

ĐÁNH GIÁ TÁC ĐỘNG CỦA TUYẾN KÈ TẠO BÃI VEN BIỂN TÂY TỈNH CÀ MAU

TS. Nguyễn Hữu Nhân

Viện Kỹ thuật Biển

Tóm tắt: Trước tình hình sạt lở bờ biển và đai rừng ngập mặn gia tăng, đe dọa đe biển, tài sản và môi trường ven biển, tỉnh Cà Mau cho thử nghiệm ứng dụng kết cấu mới gọi là “kè tạo bãi” để đối phó khẩn cấp. Bài viết trình bày một vài đánh giá tác động của tuyến kè thử nghiệm này bằng mô hình tích hợp thủy động lực học và phổ sóng trên vùng nước nông ven bờ. Kết quả nghiên cứu cho thấy, kè tạo bãi rất hiệu quả đối với quá trình tạo bãi, dập tắt các dòng xoáy Rip và tác động của sóng, chặn được hiện tượng sạt lở và tàn phá đai rừng ngập mặn cho vùng biển nằm bên trong tuyến kè. Mặt khác, nó có thể dẫn đến xói sâu tại chân dọc tuyến kè, hình thành lạch ngầm chia cắt địa hình đáy biển trong tuyến và ngoài tuyến, cũng như phần biển phía Bắc điểm cuối tuyến kè, dẫn đến nguy cơ không ổn định cho tuyến kè. Do đó, cần quan trắc và đánh giá diễn biến địa hình trước khi áp dụng đại trà công nghệ này.

Từ khóa: Đánh giá tác động, bờ biển, kè, tỉnh Cà Mau

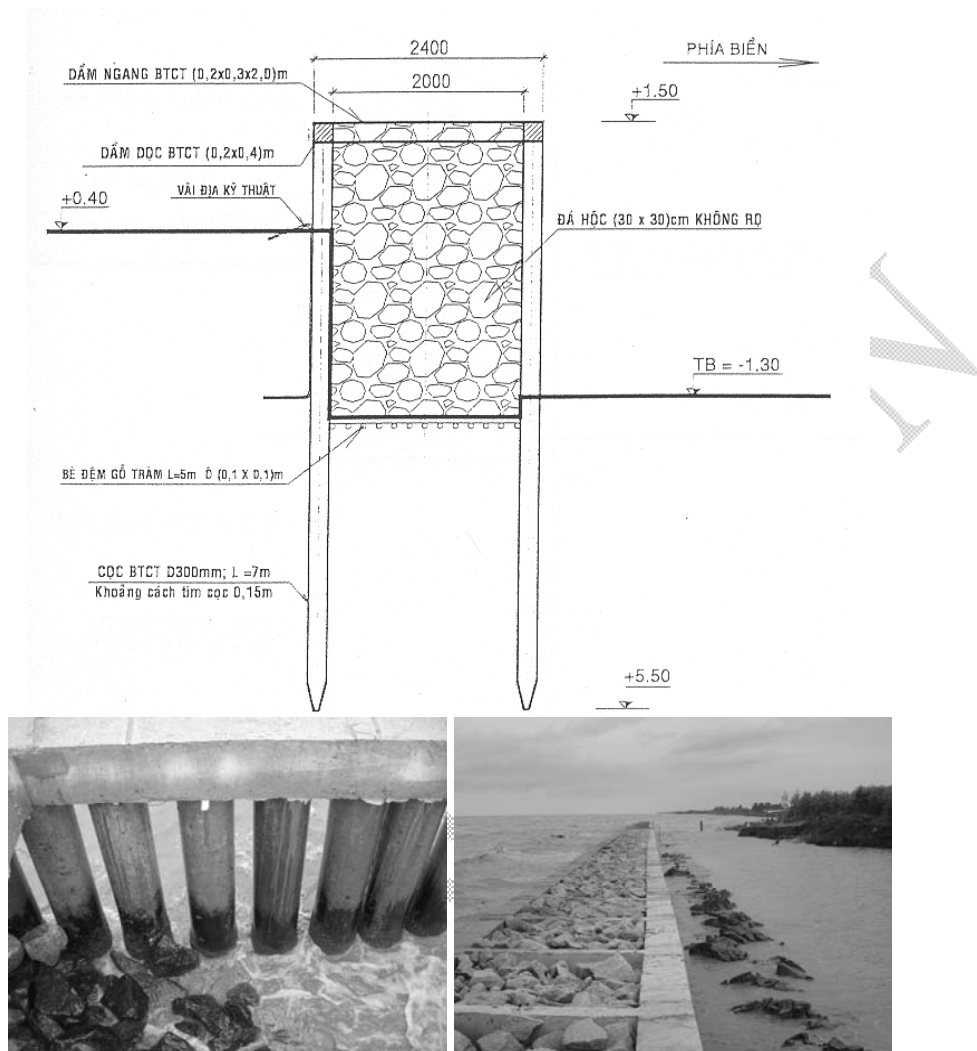
Summary: The Ca Mau government is performing experimental application of new structure called “submerged embankment for alluvial accumulating” as urgent measure for mitigating coast erosion and mangrove destroy that quickly increase for last years. The paper presents some assessments of its impacts by computer model coupled hydrodynamics and spectral sea wave on shallow water coastal zone. The results of study show its big effectiveness for alluvial accumulating, stopping Rip circulation and wave action, protecting coastal line and mangrove belt, and it has responded very urgent needs of Ca Mau province. Other-side, it is causing to bed deep erosion on narrow way along embankment and its north end, and generating submerged creek closed to outside foot of structure that breaks the continualness in natural sea bed topography of studied area, and quickly increases the defenses of land heights between both sides of embankment caused to its unstable. It is need in careful monitoring and assessing the topographical evaluation before wide application of this structure.

Key words: assessments of its impacts, coastal, embankment, Ca Mau province,

I. ĐẶT VẤN ĐỀ

Đường bờ biển và đai rừng ngập mặn (ĐRNM) tỉnh Cà Mau đang sạt lở nhiều đoạn với mức độ ngày càng tăng, đe dọa hệ thống đê biển, tài sản và môi trường. Có những khu vực, biển đã đẩy bờ lùi sâu vào đất liền 300m - 600m trong vòng 10 năm gần đây. Vấn đề cấp thiết nhất là tìm ra giải pháp tối ưu, hợp lý và khả thi để khôi phục ĐRNM. Lãnh đạo tỉnh Cà Mau đang cho thử nghiệm phương án kè tạo bãi (KTB) để chống sạt lở bờ, tạo bãi và bảo vệ ĐRNM. Về kết cấu, đó là mạng các cọc ly tâm bê tông cốt thép đứng xung quanh và ở giữa đổ đá hộc (xem hình 1). Tuyến KTB thí điểm có chiều dài 300m (gọi tắt là K1) đã được thi công thí điểm tại khu vực biển ven bờ nằm giữa cửa kênh Lung Rang và cửa Rạch Dinh thuộc xã Khánh Tiến, Huyện Trần Văn Thời, tỉnh Cà Mau có tọa độ đầu tuyến kè và cuối tuyến kè là: (104°49'41.54"E; 9°22'42.56"N) và (104°49'41.36"E; 9°22'52.21"N). Hiện nay, tỉnh cũng đã xây dựng tuyến kè tương tự để bảo vệ mũi Cà Mau. Phương án KTB là kết quả đúc kết từ thực tế, chưa có đủ các cơ sở khoa học và công nghệ để chứng minh tính ổn định, độ bền vững và các tác động của nó lên chế độ thủy động học (HD), phổ sóng (SW) và bồi xói. Sẽ có nhiều vấn đề mới được đặt ra. Trong phạm vi bài viết này, chúng tôi giới hạn vấn đề là nghiên

cứ đánh giá tác động của đoạn KTB thí điểm lên chế độ HD và chế độ SW bằng phương pháp mô hình toán, từ đó gián tiếp đánh giá tác động của nó lên sự bồi xói đáy và bờ biển.



