ được hiệu chỉnh và kiểm định bằng chuỗi số liệu mực nước thực đo và sóng quan trắc tại một số trạm hải văn ngoài đảo và ven bờ (Bảng 3.3 và Hình 3.9).

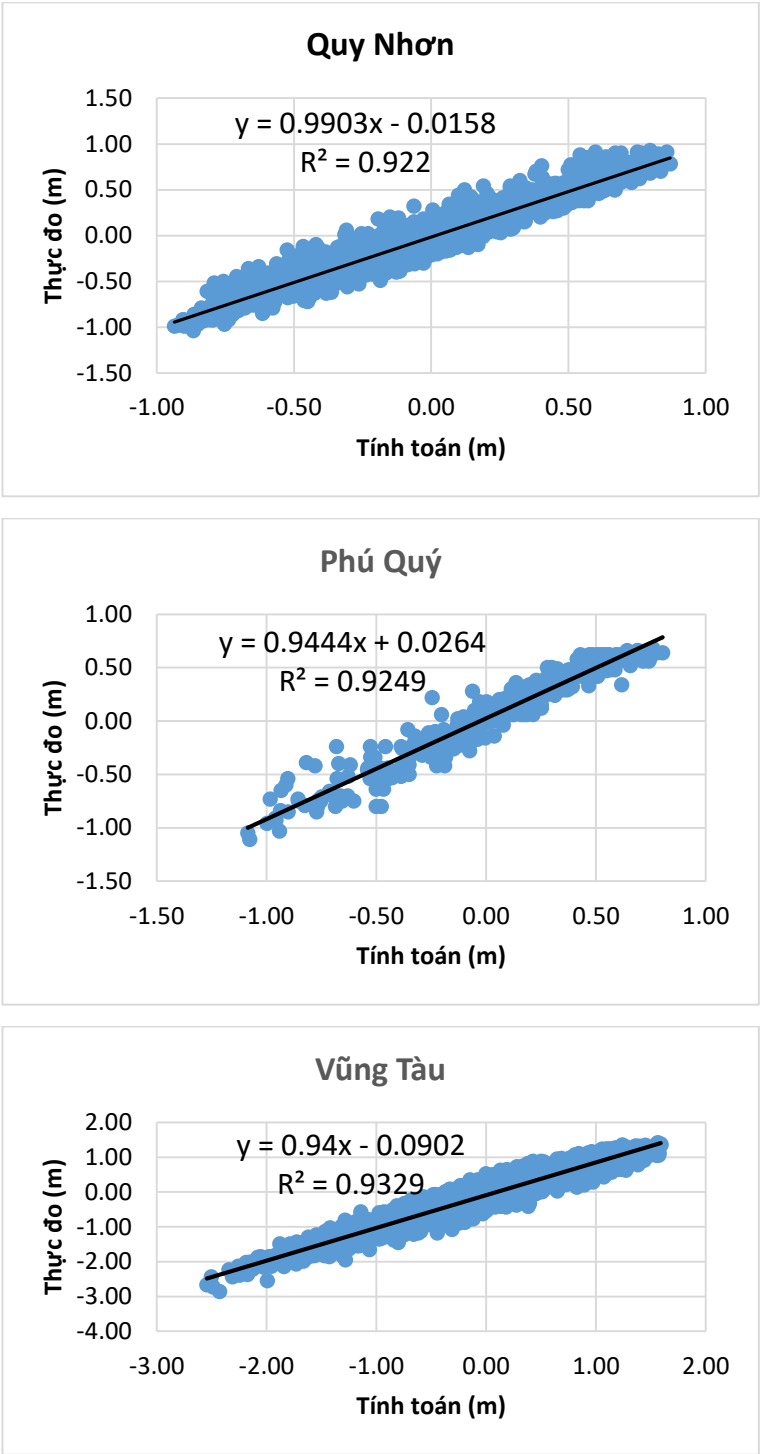
Bảng 3.3: Danh sách trạm hải văn hiệu chỉnh mô hình

TT	Tên trạm	Vị trí	Ghi chú
1	Quy Nhơn	109°15’E, 13°46’N	Mực nước thực đo
2	Phú Quý	108º56’E, 10º31’N	Mực nước, sóng thực đo
3	Vũng Tàu	107º05’E, 10º22’N	Mực nước thực đo
4	P1	108°28'E, 10°42'N	WAVEWATCH-III
5	P2	109°22'E, 11°44'N	WAVEWATCH-III
6	P3	109°38'E, 13°6'N	WAVEWATCH-III
7	P4	109°24'E, 14°29'N	WAVEWATCH-III
8	P5	108°46'E, 15°45'N	WAVEWATCH-III

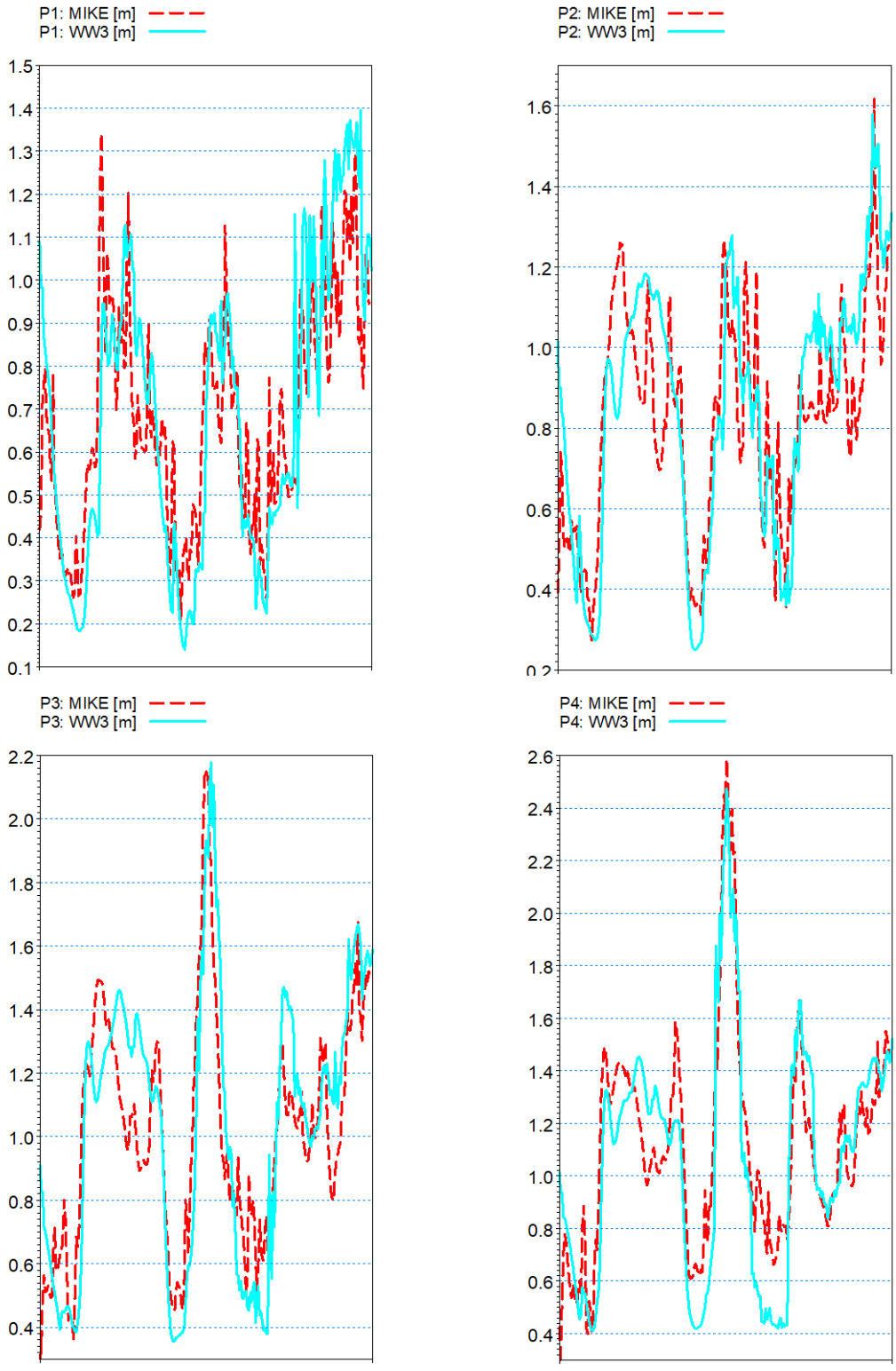


Hình 3.9: Vị trí các trạm hải văn hiệu chỉnh theo kết quả thực đo

Thời gian hiệu chỉnh mô hình gồm 2 giai đoạn: giai đoạn 1 từ tháng 7/2009÷9/2009 (mùa gió Tây Nam) và giai đoạn 2 từ tháng 10÷12/2009 (mùa gió Đông Bắc).



Hình 3.10: Tương quan giữa mực nước tính toán và kết quả thực đo tại các trạm



Hình 3.11: So sánh kết quả tính toán chiều cao sóng bằng mô hình (MIKE-màu đỏ, nét đứt) với kết quả mô hình WaveWatch-III (WW3-màu xanh) tại các vị trí

Công tác hiệu chỉnh kiểm định mô hình thủy lực và sóng cho vùng nghiên cứu chính Nam Trung Bộ đã đạt kết quả sau:

- Lập ra ma trận hệ số Manning cho mô hình nghiên cứu chính (Hình 3.8) với trị số 35→ 42 trên vùng biển sâu và 15→ 20 trên vùng nước cạn và khu vực ven bờ;

- Chọn được bước tính đảm bảo giá trị số CFL không vượt quá 1;

- Lập ra ma trận hệ số tán xạ động lượng (Eddy viscosity) tối ưu tính theo công thức Smagorinski với trị số nằm trong khoảng từ 0,25 m^2/s đến 0,50 m^2/s;

- Ảnh hưởng của sóng lên dòng chảy và ảnh hưởng của dòng chảy, dao động mực nước đã được tính đến.

So sánh kết quả tính toán mực nước triều và sóng với số liệu thực đo và kết quả của mô hình WaveWatch-III cho thấy mặc dù vẫn còn một số khác biệt nhỏ nhưng các kết quả đều đã phản ánh đúng bản chất vật lý về chế độ thủy lực và sóng tại vùng nghiên cứu. Hệ số tương quan đạt được khá lớn cho cả hai yếu tố thủy lực và sóng, từ 0,75÷0,93 (Hình 3.10÷Hình 3.11). Điều đó chứng tỏ kết quả tính toán bằng mô hình tích hợp MIKE 21/3 coupled Model FM có độ tin cậy chấp nhận được, có thể sử dụng cho công tác tính toán dòng năng lượng sóng và diễn biến hình thái tại các khu vực ven biển.

3.1.3. Kết quả tính toán dòng năng lượng sóng dải ven biển Nam Trung Bộ

3.1.3.1 Đường cơ sở và các phân vùng tính toán

Dựa vào đặc điểm hướng đường bờ và các tiêu chí phân tích trong Chương 2, Luận án đã thiết lập đường cơ sở dọc theo tuyến bờ biển Nam Trung Bộ và chia ra 4 vùng từ Bắc xuống Nam để tính toán các dòng năng lượng sóng cho toàn bộ dải ven biển Nam Trung Bộ (Hình 3.12÷Hình 3.16) như sau:

Vùng 1: Từ Bán đảo Sơn Trà đến mũi Ba Làng An (135 phân đoạn).

Vùng 2: Từ mũi Ba Làng An đến mũi Đại Lãnh (319 phân đoạn).

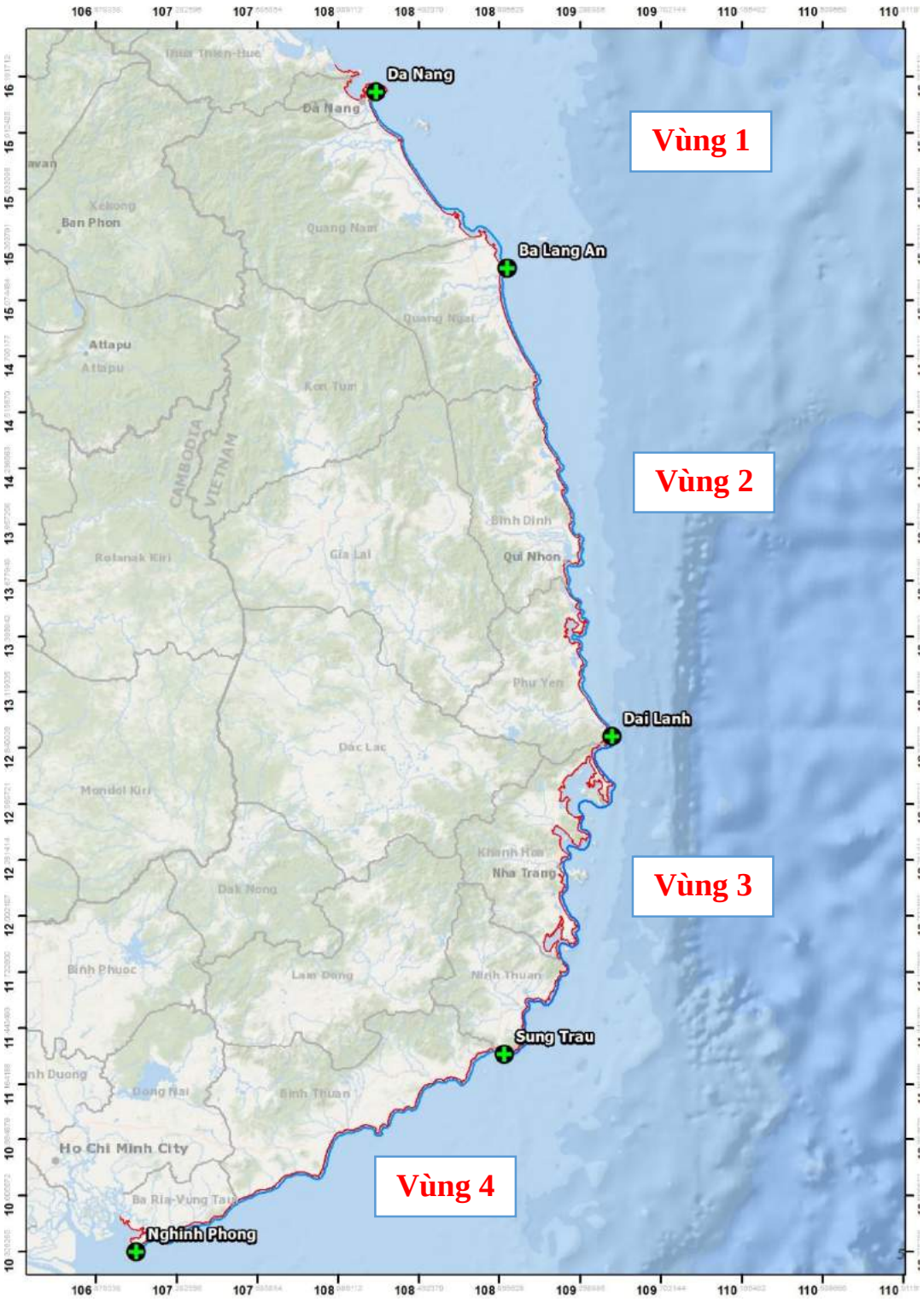
Vùng 3: Từ mũi Đại Lãnh đến mũi Sừng Trâu (270 phân đoạn).

Vùng 4: Từ mũi Sừng Trâu đến mũi Nghinh Phong (270 phân đoạn).

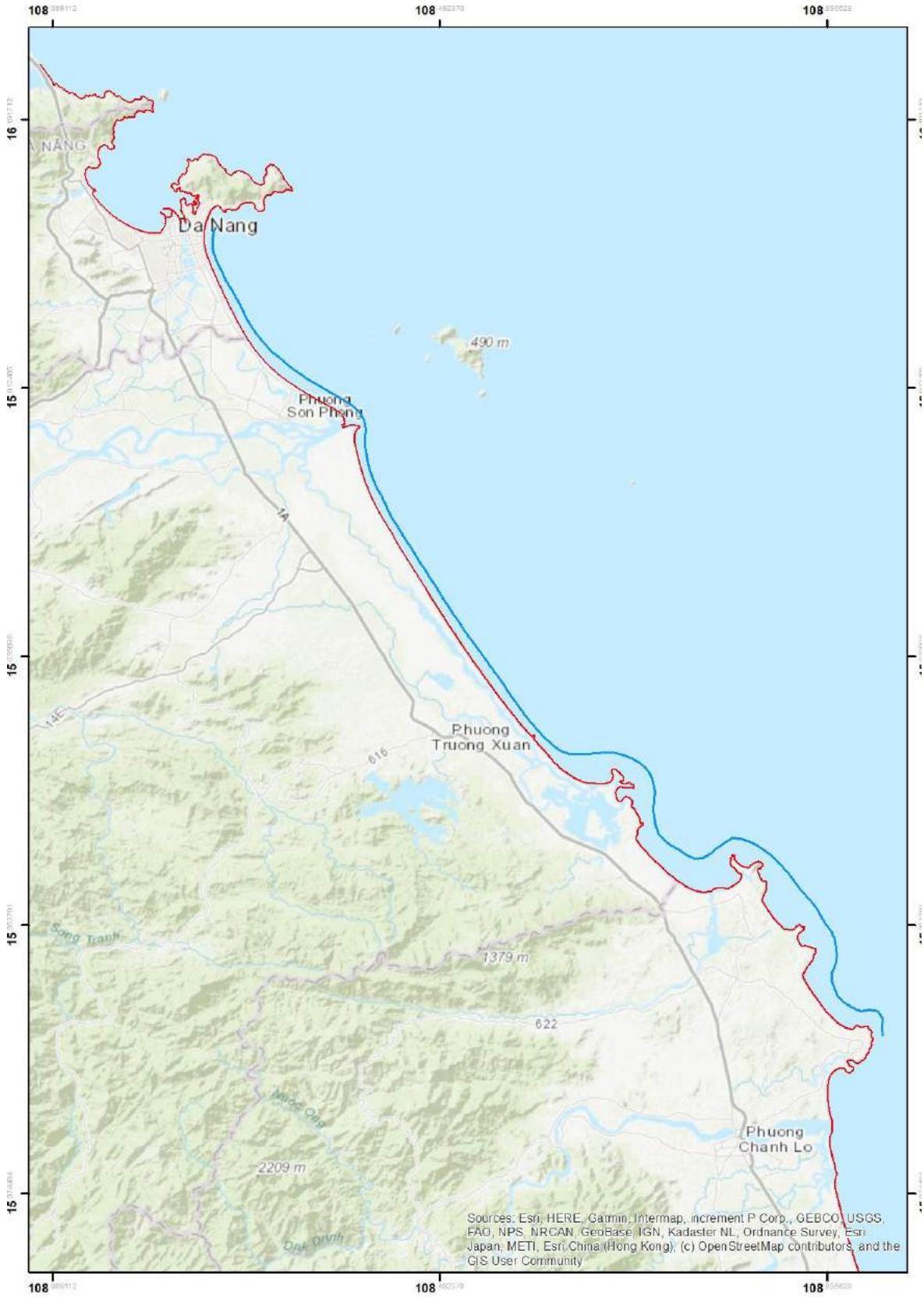
Đường cơ sở trong mỗi vùng lại được chia thành các phân đoạn nhỏ (trung bình 1km/phân đoạn) để tính toán theo trình tự:

- Tính thông lượng sóng P cho mỗi phân đoạn theo công thức (2.33).

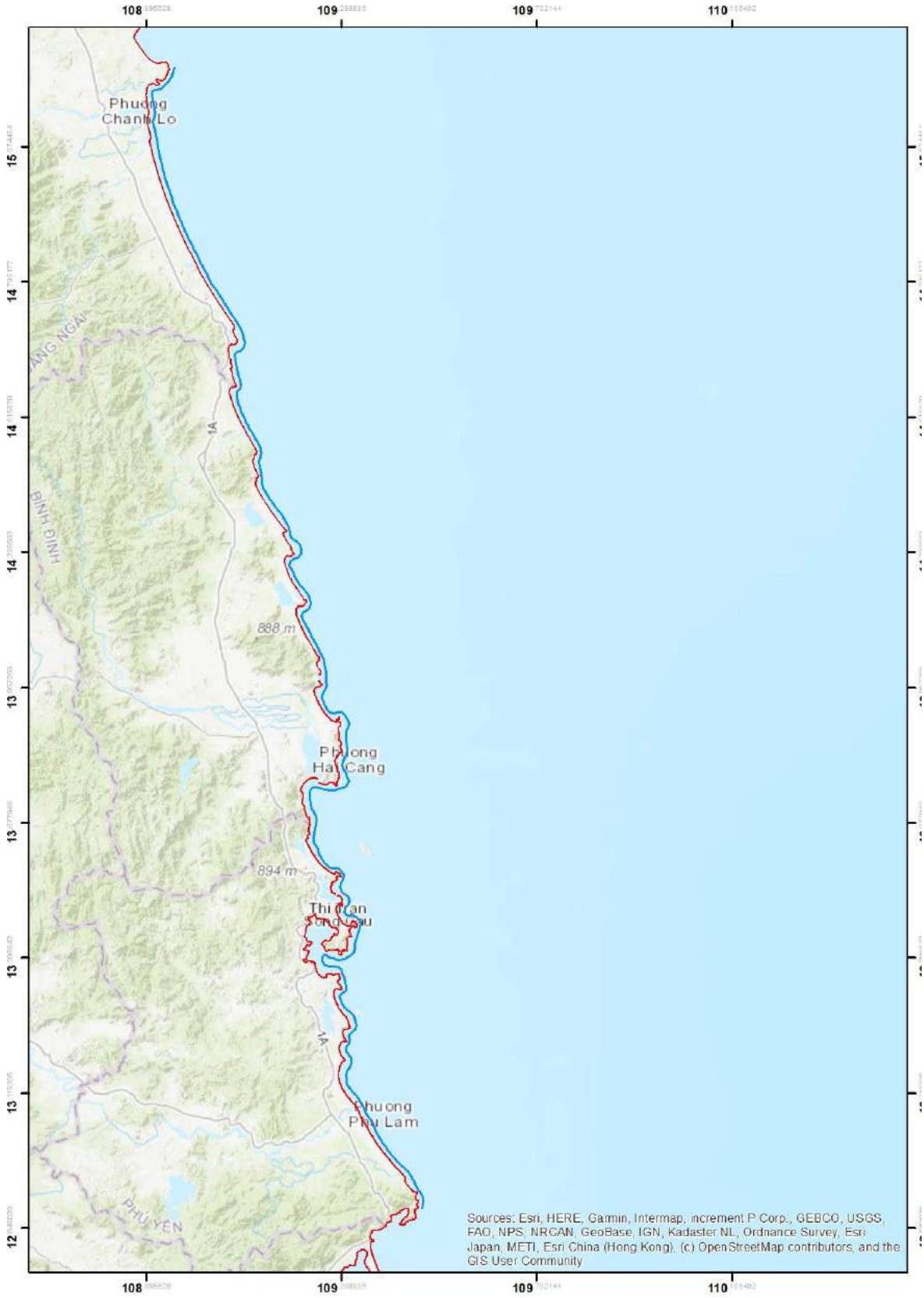
- Tính các thành phần của dòng năng lượng sóng theo phương tiếp tuyến Pt và pháp tuyến Pn qua mỗi phân đoạn theo công thức Luận án đề xuất từ (2.37) đến (2.42).



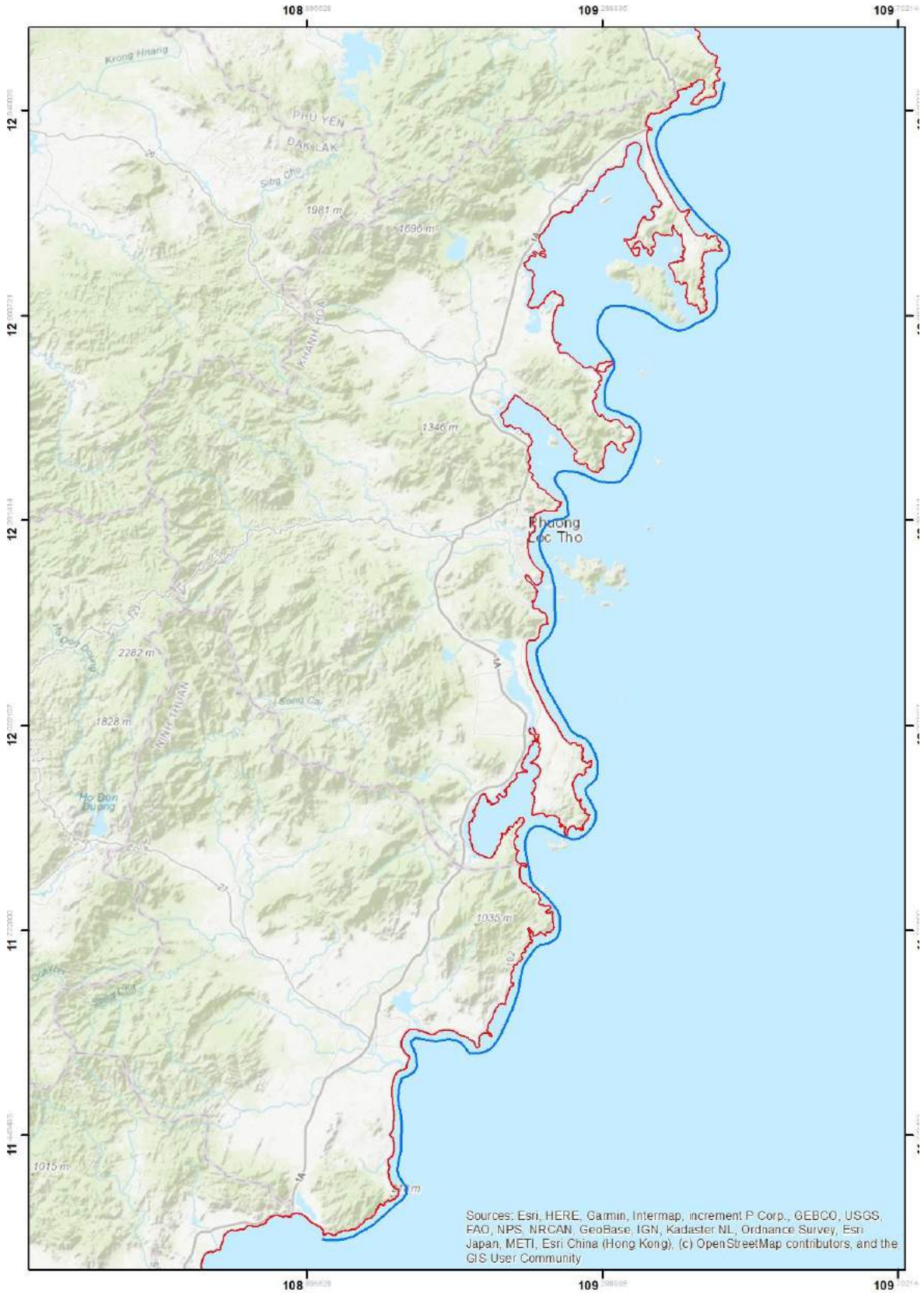
Hình 3.12: Đường cơ sở (màu xanh) và các phân vùng tính toán



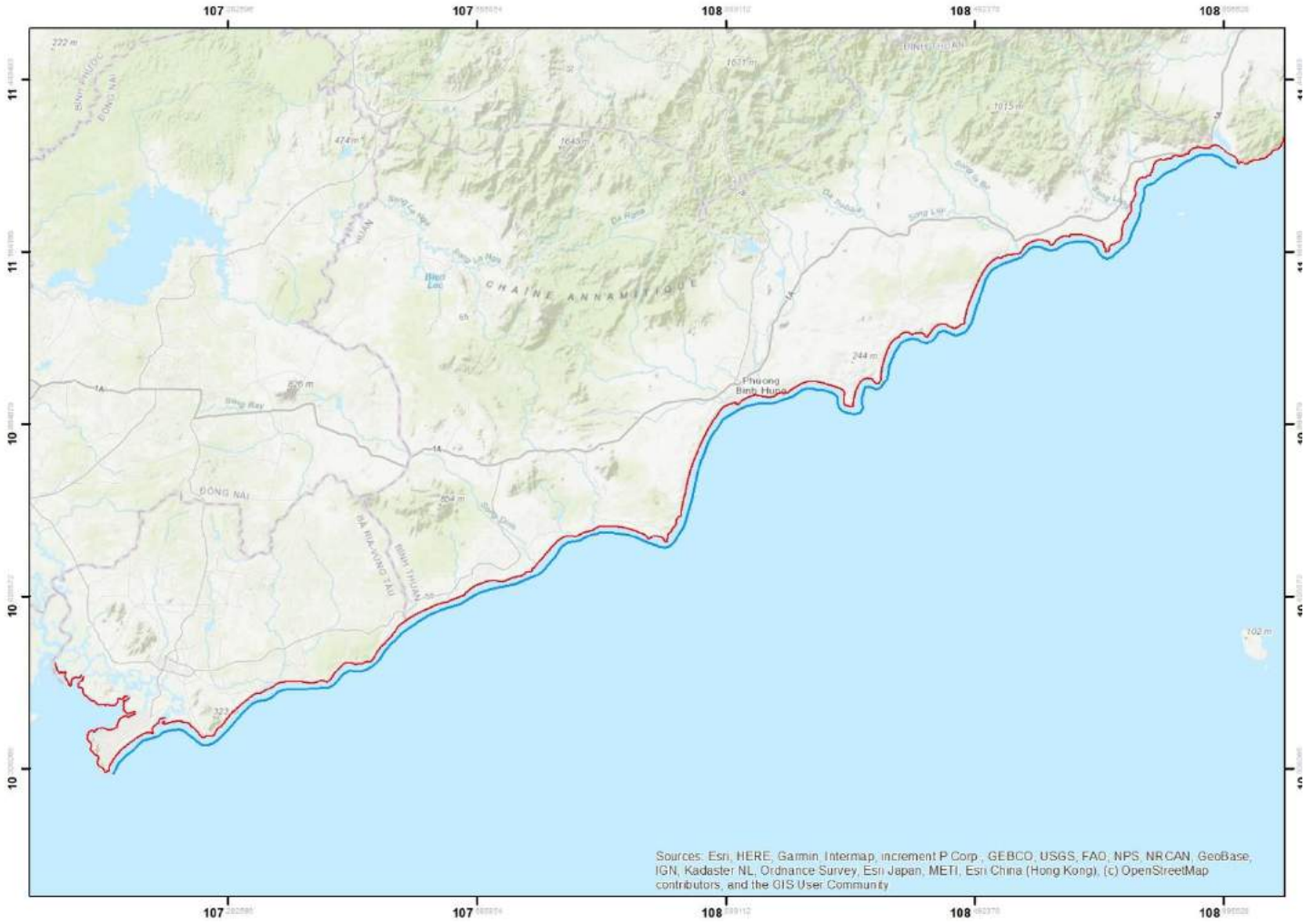
Hình 3.13: Vùng tính toán số 1 từ Bán đảo Sơn Trà đến mũi Ba Làng An



Hình 3.14: Vùng tính toán số 2 từ mũi Ba Làng An đến mũi Đại Lãnh



Hình 3.15: Vùng tính toán số 3 từ mũi Đại Lãnh đến mũi Sừng Trâu



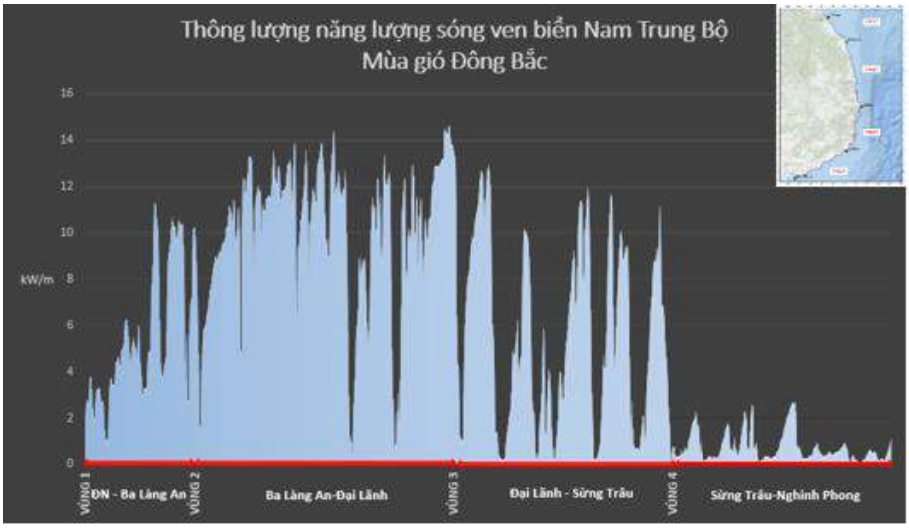
Hình 3.16: Vùng tính toán số 4 từ mũi Sừng Trâu đến mũi Nghinh Phong

3.1.3.2 Kết quả tính toán

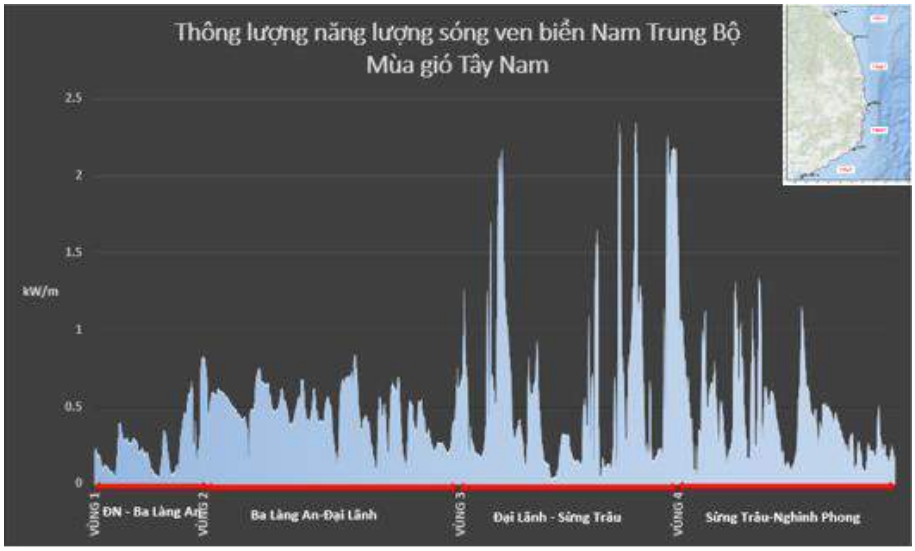
Phần dưới đây minh họa một số kết quả tính toán thông lượng hay công suất sóng P (kW/m) và các dòng năng lượng thành phần tiếp tuyến Pt và pháp tuyến Pn tại vị trí đường cơ sở cho toàn dải ven biển Nam Trung Bộ trong cả hai thời kỳ hoàn lưu Đông Bắc (tháng XI÷III) và Tây Nam (tháng VI÷VIII).