Hình 1. Sơ họa kết cấu của tuyến kè ngầm tạo bãi đã được thi công thử nghiệm trên thực địa

III. LỰA CHỌN MÔ HÌNH TÍNH

Mô hình chọn ra để giải quyết bài toán nêu trên phải thỏa mãn các tiêu chí sau: (1) Vùng nghiên cứu (VNC) là vùng nước rất nông, độ dốc đáy nhỏ, địa hình đáy đơn giản, do đó mô hình thủy lực số về chế độ HD và SW không ổn định 2 chiều ngang là công cụ đáng tin cậy và hiệu quả; (2) Đường bờ có dạng răng cưa, nên mô hình thủy lực 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; (3) Các quá trình HD, SW và bồi xói tại VNC phụ thuộc rất chặt chẽ với nhau, nên chúng phải được tích hợp trong một mô hình khép kín; (4) Vị trí đường biên cứng di động theo dao động mực nước và mô hình chọn phải đáp ứng được thực tế này; (5) Mô hình tính phải có công cụ để cài đặt các chi tiết của Kl lên lưới tính; (6) Mô hình được chọn phải có lõi học thuật bảo đảm, được công nhận trên thế giới và ở VN

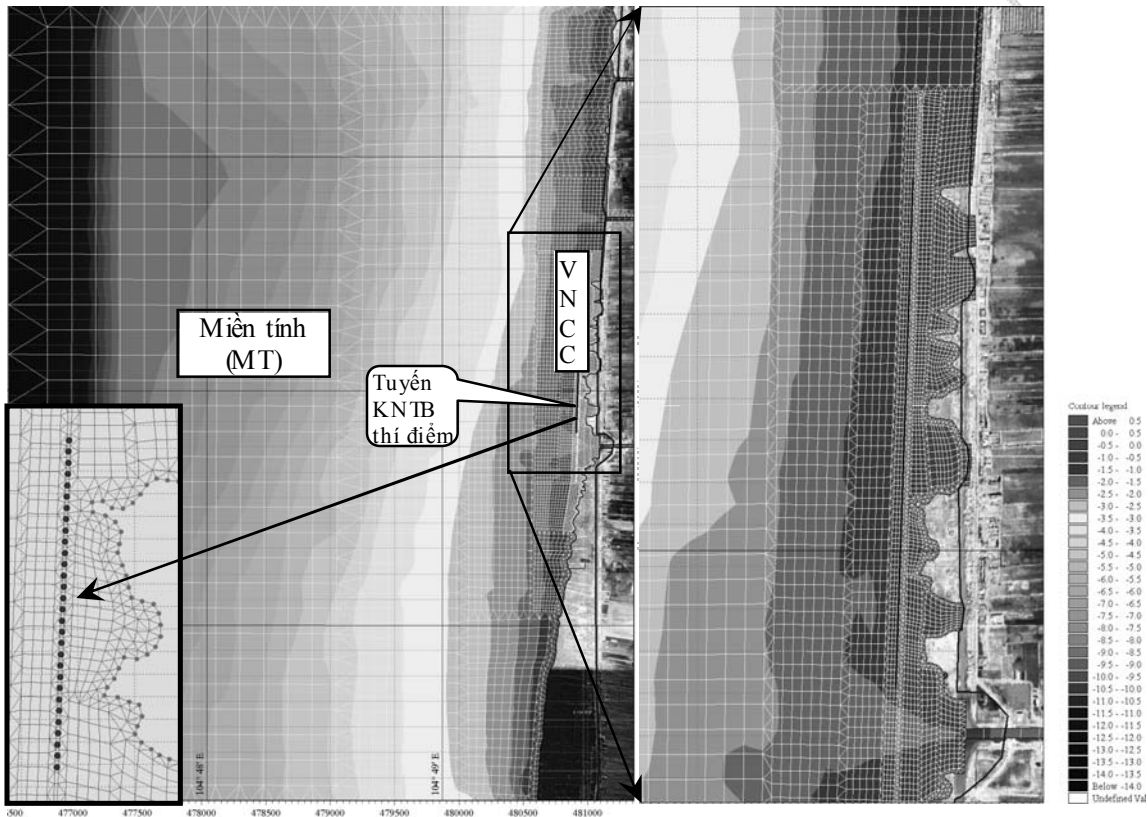
Qua các phân tích và so sánh giữa các mô hình thủy lực số đang áp dụng tại Việt Nam và trên thế giới, chúng tôi thấy rằng: mô hình tích hợp MIKE21/3 Coupled Model FM do viện thủy lực Đan Mạch (DHI) xây dựng là một trong số rất ít các mô hình toán hiện đại đáp ứng được tất cả các tiêu chí nêu trên. Đây là sản phẩm mới (xây dựng năm 2004 - 2009) và tiến bộ nhất của bộ phần mềm chuyên dùng họ MIKE để mô phỏng các quá trình thủy lực liên quan chặt chẽ với nhau trên vùng nước nông (là thủy động lực, sóng biển, vận chuyển vật chất và bồi xói) cho miền tính (MT) 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 (module HD) để xác định trường dòng chảy và trường độ sâu cột nước; (2) Module phổ sóng (module SW) để xác định trường sóng và ứng suất tán xạ sóng. Các chi tiết học thuật của chúng như trong các tài liệu [10→12].

III. SỐ LIỆU ĐẦU VÀO

Tuyến KTB K1 có chiều dài ($L=300m$) lớn hơn rất nhiều bề rộng ($b=2,4m$). Bề cao mặt cắt ướt khi triều đạt đỉnh khoảng $2,5m$ và khi triều kiệt khoảng $1,5m$ (xem hình 1). K1 có trục Bắc-Nam và nằm sát mép ĐRNM (nơi xa nhất là $200m$, nơi gần nhất khoảng $25m$, xem hình 2). Căn cứ vào kết quả nghiên cứu đã được công nhận rộng rãi về chế độ HD và SW tại VNC [4, 5, 7]), cũng như các thông số của K1, chúng tôi xác định vùng nghiên cứu chính (VNCC) và MT chế độ HD và SW như trên hình 2. Kinh thước MT là $5,2km \times 6,5km$. Tọa độ UTM zone 48N góc trái thấp nhất là ($476500m, 1034000m$) và góc phải cao nhất là ($481200m, 1040450m$). Kích thước MT gấp 20 lần L và 2000 lần b của K1, nên ảnh hưởng K1 lên chế độ HD và SW trên biên MT là không đáng kể. Số liệu địa hình đáy và bờ thu thập được và đã số hóa lên lưới tính như trên hình 2. Đây là kết quả tích hợp từ nhiều nguồn với độ tin cậy tương đối tốt bao gồm: (1) Số liệu địa hình từ hải đồ tỷ lệ $1:100.000$ lập ra năm 1984; (2) Số liệu địa hình trên lưới $15m \times 15m$ (bản đồ địa hình tỷ lệ $1:10.000$) do bộ TN-MT lập ra năm 2008; (3) Đường bờ và rai ĐRNM từ ảnh viễn thám năm 2010; (4) Kết quả đo địa hình trong chương trình Naga (1970); (5) Số liệu địa hình do tổng cục Biển-Hải Đảo đo năm 2009; (6) Các bản đồ GIS tỉnh Cà Mau và ĐBSCL. MT có địa hình đáy độ dốc nhỏ ($1:500$), đáy phủ bởi cát mịn, bùn và sét chứa nhiều mùn hữu cơ. Đây là vùng biển rất nông. Đường đồng mức độ sâu gần song song với đường bờ, cấu tạo đơn giản và có phương chủ đạo là trục Bắc-Nam. Cao trình đáy VNCC lớn hơn $-3,5m$. Cao trình đáy tại vị trí xây dựng K1 ở mức $-1,5m \div -1,3m$. Một phần đáy biển ven bờ có cao trình lớn hơn $-0,4m$ thường lộ ra khi triều kiệt và các vùng có cao trình đáy nhỏ hơn $0,5m$ thường ngập nước lúc triều cường. Đường bờ biển có phương chủ đạo là Bắc-Nam. Dọc bờ biển có ĐRNM, hiện nay nơi rộng nhất lên đến $400m$, nơi hẹp nhất chỉ còn $1m$, và nhiều nơi không còn ĐRNM. Dọc bờ biển là đê biển bằng đất. Một số đoạn bờ biển sạt lở rất mạnh, nhất là các khu vực không còn ĐRNM. Đường bao ĐRNM này có dạng răng cưa (xem các hình 2), vì vậy, MT hình chữ nhật và lưới tính phi cấu trúc như trên hình 2 là hợp lý. Độ phân giải lưới rất mịn cho khu vực đặt K1 và lân cận (kích thước ô lưới cùng bậc bề rộng b). Mật độ nút lưới tính thưa dần theo khoảng cách kè từ K1. Lưới tính bao gồm các phần tử tứ giác cho phần xa bờ và phần tử tam giác cho phần sát đường bờ và ĐRNM với 8894 phần tử và 7484 nút. Bề dài cách phần tử lớn nhất là $320m$ (khu vực biển khơi) và bé nhất là $2,4m$ (khu vực đặt tuyến KTB).

Có 2 phương án biên cứng (1) Không có tuyến KTB (K0) và phương án có tuyến KTB dài $300m$ đã được xây dựng trên thực địa (K1). Vị trí cài đặt K1 trên lưới tính như trên hình 2. Ở mức định tính, ta có thể thấy rằng: (1) Do có độ rộng xuyên qua K1 và bề rộng b nhỏ, nên chênh lệch mực nước trong và ngoài K1 sẽ không đáng kể, và do trục K1 song song với trục dòng chảy tại VNC, nên thành phần dòng chảy trực giao và xuyên qua K1 sẽ rất bé (so với dòng chảy dọc theo K1). Như vậy, trong module HD có thể coi tuyến kè này là một bức tường đặt dọc theo trục dòng chảy. Giả thiết này sẽ phát sinh sai số bé so với các sai số trong CSDL

đầu vào khác (như địa hình, độ nhám...); (2) Trục K1 gần như trục giao với hướng truyền sóng từ biển khơi vào khu vực ven bờ, do đó tác động của nó đối với sóng biển là rất mạnh. Tuy nhiên, do giữa các cọc ly tâm có kẽ hở và giữa các tầng đá học có độ rỗng, nên hiện tượng phản xạ của sóng khi gặp K1 sẽ nhỏ hơn so với trường hợp tuyến kè là bức tường đặc và liên tục. Dòng năng lượng sóng bị tiêu tán mạnh khi xuyên qua K1 và sẽ có một phần nhỏ phản xạ trở lại. Hiện nay, chưa có các đo đạc độ tiết giảm năng lượng sóng giữa 2 phía K1. Quan sát bằng mắt cho thấy: (1) Độ cao sóng phía trong K1 rất nhỏ, ước tính chỉ bằng 5-10% độ cao sóng ở phía ngoài; (2) Có hiện tượng phản xạ khi sóng gặp K1 và có các khối nước nhỏ vọt lên cao sau đó rơi vào phía trước tuyến kè làm cho mức độ nhiễu động của nước ở khu vực gần tuyến kè tăng lên so với các khu vực lân cận. Tuy nhiên, mô phỏng các quá trình vi mô này sẽ vượt khỏi khuôn khổ của nghiên cứu này.



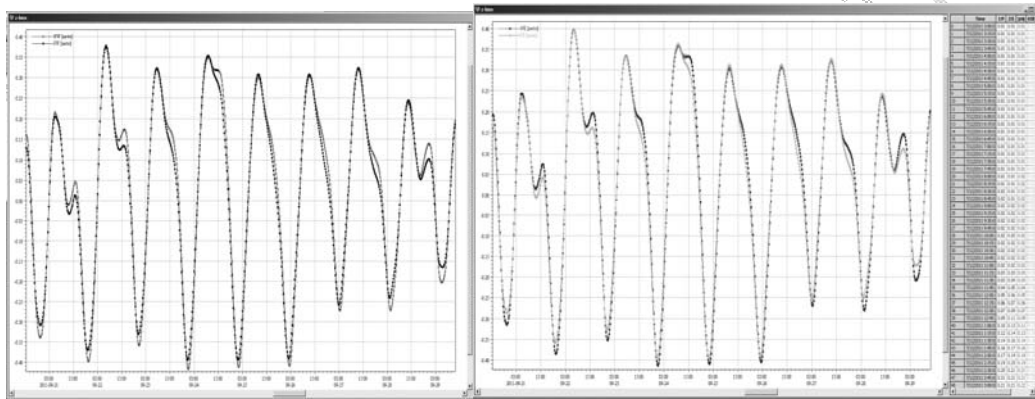
Hình 2. Miền tính, VNCC, cấu tạo lưới tính và vị trí tuyến KNTB thí điểm và đường bờ

Để mô tả tác động của K1 lên quá trình truyền sóng, chúng tôi đã sử dụng công thức cân bằng mật độ tác động sóng xuyên qua công trình [10, 12] có dạng