Các kết quả tính toán đã chỉ ra khu vực có năng lượng sóng lớn tập trung từ vịnh Dung Quất-Quảng Ngãi đến mũi Sừng Trâu-điểm tiếp giáp giữa hai tỉnh Ninh Thuận và Bình Thuận (vùng số 2 và 3). Thông lượng sóng ở vùng này lớn hơn từ 3 đến 7 lần so với khu vực Bắc Trung Bộ (đoạn từ Cồn Cỏ đến vịnh Đà Nẵng). Một số đoạn bờ biển nằm bên trong các vũng vịnh, được che chắn tương đối tốt có năng lượng sóng khá nhỏ so với những đoạn bờ biển trực diện.

Kết quả tính toán cũng cho thấy sự khác biệt về độ lớn gấp hàng chục lần giữa dòng năng lượng sóng vào mùa gió Đông Bắc và thời kỳ gió Tây Nam. Sóng trong mùa gió Đông Bắc có ảnh hưởng mạnh rõ rệt trên toàn dải bờ biển nghiên cứu từ Đà Nẵng đến Ninh Thuận (Hình 3.17) còn mùa Tây Nam là đoạn bờ từ sau mũi Đại Lãnh thuộc địa phận tỉnh Khánh Hòa đến mũi Nghinh Phong, tỉnh Bà Rịa-Vũng Tàu (Hình 3.18).



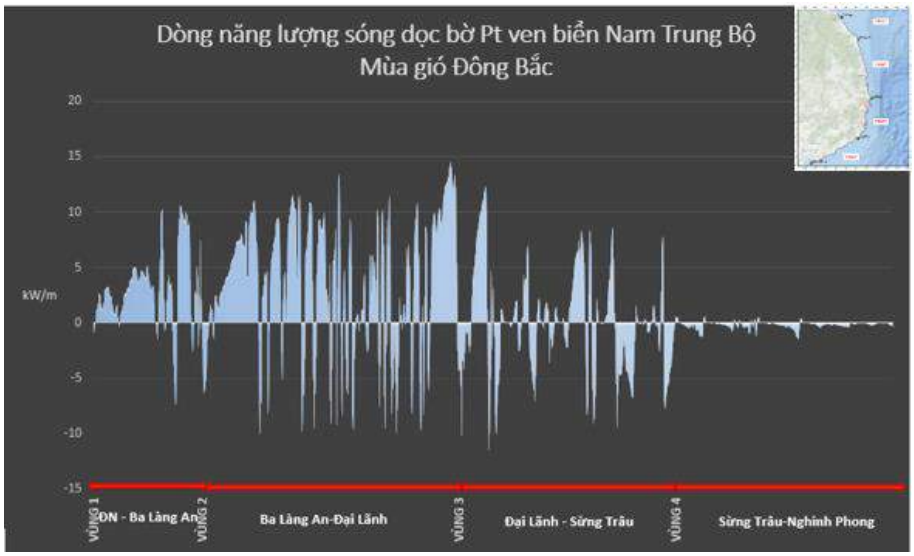
Hình 3.17: Thông lượng sóng P trong mùa gió Đông Bắc



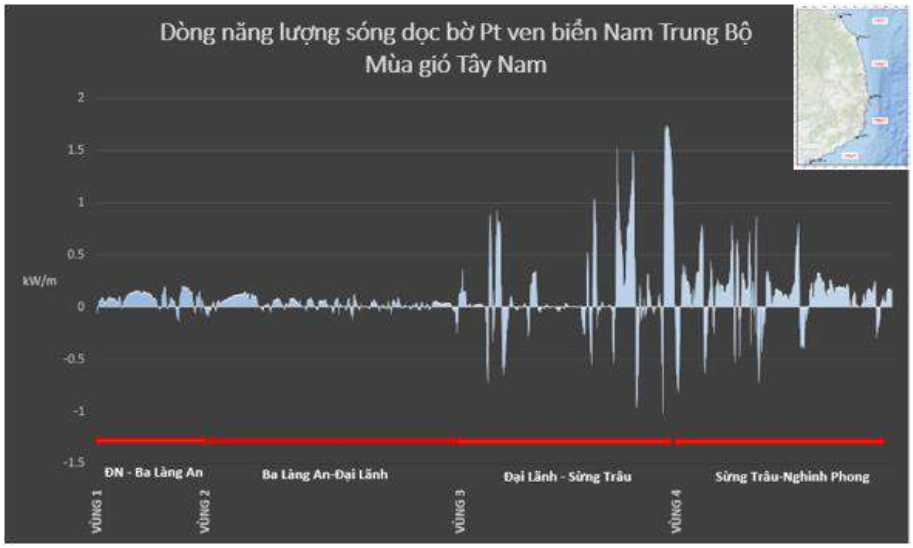
Hình 3.18: Thông lượng sóng P trong mùa gió Tây Nam

Kết quả phân tích các thành phần tiếp tuyến Pt và pháp tuyến Pn của dòng năng lượng sóng so với đường bờ đã có thể giải thích chế độ sóng và dòng chảy biến đổi theo các mùa gió trong năm, cả về hướng và cường độ dẫn đến quá trình vận chuyển cát theo mùa, hệ quả dẫn đến hiện tượng xói lở hay bồi lấp vùng ven biển khu vực Nam Trung Bộ. Tác động của sóng có thể trực tiếp gây xói lở bờ và vận chuyển các phần tử vật chất ra xa bờ thông qua thành phần Pn và hoặc di chuyển dọc bờ biển đến tích tụ ở nơi khác thông qua thành phần Pt.

Thời kỳ hoàn lưu Đông Bắc (Hình 3.19), trong khi dòng ven bờ trung bình từ Đà Nẵng-Quảng Nam (vùng 1) có hướng thịnh hành Đông Bắc là chủ yếu (Pt>0) thì khu vực từ Bình Thuận đến Vũng Tàu (vùng 4) dòng chảy đa phần có hướng Tây Nam (Pt<0). Thời kỳ hoàn lưu Tây Nam (Hình 3.20), ngoài vùng số 4 chịu ảnh hưởng mạnh của trường gió mùa, dòng chảy trung bình có hướng Đông Bắc chủ yếu, còn lại toàn dải Nam Trung Bộ có dòng năng lượng sóng ven bờ khá nhỏ, đặc biệt dòng chảy khu vực từ Đà Nẵng-Quảng Nam (vùng 1) vẫn giữ nguyên hướng Đông Bắc.

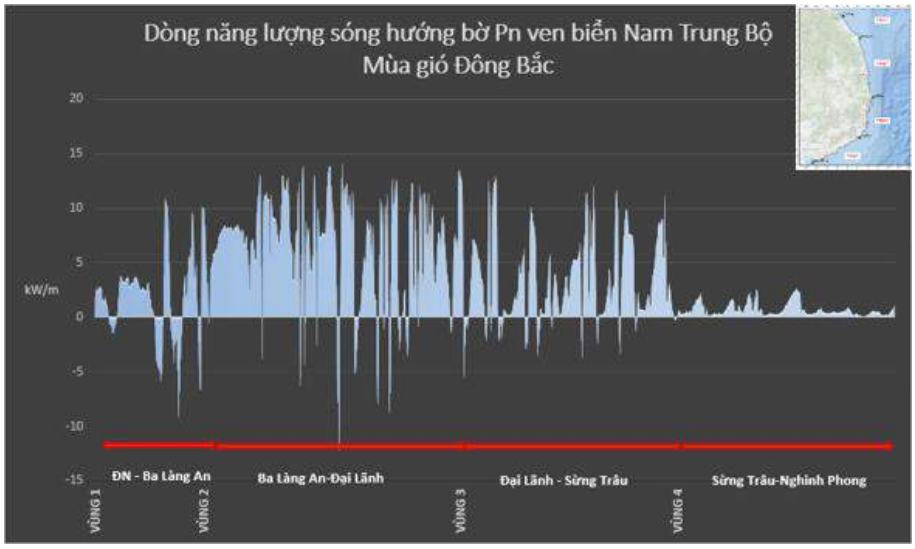


Hình 3.19: Dòng năng lượng sóng dọc bờ Pt trong mùa gió Đông Bắc

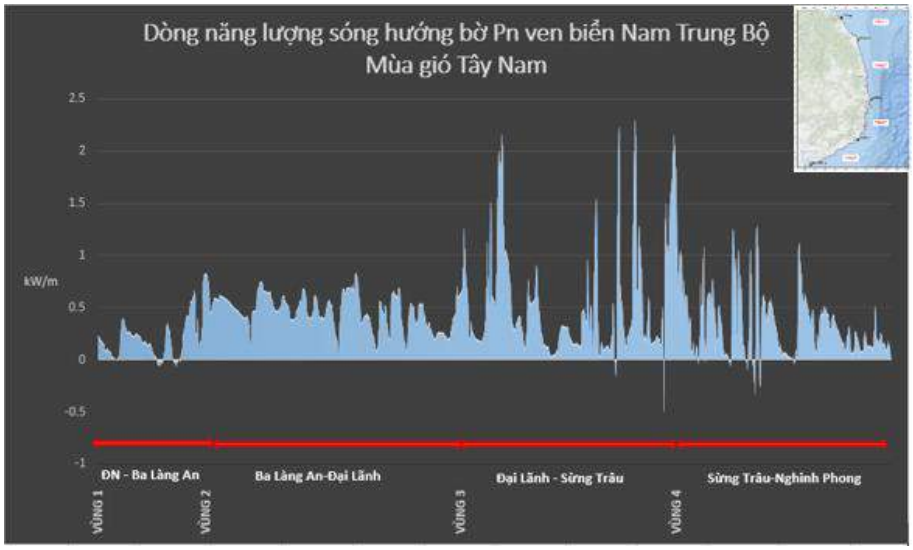


Hình 3.20: Dòng năng lượng sóng dọc bờ Pt trong mùa gió Tây Nam

Những khu vực có dòng năng lượng sóng hướng bờ lớn (Pn>0) từ Quảng Ngãi đến Ninh Thuận trùng hợp với các khu vực có các đoạn bờ biển bị xâm thực mạnh, có nhiều sạt lở, đã và đang phải xử lý, nhất là vào mùa gió Đông Bắc (Hình 3.21). Mùa gió Tây Nam, cùng thời điểm khi dòng năng lượng dọc bờ Pt khá nhỏ thì hầu hết dòng năng lượng sóng hướng bờ Pn trên toàn dải NTB đều có giá trị dương (Hình 3.22), điều này cho thấy khả năng bồi tụ trong mùa Tây Nam là lớn hơn so với thời kỳ hoàn lưu gió Đông Bắc. Do đặc điểm địa hình khu vực Nam Trung Bộ có nhiều mũi đâm ra biển, đường bờ khúc khuỷu và có nhiều vũng, vịnh nên giá trị của Pn và Pt thường thay đổi dấu gần các vị trí đặc biệt này.

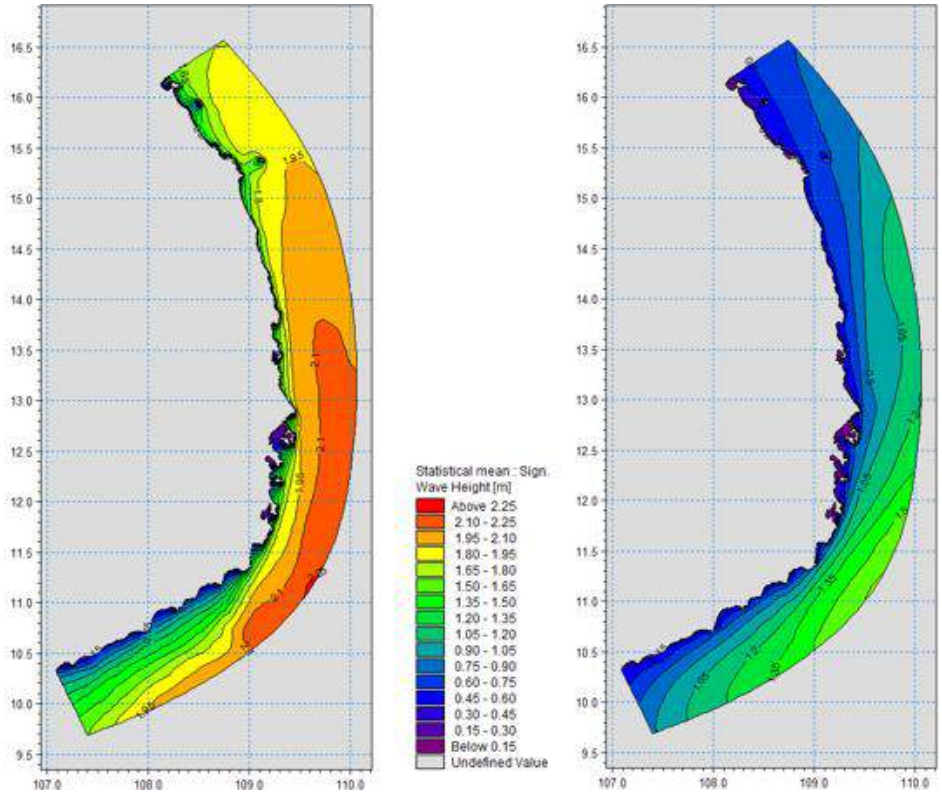


Hình 3.21: Dòng năng lượng sóng hướng bờ Pn trong mùa gió Đông Bắc

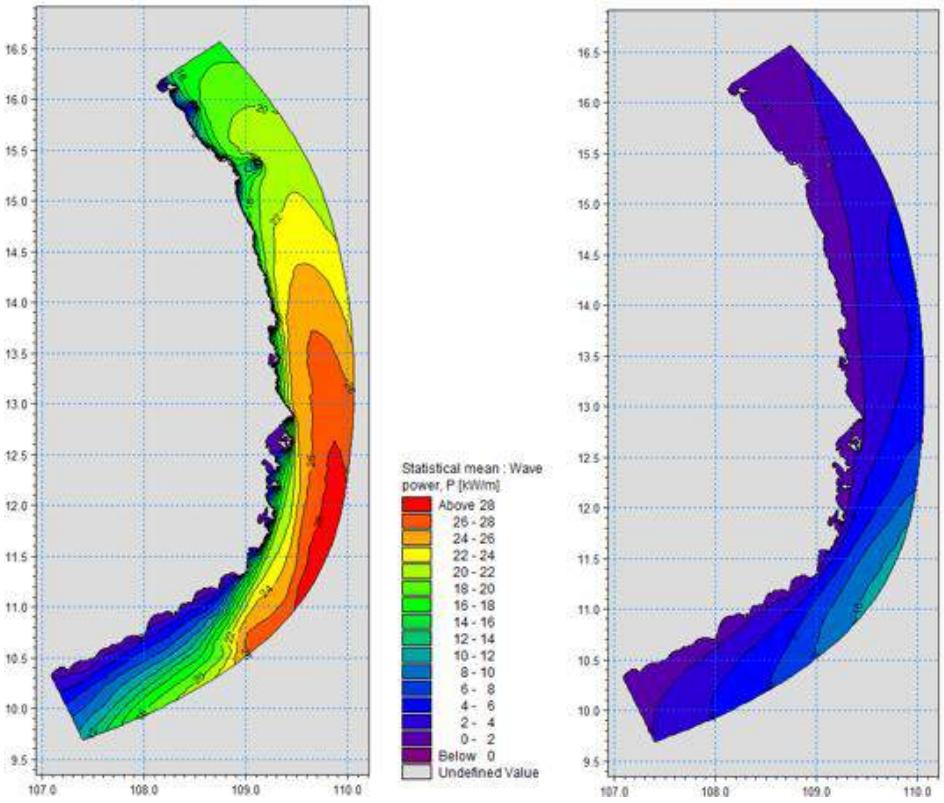


Hình 3.22: Dòng năng lượng sóng hướng bờ Pn trong mùa gió Tây Nam

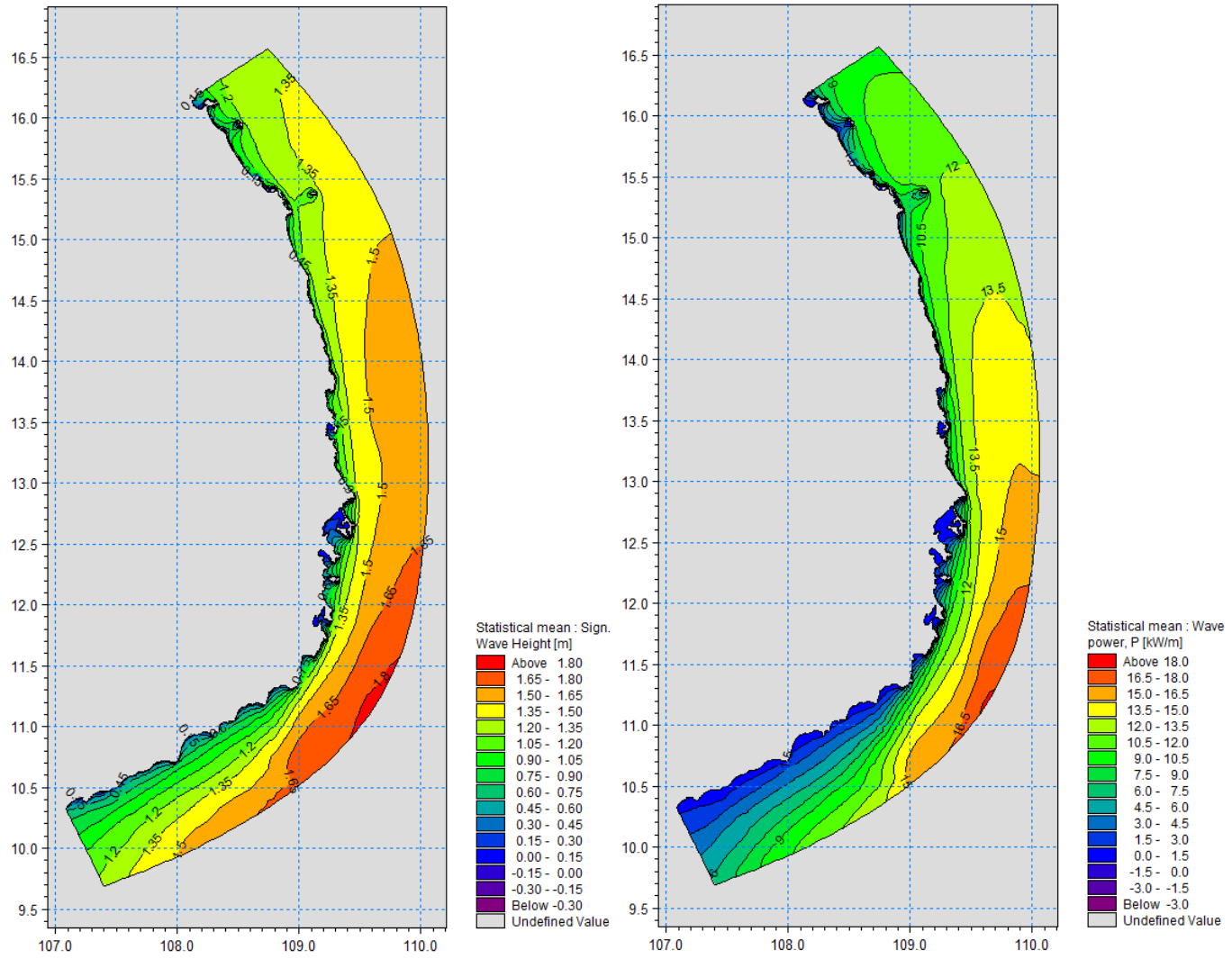
Ngoài ra, trong nghiên cứu này, tác giả đã xây dựng bản đồ năng lượng sóng (kW/m) cho khu vực Nam Trung Bộ gồm các thông tin về trường sóng: độ cao sóng có nghĩa, chu kỳ sóng trung bình, hướng truyền năng lượng sóng cũng như Atlas năng lượng sóng trung bình (Hình 3.23÷Hình 3.25).



Hình 3.23: Bản đồ trung bình độ cao sóng mùa Đông Bắc (trái) và Tây Nam (phải)



Hình 3.24: Bản đồ năng lượng sóng trung bình mùa Đông Bắc (trái) và Tây Nam



Hình 3.25: Bản đồ độ cao (trái) và năng lượng sóng (phải) trung bình năm khu vực Nam Trung Bộ

3.2. Mối liên hệ giữa dòng năng lượng sóng Pt dọc bờ và Pn hướng bờ với hiện tượng xói lở-bồi tụ ở khu vực Nam Trung Bộ

Dựa vào lý luận (Phần 2.1) và kết quả tính toán phân vùng năng lượng sóng (Phần 3.1), Luận án đã tiến hành khảo sát chi tiết tại một số cung bờ có số liệu điều tra thực tế để kiểm chứng về quy luật liên hệ giữa các dòng năng lượng sóng (*Pt* và *Pn*) trên đường cơ sở với tình trạng xói lở-bồi tụ ở các khu vực này. Những khu vực có đường cơ sở nằm giữa đảo và bờ thì sóng tại đường cơ sở đã xét đến ảnh hưởng nhiễu xạ, che chắn của các đảo.

3.2.1. Đoạn bờ khu vực cửa Đại – Hội An (Quảng Nam)

Đoạn bờ biển khu vực cửa Đại-Hội An thuộc tỉnh Quảng Nam có "đường cơ sở" dài khoảng 22,7 km gồm 24 phân đoạn tính toán thuộc phân vùng năng lượng sóng số 1 (Hình 3.26).

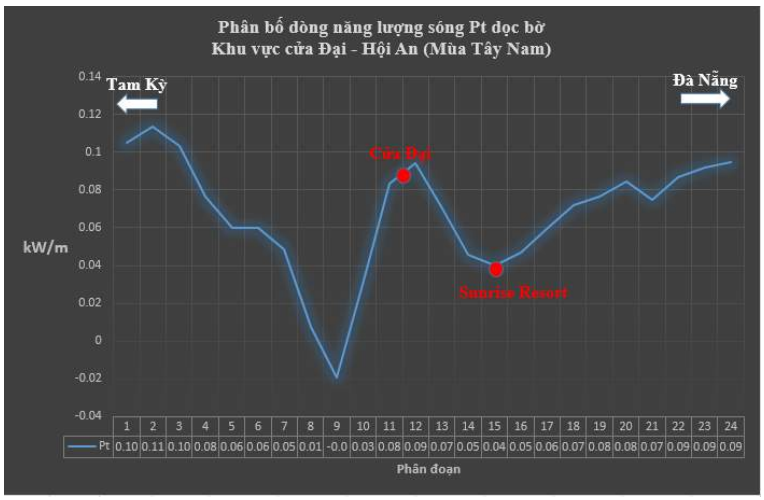
Hình 3.26: Cung bờ tính toán khu vực cửa Đại – Hội An

Xói lở bờ biển khu vực cửa Đại xảy ra nghiêm trọng trong khoảng 10 năm gần đây, không chỉ đe dọa an toàn dối với các công trình kiến trúc và con người mà còn gây ra sự thay đổi nghiêm trọng địa hình, địa mạo của khu vực này. Từ năm 2004÷2017, khoảng 7,6 km bờ biển tính từ mép cửa Đại về phía Bắc đến Phường Cẩm An là khu vực bị sạt lở mạnh, biển lấn sâu vào đất liền với khoảng cách lớn nhất

190m (số liệu hình thái đường bờ qua phân tích ảnh viễn thám) trong đó mạnh nhất là đoạn bờ 4,5km phía Bắc tiếp giáp với cửa Đại [4]. Nhiều vị trí bị xói sâu vào tận các khu nghỉ dưỡng gây sụt lở (khách sạn Victoria, Golden Sand, Sunrise) hoặc phá hủy công trình kè của các khu nghỉ dưỡng này (khách sạn Fusion, Vinpearl).

Điều này được giải thích như sau:

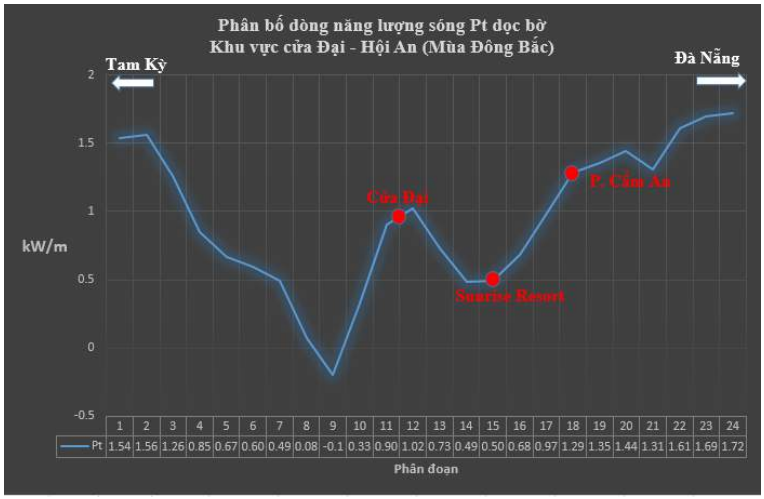
- Dòng ven bờ chịu chi phối bởi dòng năng lượng sóng tiếp tuyến Pt: Vào mùa Tây Nam, dòng chảy có hướng Tây Bắc (Pt>0: từ Tam Kỳ ra Đà Nẵng), đoạn 8km đầu cường độ bị giảm đi do mũi đất bờ Nam cửa Đại cản bớt, tăng dần khi đến cửa Đại sau đó bắt đầu giảm đến vị trí khu nghỉ dưỡng Sunrise Resort trước khi tăng trở lại về hướng Đà Nẵng (Hình 3.27).



Hình 3.27: Dòng năng lượng sóng Pt khu vực cửa Đại mùa gió Tây Nam

Trong mùa gió Đông Bắc, Pt>0 dòng chảy vẫn theo hướng Tây Bắc, từ Tam Kỳ ra Hội An (Phân bố chi tiết cho thấy: cũng giống như mùa Tây Nam, do ảnh của cửa Đại nên tại phân đoạn số 9 có Pt<0: dòng chảy ngược lại). Tuy nhiên cường độ dòng năng lượng sóng nhất là đoạn phía Bắc cửa Đại trong mùa gió Đông Bắc lớn hơn khoảng từ 18÷20 lần so với mùa Tây Nam (Hình 3.28). Theo nghiên cứu trước đây của *Nguyễn Kim Đan* [4] về một trong những nguyên nhân gây xói lở khu vực phía Bắc của cửa Đại thì "*Dưới tác dụng của gió mùa Đông Bắc, có một điểm giữa Sunrise Resort và Fusion Resort, nơi mà các dòng chảy dọc bờ và vận chuyển trầm tích dọc bờ chia thành hai hướng trái ngược nhau, dòng này chảy về phía Bắc và dòng khác hướng về phía Nam. Một mặt, dòng chảy dọc bờ hướng Nam, cản trở dòng chảy trầm*

tích đi ra từ phía Bắc cửa Đại. Mặt khác, đoạn kéo dài từ Sunrise Resort đến Fusion Resort, nơi có điểm đảo ngược dòng chảy, có nguy cơ mất cân bằng cát vĩnh viễn, và do đó luôn ở trong tình trạng xói lở".

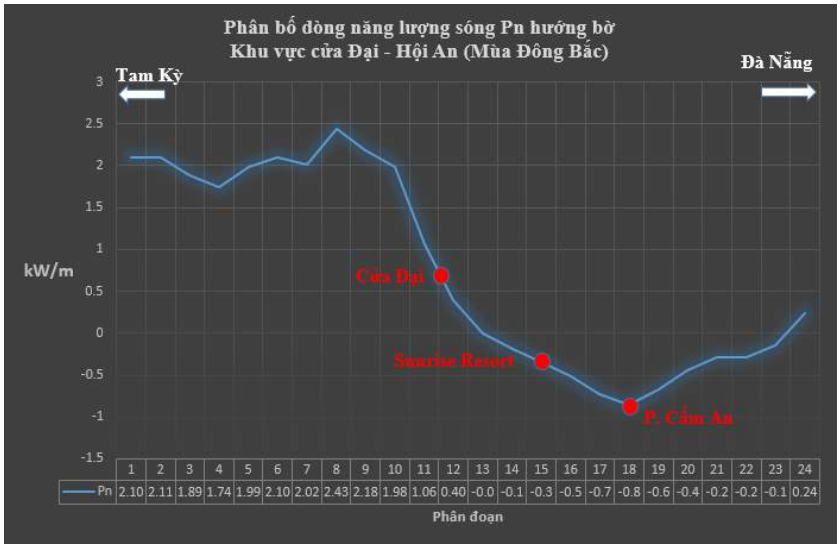


Hình 3.28: Dòng năng lượng sóng Pt khu vực cửa Đại mùa gió Đông Bắc

- Thành phần pháp tuyến Pn: Vào mùa Tây Nam, dòng năng lượng sóng hướng bờ tăng từ 0,24 kW/m đến 0,35 kW/m khi đến gần cửa Đại sau đó có giảm dần về giá trị không tại khu nghỉ dưỡng Sunrise Resort (Hình 3.29). Do Pn>0 (hướng vào bờ) có xu thế mạnh dần trong khi Pt giảm khi đến gần vị trí cửa Đại nên tại các khu vực phía Nam này (8km đầu) có thể xói lở nhẹ. Theo *Nguyễn Kim Đan* [4], khu vực này đường bờ tương đối ổn định.

Hình 3.29: Dòng năng lượng sóng Pn khu vực cửa Đại mùa gió Tây Nam

Mùa gió Đông Bắc (Hình 3.30), khu vực phía Nam cửa Đại dòng Pn tương đối ổn định (mức 1,7÷2,0 kW/m) trong khi khu vực phía Bắc, Pn giảm dần và từ khách sạn Fusion (phân đoạn tính số 14) đến Phường Cẩm An thì mang giá trị âm (Pn<0). Điều này có nghĩa, trong khi dòng ven bờ mang bùn cát về phía Bắc thì dòng vuông góc lại mang bùn cát ra phía biển [4]. Sau Cẩm An, Pn tăng theo hướng về Đà Nẵng.