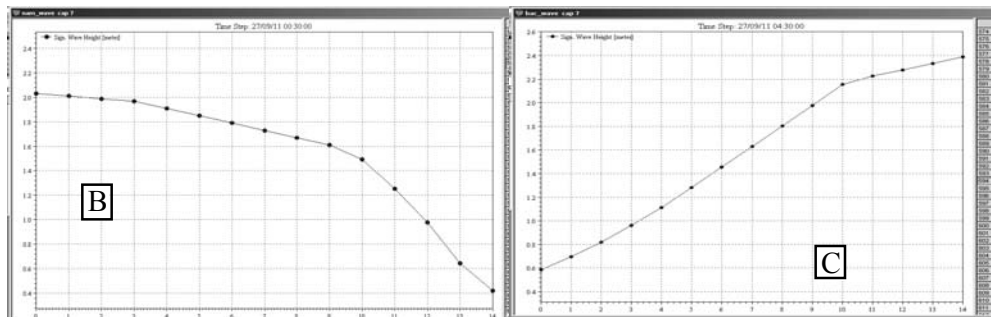
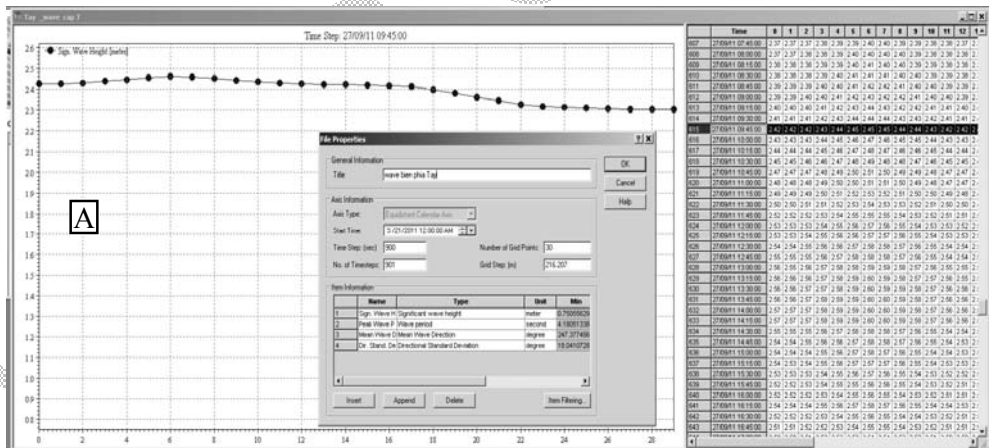
$$dF = (F_{\text{trong}} - F_{\text{ngoài}}) = -\frac{1}{A} \sum F_n dl$$

Trong đó: $dF = F_{\text{trong}} - F_{\text{ngoài}}$ là hiệu dòng mật độ tác động sóng xuyên qua K1; A là diện tích của ô lưới (phần tử) theo phương trục giao K1 (diện tích cạnh ô lưới) với dòng mật độ tác động sóng pháp tuyến F_n ; dl là độ dài của mỗi chi tiết công trình (hay đường kính cột). Tổng được lấy cho toàn bộ các cạnh của ô lưới. Để tính đại lượng này, cần khai báo các bảng thông số xác định mức độ phản xạ cho các khoảng chu kỳ sóng tại các độ sâu cột nước khác nhau (xem [10, 12]). Mô phỏng sự suy giảm sóng qua tuyến kè rỗng kiểu K1 là vấn đề mới và phức tạp hơn so với mô phỏng sóng khi gặp tuyến kè là tường liên tục và đặc.

MT có 6 đoạn biên mở, trong đó có 3 đoạn biên mở phía Nam, ở phía Tây và ở phía Bắc MT là nối với Biển Tây Nam Bộ, và 3 đoạn biên mở ở phía Đông nối với 3 kênh rạch thuộc các xã Khánh Hội và Khánh Tiến huyện Trần Văn Thời (kênh Lung Rang, rạch Dinh và rạch Dong). Tác động của dòng chảy qua các kênh rạch ở biên phía Đông (kênh Lung Rang, rạch Dinh và rạch Dong) đến chế độ HD và SW tại MT là rất yếu vì chúng được đặt lùi sâu vào bên trong đất liền và lưu lượng nước ra/vào các kênh rạch này là rất nhỏ (đạt khoảng $10m^3/s$, $7m^3/s$ và $5m^3/s$ theo hướng ra biển trong mùa lũ, và không đáng kể trong mùa kiệt [2, 14]) so với dòng chảy trên biển. Ảnh hưởng của biển Tây lên chế độ HD và SW tại MT qua 3 đoạn biên mở nối MT với nó là rất lớn. Do không có số liệu thực đo về sóng tới và mực nước tại các đoạn biên này, nên CSDL biển tại đây phải tính ra từ mô hình làm việc khác, kế thừa từ công trình [4, 6, 7, 9, 17] có miền tính liên hoàn biển Đông, biển Tây, các dòng chính sông Mekong với 21 đoạn biên mở, trong có 6 đoạn biên chính là: eo Đài Loan, Eo Bacsì, Eo Singapore, các eo qua quần đảo Philippine, các mặt cắt sông Cửu Long tại Châu Đốc và Tân Châu



Hình 3. Biến thiên mực nước tại các điểm đầu và điểm biên Tây (NW và SW), điểm đầu biên Bắc (điểm NE) và điểm cuối biên Nam (điểm SE) theo thời gian vào tháng 9 năm 2011



Hình 4. Diễn biến độ cao sóng có nghĩa dọc theo 3 đoạn biên mở Tây (A), Nam (B) và Bắc (C) nối VNC với biển Tây tại một thời điểm vào tháng 9 năm 2011 (GMTN cấp 6)

Kết quả tính toán các yếu tố HD và SW bằng mô hình liên hoàn biển Đông Biển Tây và các dòng chính sông Mekong (đã được hiệu chỉnh) sẽ được trích ra cho các đoạn biên ở các phía Nam, Tây, Bắc của MT trong thời thời khoảng từ tháng 1/4/2011 đến 30/4/2012, trong đó số liệu trích ra cho thời khoảng:

- Từ ngày 11 đến ngày 15 tháng 11 năm 2011 sẽ được dùng làm điều kiện biên chạy mô hình để hiệu chỉnh các thông số của nó;
- Từ ngày 22 đến ngày 26 tháng 11 năm 2011 sẽ được dùng làm điều kiện biên chạy mô hình để kiểm định kết quả tính toán bằng các mô hình đã hiệu chỉnh;
- Từ ngày 13 đến ngày 18 tháng 9 năm 2011 sẽ được dùng làm điều kiện biên chạy mô hình đã hiệu chỉnh để nghiên cứu chế độ HD và SW trước và sau khi có K1 trong điều kiện có GMTN cấp 6 giật cấp 7 (xem hình ảnh về số liệu biên sóng tới và mực nước tại các đoạn biển mở như trên hình 3 và 4).