Hình 3.30: Dòng năng lượng sóng Pn khu vực cửa Đại mùa gió Đông Bắc

- Phân tích Gradient các thành phần dòng năng lượng sóng: Theo quy ước chiều dương của Pt (Chương 2) có hướng từ Tam Kỳ ra Đà Nẵng, tiến hành tính toán gradient cho dòng năng lượng sóng Pt theo không gian (dọc đường cơ sở) và theo thời gian (xét trong một thời đoạn tính) ta có kết quả như Bảng 3.4. Còn giá trị đạo hàm bậc nhất cho dòng năng lượng sóng Pn theo thời gian tại khu vực cửa Đại-Hội An được thể hiện trong Bảng 3.5.

Bảng 3.4: Gradient Pt theo không gian và thời gian khu vực cửa Đại-Hội An

TT	Phân đoạn	Chiều dài (m)	Gradient Pt dọc theo bờ (kW/m)		Ghi chú
			Mùa Tây Nam	Mùa Đông Bắc	
1	1-2	998	0,009	0,024	
2	2-3	998	-0,010	-0,305	
3	3-4	998	-0,027	-0,407	
4	4-5	998	-0,017	-0,184	
5	5-6	998	0,000	-0,071	
6	6-7	998	-0,011	-0,103	
7	7-8	997	-0,041	-0,418	
8	8-9	997	-0,027	-0,270	

TT	Phân đoạn	Chiều dài (m)	Gradient Pt dọc theo bờ (kW/m)		Ghi chú
			Mùa Tây Nam	Mùa Đông Bắc	
9	9-10	997	0,051	0,524	Cửa Đại
10	10-11	994	0,051	0,571	
11	11-12	996	0,011	0,119	
12	12-13	998	-0,024	-0,292	
13	13-14	998	-0,024	-0,240	
14	*14-15*	*998*	-0,006	0,007	
15	*15-16*	*998*	0,007	0,187	*Sunrise*
16	*16-17*	*998*	0,013	0,291	
17	*17-18*	*998*	0,013	0,314	
18	*18-19*	*998*	0,005	0,066	*Cẩm An*
19	*19-20*	*998*	0,008	0,085	
20	20-21	998	-0,010	-0,127	
21	21-22	998	0,012	0,294	
22	22-23	998	0,005	0,089	
23	23-24	998	0,003	0,028	

Bảng 3.5: Đạo hàm của Pn theo thời gian khu vực cửa Đại-Hội An

TT	Phân đoạn	Chiều dài (m)	Đạo hàm của Pn		Ghi chú
			Mùa Tây Nam	Mùa Đông Bắc	
1	1-2	998	0,029	-0,010	
2	2-3	998	0,024	-0,010	
3	3-4	998	0,022	-0,009	
4	4-5	998	0,024	-0,008	
5	5-6	998	0,029	-0,009	
6	6-7	998	0,032	-0,009	
7	7-8	997	0,026	-0,009	
8	8-9	997	0,023	-0,011	
9	9-10	997	0,005	-0,010	Cửa Đại
10	10-11	994	-0,008	-0,010	
11	11-12	996	-0,043	-0,005	
12	12-13	998	-0,075	-0,002	
13	13-14	998	-0,080	0,000	
14	*14-15*	*998*	-0,073	0,001	
15	*15-16*	*998*	-0,078	0,002	*Sunrise*
16	*16-17*	*998*	-0,084	0,003	
17	*17-18*	*998*	-0,091	0,004	
18	*18-19*	*998*	-0,091	0,005	*Cẩm An*
19	*19-20*	*998*	-0,082	0,004	
20	20-21	998	-0,068	0,003	
21	21-22	998	-0,051	0,002	
22	22-23	998	-0,047	0,002	
23	23-24	998	-0,042	0,001	

Kết quả tính toán gradient Pt (theo không gian và thời gian), từ phân đoạn số 9÷11 (ứng với vị trí cửa Đại) về phía Bắc đều có giá trị dương trong cả hai mùa Đông Bắc và mùa gió Tây Nam phù hợp với các khu vực bị xói lở mạnh, đặc biệt từ phân đoạn số 15÷19 ứng với vị trí từ khu nghỉ dưỡng Sunrise Resort đến Phường Cẩm An có tốc độ xói lở mạnh nhất. Đối với phân tích gradient Pn theo thời gian thì toàn bộ khu vực phía Bắc cửa Đại (phân đoạn 13÷23) sẽ xói lở trong mùa Đông Bắc, các khu vực phía Nam (phân đoạn từ số 1÷9) sẽ bị xói lở trong mùa gió Tây Nam. Một số vị trí có sự khác biệt giữa gradient của Pt (theo không gian, thời gian) và đạo hàm Pn (theo thời gian) đã được đối chiếu với điều tra thực tế. Kết quả phân tích gradient Pt về tình hình xói-bồi bờ phía Bắc cửa Đại phù hợp hơn, cần được tiếp tục xem xét tại các khu vực trọng điểm khác.

3.2.2. Đoạn bờ khu vực Bãi Xép-cửa Đà Rằng- Đà Nông (Phú Yên)

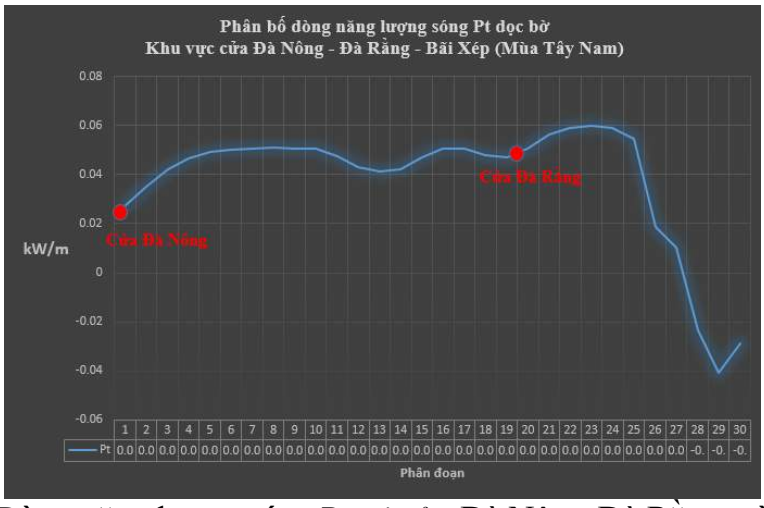
Đoạn bờ khu vực Bãi Xép-cửa Đà Rằng- Đà Nông (Phú Yên) có chiều dài tính toán khoảng 30km, thuộc phân vùng năng lượng sóng số 2 (Hình 3.31).

Hình 3.31: Cung bờ tính toán khu vực cửa Đà Nông-Đà Rằng-Bãi Xép

Trong những năm gần đây, hiện tượng xói lở cửa sông Đà Rằng thuộc thành phố Tuy Hòa (Phú Yên) trở nên nghiêm trọng với hơn 60m bờ biển bị xâm thực. Kết quả nghiên cứu bằng phân tích ảnh vệ tinh của nhóm tác giả *Võ Công Hoang* và *Histoshi Tanaka* [16] vùng cửa Đà Rằng cho thấy "*Bờ biển bị xói lở. Trong đó khu vực cửa sông và các bãi biển liền kề, 2 km bên bờ trái và 5 km bên bờ phải, bị xói lở*

nghiêm trọng". Ngoài ra, các khu vực phía Nam cửa Đà Rằng như tại Xóm Rớ (phân đoạn 17÷18) và vùng cửa Đà Nông (phân đoạn 1÷2), hiện tượng sạt lở bờ biển cũng đang diễn ra rất mạnh.

- Phân tích thành phần Pt: Mùa gió Tây Nam, dòng chảy dọc bờ có hướng Tây Bắc, từ cửa Đà Nông đến Đà Rằng cường độ ổn định ở mức trung bình 0,04 kW/m. Sau cửa Đà Rằng, dòng dọc bờ giảm dần về phía Bãi Xép do bị mũi Gành Bà che chắn (Hình 3.32). Mùa gió Đông Bắc, dòng vẫn dương và có hướng Tây Bắc nhưng cường độ mạnh gấp cả trăm lần và có xu hướng giảm dần về phía Bắc (Hình 3.33).

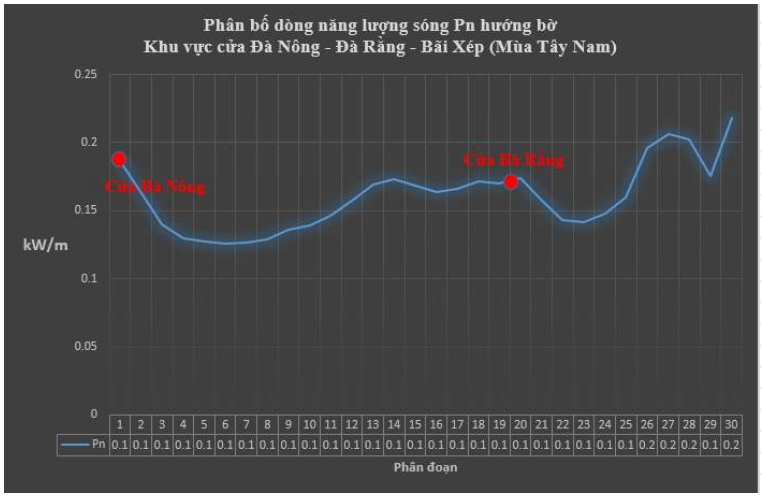


Hình 3.32: Dòng năng lượng sóng Pt tại cửa Đà Nông-Đà Rằng mùa Tây Nam

Hình 3.33: Dòng năng lượng sóng Pt cửa Đà Nông-Đà Rằng mùa Đông Bắc

- Thành phần Pn: Vào mùa gió Tây Nam, dòng năng lượng sóng Pn>0 hướng vào bờ, đầu phía Bắc (Bãi Xép) giảm do bị ảnh hưởng của mũi đất. Mức độ xói tăng

dần từ phía Bắc về phía Nam của cửa Đà Rằng, mạnh nhất tại khu vực cửa Đà Nông (Hình 3.34). Mùa Đông Bắc, Pn vẫn hướng bờ nhưng mức độ xói lở mạnh hơn. Khu vực cửa Đà Nông xói ít hơn khu vực Xóm Rớ-cửa Đà Rằng (Hình 3.35).



Hình 3.34: Dòng năng lượng sóng Pn cửa Đà Nông-Đà Rằng mùa Tây Nam

Hình 3.35: Dòng năng lượng sóng Pn cửa Đà Nông-Đà Rằng mùa Đông Bắc

- Phân tích gradient dọc bờ: Theo kết quả trình bày trong Bảng 3.6, các khu vực bị xói lở hai bên cửa sông Đà Rằng (phân đoạn 13÷15 phía Nam ứng với 5km bên phải và từ 19÷21 về phía Bắc ứng với 2km bên bờ trái). Đối với hai cửa sông Đà Nông và Đà Rằng, xói lở sẽ diễn ra cả trong mùa Tây Nam nhưng mức độ vào mùa gió Đông Bắc khốc liệt hơn rất nhiều.

Bảng 3.6: Gradient Pt theo đường cơ sở khu vực từ cửa Đà Nông-Đà Rằng

TT	Phân đoạn	Chiều dài (m)	Gradient Pt dọc theo bờ (kW/m)		Ghi chú
			Mùa Tây Nam	Mùa Đông Bắc	
1	1-2	1001	0,008	0,143	Cửa Đà Nông
2	2-3	1001	0,007	-0,143	
3	3-4	1001	0,005	-0,252	
4	4-5	1001	0,002	-0,159	
5	5-6	1001	0,001	0,201	
6	6-7	1001	0,001	-0,112	
7	7-8	1001	0,000	-0,273	
8	8-9	1001	0,000	-0,175	
9	9-10	1001	0,000	-0,133	
10	10-11	1001	-0,003	-0,210	
11	11-12	1001	-0,005	-0,603	
12	12-13	1001	-0,002	-0,284	
13	13-14	1001	0,001	0,051	
14	14-15	1001	0,005	0,392	
15	15-16	1001	0,004	0,179	
16	16-17	1001	0,000	-0,098	
17	17-18	1001	-0,003	-0,355	
18	18-19	1001	-0,001	-0,227	
19	19-20	1001	0,004	0,244	Cửa Đà Rằng
20	20-21	1001	0,006	0,239	
21	21-22	1001	0,003	0,167	
22	22-23	1001	0,001	-0,137	
23	23-24	1001	-0,001	-0,203	
24	24-25	1001	-0,004	-0,652	
25	25-26	999	-0,036	-2,575	
26	26-27	999	-0,008	-0,570	
27	27-28	997	-0,034	-2,167	
28	28-29	998	-0,017	-1,464	
29	29-30	999	0,012	0,708	

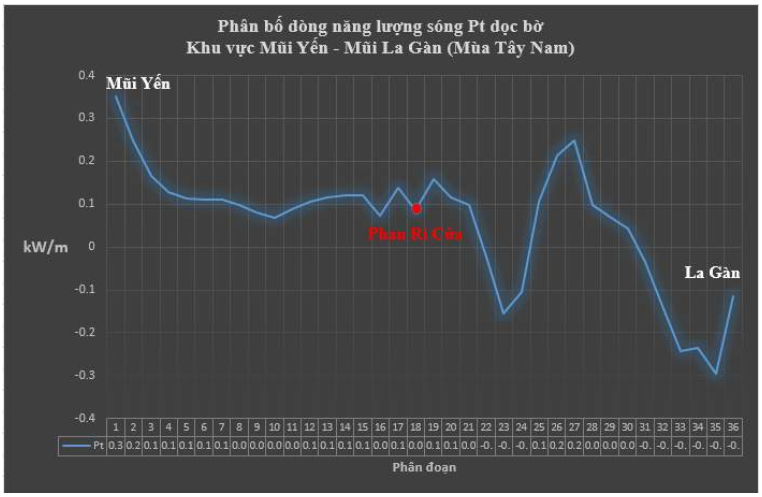
3.2.3. Đoạn bờ từ mũi La Gàn-mũi Yến (Bình Thuận)

Cung bờ mũi La Gàn-mũi Yến thuộc địa phận hai huyện Bắc Bình và Tuy Phong (Bình Thuận) có đường cơ sở bao gồm 36 phân đoạn tính toán. Trong cung bờ này, Phan Rí Cửa là nơi sông Lũy-con sông lớn thứ hai của tỉnh Bình Thuận đổ ra biển (Hình 3.36).

Hình 3.36: Cung bờ tính toán đoạn mũi La Gàn-mũi Yến

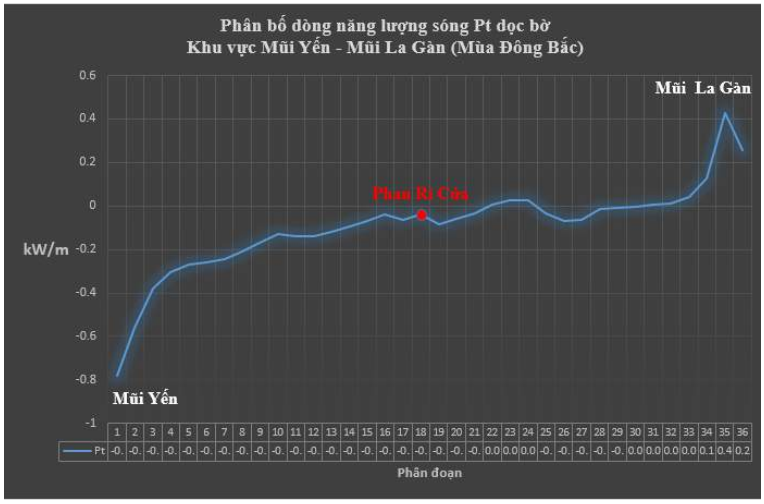
Tình hình sạt lở bờ biển ở đây thường chỉ xảy ra vào thời điểm triều cường sóng lớn tại các xã Bình Thạnh (sau mũi La Gàn) và Hòa Phú (phía Nam cửa sông Phan Rí) trong mùa gió Đông Bắc, còn lại là phần lớn bị bồi tụ trong mùa Tây Nam.

- Theo kết quả phân vùng năng lượng sóng, đoạn Mũi Yến-Mũi La Gàn thuộc vùng 4. Vào mùa gió Tây Nam, Pt>0, dòng chảy từ mũi Yến có chiều hướng về mũi La Gàn, cường độ giảm dần và giữ ổn định khi qua hết Phan Rí Cửa, đến gần La Gàn thì bị mũi Gành Sơn chặn lại nên đổi sang dấu âm (chảy ngược về Mũi Yến tại phân đoạn số 22÷24). Qua khỏi mũi Gành Sơn, dòng Pt đổi chiều và tăng mạnh trở lại trước khi bị ảnh hưởng của mũi La Gàn, tiếp tục chảy ngược từ phân đoạn 31÷36 (Hình 3.37).



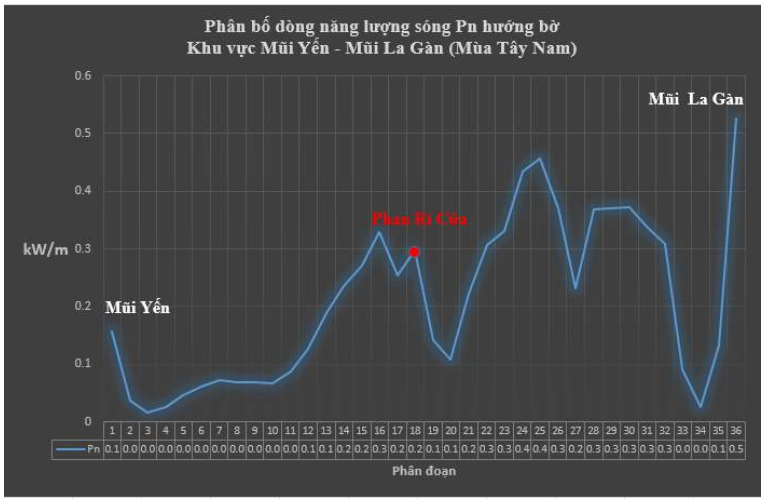
Hình 3.37: Dòng năng lượng sóng Pt tại mũi Yến - mũi La Gàn mùa Tây Nam

Mùa gió Đông Bắc, do ảnh hưởng của Mũi La Gàn nên khu vực phía Bắc Phan Rí Cửa, dòng chảy vẫn có chiều từ Mũi Yến về La Gàn (Pt>0) trong khi phía Nam dòng chảy có chiều ngược lại (Pt<0) xuôi mạnh theo hướng Đông Nam về phía mũi Yến (Hình 3.38).



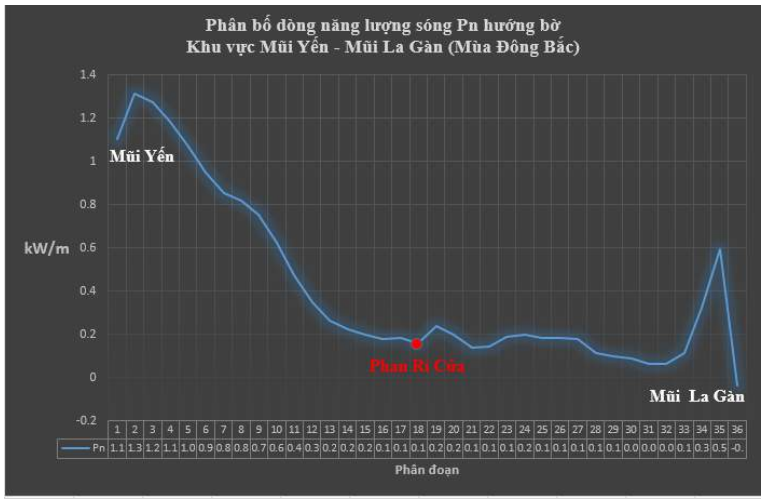
Hình 3.38: Dòng năng lượng sóng Pt tại mũi Yến - mũi La Gàn mùa Đông Bắc

- Đối với thành phần Pn, mùa gió Tây Nam, Pt>0, sau ảnh hưởng của mũi Yến nên giảm cường độ từ 0,2 kW/m xuống còn 0,02 kW/m tại phân đoạn 3, mạnh dần cho đến vị trí Phan Rí Cửa thì giảm xuống thấp nhất tại phân đoạn số 20. Càng đến gần Phan Rí Cửa, mức độ xói lở càng tăng dần (Hình 3.39).



Hình 3.39: Dòng năng lượng sóng Pn tại mũi Yến - mũi La Gàn mùa Tây Nam

Vào mùa gió Đông Bắc, ảnh hưởng che sóng của mũi La Gàn được thể hiện khi đến hết Phan Rí Cửa. Từ Phan Rí Cửa về Mũi Yến ảnh hưởng của hướng sóng Đông Bắc tăng lại dần đến hơn 1,3 kW/m chứng tỏ khu vực phía Nam Phan Rí Cửa là vùng bị xói lở mạnh trong thời gian này. Khu vực phía Bắc, dòng tương đối ổn định nhưng Pn>0 nên có thể bị vẫn xói lở nhẹ (Hình 3.40).



Hình 3.40: Dòng năng lượng sóng Pn tại mũi Yến - mũi La Gàn mùa Đông Bắc

Các vị trí xói lở (gradient Pt>0) và bồi tụ (gradient Pt<0) tại cung bờ mũi La Gàn-mũi Yến thể hiện trong Bảng 3.7.

Bảng 3.7: Gradient Pt theo đường cơ sở khu vực Mũi Yến-Mũi La Gàn

TT	Phân đoạn	Chiều dài (m)	Gradient Pt dọc theo bờ (kW/m)		Ghi chú
			Mùa Tây Nam	Mùa Đông Bắc	
1	1-2	994	-0,103	0,220	Mũi Yến
2	2-3	999	-0,083	0,182	
3	3-4	999	-0,036	0,074	
4	4-5	999	-0,016	0,034	
5	5-6	999	-0,003	0,012	
6	6-7	999	0,000	0,013	
7	7-8	999	-0,013	0,037	
8	8-9	999	-0,017	0,038	
9	9-10	999	-0,013	0,042	
10	10-11	998	0,019	-0,011	
11	11-12	994	0,019	-0,002	
12	12-13	996	0,010	0,022	
13	13-14	1000	0,004	0,025	
14	14-15	996	0,000	0,025	
15	15-16	996	-0,048	0,031	
16	16-17	1000	0,064	-0,024	
17	17-18	998	-0,051	0,022	Phan Rí Cửa
18	18-19	986	0,072	-0,044	
19	19-20	980	-0,044	0,024	
20	20-21	984	-0,016	0,029	
21	21-22	989	-0,121	0,036	
22	22-23	996	-0,132	0,021	
23	23-24	997	0,050	0,002	
24	24-25	997	0,210	-0,062	
25	25-26	993	0,107	-0,036	
26	26-27	994	0,036	0,008	
27	27-28	998	-0,150	0,047	
28	28-29	997	-0,028	0,005	
29	29-30	999	-0,027	0,007	
30	30-31	998	-0,079	0,010	
31	31-32	997	-0,102	0,007	
32	32-33	990	-0,106	0,028	
33	33-34	990	0,009	0,088	
34	34-35	997	-0,060	0,298	
35	35-36	987	0,181	-0,168	La Gàn

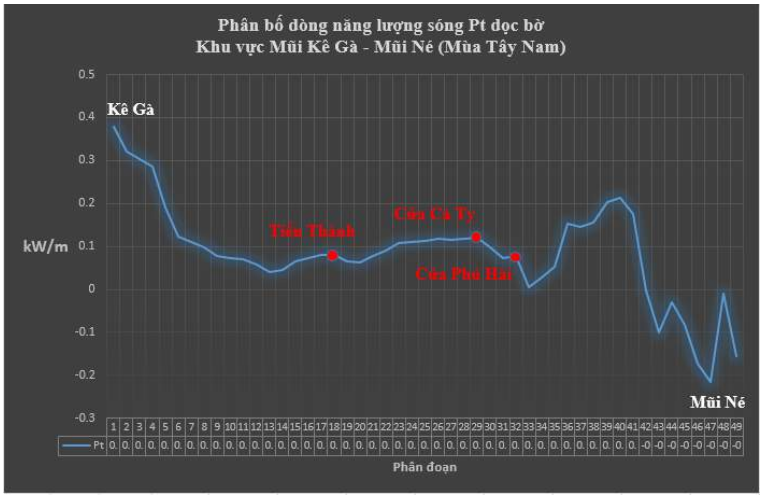
3.2.4. Đoạn bờ từ mũi Né-mũi Kê Gà (Bình Thuận)

Đây là một cung bờ đặc trưng lớn, bao quanh vịnh Phan Thiết (Bình Thuận), chịu ảnh hưởng che chắn của mũi Né phía Bắc và mũi Kê Gà ở phía Nam. Chiều dài đường cơ sở tính toán khoảng 49,8 km gồm 50 phân đoạn. Tình hình xói lở-bồi tụ ở đây diễn biến khá phức tạp, đặc biệt là tại thành phố Phan Thiết nơi có hai cửa sông Phú Hài (sông Cái) và cửa sông Cà Ty (Hình 3.41).

Hình 3.41: Cung bờ tính toán đoạn Mũi Né-Mũi Kê Gà

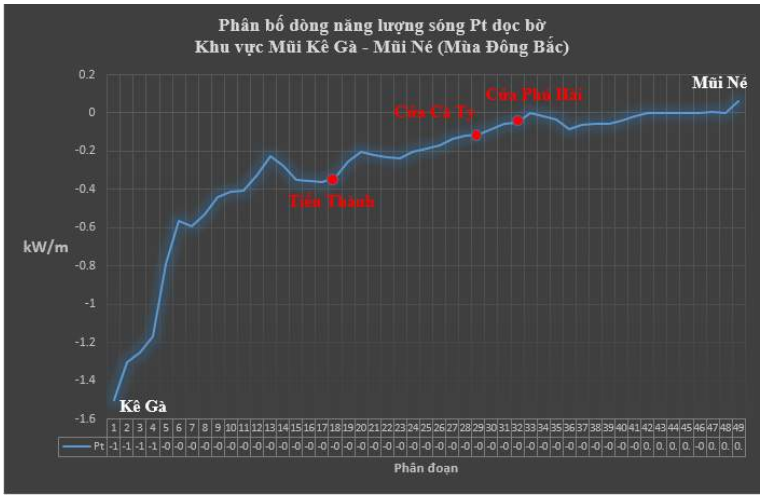
Theo kết quả điều tra, sạt lở bờ biển mạnh tại các khu vực [39]: (i) Thôn Tiến Đức xã Tiến Thành và phường Đức Long (phía Nam cửa Cà Ty), từ 2011 đến 2015 có 85 căn nhà bị sập. Tại khu phố 5, phường Đức Long sóng biển vào các đợt triều cường trong tháng 11 và 12 năm 2009, tháng 01 và hai ngày 29 và 30/3/2010 đã làm sập đổ và hư hỏng hàng trăm căn nhà. (ii) Khu phố 2, 3 thuộc phường Hàm Tiến (cách cửa Phú Hài 12km về phía Bắc), trên chiều dài khoảng gần 1,5km là khu dân cư lâu đời, với trên 600 hộ dân cư sinh sống; bờ biển bị xâm thực trung bình từ 2 đến 3 mét, trên chiều dài khoảng gần 1.500m.

- Phân tích về dòng năng lượng sóng dọc bờ Pt: Mùa Tây Nam, dòng ven bờ chảy theo hướng Đông Bắc (từ Kê Gà ra Mũi Né), phía Kê Gà bị giảm đi do mũi đất che chắn, cường độ khoảng 0,3 kW/m. Phía Mũi Né giảm mạnh, đổi dấu chảy ngược lại do địa thế mũi cong chặn lại dòng dọc bờ. Phía Kê Gà dòng dọc bờ dương lớn do hướng xuôi chiều gió (Hình 3.42).



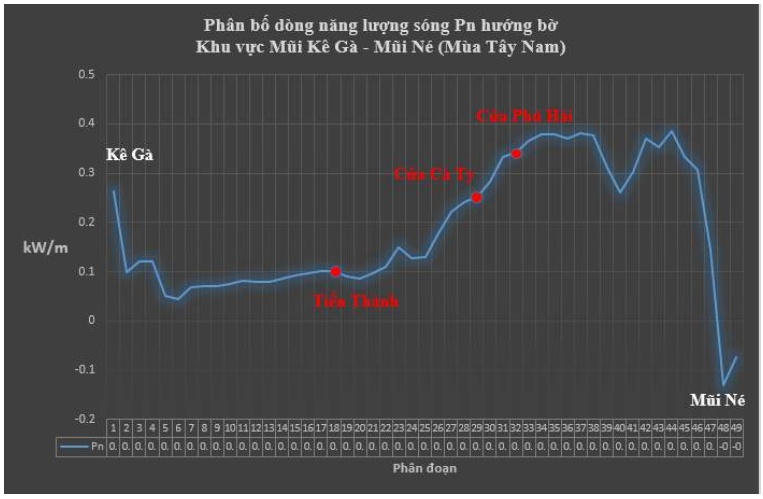
Hình 3.42: Dòng năng lượng sóng Pt dọc bờ mũi Kê Gà-mũi Né mùa Tây Nam

Mùa Đông Bắc, dòng chảy ngược lại (từ Mũi Né về Kê Gà) cường độ mạnh hơn 4 lần, khoảng 1,5 kW/m. Dòng bị suy yếu ở Mũi Né (do mũi đất che nên còn khoảng 0,06 kW/m), mạnh dần về phía Kê Gà. Tuy nhiên cường độ trong đoạn giữa giảm mạnh về gần 0,0. Điều này có thể giải thích ảnh hưởng che chắn của Mũi Né đối với gió Đông Bắc được thể hiện rõ trong kết quả, cho đến khi Pt tăng lại ở gần Kê Gà thì ảnh hưởng của Mũi Né không còn (Hình 3.43).



Hình 3.43: Dòng năng lượng sóng Pt dọc bờ mũi Kê Gà-mũi Né mùa Đông Bắc

- Phân tích về dòng năng lượng sóng hướng bờ Pn: Mùa Tây Nam, Pn>0 hướng vào bờ. Cả hai đầu Kê Gà và Mũi Né đều giảm do ảnh hưởng của mũi đất. Khu vực hai cửa sông Phú Hài và Cà Ty xói mạnh. Tại xã Tiến Thành Pn giảm đến 0,1 kW/m nên khu vực này ít bị xói trong mùa Tây Nam (Hình 3.44).



Hình 3.44: Dòng năng lượng sóng Pn mũi Kê Gà-mũi Né mùa Tây Nam

Vào mùa Đông Bắc, sau Mũi Né Pn giảm về 0,2÷0,3 kW/m và giữ tương đối đều ở mức này cho đến khu vực cửa Cà Ty hết ảnh hưởng che sóng Đông Bắc của Mũi Né. Từ đoạn xã Tiến thành về Kê Gà ảnh hưởng của sóng Đông Bắc tăng lại dần đến trên 2 kW/m chứng tỏ khu vực này bị xói mạnh trong mùa Đông Bắc (Hình 3.45).

Hình 3.45: Dòng năng lượng sóng Pn mũi Kê Gà-mũi Né mùa Đông Bắc

- Phân tích gradient dọc bờ: Theo kết quả trình bày trong Bảng 3.8, các khu vực bị xói lở mạnh gồm: Phường Hàm Tiến (Mũi Né), khu vực nằm kẹp giữa hai cửa sông Phú Hài và Cà Ty, Khu phố 5 (Phường Đức Long), khu vực xã Tiến Thành… đều phù hợp với tài liệu điều tra trong thực tế. Hiện tượng xói lở tại một số trọng điểm này diễn ra không chỉ vào mùa Đông Bắc còn cả trong mùa Tây Nam.