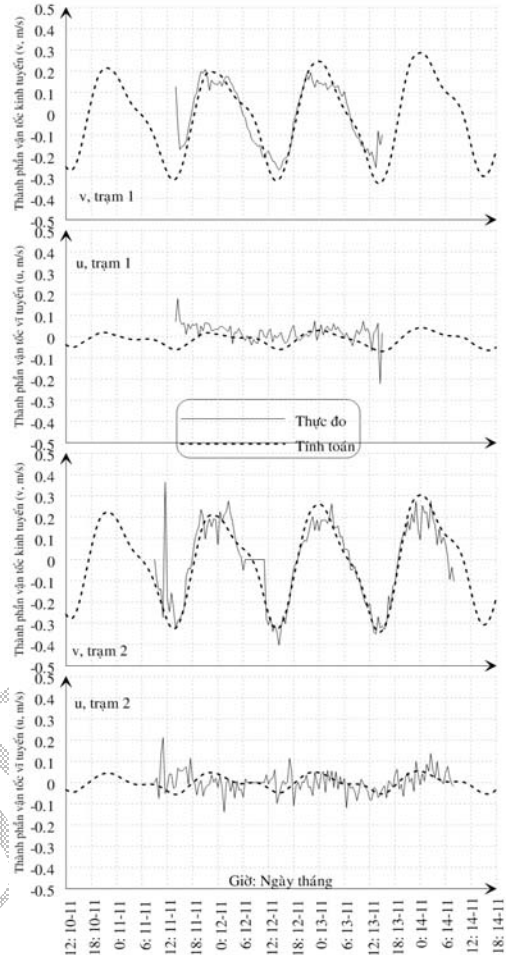
CSDL gió đầu vào (tại độ cao 10 m trên mặt biển) do NOAA cung cấp miễn phí trên mạng internet tại các thời điểm 0, 6, 12 và 18 giờ GMT mỗi ngày trên lưới ¼ độ kinh vĩ từ năm 2009 đến năm 2012.

Như vậy, để đánh giá tác động của tuyến KTB, ta cần thực hiện 6 phương án mô phỏng (3 phương án biên KTTV-HV kết hợp 2 phương án có và không có K1).

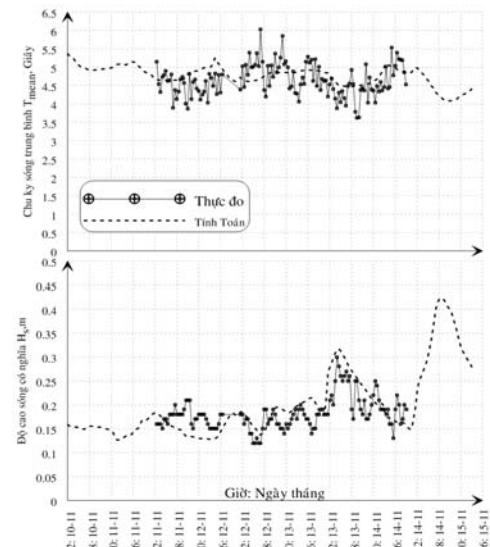
IV. HIỆU CHỈNH MÔ VÀ KIỂM ĐỊNH MÔ HÌNH

Từ 11 đến 15 tháng 11 năm 2011, Viện Kỹ thuật Biển đã đo dòng chảy, sóng tại trạm 1 (toạ độ địa lý: 104°48'47.04"E; 9°22'39.34"N) và dòng chảy tại trạm 2 (toạ độ địa lý: 104°47'37.98"E; 9°22'41.23"N) đều nằm bên trong MT. Các số liệu thực đo này được dùng để hiệu chỉnh các thông số module HD và module SW qua so sánh số liệu tính toán và thực đo.

Kết quả hiệu chỉnh thông số module HD bao gồm: (1) Hệ số Manning M (theo định nghĩa của DHI) tại MT không đều theo không gian. Vùng biển khơi với độ sâu >5m, M xấp xỉ 51m^{1/3}/s. Vùng sát bờ, không có cây và phủ bùn nhão, M



Hình 5. So sánh kết quả tính toán và thực đo các thành phần vận tốc (u,v) trong đợt đo tháng 11 năm 2011 tại trạm 1 và 2



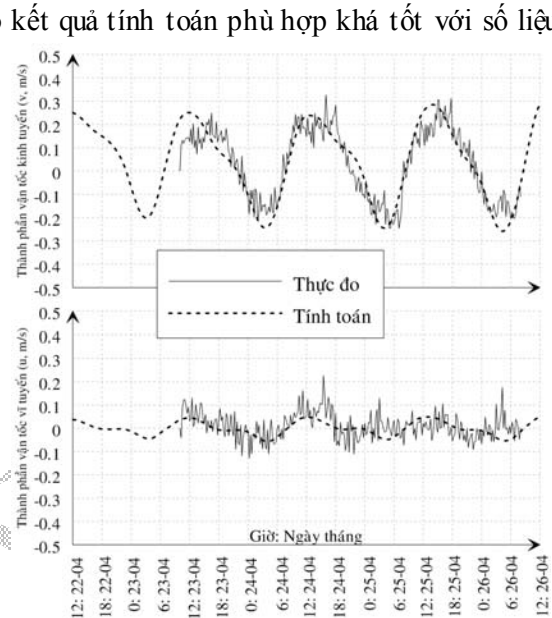
Hình 6. So sánh kết quả tính và thực đo H_s và T_{mean} tại trạm 1 trong đợt đo tháng 11/2011

đạt khoảng $35-40 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$. Tại các vùng có ĐRNМ, M đạt $20-25 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$; (2) Hệ số tán xạ rối ngang tính theo công thức Snagorenski với hệ số thực nghiệm bằng 0,28 và giới hạn trong khoảng $0,05-2,0 \text{ m}^2/\text{s}$ là phù hợp; (3) Điều kiện để xem ô lưới thuộc MT hay bị loại là: (i) khi độ sâu ngập $>0,1\text{m}$, thì ô lưới là ô tính đầy đủ; (ii) khi độ sâu ngập của ô $>0,05\text{m}$ và nhỏ hơn $0,1$ là ô lưới là có ngập, nhưng nước không chảy; (ii) khi độ sâu ngập của ô $<0,05\text{m}$, ô lưới sẽ bị loại khỏi MT; (4) Bước tính theo thời gian bé nhất là $0,5\text{s}$ và lớn nhất là 2s , bảo đảm số CFL <1 ; (5) Ảnh hưởng của SW lên chế độ HD là rất lớn và cần cập nhật qua tích hợp module SW chạy đồng thời với module HD.