Bảng 3.8: Gradient Pt theo đường cơ sở khu vực Mũi Kê Gà-Mũi Né

TT	Phân đoạn	Chiều dài (m)	Gradient Pt dọc theo bờ (kW/m)		Ghi chú
			Mùa Tây Nam	Mùa Đông Bắc	
1	1-2	990	-0,055	0,183	Kê Gà
2	2-3	1000	-0,017	0,055	
3	3-4	999	-0,019	0,081	
4	4-5	999	-0,094	0,381	
5	5-6	998	-0,068	0,224	
6	6-7	999	-0,013	-0,026	
7	7-8	999	-0,013	0,057	
8	8-9	999	-0,019	0,092	
9	9-10	999	-0,007	0,029	
10	10-11	999	-0,002	0,006	
11	11-12	999	-0,013	0,084	
12	12-13	999	-0,018	0,096	
13	13-14	999	0,008	-0,050	
14	14-15	999	0,020	-0,076	
15	15-16	999	0,006	-0,004	
16	16-17	999	0,009	-0,008	
17	17-18	999	-0,001	0,026	
18	18-19	999	-0,014	0,081	Tiến Thành
19	19-20	999	-0,004	0,051	
20	20-21	999	0,015	-0,015	
21	21-22	999	0,014	-0,011	
22	22-23	999	0,017	-0,005	
23	23-24	999	0,002	0,032	
24	24-25	996	0,001	0,020	
25	25-26	989	0,007	0,016	
26	26-27	997	-0,003	0,033	
27	27-28	998	0,003	0,018	Đức Long
28	28-29	997	0,002	0,008	Cửa Cà Ty
29	29-30	997	-0,022	0,027	
30	30-31	1000	-0,024	0,028	
31	31-32	991	0,004	0,004	
32	32-33	999	-0,073	0,048	C. Phú Hài
33	33-34	999	0,024	-0,015	
34	34-35	999	0,025	-0,015	
35	35-36	999	0,099	-0,050	
36	36-37	998	-0,008	0,022	
37	37-38	999	0,011	0,006	
38	38-39	999	0,045	-0,002	
39	39-40	997	0,013	0,015	
40	41-42	999	-0,041	0,027	Hàm Tiến
41	42-43	989	-0,178	0,015	

TT	Phân đoạn	Chiều dài (m)	Gradient Pt dọc theo bờ (kW/m)		Ghi chú
			Mùa Tây Nam	Mùa Đông Bắc	
42	43-44	999	-0,096	0,003	
43	44-45	999	0,070	-0,003	
44	45-46	995	-0,053	0,001	
45	46-47	990	-0,091	-0,004	
46	47-48	999	-0,036	0,007	
47	48-49	969	0,200	-0,005	
48	49-50	1002	-0,143	0,063	
49	49-50	989	0,155	-0,063	Mũi Né

3.2.5. Nhận xét chung

Việc tính toán các dòng năng lượng sóng theo đề xuất của tác giả, sau khi đối chứng với thực tế điều tra cho thấy:

- Những đoạn bờ chịu tác động của dòng năng lượng sóng hướng bờ Pn lớn đều là các khu vực có hiện tượng sạt lở bờ biển mạnh, ví dụ như Mộ Đức, Đức Phổ (Quảng Ngãi) hay đoạn Sông Cầu đến Tuy Hòa (Phú Yên). Tuy nhiên, ở một số khu vực Pn>0 nhưng có giá trị nhỏ nên có thể vẫn gây bồi (sóng nhỏ mang trầm tích vào bờ). Các khu vực có giá trị Pn<0 nhưng nằm sau các mũi nhô ra biển vẫn có nguy cơ xói do bùn cát đã bị lôi cuốn ra phía biển gây thiếu hụt vận chuyển dọc bờ (Ví dụ như tại khu vực phía Bắc cửa Đại-Hội An).

- Trong mọi trường hợp quá trình xói lở và bồi tụ đều phụ thuộc vào dòng năng lượng sóng dọc bờ (hay tiếp tuyến, Pt). Sử dụng dòng năng lượng sóng dọc bờ Pt có thể giải thích được các quá trình của dòng chảy và dòng vận chuyển bùn cát ven bờ ví dụ tại các đoạn bờ biển của tỉnh Bình Thuận như đoạn bờ Liên Hương – Bình Thạnh trước mũi La Gàn, đoạn bờ Phan Rí Cửa sau mũi La Gàn, đoạn bờ Hàm Tiến, Phú Hài sau mũi Né,… Điều này cũng lý giải cho chu kỳ xói-bồi xảy ra thay đổi theo mùa trong năm. Ngoài ra, việc xác định chiều của dòng ven bờ có ý nghĩa trong công tác định hướng bố trí trí xây dựng các kết cấu giữ bãi kiểu nhô ra ngoài phía biển như các kè mỏ hàn, đập đinh.

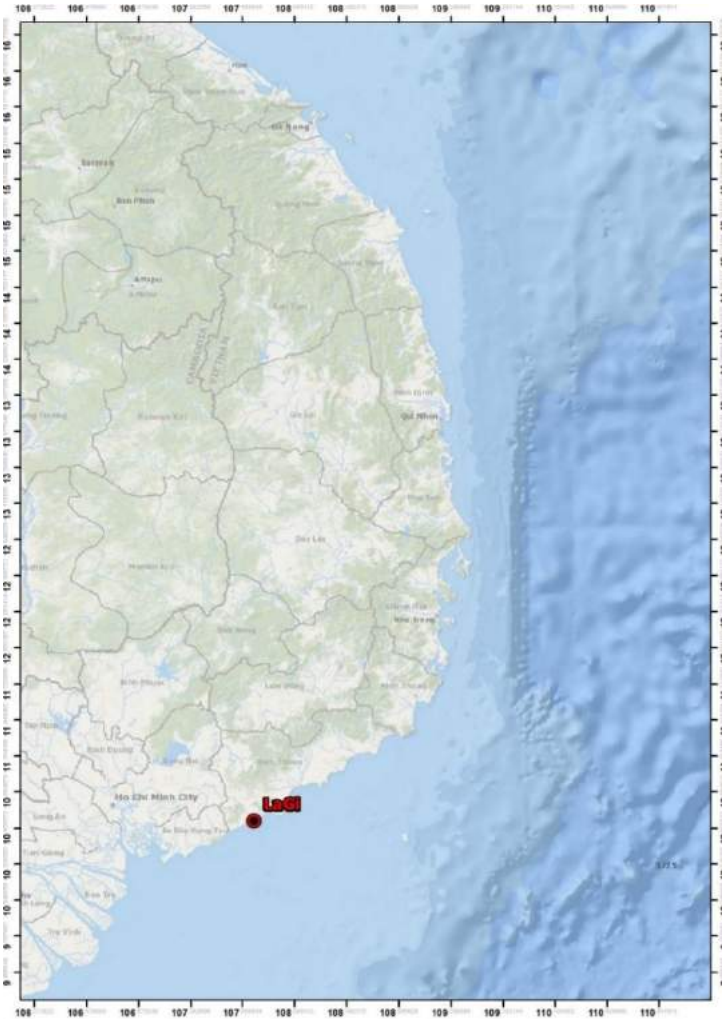
- Khi xác định và phân tích gradient của Pt dọc theo đường cơ sở nhằm liên hệ với diễn biến xói lở-bồi tụ ở các khu vực ven biển, kết quả được cho là khá phù hợp với số liệu thực tế, đặc biệt là ở những khu vực trọng điểm.

3.3. Nghiên cứu điển hình khu vực ven biển LaGi

3.3.1. Hiện trạng khu vực nghiên cứu

Để kiểm chứng về mối liên hệ giữa phân bố trường năng lượng sóng trên đường cơ sở với diễn biến hình thái chi tiết tại các vùng ven biển, Luận án đã tiến hành nghiên cứu điển hình cho khu vực bờ biển đang xói lở thuộc thị xã LaGi, tỉnh Bình Thuận thông qua công cụ mô hình toán trong đó có xét đến tất cả các yếu tố ảnh hưởng của sóng, dòng, bùn cát, địa hình…

La Gi là một thị xã nằm phía Tây Nam tỉnh Bình Thuận (Hình 3.46), giữa hai trung tâm đô thị lớn là Phan Thiết-Bình Thuận (cách La Gi 68 km về hướng Bắc) và Bà Rịa-Bà Rịa Vũng Tàu (cách La Gi 50 km về hướng Đông Nam).



Hình 3.46: Vị trí La Gi trên bản đồ vùng Nam Trung Bộ

Thị xã La Gi có chiều dài bờ biển khoảng 28 km và theo quy hoạch xây dựng vùng đến năm 2030 được phê duyệt, La Gi được khẳng định là trung tâm du lịch sinh thái biển tiểu vùng phía Nam của tỉnh Bình Thuận. Chi tiết địa hình khu vực nghiên cứu qua tài liệu khảo sát của Viện Khoa học Thủy lợi miền Nam[4] như sau: Mặt đất tự nhiên có cao độ từ +1,50÷3,20m thoải dần ra phía biển với cao độ bãi từ -0,50÷-7,50m. Địa hình tương đối bằng phẳng ngoại trừ ven bờ có một số điểm bị sạt lở và xói sâu trong đó đoạn bờ biển tại phường Phước Lộc, thị xã La Gi từ vị trí cửa hồ Tôm về phía Nam dài khoảng 1.200m đang bị xói lở mạnh, chỉ trong vòng hơn 10 năm từ 2006÷2019, biển ăn sâu vào đất liền gần 30m, có vị trí sâu đến 100m, làm ảnh hưởng tới cuộc sống của hơn 400 hộ dân ở đây[5]. Kể từ khi thi công dự án khu dân cư lấn biển vào giữa năm 2019, theo kết quả phân tích ảnh chụp vệ tinh 2 giai đoạn (2006 và 2019), quá trình sạt lở vẫn tiếp diễn ở đoạn bờ phía Bắc còn tại các dải đất thấp ven biển (dải bán ngập, thủy triều lên xuống) và phần ngập hoàn toàn (cao trình dưới -1.0m) ở phía Nam bắt đầu có hiện tượng bồi tụ (Hình 3.47).

Hình 3.47: Đường bờ biển P. Phước Lộc năm 2006 (nét đứt) và 2019 (nét liền)

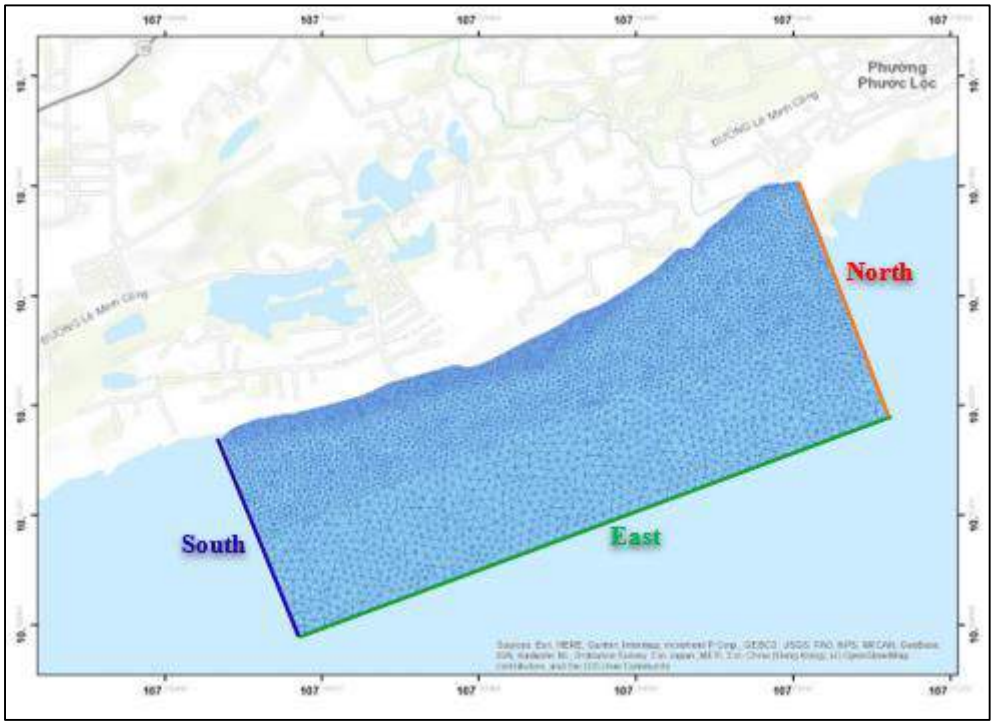
[4] Nguồn: Dự án kè bảo vệ khu dân cư phường Phước Lộc-Viện Khoa học Thủy lợi miền Nam, 2019

[5] Nguồn: Chi cục Thủy lợi tỉnh Bình Thuận

3.3.2. Sơ đồ và điều kiện biên tính toán

Trên cơ sở dữ liệu thực đo và thu thập, Luận án đã tiến hành mô phỏng quá trình vận chuyển trầm tích khu vực ven biển La Gi (đại diện cho vùng cực Nam Trung Bộ) theo các mùa gió đặc trưng, so sánh giữa các kịch bản hiện trạng và sau khi có giải pháp công trình giảm sóng thông qua công cụ mô hình toán MIKE 21/3 Couple FM (tích hợp cả 3 modules là thủy lực, phổ sóng và bồi xói) với một số kết quả chính dưới đây.

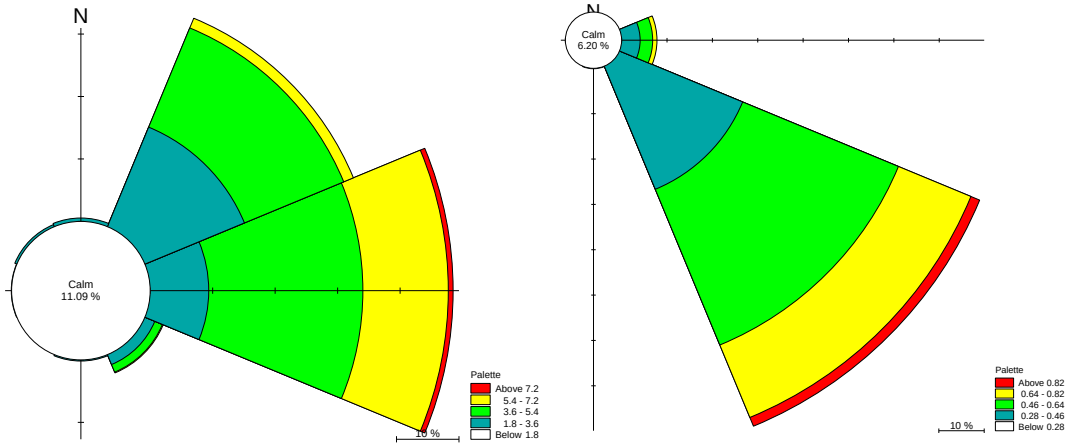
Miền tính có chiều dài khoảng 3,0km từ ranh giới với Dự án khu dân cư lấn biển của Công ty Vi Nam về phía Nam phường Tân Phước, khoảng cách từ bờ ra phía biển khoảng 1,0 km, gần sát với đường cơ sở (Hình 3.48). Lưới tính phi cấu trúc trong đó độ phân dải mịn hơn được sử dụng cho vùng sát bờ và thưa dần ra phía biển với 8.328 phần tử và 4.357 nút tính toán. Diện tích ô lưới nhỏ nhất là 32 m^2 cho vùng sát bờ và 1.501 m^2 (khu vực ngoài biển). Địa hình nền đáy biển sử dụng số liệu khảo sát tháng 4 năm 2019[6] (cuối mùa Đông Bắc) có cao trình từ 0m đến -7,5m.



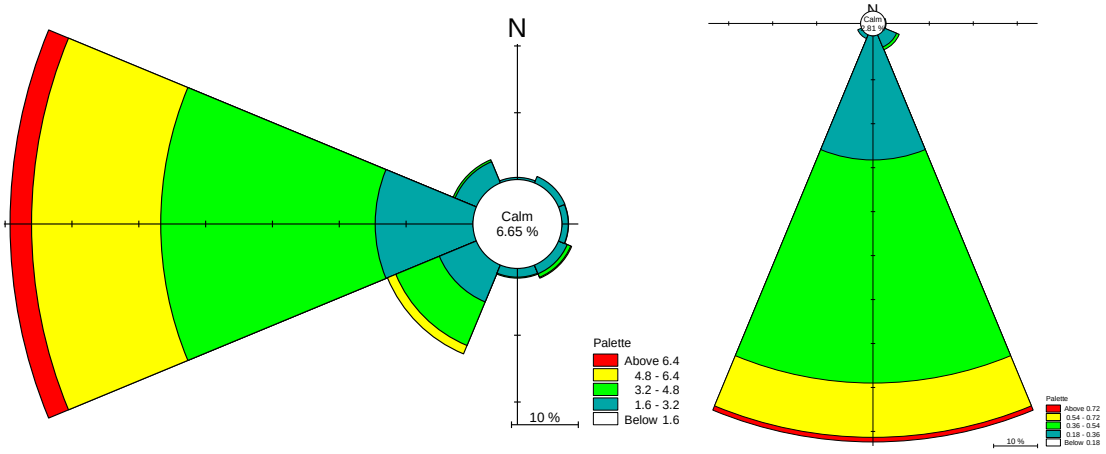
Hình 3.48: Sơ đồ các biên tính toán khu vực ven biển La Gi

[6] Nguồn: Dự án kè bảo vệ khu dân cư phường Phước Lộc-Viện Khoa học Thủy lợi miền Nam, 2019

Phương án biên cứng trong sơ đồ tính là toàn bộ tuyến kè tạm hiện trạng có kết cấu bằng đá đổ nằm phía trong ranh mép nước, cao trình đỉnh kè +0.00m. Có 3 đoạn biên mở phía biển gồm biên phía Bắc (North), phía Nam (South) và phía Đông (East). Ảnh hưởng từ biển lên chế độ thủy động lực tại miền tính là rất lớn nhưng vì không có dữ liệu thực đo đủ dài tại các biên phía biển này nên cơ sở dữ liệu tại đây được trích xuất từ kết quả của mô hình vùng nghiên cứu chính Nam Trung Bộ phần trước. Kết quả tính toán các yếu tố thủy lực và sóng từ mô hình Nam Trung Bộ (đã được hiệu chỉnh) sẽ được trích xuất cho các đoạn biên phía Bắc, Nam, Đông của mô hình chi tiết LaGi còn trường gió sử dụng số liệu của NOAA gồm 02 mùa đặc trưng Đông Bắc và Tây Nam (Hình 3.49÷Hình 3.50).

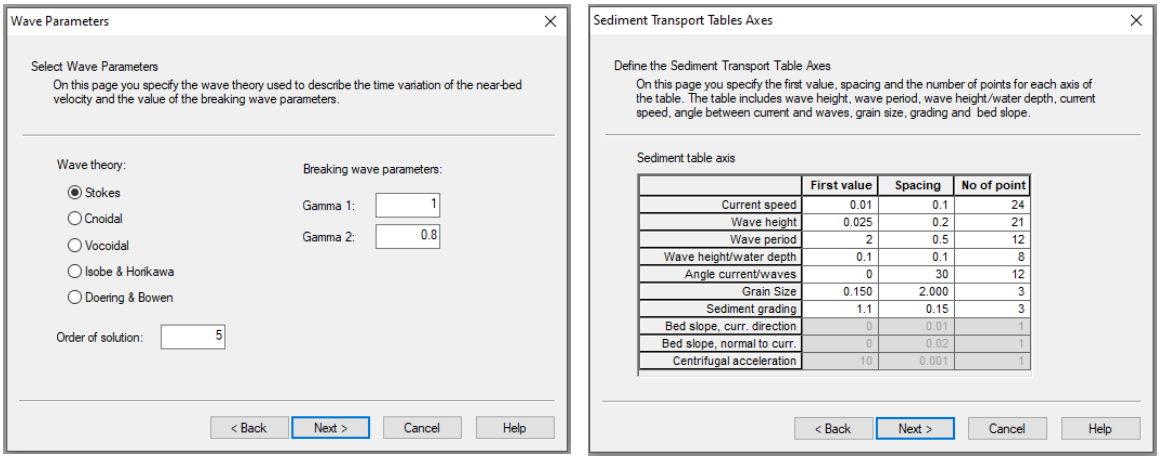


Hình 3.49: Hoa gió (trái) và hoa sóng (phải) khu vực La Gi mùa Đông Bắc



Hình 3.50: Hoa gió (trái) và hoa sóng (phải) khu vực La Gi mùa Tây Nam

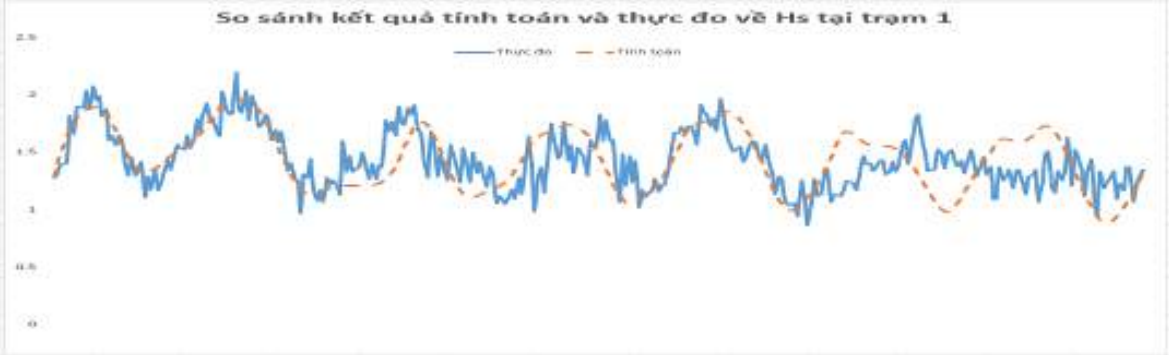
Đối với dữ liệu bùn cát, dựa trên kết quả thí nghiệm thực tế, đường kính trung bình hạt cát rời trong toàn bộ miền tính có giá trị hằng số bằng 0,2mm. Căn cứ kết quả tính module sóng và dòng chảy, phạm vi giới hạn của bảng vận chuyển cát Q3D áp dụng cho module hình thái khu vực ven biển LaGi được trình bày trên Hình 3.51.



Hình 3.51: Lý thuyết sóng áp dụng (trái) và phạm vi giới hạn (phải) cho Bảng vận chuyển cát khu vực ven biển La Gi

Từ ngày 01 đến 04 tháng 12 năm 2012, Viện Khoa học Thủy lợi miền Nam đã tiến hành đo sóng, dòng chảy tại trạm 1 nằm bên trong miền tính (tọa độ địa lý: 107°44'38.86"E, 10°37'53.66"N). Chuỗi số liệu này dùng để hiệu chỉnh các thông số cho cả 02 module thủy lực và sóng của mô hình chi tiết La Gi thông qua việc so sánh số liệu tính toán và thực đo. Sau khi hiệu chỉnh các thông số hệ số nhám Manning, hệ số nhớt rối, điều kiện tham gia vào quá trình tính (điều kiện khô, ướt) của các ô lưới, bước thời gian tính…, module thủy lực cho kết quả tính toán khá phù hợp với số liệu thực đo cả về trị số và pha triều, hệ số tương quan đều đạt trên 0,90. Đối với module sóng (được tích hợp cùng module thủy lực), các thông số hiệu chỉnh bao gồm: chọn mô hình tính theo các tham số tách rời theo hướng, góc phổ sóng, độ nhám đáy Ks, bước thời gian tính toán, hệ số sóng vỡ,… So sánh kết quả tính toán độ cao sóng có nghĩa (Hs) và chu kỳ đỉnh phổ sóng (Tp) cho thấy có sự phân tán nhất định của số liệu tính toán và thực đo về chu kỳ, độ cao sóng (Hình 3.52÷Hình 3.53). Tuy nhiên các sai lệch giữa mô phỏng và thực đo đều nằm trong phạm vi cho phép, hệ số tương quan đạt từ 0,72÷0,84. Điều quan trọng là kết quả tính toán mô phỏng bằng module

sóng sau khi hiệu chỉnh hoàn toàn phù hợp với các quy luật phổ biến của sóng tại khu vực nghiên cứu, đó là: Hs giảm liên tục từ vùng nước sâu đến vùng ven bờ do hiện tượng biến dạng sóng khi nước cạn, vai trò khúc xạ, chế độ thủy lực tăng dần khi tiếp cận vùng ven bờ.



Hình 3.52: So sánh chiều cao sóng có nghĩa (Hs) tính toán và thực đo tại Trạm 1

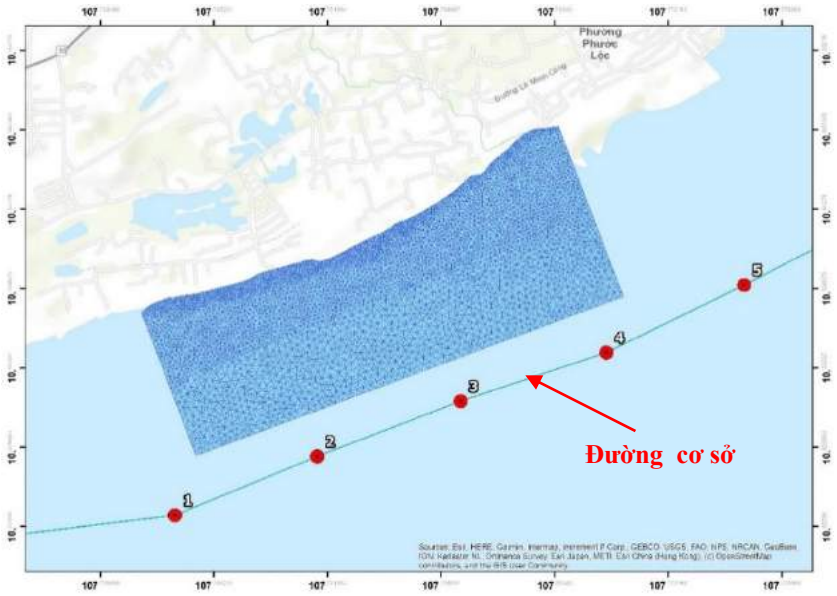
Hình 3.53: So sánh chu kỳ đỉnh phổ sóng (Tp) tính toán và thực đo

Như vậy, các cơ sở dữ liệu và mô hình khép kín được lập ra đã phản ánh đúng bản chất vật lý về chế độ thủy lực và sóng tại vùng ven biển La Gi, đủ độ tin cậy để có thể xem xét các quá trình trung gian (cơ bản) khi sóng lan truyền từ đường cơ sở vào đến bờ và sự tương tác của phân bố trường sóng gần bờ với các yếu tố khác trong phạm vi vùng sóng vỡ để có thể gây biến động hình thái bờ và bãi biển. Các quá trình thủy lực, phổ sóng và và bồi xói tại vùng nghiên cứu vốn phụ thuộc rất chặt chẽ với nhau đã được tích hợp vào trong cùng một mô hình khép kín.

3.3.3. Diễn biến hình thái khu vực ven biển LaGi

3.3.3.1 Phân bố năng lượng sóng trên đường cơ sở

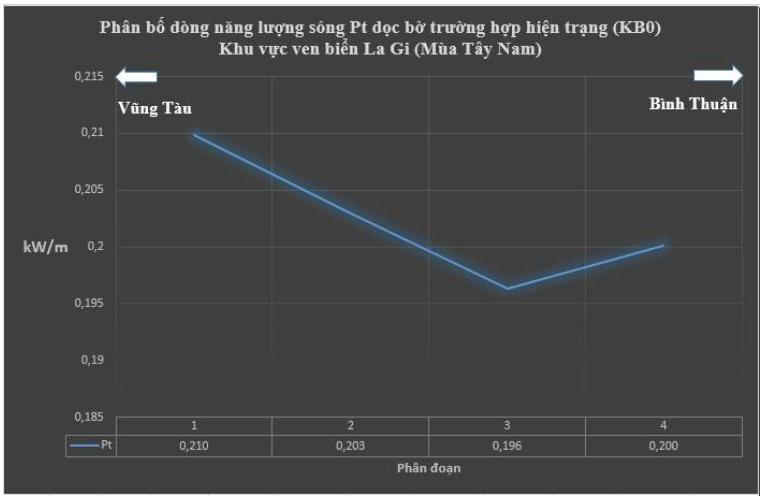
Đường cơ sở đi qua đoạn bờ biển khu vực LaGi có chiều dài khoảng 4,0km gồm 5 điểm (Hình 3.54). Kết quả tính toán các dòng năng lượng sóng cho 4 phân đoạn dọc theo đường cơ sở trường hợp hiện trạng (KB0) trong thời gian hai mùa gió đặc trưng được thể hiện từ Hình 3.55÷Hình 3.59.



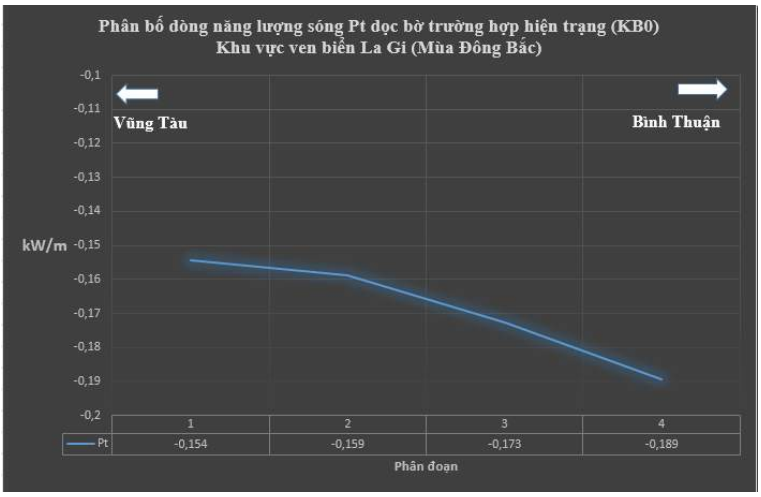
Hình 3.54: Vị trí đường cơ sở xem xét dòng năng lượng sóng ven biển La Gi

Hình 3.55: Kết quả tính toán hướng của dòng năng lượng sóng ven biển La Gi

- Phân tích về dòng năng lượng sóng dọc bờ Pt: Trong mùa Tây Nam, dòng ven bờ chảy theo hướng Tây Bắc (Pt>0: chiều từ Vũng Tàu ra Phan Thiết), giá trị giảm dần từ phân đoạn số 1 đến phân đoạn số 3 do bị mũi đất che chắn, sau đó tăng trở lại với cường độ khoảng 0,2 kW/m ở phân đoạn số 4 (Hình 3.56). Mùa Đông Bắc, dòng chảy ngược lại từ Phan Thiết về Vũng Tàu (Pt<0), cường độ giảm dần theo chiều Bắc Nam (Hình 3.57).



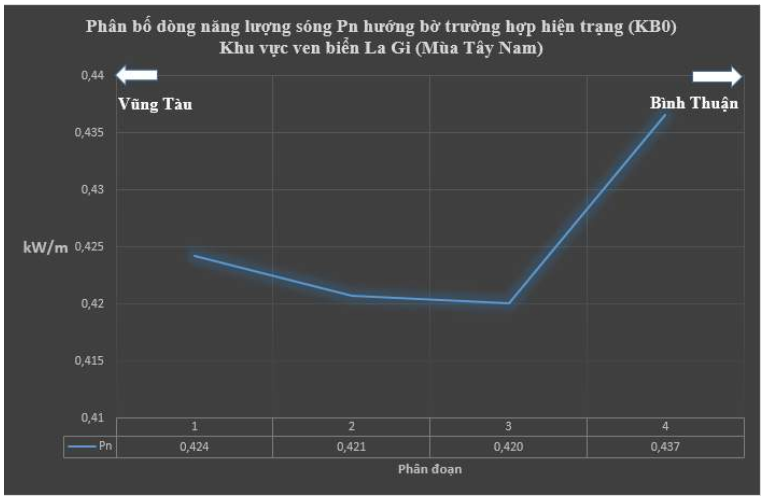
Hình 3.56: Dòng năng lượng sóng Pt khu vực La Gi mùa Tây Nam



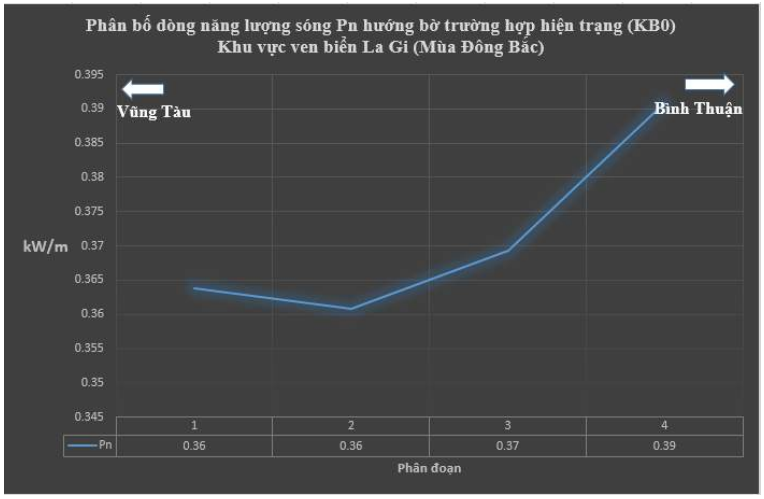
Hình 3.57: Dòng năng lượng sóng Pt khu vực La Gi mùa Đông Bắc

- Phân tích về dòng năng lượng sóng hướng bờ Pn: Mùa Tây Nam, Pn>0 hướng vào bờ. Từ Vũng Tàu ra Phan Thiết, giá trị Pn giảm dần từ phân đoạn 1 đến phân đoạn 3, sau đó tăng mạnh tại phân đoạn 4 về phía gần cửa sông LaGi (Hình 3.58).