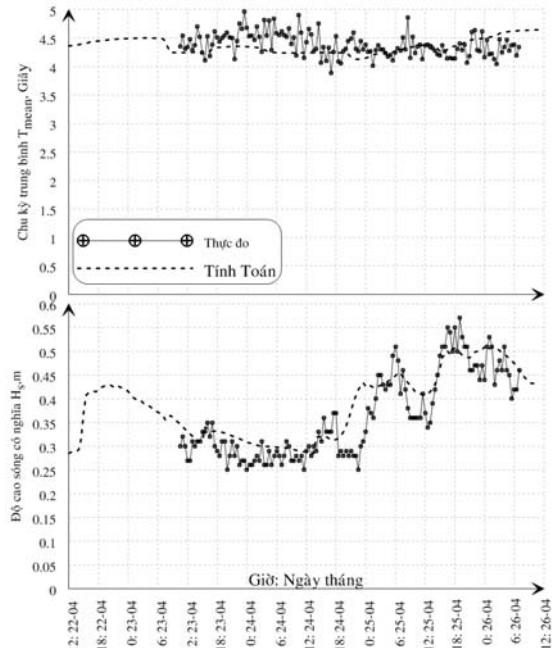
Sau khi hiệu chỉnh các thông số, module HD cho kết quả tính toán phù hợp khá tốt với số liệu thực đo cả trị số, diễn biến thời gian, pha triều (xem hình 5) và các quy luật vận động của nước tại VNC. Hệ số tương quan giữa chúng đạt $0,73-0,78$.

Đối với module SW, các thông số sau khi hiệu chỉnh như sau: (1) Mô hình SW đầy đủ (gồm sóng gió và sóng lừng) là lựa chọn phù hợp cho VNC; (2) Ảnh hưởng chế độ HD lên SW là rất lớn và cần được tính đến bằng cách tích hợp các module SW và HD làm việc đồng thời; (3) Góc phổ sóng là quét đủ vòng (360°) và chia ra 16 khoảng đều nhau; (4) Phổ tần số của sóng trượt từ tần số thấp nhất là $0,055\text{s}^{-1}$ với hệ số khuếch đại bước tiếp theo là 1,1 cho 25 khoảng tần số tiếp theo; (5) Độ nhám đáy K_s tại vùng biển khơi (độ sâu $>5\text{m}$) xấp xỉ $0,01\text{m}$; tại vùng sát bờ, không có cây và phủ bởi bùn nhão, đạt $0,01-0,02\text{m}$; tại các vùng có ĐRNМ đạt $0,1-0,13\text{m}$; (6) Bước tính theo thời gian bé nhất là 4s và lớn nhất là 8s ; (7) Hệ số xác định trạng thái ổn định của sóng tại vùng nước nông cho đến khi sóng vỡ là $0,8$; (8) Hiệu ứng không ổn định dẫn đến sóng bạc đầu với hệ số Γ là $0,8$; (8) Phổ sóng ban đầu là phổ Zero và được xấp xỉ theo công thức Jonswap là hợp lý.

So sánh kết quả tính toán độ cao sóng có nghĩa (H_s) và chu kỳ sóng trung bình (T_{mean}) bằng module SW đã được hiệu chỉnh và số liệu thực đo trên các hình 6 cho thấy: kết quả tính toán và thực đo phù hợp khá tốt với nhau. Hệ số tương quan giữa chúng đối với H_s đạt $0,75-0,82$ và đối với T_{mean} đạt $0,72-0,80$. Số liệu đo sóng tán xạ khá mạnh (do các nhiễu xạ rối trong trường gió tại mặt biển), trong khi đó số liệu tính toán khá mượt (vì không bao hàm các nhiễu động rối). Sai lệch giữa số liệu tính toán và thực đo tương đương với độ lệch chuẩn của số liệu thực đo (đạt $0,26-0,32\%$).



Hình 7. So sánh kết quả tính toán và thực đo các thành phần vận tốc (u, v) tại trạm 1



Hình 8. So sánh kết quả tính và thực đo H_s và T_{mean} tại trạm 1

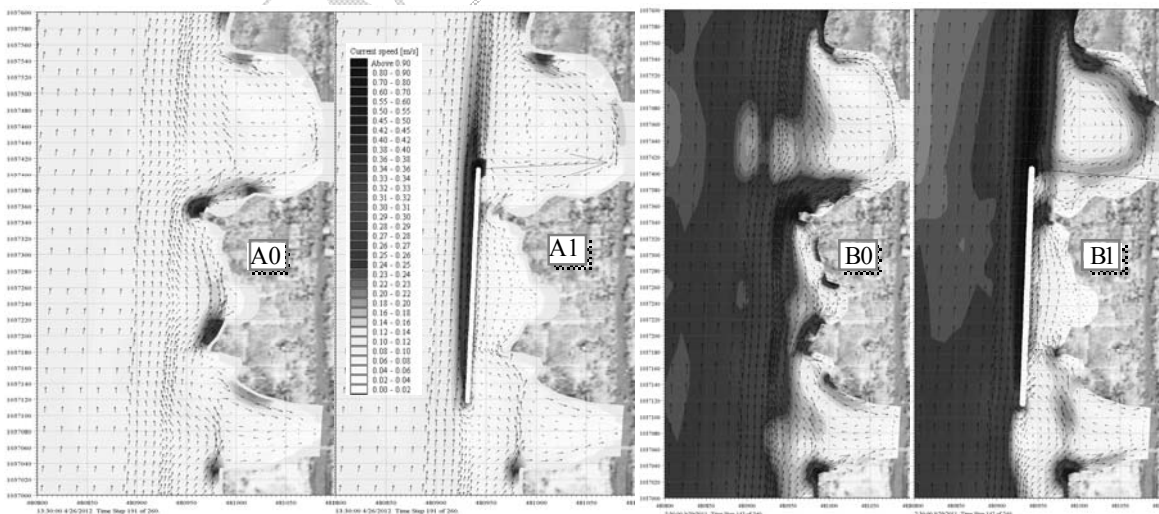
Kết quả tính bằng module SW sau khi hiệu chỉnh phù hợp với các quy luật phổ biến của sóng tại VNC, trong đó nổi bật là: Hs giảm liên tục từ biển khơi đến vùng ven bờ do độ sâu giảm dần làm biến dạng sóng; ảnh hưởng ma sát đáy tăng dần; vai trò khúc xạ, nhiễu xạ, chế độ HD tăng dần khi tiếp cận vùng ven bờ. Kết quả mô phỏng và kết quả đo đạc sóng phù hợp tốt với nhau về xu thế biến thiên Hs và T_{mean} theo thời gian.

Độ tin cậy của kết quả tính bằng các module HD và SW đã hiệu chỉnh được kiểm định qua so sánh số liệu tính toán và thực đo dòng chảy và sóng tại trạm 1 từ ngày 22 đến 26 tháng 4 năm 2012 như trên các hình 7 và 8. Ta thấy giữa kết quả tính trên mô hình và số liệu đo có sự phù hợp khá tốt với nhau cả về trị số, xu thế và pha. Hệ số tương quan giữa chúng đạt 0,72-0,76. Kết quả mô phỏng phù hợp với các quy luật dòng chảy và sóng biển đã được công nhận tại VNC. Nguyên nhân của một số sai lệch có thể do: (1) Sự phân tán của số liệu thực đo là do yếu tố ngẫu nhiên phát sinh bởi các xoáy rối cục bộ, ảnh hưởng của ghe, gió giật... (chưa thể đưa vào mô hình tính toán); (2) Sai số hệ thống của mô hình số khi rời rạc hóa trên lưới tính; (3) Sai số của số liệu địa hình (không có số liệu đo mới để cập nhật). Tuy nhiên, các sai lệch giữa kết quả tính toán và thực đo nằm trong phạm vi cho phép (với mức đầy đủ của số liệu đầu vào và công nghệ tính toán còn hạn chế, hiện nay chưa thể mô phỏng bức tranh thực tế chính xác 100%). Sai lệch giữa số liệu tính toán và thực đo là tương đương với độ lệch chuẩn của số liệu thực đo (đạt 26-32%).