Vào mùa Đông Bắc, Pn cũng hướng vào bờ như mùa Tây Nam, tuy nhiên xu thế mạnh dần về phía Bắc thể hiện rõ ngay từ phân đoạn số 2 đến số 4 (Hình 3.59).



Hình 3.58: Dòng năng lượng sóng Pn khu vực La Gi mùa Tây Nam



Hình 3.59: Dòng năng lượng sóng Pn khu vực La Gi mùa Đông Bắc

- Phân tích Gradient các thành phần dòng năng lượng sóng: Kết quả tính toán gradient dòng năng lượng sóng Pt theo không gian và thời gian như Bảng 3.9.

Bảng 3.9: Gradient Pt theo đường cơ sở khu vực ven biển LaGi

TT	Phân đoạn	Chiều dài (m)	Gradient Pt dọc theo bờ (kW/m)		Ghi chú
			Mùa Tây Nam	Mùa Đông Bắc	
1	1-2	741	-0.007	-0.005	Phía Nam
2	2-3	741	-0.007	-0.014	
3	3-4	741	0.004	-0.017	Phía Bắc

Dựa trên các quy luật đã trình bày trong phần 3.2, mức độ xói tại các vùng biển từ phạm vi đường cơ sở vào đến bờ ở các khu vực phía Bắc (phân đoạn 3-4, gradient Pt>0) sẽ khốc liệt hơn so với những khu vực phía Nam (phân đoạn 1-2) vào thời điểm gió Tây Nam và có xu hướng bồi tụ trong mùa Đông Bắc (gradient Pt<0).

3.3.3.2 Kết quả mô phỏng diễn biến hình thái trên mô hình toán

Phần sau đây trình bày một số kết quả mô phỏng sự thay đổi địa hình đáy biển (*Bed level change*) khu vực ven biển La Gi. Có thể nhận thấy quy luật tương tự về diễn biến hình thái đường bờ và bãi biển từ Hình 3.60÷Hình 3.61 dựa vào thang bảng màu (biến đổi địa hình đáy biển có giá trị dương tương ứng với quá trình bồi tụ và ngược lại là xói lở).

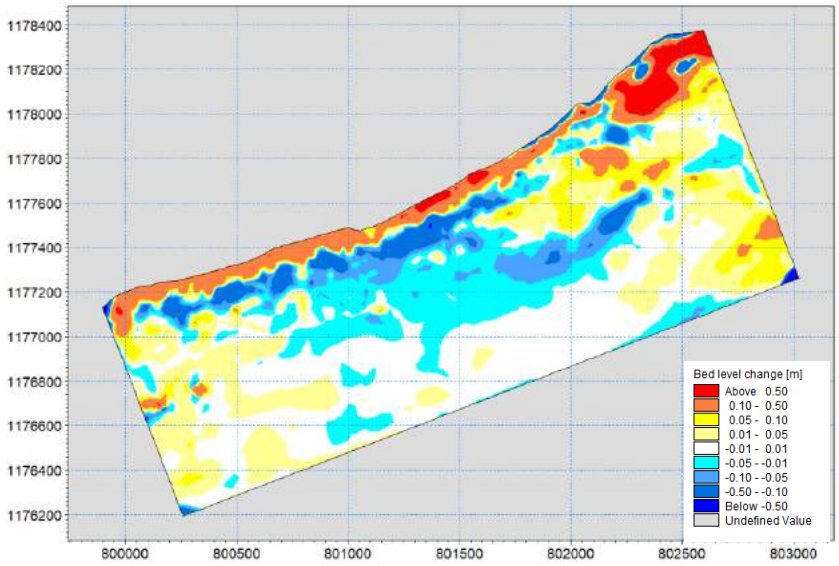
Dựa trên mô phỏng diễn biến hình thái hiện trạng khu vực ven biển La Gi, tác giả có một số nhận xét sau:

- Tốc độ xói bồi khu vực nghiên cứu thay đổi theo mùa trong năm thủy văn, diễn biến hình thái trong thời kỳ gió mùa Đông Bắc mãnh liệt hơn so với thời kỳ gió Tây Nam.

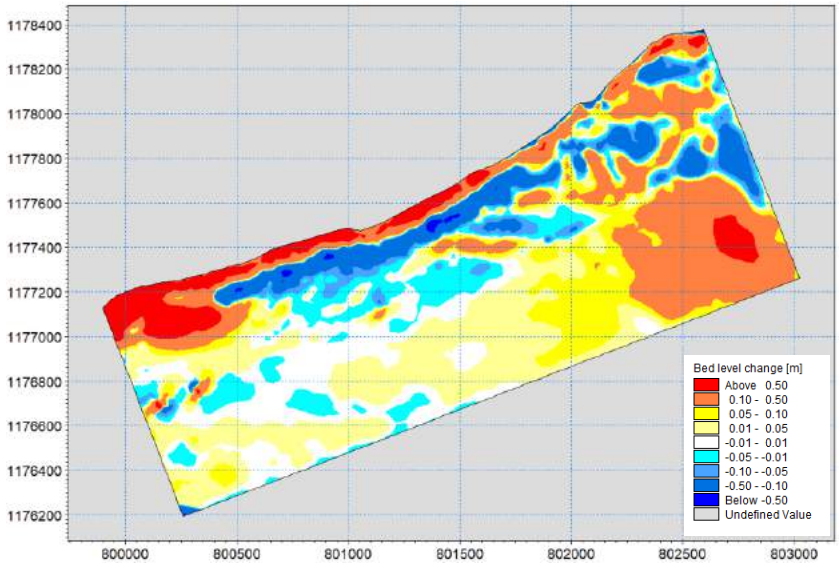
- Kết quả tính toán cho thấy xu thế bồi tụ chiếm ưu thế tuyệt đối ở các khu vực ven bờ phía Nam, tốc độ bồi lắng trong phạm vi dải bán ngập (bề rộng 80÷100m tính từ đường biên cứng của mô hình) đạt cỡ 0,3÷0,8m sau mùa gió Đông Bắc, có những vị trí thay đổi đến hơn 1,0m. Đồng thời xuất hiện 01 bãi bồi lớn chắn ngay trước khu vực phía ngoài cửa hồ Tôm. Địa hình đáy biển vùng phía ngoài bị hạ thấp, mức độ xói sâu 0,5m.

- Dự án khu dân cư lấn biển đang triển khai đã có tác động lớn đến diễn biến hình thái của đoạn bờ biển xã Phước Lộc, thị xã La Gi. Khi phân tích chi tiết các dòng năng lượng sóng, giá trị của Pt<0, tức là dòng chảy có hướng từ phía Bắc xuống, khi gặp hệ thống công trình kè của khu dân cư lấn biển nhô hẳn ra phía ngoài nên dòng bùn cát di chuyển xuống phía Nam đã bị chặn lại, gây xói lở đoạn bờ khuất sóng phía sau đến sát cửa hồ Tôm. Phân tích dòng năng lượng sóng hướng bờ Pn và phân tích gradient dòng năng lượng cũng cho kết quả phù hợp thực tế đó là xu thế bồi tụ ở phía Nam và xói ở các phân đoạn phía Bắc.

- Mô phỏng chế độ thủy động lực, vận chuyển cát cát và biến động hình thái khu vực La Gi – Bình Thuận chính là cấp độ mô hình 3 đã được trình bày tại mục 2.3.2 có thể áp dụng cho các dự án cụ thể tại khu vực ven biển Nam Trung Bộ. Trên cơ sở kết quả đó có thể đề xuất các phương án, ý tưởng về bố trí không gian, hình thức kết cấu, vật liệu… mang tính khả thi, đáp ứng yêu cầu và mục tiêu đề ra, sẽ được trình bày trong phần 3.5 tiếp theo của Luận án. Kết quả nghiên cứu cũng đã được tác giả ứng dụng cho việc thiết kế, xây dựng công trình ổn định bờ biển khu vực thị xã La Gi; công trình được xây dựng có hiệu quả ngay sau một năm đưa vào vận hành.



Hình 3.60: Biến đổi địa hình khu vực La Gi sau mùa gió Tây Nam (KB0)



Hình 3.61: Biến đổi địa hình khu vực La Gi sau mùa gió Đông Bắc (KB0)

Như vậy, phân bố năng lượng sóng tại đường cơ sở có thể phản ảnh trực tiếp đến phân bố trường sóng gần bờ và kết quả tính toán càng chính xác khi đường cơ sở đặt càng gần bờ. Khi sóng lan truyền từ đường cơ sở vào đến bờ, sự tương tác sóng-dòng, cân bằng bùn cát ven bờ và các yếu tố khác như ảnh hưởng của địa hình đáy,…trong phạm vi vùng sóng vỡ đã được bao gồm trong thuật toán của mô hình MIKE 21/3 Coupled để có thể gây biến động hình thái bờ và bãi biển ven biển LaGi.

3.4. Tác động BĐKH-NBD đến diễn biến hình thái dải ven biển Nam Trung Bộ

3.4.1. Kịch bản BĐKH-NBD cho Việt Nam [1]

BĐKH-NBD đã trở thành một thực tế trên toàn cầu và hiện đang được coi là một trong những thách thức lớn nhất của nhân loại. Những tác động của nó đã hiện hữu ở tất cả các quốc gia trong đó Việt Nam được đánh giá là một trong những quốc gia bị ảnh hưởng nặng nề nhất. Kịch bản BĐKH-NBD vào cuối thế kỷ 21 đối với Việt Nam được tóm tắt như sau:

3.4.1.1 Kịch bản BĐKH cho Việt Nam vào cuối thế kỷ 21

- Nhiệt độ: Theo kịch bản RCP4.5, nhiệt độ trung bình năm tăng 1,9÷2,4^{0}C ở phía Bắc và 1,7÷1,9^{0}C ở phía Nam. Theo kịch bản RCP8.5, mức tăng 3,3÷4,0^{0}C ở phía Bắc và 3,0÷3,5^{0}C ở phía Nam. Nhiệt độ cực trị có xu thế tăng rõ rệt.

- Lượng mưa: Theo kịch bản RCP4.5, lượng mưa năm tăng phổ biến từ 5÷15%. Theo kịch bản RCP8.5, mức tăng nhiều nhất có thể trên 20% ở hầu hết Bắc Bộ, Trung Trung Bộ, một phần Nam Bộ và Tây Nguyên. Giá trị trung bình của lượng mưa 1 ngày lớn nhất có xu thế tăng trên toàn lãnh thổ Việt Nam (10÷70%) so với trung bình thời kỳ cơ sở.

- Gió mùa và một số hiện tượng cực đoan: Số lượng bão mạnh đến rất mạnh có xu thế tăng; gió mùa mùa hè có xu thế bắt đầu sớm hơn và kết thúc muộn hơn. Mưa trong thời kỳ hoạt động của gió mùa có xu hướng tăng. Số ngày rét đậm, rét hại ở các tỉnh miền núi phía Bắc, đồng bằng Bắc Bộ, Bắc Trung Bộ đều giảm. Số ngày nắng nóng (Tx $\geq$ 35^{o}C) có xu thế tăng trên phần lớn cả nước, lớn nhất là ở Bắc Trung Bộ, Nam Trung Bộ và Nam Bộ. Hạn hán có thể trở nên khắc nghiệt hơn ở một số vùng do nhiệt độ tăng và khả năng giảm lượng mưa trong mùa khô.

3.4.1.2 Kịch bản NBD cho Việt Nam vào cuối thế kỷ 21

- Kịch bản NBD được xây dựng cho các tỉnh ven biển Việt Nam và được tổng hợp thành 9 khu vực ven biển và hải đảo: (i) Khu vực bờ biển từ Móng Cái đến Hòn Dấu; (ii) Khu vực bờ biển từ Hòn Dấu đến Đèo Ngang; (iii) Khu vực bờ biển từ Đèo Ngang đến Đèo Hải Vân; (iv) Khu vực bờ biển từ Đèo Hải Vân đến Mũi Đại Lãnh; (v) Khu vực bờ biển từ Mũi Đại Lãnh đến Mũi Kê Gà; (vi) Khu vực bờ biển từ Mũi Kê Gà đến Mũi Cà Mau; (vii) Khu vực bờ biển từ Mũi Cà Mau đến Kiên Giang; (viii) Khu vực quần đảo Hoàng Sa của Việt Nam; (ix) Khu vực quần đảo Trường Sa của Việt Nam.

- Đóng góp lớn nhất vào mực nước biển dâng ở khu vực biển Việt Nam là thành phần giãn nở nhiệt và động lực, sau đó là thành phần băng tan tại sông băng và núi băng trên lục địa.

- Đến năm 2050, mực nước biển dâng trung bình cho toàn dải ven biển Việt Nam theo kịch bản RCP2.6 là 21cm (13cm÷32cm), theo RCP4.5 là 22cm (14cm÷32cm), theo RCP6.0 là 22cm (14cm÷32cm) và theo RCP8.5 là 25cm (17cm÷35cm).

- Đến năm 2100, mực nước biển dâng trung bình cho toàn dải ven biển Việt Nam theo kịch bản RCP2.6 là 44cm (27cm÷66cm), theo RCP4.5 là 53cm (32cm÷76cm), theo RCP6.0 là 56cm (37cm÷81cm) và theo RCP8.5 là 73cm (49cm÷103cm).

- Kịch bản mực nước biển dâng trung bình ven biển Việt Nam có khả năng cao hơn mực nước biển trung bình toàn cầu. Mực nước biển dâng khu vực ven biển các tỉnh phía Nam cao hơn so với khu vực phía Bắc. Đến cuối thế kỷ 21, khu vực ven biển từ Móng Cái - Hòn Dấu và Hòn Dấu - Đèo Ngang có mực nước biển dâng thấp nhất, theo RCP4.5 là 55cm (33cm÷78cm), theo RCP8.5 là 72cm (49cm÷101cm). Khu vực ven biển từ Mũi Cà Mau – Kiên Giang có mực nước biển dâng cao nhất, theo RCP4.5 là 53cm (32cm÷75cm), theo RCP8.5 là 75cm (52cm÷106 cm);

- Khu vực giữa Biển Đông có mực nước biển dâng cao hơn so với các khu vực khác. Đến cuối thế kỷ 21, khu vực quần đảo Hoàng Sa có mực nước biển dâng theo

RCP4.5 là 58cm (36cm÷80cm), theo RCP 8.5 là 78cm (52cm÷107cm). Khu vực quần đảo Trường Sa có mực nước biển dâng theo RCP4.5 là 57cm (33cm÷83cm), theo RCP8.5 là 77cm (50cm÷107cm).

3.4.2. Kịch bản NBD sử dụng tính toán cho khu vực Nam Trung Bộ

Trên cơ sở các tài liệu do Bộ Tài nguyên và Môi trường công bố năm 2016 [1], Luận án đã tiến hành lựa chọn kịch bản mực nước biển dâng trung bình cho vùng nghiên cứu Nam Trung Bộ để xem xét ảnh hưởng đến quá trình diễn biến hình thái cho khu vực này như sau:

- Đến năm 2030 (Giai đoạn đầu thế kỷ): Mực nước biển dâng trung bình cho toàn dải ven biển Nam Trung Bộ là 12cm.

- Đến năm 2050 (Giai đoạn giữa thế kỷ): Mực nước biển dâng trung bình cho toàn dải ven biển Nam Trung Bộ là 25cm.

- Đến năm 2100 (Giai đoạn cuối thế kỷ): Mực nước biển dâng trung bình cho toàn dải ven biển Nam Trung Bộ là 50cm.

Như vậy, trong tất cả các tính toán của Luận án, chỉ xét đến sự thay đổi mực nước biển trung bình do BĐKH, mà không xét đến ảnh hưởng của các yếu tố khác gây nên sự dâng cao mực nước biển như: nước dâng do bão, nước dâng do gió mùa, quá trình nâng/hạ địa chất và các quá trình khác.

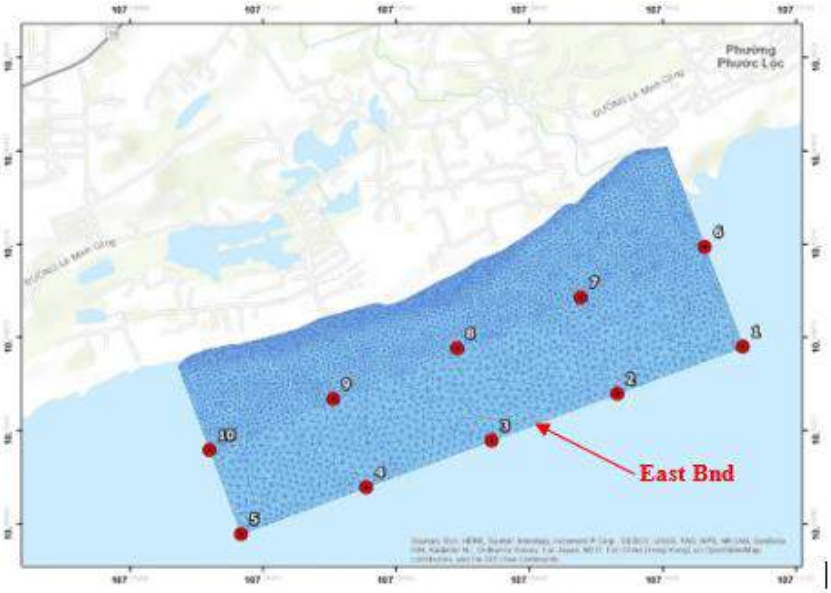
3.4.3. Kết quả tính toán đặc trưng sóng và diễn biến hình thái khu vực ven biển Nam Trung Bộ dưới tác động của NBD do BĐKH

Đối với khu vực có chiều sâu nước *d* lớn hơn một nửa chiều dài sóng *L* (d>L/2, gọi là các khu vực nước sâu), việc thay đổi mực nước biển trung bình theo ba kịch bản BĐKH-NBD như trên không có nhiều ý nghĩa đối với giá trị chiều cao sóng dẫn đến thay đổi dòng năng lượng sóng ở các khu vực nước sâu. Kết quả kiểm tra tại các điểm tính cho 4 phân vùng năng lượng sóng trong Phần 3.1.2 ứng với trường hợp NBD tối đa 50 cm (kịch bản cuối thế kỷ) thì chiều cao sóng cũng chỉ thay đổi lớn nhất khoảng 3cm (bằng 0,3÷0,4% giá trị chiều cao sóng).

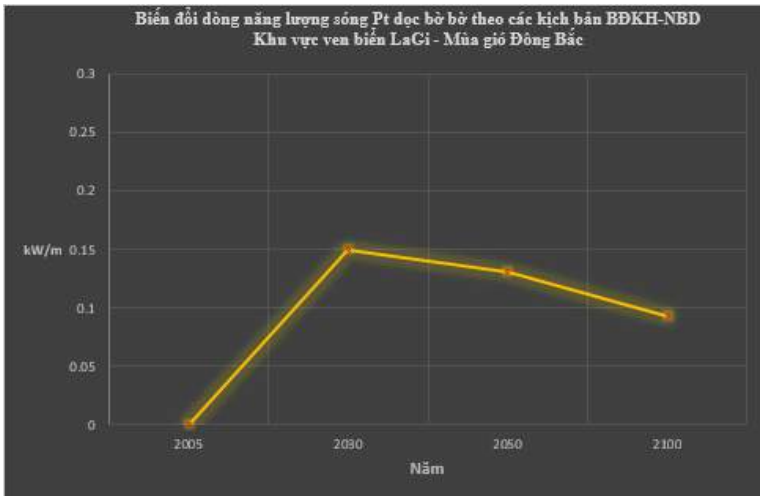
Trong Luận án, tác giả đã tiến hành xem xét ảnh hưởng của sự thay đổi mực nước biển trung bình đối với những vùng gần bờ thông qua sử dụng mô hình chi tiết

khu vực ven biển La Gi-Bình Thuận đã giới thiệu phần trên.

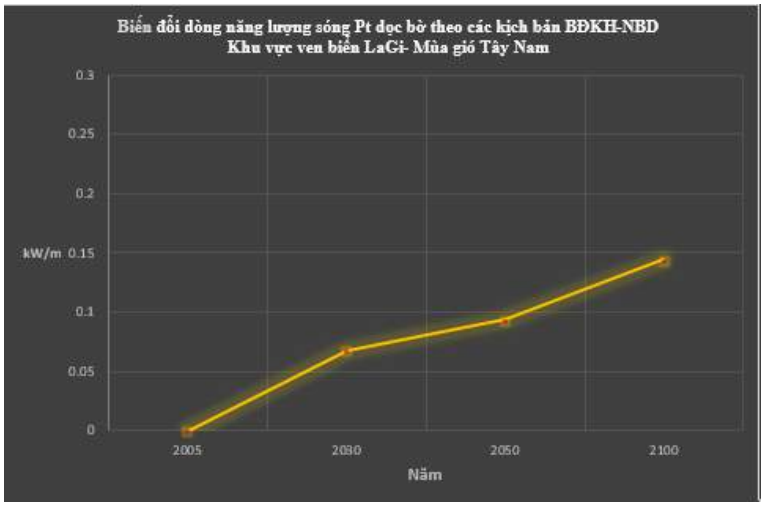
Kết quả tính toán sự biến đổi chiều cao, trị tuyệt đối của dòng năng lượng sóng dọc các điểm trên dải biên phía Đông (East Bnd) và các điểm ven bờ thuộc mô hình chi tiết ven biển La Gi trường hợp hiện trạng (KB0) ứng với các kịch bản mực nước biển dâng thêm 12cm (năm 2030-KB1), 25cm (năm 2050-KB2) và 50cm (năm 2100-KB3) được thể hiện ở các hình sau.



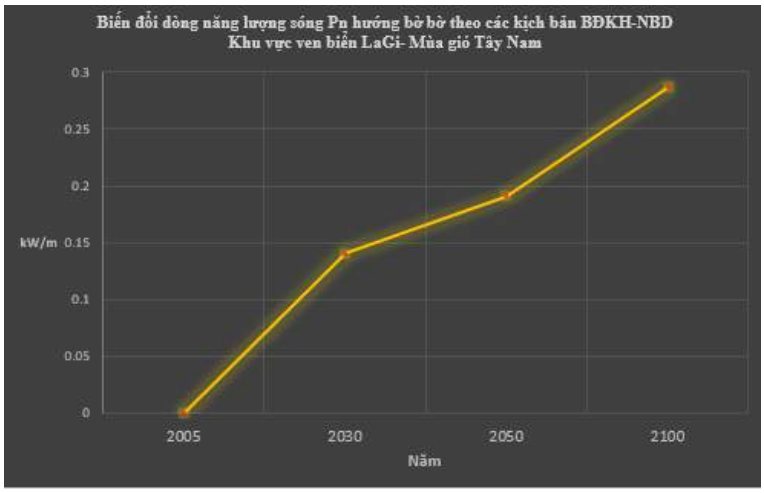
Hình 3.62: Vị trí xem xét biến đổi chiều cao và năng lượng sóng ven biển La Gi



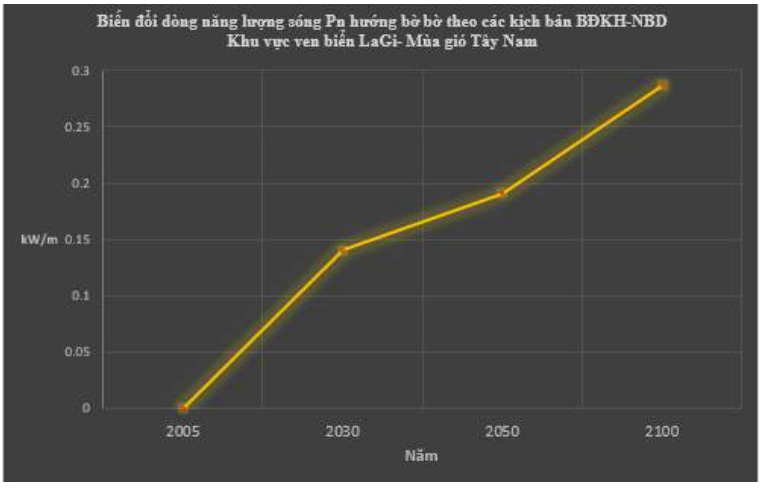
Hình 3.63: Biến đổi dòng năng lượng sóng Pt khu vực La Gi mùa Đông Bắc



Hình 3.64: Biến đổi dòng năng lượng sóng Pt khu vực La Gi mùa Tây Nam



Hình 3.65: Biến đổi dòng năng lượng sóng Pn khu vực La Gi mùa Đông Bắc



Hình 3.66: Biến đổi dòng năng lượng sóng Pn khu vực La Gi mùa Tây Nam

Theo kết quả tính toán, so với hiện trạng (thời kỳ cơ sở 2005), khi mực biển trung bình toàn dải ven biển Nam Trung Bộ dâng thêm 12cm (năm 2030-KB1), 25cm (năm 2050-KB2) hoặc 50cm (năm 2100-KB3) thì chiều cao sóng khu vực ven bờ thay đổi chỉ từ vài cm đến hơn 0.1m. Tuy nhiên vì ở trong vùng sóng vỡ nên khác với các khu vực nước sâu, sự thay đổi đó tương ứng với mức tăng trên dưới 10% đối với độ cao sóng.

Dòng năng lượng sóng Pt dọc bờ (kW/m) ứng với 3 kịch bản trên tăng tương ứng từ 8% (KB1), 12% (KB2) đến 18% (KB3) trong mùa gió Tây Nam nhưng giá trị Pt sẽ thay đổi rất lớn trong thời kỳ hoàn lưu gió Đông Bắc với mức giảm từ 22% (KB1), 19% (KB2) xuống đến 14% (KB3). Đối với năng lượng sóng Pn hướng bờ, theo các kịch bản BĐKH-NBD, mức tăng tương ứng giống nhau từ 8% (KB1), 11% (KB2), 17% (KB3) trong mùa Tây Nam và từ 9% (KB1), 12% (KB2), 17% (KB3) trong mùa Đông Bắc.

Với kết quả dòng năng lượng sóng Pt dọc bờ (có ý nghĩa lớn đối với dòng chảy ven bờ và dòng bùn cát) thay đổi giảm đáng kể thời kỳ hoàn lưu gió Đông Bắc (Hình 3.63) trong khi dòng năng lượng sóng Pn hướng bờ ngày càng gia tăng (Hình 3.65) nên sẽ có tác động rất lớn đến quá trình diễn biến hình thái cho khu vực ven biển La Gi nói riêng và dải ven biển Nam Trung Bộ nói chung. Theo đó, mức độ xói lở ở các khu vực phía Bắc sẽ ngày càng khốc liệt hơn so với những khu vực phía Nam mặc dù xu hướng này giảm dần theo thời gian từ giai đoạn đầu thế kỷ (năm 2030) đến cuối thế kỷ (năm 2100).

3.5. Định hướng giải pháp nhằm cải tạo, ổn định hình thái các khu vực ven biển Nam Trung Bộ trong điều kiện NBD do BĐKH

Trong khuôn khổ Luận án, các nhóm giải pháp đề xuất chỉ mang tính định hướng và sơ bộ. Để chi tiết hóa các giải pháp cần phải nghiên cứu và có những khảo sát bổ sung về điều kiện địa hình, địa chất, thủy-hải văn, quy hoạch sử dụng đất của khu vực, kể cả phần thượng lưu…Cần kết hợp xem xét các yếu tố nội sinh, ngoại sinh và con người để có thể lựa chọn giải pháp quản lý bờ biển hợp lý nhất đồng thời phải xây dựng một quy hoạch quản lý bền vững cho vùng ven biển Nam Trung Bộ.

3.5.1. Giải pháp công trình:

Kỹ thuật bảo vệ bờ biển trên thế giới hiện nay liên tục phát triển và không dừng lại ở giải pháp bị động bao bọc bờ biển bằng những loại vật liệu tốt hơn có khả năng chống chịu trước tác động của sóng, gió, dòng chảy ven bờ. Các giải pháp công trình như bảo vệ bờ trực tiếp, giảm sóng xa bờ bằng hệ thống đê (nhô hoặc ngầm)/quả cầu bê tông rỗng (Trung Quốc), hệ thống mỏ hàn ngang bờ hoặc kết hợp cả mỏ hàn ngang bờ và đê giảm sóng.

Về kết cấu, vật liệu rất đa dạng: Có thể sử dụng các khối phá, giảm sóng bằng bê tông như Haro, Tetrapod... hay đóng nhiều hàng cọc gỗ, cọc bê tông rồi liên kết lại với nhau phủ thảm bê tông đổ trực tiếp trong nước, v.v..

Các giải pháp khoa học công nghệ được đề xuất ngày càng có xu hướng thân thiện với môi trường hơn như: Tạo bãi, nuôi bãi gây bồi, giữ bãi bằng cách trồng cây chắn sóng, xây dựng các mỏ hàn ngầm giảm sóng, bố trí các mỏ hàn mềm dạng túi cát đặt song song hoặc tạo một góc hợp lý với đường bờ. Những công trình loại này đã đem lại hiệu quả rất lớn ở nhiều nước trên thế giới tại Nga, Pháp, Trung Quốc…

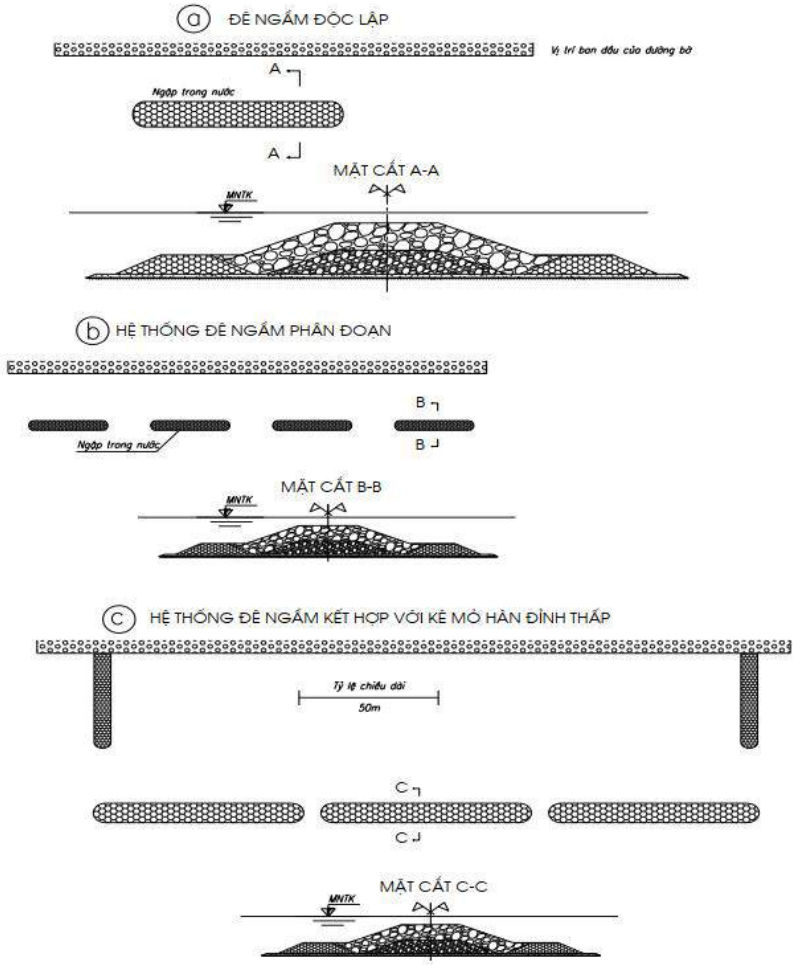
Dựa trên kết quả phân vùng và dự báo năng lượng sóng trình bày trong phần trước, các giải pháp nhằm giải quyết tình trạng xói lở-bồi tụ trước mắt và lâu dài cho khu vực ven biển Nam Trung Bộ được định hướng như sau.

3.5.1.1 Đối với những khu vực có dòng năng lượng sóng hướng bờ Pn lớn

- Cần quy hoạch sử dụng đất vùng ven biển hợp lý, tránh xây dựng các công trình kiến trúc hoặc nhà ở gần bờ biển.

- Trong trường hợp khu vực ven biển là đô thị cần bảo vệ thì phải nghiên cứu tiêu giảm năng lượng sóng từ xa bằng giải pháp công nghệ đê giảm sóng xa bờ (*detached breakwater*) dạng đê nhô hoặc đê ngầm, đặt song song hay vuông góc, xiên góc với đường bờ để tiêu hao phần năng lượng sóng trước khi tiếp cận bờ nhằm giảm xói lở và có thể gây bồi, tái tạo đường bờ (Hình 3.67). Hiệu quả giảm sóng bảo vệ bờ tăng lên khi cao trình đỉnh đê tăng lên. Tuy nhiên, đê càng cao thì đòi hỏi chi phí càng lớn, nhất là ở những vùng bờ biển có địa chất yếu. Do vậy việc lựa chọn đê nhô hay ngầm, cao trình đê nói chung cần được cân nhắc kỹ lưỡng.

Đê giảm sóng thường có thể xây dựng theo cấu trúc đơn hoặc phân đoạn. Cấu trúc đơn được sử dụng để bảo vệ một đoạn đường bờ nhỏ, giải pháp đê phân đoạn được áp dụng để bảo vệ một dải đường bờ rộng lớn hơn bao gồm nhiều phần rời nhau, bố trí song song với bờ nhằm làm giảm năng lượng sóng tác động lên vùng bờ được bảo vệ. Chúng tương tự như các cồn cát, các đảo tự nhiên gần bờ. Việc giảm năng lượng sóng sẽ làm giảm tốc độ dòng chảy dọc bờ, gia tăng quá trình bồi tụ, tạo ra bờ lồi dạng "*salient*" hay "*tombolo*" phía bờ. Tuy nhiên, một phần bùn cát dọc bờ vẫn tiếp tục được vận chuyển về phía hạ lưu của đê giảm sóng.



Hình 3.67: Một số dạng kết cấu đê ngầm giảm sóng

- Loại đê ngầm giảm sóng đơn thường được xây dựng ở vùng có độ sâu từ 3÷4m với mục tiêu giảm xói lở, đồng thời tạo khu vực bảo vệ (khu vực bãi tắm, các hoạt động vui chơi giải trí có yêu cầu về mặt cảnh quan) hoặc khu neo đậu tàu thuyền. Có thể sử dụng vật liệu đá hoặc cấu kiện bê tông cho lớp áo ngoài, tuy nhiên gần đây các

nhà nghiên cứu đã cho xây dựng đê ngầm bằng Geotube, hay nghiên cứu ra các dạng cấu kiện cấu tạo đê ngầm với mục đích tăng khả năng giảm sóng, tăng độ ổn định, cho phép sinh vật dưới biển cư ngụ trong cấu kiện, bảo vệ môi trường,...

Với nhiều ưu điểm, đê giảm sóng dạng rời đã sớm được nghiên cứu, áp dụng ở nhiều nước trên thế giới như: Vương quốc Anh, Nhật Bản, Ai Cập, Italia, Hàn Quốc, Ba Lan, Mexico, Hà Lan, Malaysia....

Hình 3.68: Đê giảm sóng dạng rời tại bờ biển Palling (trái) và Elmer (phải)-Anh

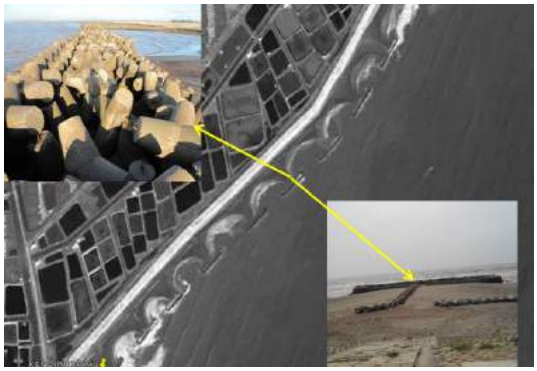
Trước khi xây dựng đê ngầm *Sau khi xây dựng đê ngầm*

Hình 3.69: Hiệu quả tái tạo bờ bằng đê ngầm ở bãi biển Alexandria, Ai Cập

Trong thực tế bảo vệ và tôn tạo bờ biển ở nước ta, việc ứng dụng loại đê nổi giảm sóng (*Emerged detached breakwater*) đã thu được những thành công tương đối rộng rãi mặc dù ở giai đoạn đầu, việc chế tạo các cấu kiện dị hình, vấn đề thi công trong môi trường biển xa bờ gặp nhiều khó khăn. Cơ chế tác động của đê giảm sóng cũng đã dần được nhận thức. Nhưng trong một số bờ biển du lịch, sự tồn tại của đê nổi luôn phá hoại cảnh quan thiên nhiên. Do đó, đê giảm sóng ngầm (*Submerged detached beakwater*) được quan tâm như một giải pháp mới trong phòng hộ bờ biển, thu hút các nhà nghiên cứu. So với đê giảm sóng nổi, đê giảm sóng ngầm có những

ưu điểm vượt trội, như luôn ở dưới mực nước trung bình, không vướng tầm nhìn, không ảnh hưởng đến cảnh quan tự nhiên; đê ngầm có thể tăng cường sóng vỡ gần bờ, có lợi cho sự thay đổi chất lượng nước và khuếch tán chất ô nhiễm; đê ngầm còn có thể là chỗ cho các loài cá sinh sản, có lợi cho bảo vệ môi trường sinh thái và đa dạng sinh học. Ở Việt Nam, công trình đê giảm sóng ngầm đầu tiên, có thể được tính cho chiếc đê trước kè biển Yersin (Viện 378 Nha Trang) xây dựng vào năm 1992. Một đoạn đê ngầm bảo vệ cho bờ biển Hải Dương, Hương Trà tỉnh Thừa Thiên - Huế phía Bắc cửa Thuận An cũng đã được ngành giao thông xây dựng vào năm 2007. Đê ngầm Hải Dương, dài 415m, cao trình đỉnh + 2,5m, đặt cách bờ biển từ 50m đến 300m. Kết cấu đê mái nghiêng, lõi đá hộc, phủ khối Tetrapod 5 tấn. Sau khi xây dựng, đê đã cho hiệu quả bảo vệ bờ biển rất tốt và ổn định cho đến nay. Gần đây một loạt công trình bảo vệ bờ biển dạng chữ T đã được xây dựng ở biển Cần Giờ - thành phố Hồ Chí Minh (Hình 3.70) và các huyện Giao Thủy, Hải Hậu, Nghĩa Hưng thuộc tỉnh Nam Định (Hình 3.71) là sự kết hợp giữa mỏ hàn và đê ngầm giảm sóng.

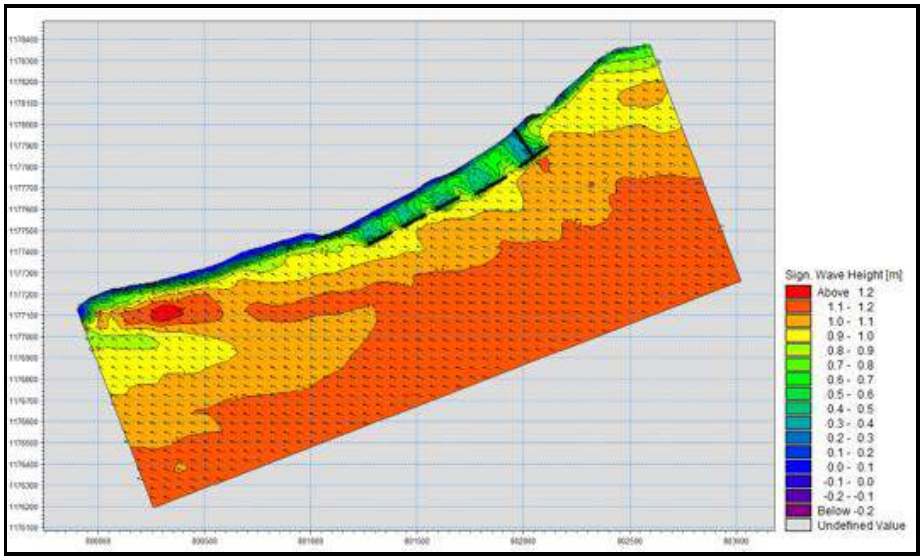
Hình 3.70: Hệ thống mỏ hàn và đê giảm sóng bảo vệ bờ biển Cần Giờ - Tp. HCM



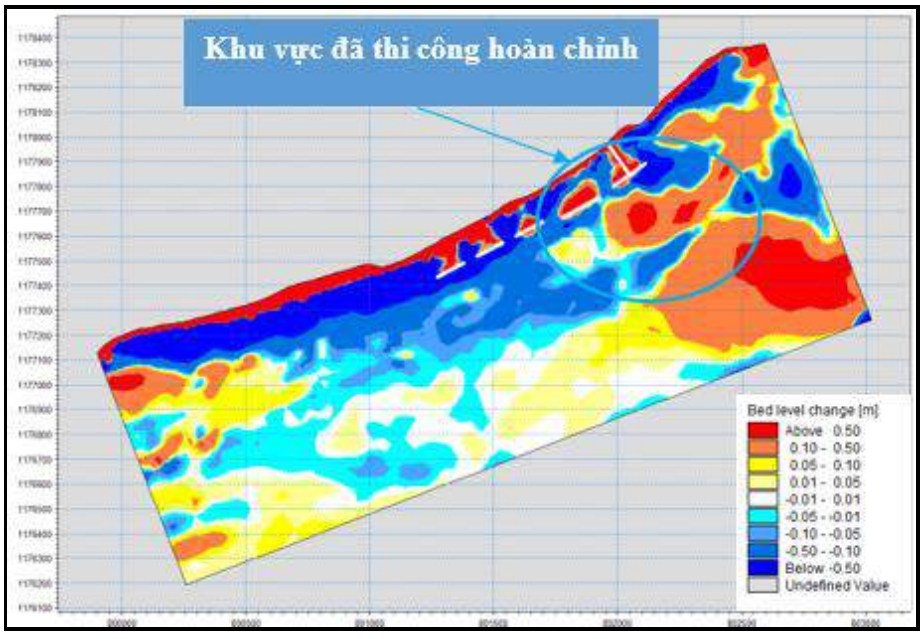
Hình 3.71: Hệ thống 9 mỏ hàn dạng chữ T tại Kiên Chính - Nam Định

Tại Nam Trung Bộ, từ cuối năm 2019 dự án "*Kè bảo vệ khu dân cư phường Phước Lộc, thị xã La Gi, tỉnh Bình Thuận*" đã bắt đầu triển khai thi công hệ thống công trình ngăn cát giảm sóng kết hợp giữa mỏ hàn dạng chữ T và đê ngầm giảm sóng. Đây là kết quả nghiên cứu ứng dụng của tác giả và các cộng sự dựa trên phân tích tác động của các dòng năng lượng sóng, vận chuyển bùn cát tại khu vực ven biển này. Phương án đề xuất gồm 05 phân đoạn đê ngầm vật liệu bằng đá khối lớn đặt song song cách bờ biển 150m, mỗi phân đoạn dài 160m, ngắt quãng 80m kết hợp 01

mỏ hàn dạng chữ T (Hình 3.72÷Hình 3.73). Cao trình đỉnh đê +0.80m, rộng 4,80m. Đến nay đã thi công hoàn chỉnh mỏ hàn và 02 phân đoạn đê ngầm phía Bắc (Hình 3.74).



Hình 3.72: Trường sóng tính toán mùa gió Đông Bắc sau khi có công trình



Hình 3.73: Biến đổi địa hình tính toán 01 năm sau khi có công trình

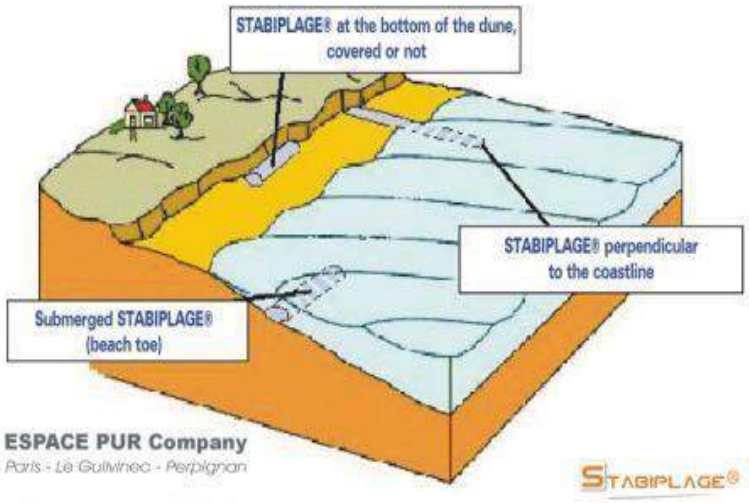
Hình 3.74: Thi công hoàn chỉnh mỏ hàn và 02 phân đoạn đê ngầm phía Bắc[7]

3.5.1.2 Đối với các khu vực dòng năng lượng sóng hướng bờ Pn không lớn

Có thể áp dụng các giải pháp bảo vệ bờ trực tiếp bằng các kết cấu mềm, thân thiện với môi trường, có chi phí thấp, ví dụ:

❖ *Các kết cấu mềm địa kỹ thuật-Stabiplage:*

Về cơ bản có 3 kiểu công trình Stabiplage (Hình 3.75):



Hình 3.75: Các ứng dụng kết cấu mềm địa kỹ thuật-Stabiplage

- Stabiplage đặt ngầm và song song với bờ, có tác dụng làm giảm bớt năng lượng sóng lừng mạnh, nguy hiểm, tạo vùng sóng lừng nhỏ hơn, cho phép phù sa mịn lắng đọng trong vùng bị xói lở.

[7] Nguồn: Dự án kè bảo vệ khu dân cư phường Phước Lộc-Viện Khoa học Thủy lợi miền Nam, 2019

- Stabiplage đặt nửa chìm, nửa lộ thiên vuông góc với bờ như kiểu mỏ hàn, nhằm hạn chế dòng ven bờ, tăng cường bồi tụ phù sa mà dòng chảy ven bờ mang theo, duy trì tại chỗ lượng phù sa theo cơ chế bồi tụ.

- Stabiplage đặt sát chân các đụn cát, có nhiệm vụ trực tiếp bảo vệ các đụn cát ven biển, ngoài ra có thể tạo ra sự phủ cát nhân tạo theo ý muốn bằng các biện pháp kỹ thuật đơn giản.

Kết cấu mềm địa kỹ thuật-Stabiplage gồm các con lươn có vỏ bọc ngoài sử dụng vật liệu tổng hợp Geocomposite (vải địa kỹ thuật) hai lớp, lớp ngoài là lưới polyeste màu sáng, lớp lọc bên trong là polypropylene kiểu không dệt. Đặc tính cơ bản của Geocomposite là có độ bền kéo 400 kN/m và độ thấm 0,041 m/s. Chiều dài trung bình của Stabiplage từ 50÷80m, mặt cắt gần như hình elip, chu vi khoảng 6,5÷10m. Bản chất của công nghệ này là chống xói lở, sa bồi bờ biển không dùng đê kè cứng bằng bê tông cốt thép nhưng bền vững, thích ứng với nhiều tầng nền, nhiều loại môi trường.

Hiện nay, nhiều nước trên thế giới đã áp dụng công nghệ Stabiplage, theo tiếng Pháp có nghĩa là ổn định bờ. Công nghệ này do nhà khoa học người Pháp - ông *Jean Cornic* sáng chế và đưa vào ứng dụng từ năm 1986.

Công nghệ chống xói lở Stabiplage tận dụng cát tại chỗ, chứa trong các túi có vỏ bọc là lớp vật liệu dẻo "geo-composite", để tạo nên các công trình chắn sóng và bảo vệ bờ. Công nghệ này đã được ứng dụng hiệu quả trong gần 40 công trình và dự án ở nhiều quốc gia trên thế giới như Mỹ, Pháp, Tây Ban Nha, Thụy Sĩ...

Hình 3.76: Quá trình thi công ống cát (trái) và sau một thời gian đưa vào sử dụng (phải) tại thành phố Atlantic bang New Jersey-Mỹ

Hình 3.77: Bờ biển Bolivar Penisula (Mỹ) trước và sau khi bảo vệ bằng ống cát

Tại Việt nam, đã ứng dụng công nghệ này để chống xói lở bờ biển và thí điểm lần đầu tiên ở bãi biển Lộc An, tỉnh Bà Rịa Vũng Tàu (Hình 3.78), sau đó là bờ biển Đồi Dương, Bình Thuận (Hình 3.79).

Thi công lắp đặt geotube Lắp đặt theo hướng vuông góc bờ

Hình 3.78: Công trình Stabiplage thí điểm đầu tiên tại Lộc An – Vũng Tàu

Hình 3.79: Thực trạng thi công Stabiplage tại Đồi Dương – Phan Thiết.

❖ *Các giải pháp thân thiện với môi trường*

- Bù cát vào vị trí bờ biển bị xói hay còn gọi là nuôi bãi nhân tạo (*Artificial beach nourishment*): Giải pháp này thường được ứng dụng trong những trường hợp sóng không quá lớn, tốc độ xói lở không cao. Bù đắp lượng cát bị xói lở ở bãi biển từ các nguồn cát ở trong đất liền hoặc ngoài biển (Hình 3.80). Vốn đầu tư ban đầu không lớn, thời gian thi công nhanh, giải pháp kỹ thuật đơn giản và có kết quả ngay. Không gây ảnh hưởng tới khu vực lân cận, tới cảnh quan môi trường, rất phù hợp với các bãi biển du lịch. Ty nhiên theo thời gian, từ 5÷10 năm phải tiến hành nuôi bãi lại.

- Trồng rừng cây ngập mặn (*Mangrove*): Giảm sóng và tốc độ dòng chảy ở phần bãi trước khi tác dụng vào bờ (Hình 3.81).

- Gia cố đụn cát (*Dune reinforcement*): Hạn chế mất cát trên cồn do hiện tượng cát bay, cát nhảy…

Hình 3.80: Bảo vệ bờ biển bằng giải pháp bù cát (nuôi bãi nhân tạo)

Hình 3.81: Giải pháp mềm trồng rừng ngập mặn

- Về vật liệu mềm có thể dùng bao tải hoặc ống cát GST (Hình 3.82).

Hình 3.82: Vật liệu bảo vệ bờ dùng bao tải (trái) và ống cát GST (phải)

❖ *Các kết cấu cứng bằng bê tông cốt thép:*

Dọc bờ biển nước ta đã có nhiều công trình bảo vệ bờ trực tiếp bao gồm cả đê, kè biển với nhiều hình thức kết cấu khác nhau. Kè bảo vệ sát bờ nhằm chống lại sự gây xói mòn của sóng và dòng chảy lên đường bờ, đồng thời chấp nhận phía trước chân kè bị xói sâu đến giới hạn cho phép trong thiết kế của công trình. Công trình có dạng mái dốc nghiêng, mái dốc đứng (tường chắn hoặc cừ bản), hoặc dạng kết hợp.

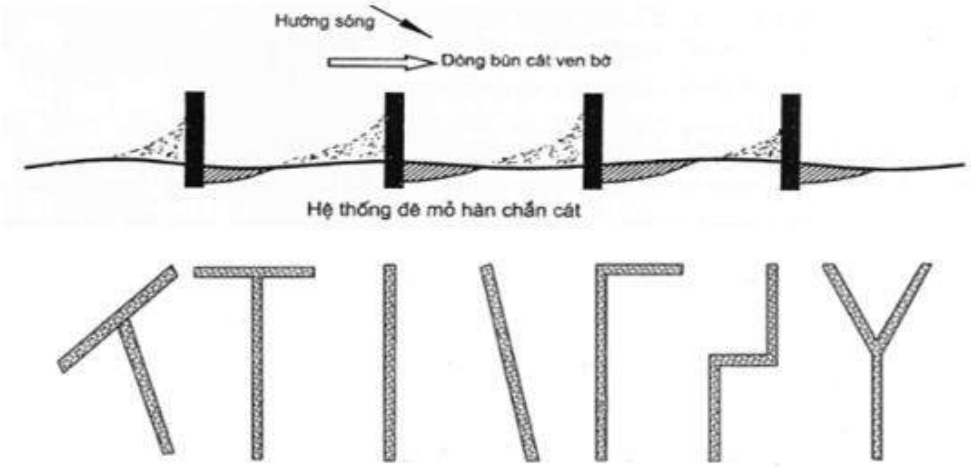
Dạng mái nghiêng được dùng ở hầu hết các tỉnh ven biển. Mái kè với lớp vỏ bởi đá hộc lát khan hoặc lát tấm bê tông liên kết 2 chiều hoặc 3 chiều liên kết mảng. Sử dụng thêm các khối Tetrapod ở chân kè giảm sóng tác động lên phần mái và đỉnh kè như kè thủy sản Nam Phan Thiết, kè Đức Long (Bình Thuận). Dạng tường đứng xây đá hộc được xây dựng ở Đồ Sơn (Hải Phòng), Hàm Tiến (Phan Thiết); tường góc BTCT hoặc cừ ván dự ứng lực với mái lát tấm bê tông được xây dựng ở bờ biển đường Trần Phú - Nha Trang tôn tạo cảnh quan, kè biển Qui Nhơn, tỉnh Bình Định có kết hợp giữ được bãi tắm...

Hình 3.83: Kè biển dạng kết hợp ở Nha Trang (trái) và Quy Nhơn (phải)

3.5.1.3 Đối với khu vực có dòng năng lượng sóng chảy dọc bờ Pt lớn

Ứng dụng các kết cấu mỏ hàn (mềm hoặc cứng) để hạn chế dòng bùn cát di chuyển, giữ lại thế cân bằng cho bờ biển.

Kè mỏ hàn hay còn gọi là đập mỏ hàn là công trình đặt ngang hoặc xiên với chiều dòng chảy. Đỉnh của kè mỏ hàn có thể cao hơn mực nước thiết kế (mỏ hàn nổi), hoặc thấp hơn (mỏ hàn chìm). Kết cấu mỏ hàn đặt xiên hoặc vuông góc với tuyến đường bờ nhằm ngăn chặn dòng chảy ven bờ tạo bồi, nuôi bãi, bảo vệ đường bờ.



Hình 3.84: Sơ đồ bố trí hệ thống mỏ hàn (trên) và một số dạng mỏ hàn (dưới)

Theo chiều dài, kè mỏ hàn có thể chia làm các bộ phận cấu tạo sau:

- Phần gốc: Là nơi mỏ hàn nối tiếp với bờ biển, phần gốc đập mỏ hàn dễ bị hỏng do dòng chảy men theo bờ thúc thẳng vào nó. Vì vậy gốc đập mỏ hàn cần được bảo vệ kiên cố.

- Phần đầu: Là phần xa bờ nhất của đập mỏ hàn, nơi trực tiếp chịu tác động cùa dòng chảy. Đây là nơi dề bị xâm hại nhất của kè mỏ hàn, cần được báo vệ kiên cố.

- Phần thân: Nằm giữa đầu và gốc, với những đập mỏ hàn ngắn thì chiều dài của phần thân không đáng kề.

Một số dạng kết cấu kè mỏ hàn:

❖ *Công trình kè mỏ hàn dạng Panô:*

Công trình dạng Panô là một loại công trình xuyên nước, tạo thành bởi các cấu kiện BTCT dạng bình phong. Nó tiếp thu được những ưu điểm cùa các loại công trình cọc gỗ và loại công trình rọ đá, đồng thời khối lượng duy tu nhỏ, kiên cố và bền.

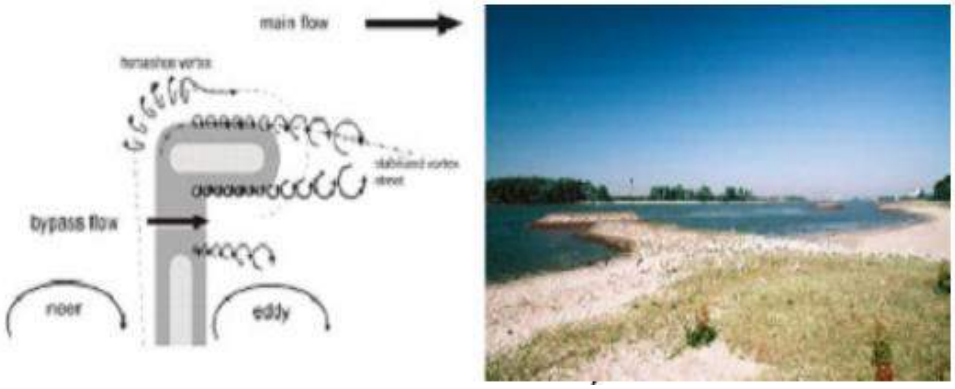
Dùng công trình dạng Panô làm đập dọc, mỏ hàn đều có tác dụng cản dòng gây bồi, bảo vệ bãi và lái dòng chảy.

❖ *Công trình kè mỏ hàn dạng cọc ống BTCT:*

Đây là loại công trình sử dụng các cọc ống BTCT để tạo thành thân mỏ. Loại công trình này đã được ứng dụng ở Trung Quốc và Băngladet. Qua quá trình vận hành thực tế cho thấy loại công trình cọc ống này có tác dụng đẩy dòng, đã khống chế một cách cơ bản xu thế sạt lờ bờ, có tác dụng cản dòng gây bồi rõ rệt.

Hình 3.85: Kè mỏ hàn bằng hàng cọc ống ở Băngladet

❖ *Kè mò hàn chữ G ngắt quãng:*



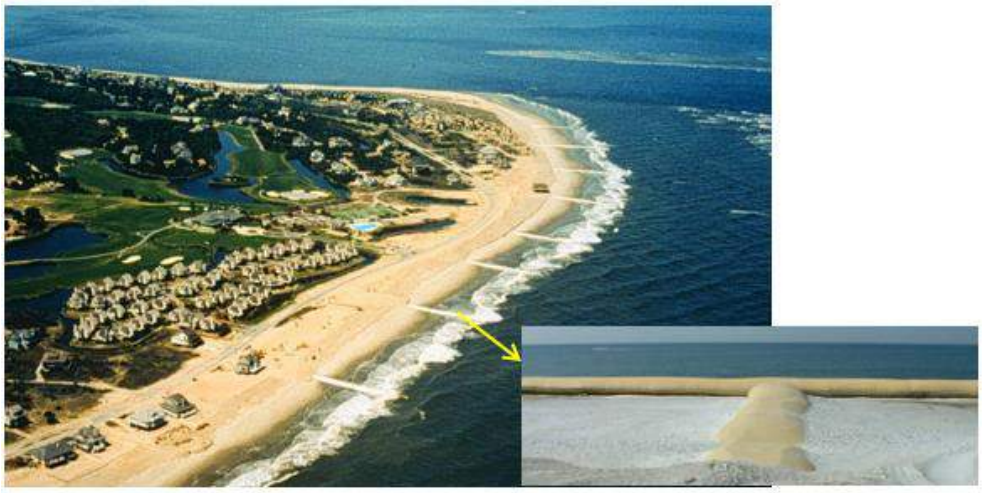
Hình 3.86: Kè mỏ hàn chữ G ngắt quãng

Đây là một kết quả nghiên cứu mới nhất của các nhà khoa học Hà Lan và đã giành được giải thưởng thiết kế cạnh tranh ở Hà Lan năm 2006. Kết cấu của mỏ hàn dựa trên cơ sơ mỏ hàn chữ L nhưng có ngắt quãng một đoạn giữa mũi và thân mỏ hàn. Khoảng ngắt quãng không những làm giảm phần dòng chảy bị chắn và làm cho dòng chảy mang bùn cát dề dàng vượt qua thân mỏ hàn, gây bồi lắng ngay sau thân mỏ hàn.

❖ *Kè mỏ hàn mềm bằng túi vải địa kỹ thuật:*

Sử dụng công nghệ ống cát để thi công mỏ hàn mềm là phương pháp nhanh chóng và kinh tế để bảo vệ bờ biển. Các ống cát được đặt vuông góc bờ biển làm giảm đi sự trôi ngang của cát, giúp tái tạo bờ biển. Các ống cát được thiết kế và sản xuất theo các kích thước phi tiêu chuẩn nhằm tối ưu hóa công năng sử dụng. Khi được phép của thiết kế, có thể sử dụng cát ngay tại chỗ để bơm vào ống cát, giúp rút ngắn được thời gian thi công, tiết kiệm chi phí. Nếu như quy định bắt buộc phải lấy vật liệu từ nơi khác, thì công nghệ này vẫn tốn ít chi phí hơn sử dụng những phương pháp xây dựng khác.

Tại đảo Bald Head, Bắc Carolina, Mỹ (Hình 3.87) đã sử dụng 16 ống cát chu vi 9m, dài 90m được lắp đặt vuông góc với bờ biển để bảo vệ công trình trên khỏi xói lở. Sau khi hoàn thành 2 ngày, công trình đã hứng chịu tác động của bão Francis. Không có bất cứ sự xói lở nào đối với phần bờ biển gia cố bởi ống cát. Bờ biển dần dần được cát bồi lấp và mở rộng, phương pháp này có chi phí thấp nhưng hiệu quả tương đối cao.



Hình 3.87: Tổng thể công trình kè mỏ hàn mềm sử dụng ống cát tại Bald Head

3.5.2. Giải pháp phi công trình:

Tuy nhiên, cần nhận thức rằng bất cứ giải pháp công trình nào cũng đều đòi hỏi chi phí lớn và đều có tác động tiêu cực nhất định đến môi trường tự nhiên, vì thế trước khi xem xét các giải pháp công trình thì cần cân nhắc kỹ các giải pháp phi công trình, bao gồm:

- Quy hoạch phát triển vùng ven biển theo hướng bền vững, có xét đến các tác động của BĐKH và NBD;

- Tăng cường tuyên truyền nâng cao nhận thức của người dân địa phương về các tai biến thiên tai và các nguyên nhân gây xói lở bờ biển;

- Theo dõi diễn biến xói lở bờ biển về quy mô, cường độ, hướng chuyển dịch theo định kỳ và không định kỳ tùy thuộc vào thực tế;

- Xây dựng cơ sở dữ liệu kiểm soát sạt lở theo địa bàn huyện, tỉnh, bao gồm cả bản đồ hiện trạng, bản đồ dự báo, cảnh báo khả năng xói lở.

Tất cả các thông tin về xói lở phải được cập nhật thường xuyên, phải được phân tích, đánh giá tổng hợp trên quan điểm hệ thống cảnh báo kịp thời, được lưu giữ bằng thông tin địa lý (GIS). Bên cạnh đó, những thông tin cảnh báo, dự báo về xói lở được thông báo kịp thời đến người dân, phát lệnh cấp báo trong trường hợp khẩn cấp, thông qua mạng thông tin quản lý kiểm soát xói lở được kết nối giữa cơ quan quản lý với cơ quan nghiên cứu khoa học và cộng đồng dân cư. Những khu vực đã có đê, kè thì cần tổ chức bảo vệ và lên phương án ứng cứu, khắc phục khi có sự cố. Đặc biệt là điều chỉnh quy hoạch tổng thể phát triển kinh tế-xã hội theo tỉnh và vùng lãnh thổ, để từ đó khoang vùng nguy cơ xói lở với mức độ khác nhau để bố trí hợp lý các tụ điểm dân cư, công trình dân sinh, kinh tế. Tổ chức tốt công tác di dời dân cư ra khỏi vùng nguy hiểm dưới hình thức di dời vĩnh viễn theo kế hoạch quy hoạch; di dời tạm thời khi có cảnh báo và di dời khẩn cấp khi có cấp báo.

KẾT LUẬN

Luận án đã tiến hành nghiên cứu diễn biến hình thái vùng ven biển các tỉnh Nam Trung Bộ từ Đà Nẵng đến Bình Thuận. Đây là một khu vực luôn phải hứng chịu nhiều thiên tai như bão, lũ và có quá trình xói lở-bồi tụ bờ và bãi biển rất phức tạp. Đặc biệt trong những năm qua, dưới tác động của các yếu tố như BĐKH, mực nước biển dâng cao, các hoạt động KT-XH của con người được đẩy mạnh…đã làm cho quá trình xói lở-bồi tụ khu vực này trở nên càng phức tạp và khó lường hơn bao giờ hết.

Trong nghiên cứu của mình, tác giả đã sử dụng các phương pháp nghiên cứu phù hợp trong đó phương pháp mô hình toán là công cụ hiện đại đã được hiệu chỉnh và kiểm nghiệm thực tế với kết quả đáng tin cậy. Những đóng góp chính của Luận án bao gồm:

- Luận án đã xây dựng được phương pháp xác định giá trị "*Thành phần dòng năng lượng sóng dọc bờ*" (Pt) và "*Thành phần dòng năng lượng sóng hướng bờ*" (Pn) đặc trưng cho tác động của sóng biển đối với đường bờ, bãi biển và xây dựng được bản đồ phân bố các đại lượng Pt và Pn dọc theo tuyến "*đường cơ sở*" dải ven biển Nam Trung Bộ; Trên cơ sở biểu đồ phân bố, kết hợp phân tích gradient của dòng năng lượng sóng theo không gian và thời gian, xác định các khu vực có nguy cơ biến đổi hình thái vùng bờ biển. Đây là cơ sở khoa học và thực tiễn đóng góp cho công tác quản lý xói lở ven biển khu vực nghiên cứu.