Như vậy, các module HD và SW cùng các cơ sở dữ liệu nhập lập ra kèm theo phản ánh đúng bản chất vật lý của chế độ HD và SW tại VNC, tức là đã lập được mô hình làm việc có đủ độ tin cậy cần thiết để nghiên cứu chế độ HD và SW tại VNC trước và sau khi có K1.

V. KẾT QUẢ

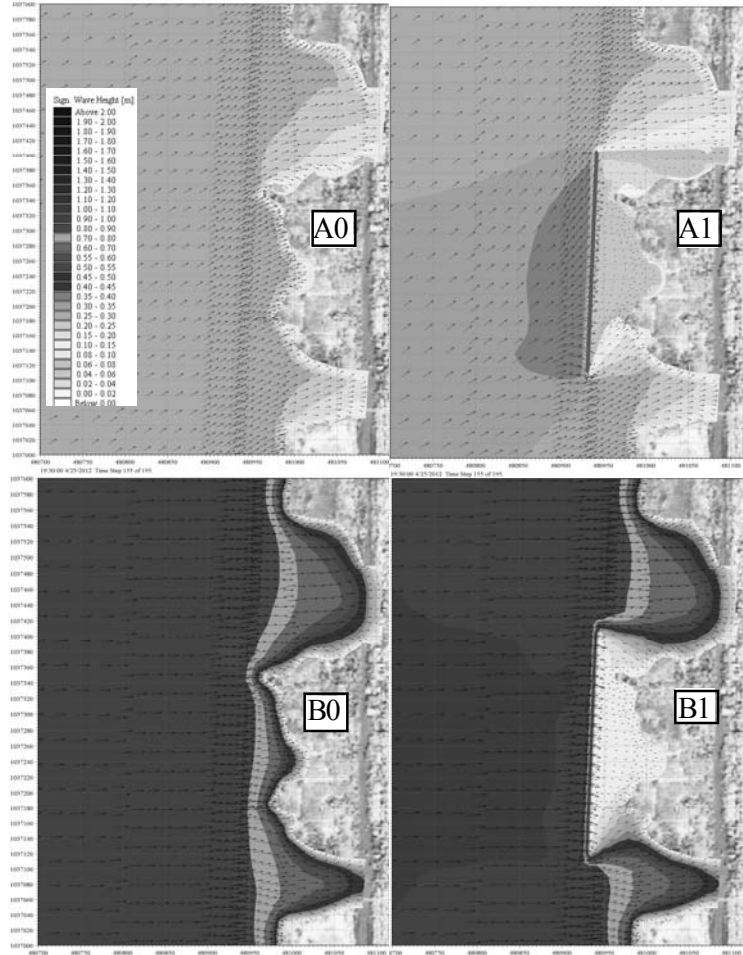
VNC nằm trong vùng khí hậu nhiệt đới gió mùa cận xích đạo với 2 mùa gió: GMĐB và GMTN tương phản. Trong mùa GMĐB, gió thịnh hành thổi từ bờ ra biển, nên tác động của K1 đối với VNC là không đáng kể, không cần đánh giá. Trái lại, trong mùa GMTN, gió và sóng có hướng thịnh hành nằm trong cung SW ↔ WSW ↔ W, hướng từ biển vào bờ, tác động trực diện lên vùng VNC, nên vai trò của K1 đối với chế độ SW và HD tại đây là rất lớn. Một số sản phẩm chọn lọc từ kết quả 6 phương án mô phỏng chế độ HD và SW bằng mô hình toán đã được hiệu chỉnh được trực quan hóa và bản đồ hóa như trên các hình 9-14.



Hình 9. Cấu tạo trường vận tốc dòng chảy khi có K1 (hình A1, B1) và không có K1 (hình A0, B0) trong GMTN cấp 3 (hình A1, A0) và cấp 6 (hình B1, B0) vào thời điểm triều dâng

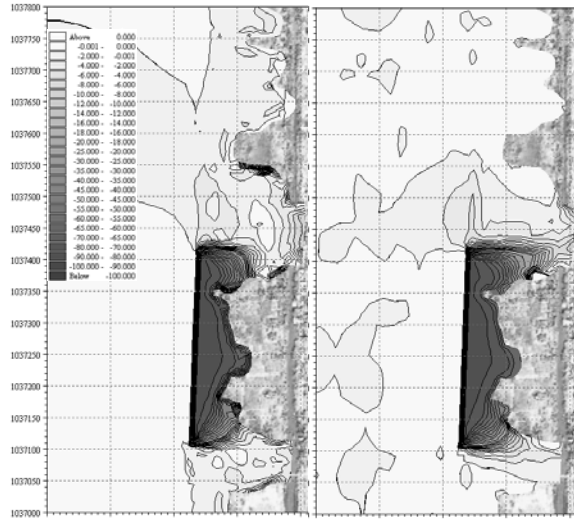
Cấu tạo trường sóng và dòng chảy trước và sau khi có K1 trong GMTN tiêu biểu (cấp 3) và cực đoạn (cấp 6) như trên các hình 9 và 10. So sánh cấu trúc của chúng sẽ thấy sự biến đổi tuyệt đối do tác động của K1 cho 2 trạng thái thời tiết nêu trên. Vị trí, phạm vi các vùng sẽ giảm H_s và $V=(u^2+v^2)^{1/2}$ và bản đồ phân vùng mức độ giảm (%) của chúng sau khi có K1 trong GMTN tiêu biểu (cấp 3) và cực đoạn (cấp 6) như trên hình 11 và 12. Chúng sẽ là các vùng sẽ tăng bồi tụ, giảm xói và sạt lở bờ, ĐRNM sau khi có K1.

Vị trí, phạm vi các khu vực sẽ tăng H_s và V và bản đồ phân vùng mức độ tăng (%) của chúng sau khi có K1 trong GMTN tiêu biểu (cấp 3) và cực đoạn (cấp 6) như trên hình 13 và 14. Đây sẽ là các vùng giảm bồi tụ, có thể dẫn đến xói đáy và sạt lở bờ và ĐRNM sau khi có K1.