- Trong điều kiện nước biển dâng, các giá trị của "*thành phần dòng năng lượng sóng dọc bờ*" và "*thành phần dòng năng lượng sóng hướng bờ*" gia tăng không đáng kể tại vùng nước sâu nhưng lại gia tăng đáng kể trong vùng nước nông do vùng sóng vỡ dịch chuyển gần bờ hơn đặc biệt sau năm 2030.

- Kết quả phân tích nghiên cứu điển hình cho thấy ven biển Nam Trung Bộ có xu hướng bồi tụ mạnh hơn ở vùng phía Nam và xói lở mạnh hơn ở vùng phía Bắc dưới tác động của NBD, đặc biệt ở những khu vực gần cửa sông. Điều này lý giải mối tương tác giữa biển và sông trong đó ảnh hưởng tác động từ phía biển có xu hướng mạnh lên lấn át ảnh hưởng của sông. Ngoài ra, các công trình bảo vệ cửa, luồng tàu được xây dựng trong những năm qua bao gồm các kè mỏ hàn cửa sông đã

làm ảnh hưởng đến phân bố của các dòng năng lượng sóng và chế độ vận chuyển cát ven bờ.

- Định hướng giải pháp chính cho việc quản lý vùng bờ biển Nam Trung Bộ trước hết là việc xây dựng quy hoạch quản lý tổng hợp vùng ven biển nhằm phục vụ phát triển bền vững khu vực này đồng thời tránh những đầu tư quá mức cho các giải pháp công trình bảo vệ. Các giải pháp công trình, đặc biệt việc bố trí không gian các kết cấu chỉnh trị bờ biển có thể sử dụng khuyến nghị từ bản đồ phân bố các thành phần dòng năng lượng ven bờ do nghiên cứu này đề xuất.

DANH MỤC CÁC CÔNG TRÌNH ĐÃ CÔNG BỐ

1. **Phạm Trung**, Trần Thu Tâm (2012), "Đánh giá ảnh hưởng của các hướng sóng gió đến diễn biến hình thái đoạn bờ biển tỉnh Bình Thuận", *Tuyển tập kết quả KH & CN 2011*, Tr180, số 14.
2. **Phạm Trung**, Nguyễn Đức Vượng (2016), "Tính toán trường gió và áp suất do bão trên biển Đông thiết lập các kịch bản nghiên cứu cho khu vực tỉnh Bình Thuận", *Tuyển tập kết quả KH & CN 2015, ISSN: 0866-7292*, Tr189, Số 18.
3. **Phạm Trung** (2019), "Biến đổi hình thái cửa sông ven biển Nam Trung Bộ dưới tác dộng của nước biển dâng", *Khoa học và Công nghệ Thủy lợi*, ISSN: 0866-7292, Tr100, Số 52.
4. **Phạm Trung** (2019), "Dòng năng lượng sóng hướng bờ và dọc bờ biển Nam Trung Bộ", *Khoa học và Công nghệ Thủy lợi*, ISSN: 0866-7292, Tr40, Số 52.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

Tiếng Việt

[1] Bộ Tài nguyên và Môi trường (2016), *Kịch bản biến đổi khí hậu và nước biển dâng cho Việt Nam,* Nhà xuất bản Tài nguyên Môi trường và bản đồ Việt Nam, Hà Nội.

[2] Nguyễn Văn Cư, Phạm Huy Tiến (2003), S*ạt lở bờ biển miền Trung Việt Nam*, Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật, Hà Nội.

[3] Nguyễn Văn Cư và nnk (1990), *Động lực vùng ven biển và cửa sông Việt Nam - Phần nghiên cứu cửa sông*, Báo cáo tổng kết đề tài 48B-02-01, Viện Khoa học Việt Nam, Hà Nội.

[4] Nguyễn Kim Đan (2017), *Nghiên cứu về quá trình xói lở bờ biển Hội An và biện pháp bảo vệ,* Báo cáo Kỹ thuật tổng hợp dự án Hội An, Quảng Nam.

[5] Đặng Đình Đoan (2014), *Nghiên cứu diễn biến hình thái khu vực cửa sông Thu Bồn và đề xuất các giải pháp giảm thiểu tác động bất lợi phục vụ phát triển kinh tế xã hội*, Luận án Tiến sĩ kỹ thuật, Đại học Thủy lợi Hà Nội, Hà Nội.

[6] Vũ Đức Đam (2014), *Phê duyệt Quy hoạch tổng thể phát triển du lịch vùng duyên hải Nam Trung Bộ đến năm 2020, tầm nhìn đến năm 2030,* Quyết định số 2350/QĐ-TTg, Hà Nội.

[7] Lương Phương Hậu (2009), *Nghiên cứu các phương pháp dự báo diễn biến bờ biển và ứng dụng cho một số đoạn trọng điểm*, Báo cáo đề tài cấp Bộ, Hà Nội.

[8] Lương Phương Hậu (2005), *Động lực học và công trình cửa sông*, Nhà xuất bản Xây dựng, Hà Nội.

[9] Lương Phương Hậu, Phạm Văn Giáp (1996), *Chỉnh trị cửa sông ven biển,* NXB Xây dựng, Hà Nội.

[10] Lê Xuân Hồng (1996), *Đặc điểm xói lở bờ biển Việt Nam,* Luận án PTS Khoa học Địa lý - Địa chất, Trường Đại học Khoa học Tự nhiên - Đại học Quốc gia Hà Nội, Hà Nội.

[11] Nguyễn Mạnh Hùng (2010), *Nghiên cứu đánh giá tiềm năng các nguồn năng*

lượng biển chủ yếu và đề xuất các giải pháp khai thác, Đề tài khoa học cấp Nhà nước KC.09/06-10, Hà Nội.

[12] Nguyễn Mạnh Hùng, Dương Công Điển và nnk (2009), *Năng lượng sóng biển khu vực biển Đông và vùng biển Việt Nam,* Nhà xuất bản Khoa học tự nhiên và Công nghệ, Hà Nội.

[13] Nguyễn Thanh Hùng và nnk (2018), *Nghiên cứu quá trình xói lở, bồi tụ dải bờ biển, cửa sông từ Quảng Bình đến Thừa Thiên-Huế, có xét tới ảnh hưởng của các tác động từ thượng nguồn và đề xuất giải pháp ổn định,* Đề tài KHCN cấp nhà nước KC08.16/16-20, Hà Nội.

[14] Nguyễn Thị Thảo Hương (2000), *Nghiên cứu diễn biến cửa sông thuỷ triều phục vụ cho khai thác thuỷ lợi, giao thông*, Luận án Tiến sỹ kỹ thuật, Trường Đại học Thủy lợi Hà Nội, Hà Nội.

[15] Phạm Thu Hương (2012), *Nghiên cứu cơ sở khoa học cho việc đề xuất giải pháp ổn định cửa Đà Rằng, tỉnh Phú Yên,* Luận án Tiến sĩ kỹ thuật, Trường Đại học Thủy lợi Hà Nội, Hà Nội

[16] Võ Công Hoang, Hitoshi Tanaka và nnk (2016), "Phân tích diễn biến hình thái cửa sông Đà Rằng, Phú Yên bằng ảnh vệ tinh", *Tạp chí Khoa học kỹ thuật Thủy lợi và Môi trường, Trường Đại học Thủy lợi*, Số 55, Hà Nội.

[17] Trần Đức Lương, Nguyễn Xuân Bao (1998), *Bản đồ địa chất Việt Nam tỷ lệ 1/500.000,* Hà Nội.

[18] Đỗ Hoài Nam, Nguyễn Thanh Hùng (2019), "Thực trạng xói lở bờ biển và bồi tụ các cửa sông khu vực miền Trung và định hướng giải pháp phòng chống", *Tạp chí Nông nghiệp và phát triển nông thôn*, Kỳ 2, tháng 7/2019, Hà Nội.

[19] Nguyễn Hữu Nhật (2002), *Nghiên cứu sử dụng năng lượng sóng biển làm nguồn chiếu sáng phao tín hiệu hoạt động ngoài khơi biển Việt Nam,* Báo cáo tổng kết đề tài cấp Bộ, Viện Công nghệ GTVT, Bộ GTVT, Hà Nội.

[20] Nguyễn Hữu Nhân (2015), *Nghiên cứu cơ chế hình thành và phát triển vùng bồi tụ ven bờ và các giải pháp khoa học và công nghệ để phát triển bền vững về kinh tế - xã hội vùng biển Cà Mau*, Đề tài nghiên cứu Độc lập, Hà Nội.

[21] Nguyễn Thanh Ngà và nnk (1995), *Hiện trạng và nguyên nhân bồi xói dải ven biển Việt Nam, đề xuất các biện pháp khoa học kỹ thuật bảo vệ và khai thác vùng đất ven biển*, Báo cáo tổng kết đề tài cấp Nhà nước KT - 03 -14, Hà Nội.

[22] Nguyễn Bá Quỳ (1994), *Một số vấn đề diễn biến cửa sông vùng triều dưới ảnh hưởng của bão, lũ*, Luận án PTS KHKT, Trường Đại học Thủy lợi Hà Nội, Hà Nội.

[23] Đỗ Ngọc Quỳnh (2002÷2003), *Đánh giá tiềm năng năng lượng biển Việt Nam*, Báo cáo tổng kết đề tài cấp Viện Khoa học và Công nghệ Việt Nam, Hà Nội.

[24] Nguyễn Thọ Sáo, Đặng Đình Khá, Trần Ngọc Anh (2014), "Phân tích nguyên nhân bồi lấp luồng tại cửa biển Tam Quan-Bình Định", *Tạp chí Khoa học ĐHQGHN*, Số 4. Hà Nội.

[25] Trần Thu Tâm (2004), *Công trình ven biển*, Nhà xuất bản Đại học Quốc gia Tp. HCM, Tp.HCM.

[26] Lê Đình Thành (2009), *Nghiên cứu đề xuất giải pháp ổn định các cửa sông miền Trung*, Đề tài nghiên cứu cấp Nhà nước KC.08.07/06-10, Hà Nội.

[27] Nguyễn Văn Thắng và nnk (2016), "Ảnh hưởng của bão ở Việt Nam thời kỳ 1961-2014", *Tạp chí Khoa học ĐHQGHN: Các Khoa học trái đất và môi trường*, Tập 32, Số 3S.

[28] Thông tấn xã Việt Nam (2018), *Phòng chống xói lở bờ biển Nam miền Trung: Hiện trạng và nguyên nhân.*

[29] Lê Phước Trình và NNK (2000), *Nghiên cứu quy luật và dự đoán xu thế bồi tụ-xói lở vùng ven biển và cửa sông Việt Nam*, Báo cáo TKĐT KHCN.06.08, Viện Hải dương học Nha Trang, Khánh Hòa.

[30] Nguyễn Ngọc Thụy (1998), *Thủy triều trong các vùng cửa sông Việt Nam*, Nhà xuất bản Khoa học và kỹ thuật, Hà Nội.

[31] Phạm Huy Tiến (2005), *Dự báo hiện tượng xói lở-bồi tụ bờ biển, cửa sông và các giải pháp phòng tránh*, Đề tài khoa học cấp Nhà nước KC.09.05, Hà Nội .

[32] Phạm Huy Tiến, Trần Đức Thạnh, Bùi Hồng Long, Nguyễn Văn Cư (2002),

"Các kết quả nghiên cứu xói lở và bồi tụ vùng cửa sông ven biển Việt Nam", *Tạp chí Khoa học và Công nghệ biển*, Tập 2, Số 4, Hà Nội.

[33] Trần Thanh Tùng và nnk (2011), *Nghiên cứu áp dụng giải pháp nuôi bãi nhân tạo cho các đoạn bờ biển bị xói lở ở khu vực miền Trung Việt Nam*, Đề tài nghiên cứu tiềm năng cấp Nhà nước, Hà Nội.

[34] Trần Thanh Tùng (2011), *Động lực hình thái của các cửa sông bị bồi lấp theo mùa ở bờ biển Miền Trung Việt Nam*, Luận án Tiến sĩ kỹ thuật, Trường Đại học Công nghệ Delft, Hà Lan.

[35] Trung tâm Khí tượng Thủy văn Quốc gia (2010), *Đặc điểm khí tượng thủy văn năm 2009*, Hà Nội.

[36] Nguyễn Bá Uân (2002), *Nghiên cứu diễn biến cửa sông ven biển miền Trung và ảnh hưởng của nó đến vấn đề thoát lũ và khai thác kinh tế trong vùng*, Luận án tiến sĩ kỹ thuật, Trường Đại học Thủy lợi Hà Nội, Hà Nội.

[37] Đinh Văn Ưu (2008), *Thủy văn và thủy động lực biển Đông*. Đại học quốc gia Hà Nội.

[38] Viện Khoa học và Công nghệ Việt Nam (2009), *Biển Đông II. Khí tượng thủy văn và Động lực biển*, Nhà xuất bản Khoa học Tự nhiên và Công nghệ, Hà Nội.

[39] Nguyễn Đức Vượng và nnk (2015), *Nghiên cứu xác định nguyên nhân và đề xuất giải pháp khoa học công nghệ nhằm ổn định các cửa sông và vùng bờ biển tỉnh Bình Thuận*, Đề tài nghiên cứu cấp Nhà nước, Tp.HCM.

[40] Nguyễn Trọng Yêm (2001), *Điều tra đánh giá các tai biến xói lở, bồi lấp vùng ven biển tỉnh Quảng Ngãi và đề xuất các giải pháp xử lý, phòng tránh, giảm thiểu thiệt hại, góp phần đẩy mạnh kế hoạch phát triển kinh tế - xã hội trên cơ sở môi trường bền vững*, Đề tài nghiên cứu cấp Tỉnh, Quảng Ngãi.

Tiếng Anh

[41] Bijker. E.W., (1967), *Some considerations about scales for coastal models with moveable bed*, Delft Hydraulics Laboratory Publications, No. 50, pp. 138-142.

[42] Bijker E.W., (1971), "Longshore transport computations", *Proc. ASCE, Journal of the Waterways*, Harbors and Coastal Engineering Division, WW4.

[43] Bodge, K.R., (1992), "Representing equilibrium beach profiles with an exponential expression", *Journal of Coastal Research 8 (1)*, pp. 77–55.

[44] Bray, M.J., Hooke, J.M., (1997), "Prediction of soft-cliff retreat with accelerating sea-level rise", *Journal of Coastal Research 13*, pp. 453– 467.

[45] Bruun, Per (1954), *Coast erosion and the development of beach profiles.* Technical Memorandum Vol. 44, Beach Erosion Board, Corps of Engineers, 82 pp.

[46] Bruun, P. (1962), "Sea-Level Rise as a Cause of Shore Erosion, American Society of Civil Engineers", *Journal of the Waterways and Harbours Division 88*, pp. 117-30.

[47] Bruun, P. (1983), *Review of conditions for uses of the Bruun Rule of erosion*, Coastal Engineering 7, pp. 77-89.

[48] Bruun, P. (1988), "The Bruun Rule of Erosion by Sea-Level Rise: A Discussion on Large-Scale Two- and Three-Dimensional Usages", *Journal of Coastal Research 4*, pp. 627-648.

[49] Carter, R.W.G., Orford, J.D., (1993), "The morphodynamics of coarse clastic beaches and barriers: a short- and long term perspective", *Journal of Coastal Research 15*, pp. 158– 179.

[50] Chen, J. C. (1983), *The in-time distribution of surface currents in offshore areas of China in winter*, Tropic Oceanology, B2(2), pp. 97–101.

[51] Dale, W. L. (1956), "Wind and drift current in the South China Sea", *The Malayan Journal of Tropical Geography 8*, pp. 01–31.

[52] Dean R.G., (1977), *Equilibrium Beach Profiles*, Technical Report No. 12. Newark: University of Delaware.

[53] Dean R.G., (1983), *Principles of beach nourishment*, In: Komar, P.D. (Ed.), Handbook of Coastal Process and Erosion. CRC Press, Boca Raton, Florida, pp. 217-231.

[54] Dean R.G., Maurmeyer (1983), *Models for beach profile responses*, In: Komar, P.D. (Ed.), Handbook of Coastal Process and Erosion. CRC Press, Boca Raton, Florida, pp. 151-166.

[55] Dean, R. G., (1987), "Coastal sediment processes: toward engineering solutions", *Proc.Coastal Sediments '87, ASCE, 1-24*.

[56] Dean, R.G., (1990), "Equilibrium beach profiles: characteristics and applications*", Journal of Coastal Research 7*, 53– 84.

[57] Dean G.Robert, Dalrymple Robert A (2002), *Coastal Process with Engineering Aplications*, Cambridge University Express.

[58] Department of Trade and Industry (2004), *Atlas of UK Marine Renewable Energy Resource* (2004).

[59] DHI (2014), *Scientific Documentation*, Denmark.

[60] Duncan Fitzgerald, Michael S. Fenster, Brittina A. Argow, Ilya V. Buynevich (2008), "Coastal Impacts Due to Sea-level Rise*", Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, pp. 1-60.

[61] Elliot T. (1977), *The variability of modern river deltas*. J. Sci. Prog., V. 64, No 254, pp.

[62] Engelund, F. and E. Hansen (1972), *A Monograph on Sediment Transport*. Technisk Forlag. Copenhagen, Denmark.

[63] French, G.T., Awosika, L.F., Ibe, C.E., (1994), "Sea-level rise and Nigeria: potential impacts and consequences*", Journal of Coastal Research 14*, 224–242 (Special Issue)

[64] Fugro (2011), *Metocean design criteria, Block 15-2/01 offshore Vietnam*, Report number C50671/5979/R3 prepared for Thang Long Joint Operating Company, Fugro Global Environmental & Ocean Sciences.

[65] Hanson, H. and Kraus, N.C. (1989), *GENESIS-Generalized model for simulating shoreline change. Vol. 1: Reference Manual and Users Guide. Tech. Rep. CERC-89-19*, Coastal Engineering Research Center, U.S. Army Corps of Engineers, 247pp.

[66] Horikawa, K. (1988), *Nearshore Dynamics and Coastal Processes*, Univ. of Tokyo Press, Tokyo.

[67] Hughes, S. A, (1994), *Physical Models and Laboratory Techniques in Coastal Engineering*, World Scientific Publishing Co., Singapore.

[68] Inman, D.L.; Elwany, M.H.S., and Jenkins, S.A., (1993), "Shorerise and bar-berm profiles on ocean beaches", *Journal of Geophysical Research*, 98(C10), pp. 18181-18199.

[69] Institute Danish Hydraulic (1993), *MIKE21 Short description*., Danish Hydraulic Institute, Hørsholm, Denmark.

[70] IPCC (2013), *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]*, Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 pp, doi:10.1017/CBO9781107415324.

[71] Komar, P. D., and Inman, D. L., (1970). "Longshore Sand Transport on Beaches", *Journal of Geophysical Research*, Vol 73, No. 30, pp. 5914-5927.

[72] Kriebel, D. L., Kraus, N. C. and Larson, M. (1991), "Engineering methods for predicting beach profile response", *Proc. Coastal Sediments '91, ASCE*, pp. 557-571.

[73] Li, L., R. S. Wu, Y. C. Li and Z. J. Gan (1999), *A preliminary analysis of shallow water tidal aliasing in TOPEX/POSEIDON altimetric data*, Acta Oceanologica Sinica, B21(3), pp. 07–14.

[74] Li, R. F., Q. Z. Huang and W. Z. Wang (1994), *Numerical simulation of the upper currents in the South China Sea.* Acta Oceanologica Sinica, (in Chinese), B16(4), pp. 13–22.

[75] List, J.H., Sallenger, A.H., Hansen, M.E., Jaffe, B.E., (1997), *Accelerated relative sea-level rise and rapid coastal erosion:*

testing a causal relationship for the Louisiana barrier islands, Marine Geology 140, pp. 347–365.

[76] Liu, X. B. and J. L. Su (1993), *A numerical model of winter circulation in shelf seas adjacent to China,* In Proceedings of the Symposium on the Physical and Chemical Oceanography of the China Seas, China Ocean Press, Beijing, pp. 288–298.

[77] Longuet-Higgins, M.S., (1972), *Recent progress in the study of long-shore currents, in "Waves and Beaches"*, ed. by R.E. Meyer, Academic Press, New York, pp. 203-248.

[78] Ly, L. N. and P. Luong (1997), *A mathematical coastal ocean circulation system with breaking waves and numerical grid generation,* Applied Mathematical Modellin, B21(10), pp. 633–641.

[79] Mao, Q. W., P. Shi and Y. Q. Qi (1999), *Sea surface dynamic topography and geostrophic current over the South China Sea from Geosat altimeter observation,* Acta Oceanologica Sinica, B21(1), pp. 11–16

[80] Meyer-Peter, E., and R. Müller (1948), *Formulas for bed-load transport*. Proceedings, 2nd Congress International Association for Hydraulic Research, Rotterdam, The Netherlands.

[81] Moore, B. (1982), "*Beach Profile Evolution in Response to Changes in Water Level and Wave Height*," M.S. Thesis, Department of Civil Engineering, University of Delaware, Newark, DE.

[82] Morimoto, A., K. Yoshimoto and T. Yanagi (2000), *Characteristics of sea surface circulation and eddy field in the South China Sea revealed by satellite altimetric data*, J. Oceanogr., B56(3), pp. 331–344.

[83] Nicoletta Leonardi, Neil K. Ganju and Sergio Fagherazzi (2015), *A linear relationship between wave power and erosion determines salt-marsh resilience to violent storms and hurricane,* PNAS.

[84] Pilkey, O.H., Davis, T.W., (1987), *An analysis of coastal recession models: North Carolina coast.* In: Nummedal, D., Pilkey, O.H., Howard, J.D. (Eds.),

Sea-Level Fluctuation and Coastal Evolution. Society of Economic Paleontologists and Mineralogists, pp. 59– 68.

[85] Pohlmann, T. (1987), *A three dimensional circulation model of the South China Sea. In Three-Dimensional Models of Marine and Estuarine Dynamics*, ed. by J. J. Nihoul and B. M. Jamart, Elsevier, New York, pp. 245–268

[86] Prasertsak Ekphisutsuntorn, Prungchan Wongwises, Chaiyuth Chinnarasri, Usa Humphries and Suphat Vongvisessomjai (2010), "A Study of the Relation of Wave Height and Erosion at Bangkhuntien Shoreline, Thailand", *World Academy of Science, Engineering and Technology International Journal of Environmental and Ecological Engineering*, Vol:4, No:8.

[87] Robin G. D. Davidson-Arnott (2005), "Conceptual Model of the Effects of Sea Level Rise on Sandy Coasts", *Journal of Coastal Research*, Vol. 21, No. 6.

[88] Rosen, P.S., (1978), *A regional test of the Bruun Rule on shoreline erosion*. Marine Geology 26, M7–M16.

[89] SCOR, Working Group 89, (1991), "The response of beaches to sealevel changes: a review of predictive models", *Journal of Coastal Research 7*, 895–921.

[90] Schwartz, M.L (1965), "Laboratory study of sea level rise as a cause of shore erosion", *Journal Geology 73*, pp. 528-534.

[91] Schwartz, Maurice (1967), *The Bruun Theory of Sea-Level Rise as a Cause of Shore Erosion*, The Journal of Geology 75, pp. 76–92.

[92] Shaw, P. T., S. Y. Chao, K. K. Liu, S. C. Pai and C. T. Liu (1996), *Winter upwelling off Luzon in the northeastern South China Sea*, J.Geophys. Res., B101(C7), pp. 16435–16448.

[93] Soong, Y. S., J. H. Hu, C. R. Ho and P. P. Niiler (1995), *Coldcore eddy detected in South China Sea*. EOS, B76(35), pp. 345–347.

[94] Su, J. L. and X. B. Liu (1992), "The circulation simulation of the South China Sea", *In Collected Papers of the Symposium on Ocean Circulation*, China Ocean Press, Beijing, pp. 206–215.

[95] Sunamura, T., (1984), "Quantitative prediction of beach face slopes", *Geological Society of America Bulletin*, 95, pp. 242-245.

[96] Takano, K., A. Harashima and T. Namba (1998), *A numerical simulation of the circulation in the South China Sea-Preliminary results.* Acta Oceanogr. Taiwanica, B37(2), pp. 165–186.

[97] Tim Gourlay (2011), *Notes on shoreline erosion due to boat wakes and wind waves*, Centre for Marine Science and Technology, Curtin University.

[98] Tomczak, M. and J. S. Godfrey (1994), *Adjacent seas of the Pacific Ocean*. In Regional Oceanography: An Introduction, Pergamon Press, Oxford, pp. 173–191.

[99] Uda, M. and T. Nakao (1974), *Water masses and current in the South China Sea and their seasonal changes,* In The Kuroshio Proceedings of the Third CSK Symposium, Bangkok, pp. 161–188.

[100]US Army Corps of Engineers (1984), *Shore Protection Manual*.

[101]Williamson, G. R. (1970), *Hydrography and weather of the Hong Kong fishing ground*. Hong Kong Fisheries Bulletin, B1, pp. 43–49.

[102]World Scientific (1996), *Advanced Series on Ocean Engineering*.

[103]Wu, C. R., P. T. Shaw and S. Y. Chao (1998), “Seasonal and interannual variations in the velocity field of the South China Sea”, *J. Oceanogr*., B54(4), pp. 361–372.

[104]Wyrtki, K. (1961), *Physical oceanography of the Southeast Asian water*. In NAGA Report Vol. 2, Scientific Result of Marine Investigation of the South China Sea and Gulf of Thailand 1959–1961, Scripps Institution of Oceanography, La Jolla, California, 195 pp.

[105]Xu, X. Z., Z. Qiu and H. C. Chen (1982), *The general descriptions of the horizontal circulation in the South China Sea,* In Proceedings of the 1980 Symposium on Hydrometeology of the Chinese Society of Oceanology and Limnology, Science Press, Beijing, pp. 137–145.

[106]Yang, K., P. Shi, D. X. Wang, X. B. You and R. F. Li (2000), *Numerical study about the mesoscale multi-eddy system in the northern South China Sea in winter,* Acta Oceanologica Sinica, B22(1), pp. 27– 34.

[107]Yanagi, T., T. Takao and A. Morimoto (1997), *Co-tidal and corange charts in the South China Sea derived from satellite altimetry data*, Lamer, 35, pp. 85–93.

[108]Zeng, Q. C., R. F. Li, Z. Z. Ji, P. F. Ke and Z. J. Gan (1992), *The simulation of monthly mean circulation of the South China Sea.* In Collected Papers of the Symposium on Ocean Circulation, China Ocean Press, Beijing, pp. 127–165.

[109]Zhifeng Wang, Chenglin Duan, Sheng Dong (2018), *Long-term wind and wave energy resource assessment in the South China sea based on 30- year hindcast data,* J. Ocean Engineering, 20 pp.

Tiếng Nga

[110]Байдин. С .С. (1971), *Стадийность развития устьевой области реки* Т Р,ГОИН , Вып.

[111]Данилевский Н. Я (1869), *Иследования о Кубанской дельте*. *Записки Росс. Геогр*. О-ва.

[112]Самойлов И. В. (1952), *Устья рек*, *Географгиз*, М.

CÁC PHỤ LỤC

PHỤ LỤC 1:

Tóm tắt nền tảng khoa học của các module thủy lực (HD), phổ sóng (SW), vận chuyển cát (ST) của mô hình MIKE21/3 Couple FM Model.

1. Module thủy động lực học

Đây là module cơ bản (viết tắt là module HD) của mô hình tích hợp MIKE21/3 Coupled Model FM. Nền tảng của nó là các phương trình Reynold đối với chất lỏng không nén được, là kết quả của phép toán trung bình hóa các phương trình Navier-Stokes với giải thiết Boussinesq và áp suất thủy tĩnh. Hệ phương trình cơ bản của module HD bao gồm: phương trình liên tục, bảo toàn động lượng, bảo toàn nhiệt lượng, bảo toàn độ mặn, phương trình trạng thái (công thức xác định mật độ nước theo nhiệt độ và độ mặn) và được khép kín bởi các mô hình động lực rối bán kinh nghiệm. Trong một số trường hợp, mô hình này còn bao gồm phương trình bảo toàn các chất có ảnh hưởng đến trạng thái của nước (ngoài nhiệt độ và độ mặn, ví dụ bùn cát lơ lửng hạt mịn, hay độ đục…).

1.1 Phương trình cơ bản 2 chiều

Tích phân phương trình chuyển động và phương trình liên tục theo phương thẳng đứng trên khoảng độ sâu $h = \eta + d$ cho ta các phương trình nước nông 2 chiều dạng:

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial \overline{u}}{\partial x} + \frac{\partial h\overline{v}}{\partial y} = hS \tag{1}$$

$$\frac{\partial h\overline{u}}{\partial t} + \frac{\partial h\overline{u}^2}{\partial x} + \frac{\partial h\overline{v}\overline{u}}{\partial y} = f\overline{v}h - gh\frac{\partial \eta}{\partial x} - \frac{h}{\rho_0}\frac{\partial p_a}{\partial x} - \frac{gh^2}{2\rho_0}\frac{\partial \rho}{\partial x} + \frac{\tau_{sx}}{\rho_0} - \frac{\tau_{bx}}{\rho_0} - \frac{1}{\rho_0}\left(\frac{\partial s_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial s_{xy}}{\partial y}\right) + \frac{\partial}{\partial x}\left(hT_{xx}\right) + \frac{\partial}{\partial y}\left(hT_{xy}\right) + hu_sS \tag{2}$$

$$\frac{\partial h\overline{v}}{\partial t} + \frac{\partial h\overline{u}\overline{v}}{\partial x} + \frac{\partial h\overline{v}^2}{\partial y} = -f\overline{u}h - gh\frac{\partial \eta}{\partial y} - \frac{h}{\rho_0}\frac{\partial p_a}{\partial y} - \frac{gh^2}{2\rho_0}\frac{\partial \rho}{\partial y} + \frac{\tau_{sy}}{\rho_0} - \frac{\tau_{by}}{\rho_0} - \frac{1}{\rho_0}\left(\frac{\partial s_{yx}}{\partial x} + \frac{\partial s_{yy}}{\partial y}\right) + \frac{\partial}{\partial x}\left(hT_{xy}\right) + \frac{\partial}{\partial y}\left(hT_{yy}\right) + hv_sS \tag{3}$$

Trong đó:

- *t:* Thời gian
- *x, y*: Các thành phần trong tọa độ Decartes
- η: Độ dâng mặt nước so với mực nước tĩnh;
- *d*: Độ sâu cột nước;
- $h = \eta + d$: Độ sâu cột nước tổng cộng;
- *u, v:* Các thành phần vận tốc lần lượt theo phương x, y;
- $f = 2\omega \sin\phi$: Tham số Coriolis (ω là vận tốc góc và ϕ là vĩ độ địa lý);
- *g:* Gia tốc trọng trường;
- ρ: Mật độ của nước biển;
- p_a: Áp suất khí quyển;
- ρ_o: Mật độ nước tham chiếu;
- *S*: Độ lớn lưu lượng của các nguồn nước đổ vào VNC và (u_s, v_s) là vận tốc dòng nước chảy từ nguồn vào VNC;
- (τ_{sx}, τ_{sy}) và (τ_{bx}, τ_{by}): Các thành phần ứng suất ma sát gió lên mặt nước và ứng suất ma sát đáy theo phương x và y tương ứng.
- (S_{xx}, S_{xy}) và (S_{yx}, S_{yy}): Các thành phần ứng suất tán xạ sóng theo phương x và y tương ứng.

Dấu gạch trên chỉ giá trị trung bình theo độ sâu h. Ví dụ, $\overline{u}$ và $\overline{v}$ là các thành phần vận tốc trung bình theo độ sâu được định nghĩa bởi các quan hệ:

$$h\overline{u} = \int_{-d}^{\eta} u dz, \quad h\overline{v} = \int_{-d}^{\eta} v dz \tag{4}$$

Các ứng suất trên mặt bên khối nước T_{ij} bao gồm: (1) Ma sát nhớt, (2) Ma sát rối do trượt vận tốc và được xác định qua hệ số nhớt rối và gradient vận tốc trung bình độ sâu dạng:

$$T_{xx} = 2A\frac{\partial \overline{u}}{\partial x}, \quad T_{xy} = A\left(\frac{\partial \overline{u}}{\partial y} + \frac{\partial \overline{v}}{\partial x}\right), \quad T_{yy} = 2A\frac{\partial \overline{v}}{\partial y} \tag{5}$$

A là hệ số nhớt rối ngang.

Ngoài các phương trình cơ bản, mô hình HD còn cần đến rất nhiều các mô hình bán kinh nghiệm để khép kín hệ thống, nhất là tại các biên là mặt và đáy cột nước.

1.2 Thuật giải số trị

- Lưới phi cấu trúc

Trong mô hình MIKE21/3 Coupled Model FM, các phương trình vi phân đạo hàm riêng mô phỏng quá trình thủy động lực học, vận chuyển chất vô hướng (chất lơ lửng trong nước, gồm cả bùn cát lơ lửng), vận chuyển nhiệt, muối, động lực rối... sẽ được giải bằng phương pháp thể tích hữu hạn, trong đó miền không gian tính toán được xấp xỉ bởi mạng lưới các phần tử không gian cấu tạo đơn giản (gọi là phần tử), xếp liên tiếp bên nhau và không chồng lên nhau. Ý tưởng lưới tính mềm dẻo (Flexible Mesh) được áp dụng, và đó là một trong số các ưu điểm nổi bật của mô hình này.

Trong ứng dụng hai chiều, các phần tử này là các phân tử tam giác nằm ngang. Chúng kết thành lưới phi cấu trúc trên mặt phẳng ngang xấp xỉ toàn bộ miền không gian tính toán. Các biến phụ thuộc có giá trị như nhau trong phạm vi mỗi phần tử và được gán cho điểm có tọa độ là tâm phần tử.

- Thuật giải mô hình HD 2 chiều

Dạng tổng quát của các phương trình nước nông:

$$\frac{\partial U}{\partial t} + \nabla \cdot F(U) = S(U) \qquad (6)$$

Phương trình (2.24) có thể viết lại trong tọa độ Decartes 2 chiều như sau:

$$\frac{\partial U}{\partial t} + \frac{\partial (F_x^I - F_x^V)}{\partial x} + \frac{\partial (F_y^I - F_y^V)}{\partial y} = S \qquad (7)$$

U là vector của các biến phụ thuộc của mô hình, $F = F^I - F^V$ là hàm vector thông lượng, S là vector các số hạng nguồn, được biểu diễn bằng định nghĩa sau:

$$U=\begin{bmatrix} h \\ h\bar{u} \\ h\bar{v} \end{bmatrix},$$

$$F_x^I=\begin{bmatrix} h\bar{u} \\ h\bar{u}^2+\frac{1}{2}g(h^2-d^2) \\ h\overline{uv} \end{bmatrix}, F_x^V=\begin{bmatrix} 0 \\ hA\left(2\frac{\partial\bar{u}}{\partial x}\right) \\ hA\left(\frac{\partial\bar{u}}{\partial y}+\frac{\partial\bar{v}}{\partial x}\right) \end{bmatrix}$$

$$F_y^I=\begin{bmatrix} h\bar{v} \\ h\overline{uv} \\ h\bar{v}^2+\frac{1}{2}g(h^2-d^2) \end{bmatrix}, F_y^V=\begin{bmatrix} 0 \\ hA\left(\frac{\partial\bar{u}}{\partial y}+\frac{\partial\bar{v}}{\partial x}\right) \\ hA\left(2\frac{\partial\bar{v}}{\partial x}\right) \end{bmatrix} \quad (8)$$

$$S=\begin{bmatrix} 0 \\ g\eta\frac{\partial d}{\partial x}+f\bar{v}h-\frac{h}{\rho_o}\frac{\partial p_a}{\partial x}-\frac{gh^2}{2\rho_o}\frac{\partial\rho}{\partial x}-\frac{1}{\rho_o}\left(\frac{\partial s_{xx}}{\partial x}+\frac{\partial s_{xy}}{\partial y}\right) \\ +\frac{\tau_{sx}}{\rho_o}-\frac{\tau_{bx}}{\rho_o}+hu_s \\ g\eta\frac{\partial d}{\partial y}+f\bar{v}h-\frac{h}{\rho_o}\frac{\partial p_a}{\partial y}-\frac{gh^2}{2\rho_o}\frac{\partial\rho}{\partial y}-\frac{1}{\rho_o}\left(\frac{\partial s_{yx}}{\partial x}+\frac{\partial s_{yy}}{\partial y}\right) \\ +\frac{\tau_{sy}}{\rho_o}-\frac{\tau_{by}}{\rho_o}+hv_s \end{bmatrix}$$

Các chỉ số I và V trên đầu các hàm tương ứng với thông lượng không nhớt (thông lượng đối lưu) và thông lượng có nhớt.

Tích phân (6) cho toàn phần tử thứ i và sử dụng định lý Gauss nhằm viết lại tích phân thông lượng, để nhận được phương trình làm việc có dạng như sau:

$$\int_{A_i}\frac{\partial U}{\partial t}d\Omega-\int_{A_i}S(U)d\Omega=-\int_{\Gamma_i}(F\cdot n)ds \quad (9)$$

Trong đó:

+ A_i là diện tích của phần tử i,

+ Ω là biến lấy tích phân trên miền A_i

+ Γ_i là chu vi của phần tử thứ i và ds là biến tích phân dọc theo chu vi,

+ n là vector pháp tuyến hướng ra ngoài của phần tử.

Thông lượng theo phương nằm ngang được tính theo công thức xấp xỉ Riemann của Roe (xem Roe, 1981). Sơ đồ tích phân không gian bậc nhất sẽ được sử dụng để tính toán theo công thức (8). Đó là phương trình làm việc chính của phương pháp thể tích hữu hạn cho mô hình HD 2 chiều trên lưới phi cấu trúc.

2. Module phổ sóng

Module phổ sóng MIKE21 SW được tích hợp trong mô hình MIKE21/3 Coupled Model FM là một mô hình động lực sóng thế hệ thứ ba, được giải trên lưới phi cấu trúc. Chức năng chính là mô phỏng sự hình thành, phát triển, phân rã và biến đổi của sóng gió dưới sự tác động của các yếu tố quan trọng. Điểm nổi bật của MIKE21 SW là được kết nối với các module tính toán dòng chảy, mực nước, vận chuyển bùn cát và xói bồi.

Sóng biển được hình thành bởi tác động tổng hợp và đồng thời của 8 cơ chế chính là:

- Năng lượng sóng từ các miền lân cận truyền đến;
- Ma sát và áp lực của gió tại chỗ lên mặt nước;
- Sự khúc xạ, nhiễu xạ, phản xạ, tán xạ và vỡ sóng do tương tác giữa sóng và địa hình đáy, bờ biển, các cửa sông, các vịnh, các đảo, các công trình nhân tạo;
- Sự tương tác phi tuyến giữa các sóng với nhau;
- Sự tương tác sóng với dòng chảy và dao động mực nước;
- Trạng thái của chính sóng biển (đang phát triển, đã phát triển và đang suy thoái);
- Dưới tác dụng của chuyển động sóng biển, kết hợp với dòng chảy, địa hình và cấu tạo bề mặt đáy và bờ biển sẽ biến đổi, dẫn đến nhiều hậu quả khác đối với hệ sinh thái, môi trường, phá vỡ các công trình nhân tạo…Tiếp theo, các biến đổi này lại ảnh hưởng lên sóng.

Học thuyết động lực sóng trọng lực hiện đại được mô tả bởi phương trình vận chuyển mật độ tác động sóng *N*. *N* biến thiên theo thời gian và không gian, là một hàm của hai tham số: pha sóng, có thể là số sóng vector $\vec{k}$ với độ lớn, *k*, và hướng, θ. Tham số sóng cũng có thể là hướng sóng θ và tần số góc tương đối (nội tại) $\sigma = 2\pi f_r$ hay tần số góc tuyệt đối $\omega = 2\pi f_a$. Mật độ tác động sóng $N(\sigma,\theta)$ liên quan đến mật độ năng lượng $E(\sigma,\theta)$ sóng bởi công thức:

$$N = \frac{E}{\sigma} \tag{10}$$

Đối với các ứng dụng quy mô nhỏ như phạm vi Luận án, mô hình phổ sóng thường được thiết lập trong tọa độ phẳng Decartes. Trong các vùng có độ sâu thay đổi chậm và tốc độ dòng chảy nhỏ thì tần số góc tương đối σ và tần số góc tuyệt đối ω có quan hệ phân tán tuyến tính như sau:

$$\sigma = \sqrt{gk\tanh(kd)} = \omega - \vec{k}.\vec{U} \tag{11}$$

Trong (11), *g* là gia tốc trọng trường, *d* là độ sâu cột nước và $\vec{U}$ là véc tơ vận tốc dòng chảy. Độ lớn vận tốc tương đối của nhóm sóng *Cg* so với dòng được cho bởi công thức:

$$C_g = \frac{\partial\sigma}{\partial k} = \frac{1}{2}\left(1 + \frac{2kd}{\sinh(2kd)}\right)\frac{\sigma}{k} \tag{12}$$

- Phương trình bảo tồn mật độ tác động sóng

Trong hệ tọa độ Decartes, phương trình bảo tồn mật độ tác động sóng có dạng:

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \nabla.(\vec{v}\,N) = \frac{S}{\sigma} \tag{13}$$

N ($\vec{x}$,σ, θ,*t*) là mật độ tác động, *t* là thời gian, $\vec{x}$ = (*x*,*y*) là hệ tọa độ Decartes, $\vec{v}$ = (c_x, c_y, c_σ, c_θ) là vận tốc lan truyền sóng trong không gian pha bốn chiều $\vec{x}$, σ, θ, và *S* là số hạng nguồn của phương trình cân bằng mật độ tác động sóng. ∇ là toán tử vi phân trong không gian bốn chiều. Bốn tốc độ lan truyền đặc trưng sóng được cho bởi các công thức:

$$(c_x, c_y) = \frac{d\vec{x}}{dt} = \vec{c}_g + \vec{U} \quad (14)$$

$$c_\sigma = \frac{d\sigma}{dt} = \frac{\partial\sigma}{\partial d}\left[\frac{\partial d}{\partial t} + U.\vec{\nabla}_{\vec{x}} d\right] - c_g \vec{k}.\frac{\partial \vec{U}}{\partial s} \quad (15)$$

$$c_\theta = \frac{d\theta}{dt} = -\frac{1}{k}\left[\frac{\partial\sigma}{\partial d}\frac{\partial d}{\partial m} + \vec{k}.\frac{\partial \vec{U}}{\partial m}\right] \quad (16)$$

Ở đây, s là tọa độ trong trục có hướng là hướng sóng θ và *m* là tọa độ vuông góc với *s*. $\nabla_{\vec{x}}$ là toán tử vi phân hai chiều không gian (x,y).

- Nguồn năng lượng sóng

Số hạng nguồn năng lượng sóng, S, bao gồm tổng đại số các nguồn thành phần:

$$S = S_{in} + S_{nl} + S_{ds} + S_{bot} + S_{surf} \quad (17)$$

Trong đó:

+ S_{in} là nguồn năng lượng sóng từ gió;

+ S_{nl} là nguồn chuyển giao năng lượng sóng do tương tác phi tuyến giữa các sóng với nhau;

+ S_{ds} là tiêu tán năng lượng sóng do sóng bạc đầu;

+ S_{bot} là tiêu tán năng lượng sóng do ma sát đáy;

+ S_{surf} là tiêu tán năng lượng sóng do sóng vỡ tại vùng sóng vỗ bờ.

- Tương tác giữa sóng, dòng chảy và dao động mực nước

Tác động của dòng chảy lên sóng được thể hiện như trên các công thức động học (10), (13) thông qua trị số và hướng vận tốc dòng chảy. Ảnh hưởng dao động mực nước lên sóng thể hiện qua độ sâu cột nước d. Đối với vùng nước nông, ảnh hưởng của dòng chảy và mực nước lên sóng là rất đáng kể.

Ảnh hưởng của sóng lên dòng chảy được thể hiện qua dòng động lượng phát sinh bởi gradient các ứng suất bức xạ sóng tại vùng biển nông gồm S_{xy}, S_{xx}, S_{yx}, S_{yy}:

$$S_{xx} = \frac{1}{2} g(f_{u2} + f_{pp}) \quad (18)$$

$$S_{xy} = S_{yx} = \frac{1}{2} g(f_{uv}) \quad (19)$$

$$S_{yy} = \frac{1}{2} g(f_{v2} + f_{pp}) \quad (20)$$

Trong đó:

$$f_{pp} = \int_0^{2\pi}\int_0^{\infty}(1+\frac{2kd}{\sinh(2kd)})E(f,\theta)dfd\theta$$

$$f_{u2} = \int_0^{2\pi}\int_0^{\infty}\cos^2(\frac{3}{2}\pi-\theta)(1+\frac{2kd}{\sinh(2kd)})E(f,\theta)dfd\theta$$

$$f_{uv} = \int_0^{2\pi}\int_0^{\infty}\cos(\frac{3}{2}\pi-\theta)\sin(\frac{3}{2}\pi-\theta)(1+\frac{2kd}{\sinh(2kd)})E(f,\theta)dfd\theta$$

$$f_{v2} = \int_0^{2\pi}\int_0^{\infty}\sin^2(\frac{3}{2}\pi-\theta)(1+\frac{2kd}{\sinh(2kd)})E(f,\theta)dfd\theta$$

Do đó, việc tích hợp mô hình thủy động lực học và phổ sóng để giải đồng thời là rất quan trọng đối với vùng ven biển nước nông, nhất là trong bài toán xói bồi.

- Tương tác giữa sóng và xói bồi

Tác động xói bồi lên sóng được thể hiện qua các thay đổi địa hình đáy và bờ sẽ dẫn đến biến dạng các yếu tố sóng, và ngược lại các thông số sóng là các yếu tố động lực quan trọng bậc nhất dẫn đến xói bồi. Do đó, việc tích hợp mô hình vận chuyển bùn cát, xói bồi, mô hình thủy động lực học và mô hình phổ sóng để giải đồng thời, cập nhật liên tục sự ảnh hưởng qua lại giữa chúng là các tiếp cận hợp lý nhất đối với vùng biển nước nông, nhất là trong bài toán xói bồi.

- Mô hình số trị và thuật giải

Phương pháp thể tích hữu hạn sẽ được dùng để giải mô hình phổ sóng trên lưới tính phi cấu trúc xấp xỉ miền tính toán trong không gian địa lý (hình học). Mật độ sóng tác động $N(\vec{x},\sigma,\theta)$ đại diện cho mỗi phần tử và được đặt tại tọa độ là trung tâm hình học của phần tử.

Trong không gian tần số, lưới sai phân dạng lôgarít sẽ được dùng, trong đó:

$$\sigma_1 = \sigma_{min} \quad \sigma_l = f_\sigma \sigma_{l-1} \qquad \Delta\sigma_l = \sigma_{l+1} - \sigma_{l-1} \qquad l = 2, N_\sigma \quad (21)$$

f_σ là một yếu tố cho trước, $\sigma_{\min}$ là mức tối thiểu tần số góc và N_σ là bước tần số cần rời rạc.

Trong không gian hướng, lưới sai phân cách đều được sử dụng, trong đó:

$$\theta_m = (m - 1)\Delta\theta; \qquad \Delta\theta_m = 2\pi / N_\theta \qquad m = 1, N_\theta \tag{22}$$

Ở đây N_θ là số hướng cần rời rạc.

Đại lượng N được xem là như nhau trên mỗi khoảng sai phân theo tần số và hướng: $\Delta\sigma_l$ và $\Delta\theta_m$.

Tích phân (13) trên diện tích A_i của phần tử thứ i, các số gia tần số $\Delta\sigma_l$ và các số gia $\Delta\theta_m$, ta sẽ nhận được phương trình cơ bản để áp dụng phương pháp thể tích hữu hạn:

$$\frac{\partial}{\partial t}\int_{\Delta\theta_m}\int_{\Delta\sigma_l}\int_{A_i} N d\Omega d\sigma d\theta - \int_{\Delta\theta_m}\int_{\Delta\sigma_l}\int_{A_i}\frac{S}{\sigma} d\Omega d\sigma d\theta = \int_{\Delta\theta_m}\int_{\Delta\sigma_l}\int_{A_i}\nabla.(\overline{F}) d\Omega d\sigma d\theta \tag{23}$$

Với Ω là biến tích phân được định nghĩa trên A_i và $\vec{F} = (F_x, F_y, F_\sigma, F_\theta) = \vec{v}N$ là dòng đối lưu. Vế trái của (23) được xấp xỉ bởi quy tắc cầu phương một điểm. Sử dụng định lý phân kỳ, vế phải tích phân (23) có thể được thay thế bằng tích phân quanh biên của thể tích trong không gian $\vec{x}$, σ, θ và các tích phân được đánh giá bằng cách sử dụng quy tắc cầu phương điểm giữa các cạnh phân tử. Do đó, (23), có thể được viết như sau:

$$\frac{\partial N_{i,l,m}}{\partial t} = -\frac{1}{A_i}\left[\sum_{p=1}^{NE}(F_n)_{p,l,m}\Delta l_p\right] - \frac{1}{\Delta\sigma_l}\left[(F_\sigma)_{i,l+1/2,m} - (F_\sigma)_{i,l-1/2,m}\right] - \frac{1}{\Delta\theta_m}\left[(F_\theta)_{i,l,m+1/2} - (F_\theta)_{i,l,m-1/2}\right] + \frac{S_{i,l,m}}{\sigma_l} \tag{24}$$

Ở đây: NE là tổng số cạnh của phần tử (NE = 3 cho phần tử tam giác). $(F_n)_{p,l,m}=(F_x n_x+F_y n_y)_{p,l,m}$ là thông lượng trực giao cạnh p trong không gian địa lý với chiều dài Δl_p. $\vec{n} = (n_x, n_y)$ là véc tơ đơn vị trực giao hướng ra ngoài bên trong không gian địa lý. $(F_\sigma)_{i,l+1/2,m}$ và $(F_\theta)_{i,l,m+1/2}$ là các thông lượng đi qua các mặt trong không gian tần số và hướng.

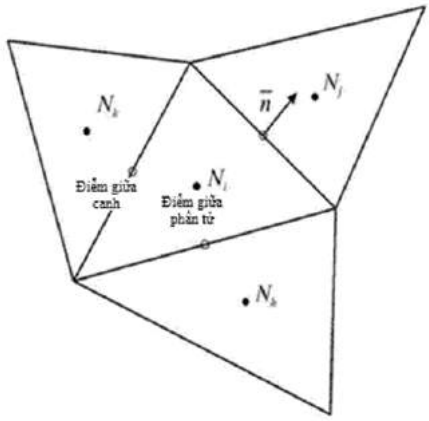
Trong không gian địa lý, thông lượng trực giao tại cạnh giữa phần tử i và phần tử j là đại lượng:

$$F_n = c_n\left(\frac{1}{2}(N_i + N_j) - \frac{1}{2}\frac{c_n}{|c_n|}(N_i - N_j)\right) \quad (25)$$

Trong đó c_n là tốc độ lan truyền theo hướng trực giao từ phần tử i tới mặt phần tử j.

$$c_n = \frac{1}{2}(\vec{c}_i + \vec{c}_j).\vec{n} \quad (26)$$

Việc áp dụng sơ đồ ngược gió bậc 1 có thể dẫn đến khuếch tán số (Tolman,1991, 1992). Trong các ứng dụng quy mô nhỏ, biển ven bờ và ưu thế là gió địa phương, sơ đồ này có độ chính xác chấp nhận được. Tuy nhiên, đối với trường hợp lan truyền sóng lừng trên khoảng cách dài, cần sử dụng sơ đồ xấp xỉ bậc cao hơn bậc 1.



Hình 1: Điểm giữa phần tử và điểm giữa cạnh

- Điều kiện biên

Tại biên là bờ đất, điều kiện hấp thụ hoàn toàn được áp dụng. Các thành phần thông lượng trực giao với cạnh phần tử bờ đất được gán bằng zero (bờ đất này có thể di động và phát sinh khi mức nước tại VNC thay đổi). Khi thông lượng có hướng ra khỏi vùng tính toán, không cho có điều kiện biên.

Tại biên mở có thông lượng đi vào VNC, cần các dữ liệu về sóng tới. Do đó, phổ năng lượng phải cho trước trên các đoạn biên mở. Trong không gian tần số sóng, điều kiện tại các biên là là sóng hấp thụ toàn phần.

Không cần điều kiện biên trong không gian hướng sóng (điều kiện tuần hoàn).

3. Module vận chuyển cát

Khác với các mô hình thủy lực và phổ sóng, hầu hết các mô hình toán mô phỏng quá trình diễn biến hình thái đều chưa hoàn chỉnh căn cứ lý thuyết và phải sử dụng các công thức, hệ số thực nghiệm, đồng thời đòi hỏi rất nhiều số liệu thực đo để làm đầu vào [20]. Trong Luận án, áp dụng cho khu vực ven biển Nam Trung Bộ, tác giả đã chọn module MIKE21/3 Sand Transport (ST) là mô hình chuyên nghiệp về vận chuyển cát rời dựa trên nghiên cứu của các tác giả: Deigaard, R., Fredsøe, J., và Hedegaard kết hợp với các module thủy lực HD và phổ sóng SW.

MIKE21/3 ST là module chuyên về tính vận chuyển cát do dòng chảy hay tổ hợp dòng chảy và sóng. Từ vận chuyển cát, mô hình này sẽ tính toán sự biến đổi địa hình lòng dẫn cho các thời đoạn tính toán khác nhau. Đầu ra của mô hình MIKE21/3 HD và MIKE 21 SW là đầu vào của MIKE21/3 ST. Đồng thời, các thay đổi trong địa hình lòng dẫn có thể được cập nhật để tính sóng và dòng chảy trong mô hình tích hợp MIKE21/3 Coupled Model FM. Do đó, MIKE21/3 ST là lựa chọn phù hợp cho nghiên cứu bồi xói tại VNC, nhất là khi có công trình chỉnh trị, bến cảng.

Module MIKE 21/3 ST có hai phần chính:

- Module vận chuyển cát do tác động của dòng chảy thuần túy.
- Module vận chuyển cát do tác dụng tổng hợp của sóng và dòng chảy.

Việc chọn lựa module để sử dụng nào là rất quan trọng ở 2 khía cạnh:

(1) Lựa chọn đó phải phù hợp với thực tế tại VNC;

(2) Vì các module này sử dụng công thức tính toán và các cơ sở dữ liệu đầu vào rất khác nhau, do đó việc lựa chọn này sẽ dẫn đến các quy trình vận hành mô hình khác nhau, đặc biệt là trong khâu chuẩn bị số liệu để chạy mô hình MIKE21/3 ST.

Trong nghiên cứu này tác giả đã chọn Module vận chuyển cát do tác dụng tổng hợp của cả sóng và dòng chảy.

Đối với lựa chọn thứ hai (vận chuyển cát do tác dụng tổng hợp của sóng và dòng chảy), mô hình STP (**S**ediment **T**ransport **P**rorgam) của Viện Thủy lực Đan Mạch phải được sử dụng trước. Đây là mô hình vận chuyển cát 3 chiều do tác dụng tổng hợp của sóng và dòng hay của từng cơ chế riêng rẽ, tức là không trực tiếp giải

phương trình tải-tán xạ. Kết quả thực hiện mô hình STP là bảng giá trị dòng vận chuyển cát phủ kín các phạm vi mà các quá trình liên quan đến vận chuyển cát có thể xảy ra tại VNC. Tiếp theo, dựa vào các kết quả tính sóng và dòng chảy và bảng vận chuyển cát Q3D đã lập ra bằng mô hình STP, mô hình MIKE21/3 ST sẽ nội suy ra dòng vận chuyển cát ứng với trường dòng chảy, độ sâu cột nước và trường sóng thời điểm tính toán xói bồi, làm đầu vào để chạy mô hình biến đổi lòng dẫn (tính xói bồi).

Các đặc điểm chính của STP bao gồm: (1) Có tính đến các quá trình vật lý chính ảnh hưởng đến vận chuyển cát như: dòng chảy, sóng, cấu tạo đáy bãi, độ dốc, thành phần hạt, sóng vỡ... (2) Thời gian tính toán nhỏ vì không cần giải bài toán biên dạng tổng quát mà chỉ là phép nội suy giá trị vận chuyển cát từ một bảng tính sẵn trước đó gọi là bảng trầm tích Q3D.

Bảng vận chuyển cát **Q3D** được lập ra bằng công cụ MIKE21 Toolbox thuộc bộ MIKE. Module STP_Q3D là một công cụ tin học chuyên nghiệp để tính dòng vận chuyển cát tổng hợp do dòng chảy và sóng tựa dừng theo hai hướng trực giao: tiếp tuyến đường bờ (*Longshore*) và pháp tuyến đường bờ (C*ross-shore*) có tính đến các cơ chế sau:

- Ảnh hưởng tổng hợp của dòng chảy và sóng;
- Góc giữa sóng và dòng chảy;
- Sự phá vỡ và không vỡ của sóng;
- Đáy thủy vực bằng phẳng hay dạn gợn sóng (Ripple);
- Cát đồng nhất kích thước hay cát có kích thước phân tán.

Thuật toán trong module STP_Q3D:

Dòng vận chuyển cát là tổng dòng cát lơ lửng q_s và dòng di đẩy trên đáy q_b:

$$q_t = q_b + q_s \quad (27)$$

Trong mô hình STP, q_b tính theo công thức Engelund và Fredsøe (1976), trong đó thông số Shields θ là giá trị tức thời.

Phân bố thẳng đứng của cát lơ lửng tính ra từ phương trình khuếch tán theo phương đứng Fredsøe (1985), bỏ qua các số hạng bình lưu. Cuối cùng, dòng vận chuyển cát lơ lửng tính theo công thức:

$$q_s = \frac{1}{T}\int_0^T \int_{2d}^{D} (uc)dzdt \qquad (28)$$

Cơ chế vận chuyển cát hạt thô tương tự như cát trung nhưng có một số điểm khác:

- Cát thô chủ yếu vận chuyển trên đáy, trong đó tầm quan trọng của dòng cát lơ lửng được xác định qua số Rouse:

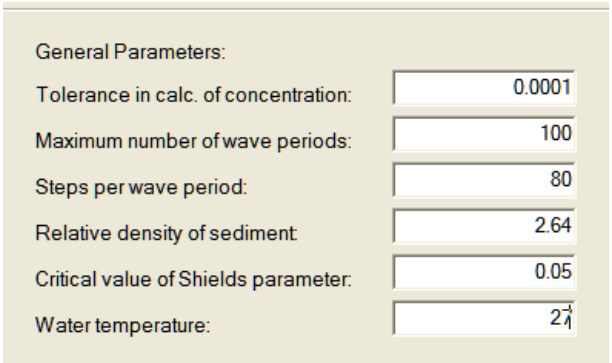
$$R = \frac{w_s}{\kappa U_f} \qquad (29)$$

Trong đó: w_s là vận tốc rơi, κ là hằng số Karman và U_f là vận tốc đáy. Đại lượng q_s còn có ý nghĩa khi R< 2.5. Khi R>5, ta bỏ qua q_s.

- Đối với cát thô, lực quán tính của hạt cát là khá quan trọng, trong khi đó, đối với mịn và cát trung, ta bỏ qua lực này.

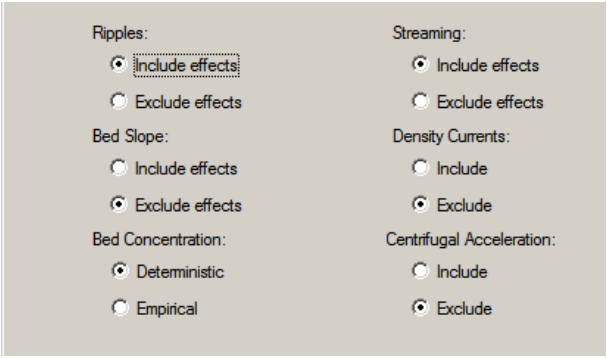
- Cuối cùng, bờ cát thô thường có độ dốc lớn, do đó ảnh hưởng độ dốc đáy lên quá trình khởi động của hạt và di chuyển là rất quan trọng.

Các thông số chung để ứng dụng STP_Q3D bao gồm:



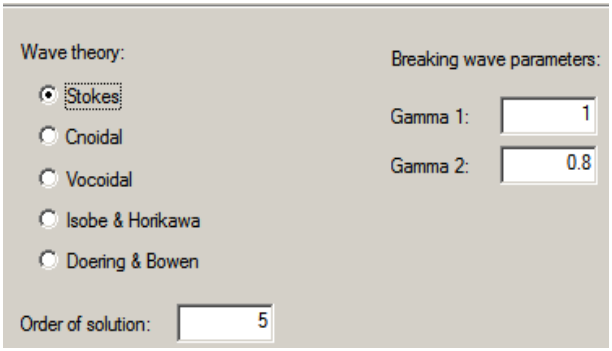
Lưu ý: Số chu kỳ sóng và số bước trên mỗi chu kỳ sóng ảnh hưởng rất lớn đến thời gian tính toán lập bảng vận chuyển Q3D.

Các thông số mở rộng bao gồm:

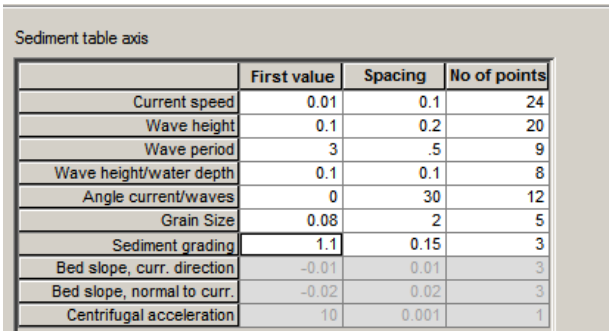


Lưu ý: Có một số yếu tố và quá trình ít ảnh hưởng đến dòng vận chuyển cát sẽ không cần đưa vào tính toán.

Chọn lý thuyết sóng và các thông số liên quan đến sóng vỡ:



Chọn giới hạn trị số của các thông số dòng chảy, sóng, tính chất của cát:



	First value	Spacing	No of points
Current speed	0.01	0.1	24
Wave height	0.1	0.2	20
Wave period	3	.5	9
Wave height/water depth	0.1	0.1	8
Angle current/waves	0	30	12
Grain Size	0.08	2	5
Sediment grading	1.1	0.15	3
Bed slope, curr. direction	-0.01	0.01	3
Bed slope, normal to curr.	-0.02	0.02	3
Centrifugal acceleration	10	0.001	1

Kết quả là các bảng số liệu cần được nạp vào khi chạy mô hình MIKE21/3 ST. Thông thường cho mỗi vùng nghiên cứu có 1 bảng riêng.

Ứng với mỗi phương pháp tính vận chuyển cát đã chọn, phương án tính toán diễn biến lòng dẫn cũng có khác nhau. Đối với lựa chọn thứ hai, hiệu ứng tổng cộng của sóng và dòng chảy sẽ được tính đến, tuy nhiên hiệu ứng chảy vòng sẽ bị bỏ qua. Như vậy, quy trình ứng dụng mô hình MIKE21/3 ST khá phức tạp và có nhiều vấn đề cần xử lý có tính chủ quan, phụ thuộc rất lớn vào kinh nghiệm và kiến thức của người sử dụng. Các điểm nhấn ở đây bao gồm:

- Chọn được thuật toán hợp lý cho VNC;

- Phải có bộ số liệu tin cậy về dòng chảy và sóng (nếu cần);

- Có bộ số liệu tin cậy và hợp lý về địa hình lòng dẫn và tính chất cơ lý của cát VNC và lân cận;

- Nếu tính vận chuyển cát trên biển chịu tác động đồng thời của sóng và dòng chảy, thì công việc quan trọng nhất là tạo được bảng tốc độ tải cát Q3D hợp lý, phủ

kín các tổ hợp có thể xẩy ra tại VNC. Lưu ý: Nếu giá trị các thông số tính toán nằm ngoài giới hạn có trong bảng Q3D, phép tính dòng bùn cát sẽ không được thực hiện;

Module MIKE21/3 ST được tích hợp vào mô hình MIK21/3 Coupled FM Model là một hệ thống được khẳng định bằng các kết quả nghiên cứu thực nghiệm rất công phu tốn kém và các lý thuyết mới về hiện tượng vận chuyển cát và xói bồi kèm theo.

Tuy nhiên, đó là mô hình với nhiều thông số thực nghiệm, và MIKE21/3 ST là mô hình bán kinh nghiệm.