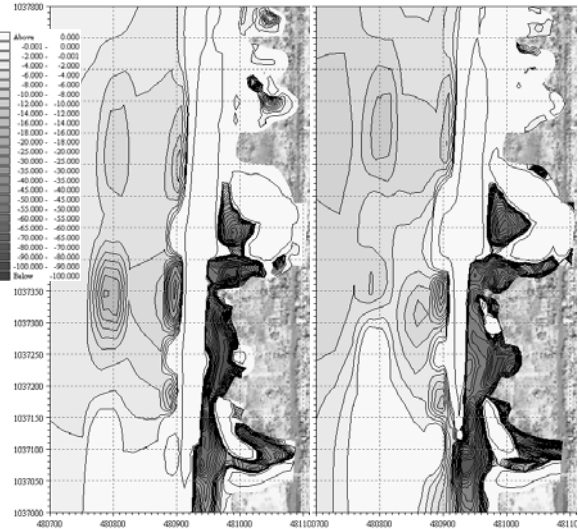


Hình 10. Cấu trúc trường sóng khi có K1 (hình A1, B1) so với khi không có K1 (hình A0, B0) trong GMTN cấp 3 (hình A1, A0) và cấp 6 (hình B1, B0) tại thời điểm đỉnh triều

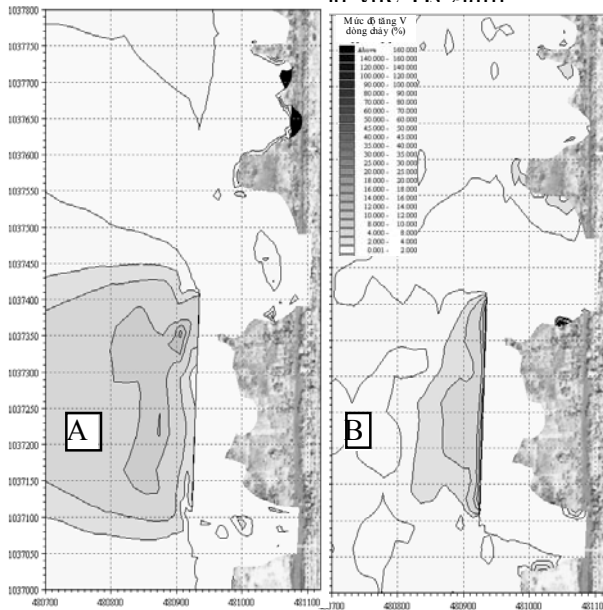
VAVAT



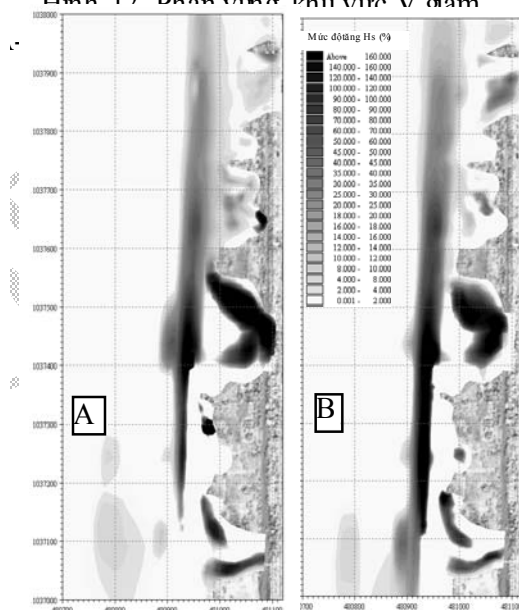
Hình 11. Phân vùng khu vực Hs giảm



Hình 12. Phân vùng khu vực V giảm



Hình 13. Phân vùng khu vực Hs tăng
A-trong GMTN cấp 3, B-trong GMTN cấp 6
tại thời điểm đỉnh triều



Hình 14. Phân vùng khu vực V tăng
A-GMTN cấp 3, B-GMTN cấp 6
tại thời điểm triều dâng

VI. THẢO LUẬN

Chế độ thủy động lực trước khi có K1. VNC có chế độ nhật triều không đều với độ lớn dao động mực nước triều bé, đạt 0,6m - 1,0m. Vào những ngày gió yếu (dưới cấp 4), dòng triều là thành phần chính của dòng chảy tổng hợp, hướng lên phía bắc khi triều dâng và ngược lại. V ít khi $>0,35\text{m/s}$, nên thuận lợi cho sự lắng đọng của bùn cát. Do đây là vùng nước rất nông nên chế độ HD biến động nhanh và mạnh khi gió thay đổi cường độ và hướng (so sánh bản đồ A0 và B0 trên hình 9). Khi GMTN mạnh, ảnh hưởng của dòng chảy gió lấn át dòng triều, sẽ là thành phần chính (chiếm đến 60-80%) trong dòng chảy tổng hợp và V có thể đạt 0,5-0,9m/s. Cách bờ 200m, hướng dòng chảy đơn giản là song song với đường đồng mức độ sâu. Dòng chảy do GMĐB có hướng ngược chiều dòng triều dâng. Dòng chảy do GMTN có hướng cùng chiều với dòng triều dâng mang bùn cát từ bãi bồi Cà Mau lên VNC. Khi

GMTN thổi mạnh, sẽ có hiện tượng cường hóa V tại dải biển sát bờ (xem các hình 9). Lúc đó, V ở đây lớn gấp 2-3 lần vùng biển xa bờ. Đây là hiện tượng nguy hiểm cho tàu ghe neo đậu hay chạy ven bờ biển, nguyên nhân gây sạt lở bờ và đáy biển. Đặc biệt, kết quả tính toán cho thấy: vào mùa GMTN, có hệ thống dòng Rip tại dải biển ven bờ do phóng xạ năng lượng sóng (xem hình 9). Hệ thống dòng Rip ở đây có các đặc điểm là: (1) Các xoáy Rip có đường kính từ 80m-120m, trong đó vùng nước có V lớn nhất nằm sát mép đường bờ và hướng về phía bờ và lượn theo đường biên ĐRNM và dòng rời bờ nằm tại vùng trung tâm lõm (xem hình 9); (2) Kích thước các xoáy Rip gần trùng với kích thước răng cưa của đường biên ĐRNM. Đây có thể là câu trả lời cho câu hỏi xuất phát từ thực tế: tại sao đường biên ĐRNM tại VNC có dạng hình răng cưa (xem hình 9). Dòng Rip không tồn tại trong mùa GMDB.

Tác động của K1 lên chế độ HD. Kết quả mô phỏng cho thấy, có 3 vùng bị K1 tác động mạnh (xem các hình 9, 12 và 14) là: (1) Toàn bộ phần đới bờ nằm bên trong K1; (2) Dải biển hẹp (rộng khoảng 30m-60m) nằm dọc ở mé ngoài K1; (3) Khu vực phía bắc và lân cận điểm cuối tuyến kè (bán kính <100m). Đối với phần đới bờ nằm trong tuyến kè, tác động K1 dẫn đến các hệ quả rất tích cực bao gồm: (1) V giảm 20%-70% (xem hình 12), do đó tốc độ bồi tụ của bùn cát sẽ tăng rất mạnh so với khi không có K1; (2) Trường vận tốc dòng chảy ven bờ sẽ đồng đều hơn, cường độ dòng Rip giảm mạnh (xem hình 9 và 12), rất thuận lợi cho các loại cây ngập phát sinh và phát triển ổn định. Đối với dải biển nằm ngoài và dọc tuyến kè, K1 gây ra tác động tiêu cực, bao gồm: (1) Nó sẽ nấn thẳng dòng chảy (xem bản đồ A1, B1 trên hình 9) và V sẽ tăng 30-150% tại mé ngoài (bề rộng 10-25m) K1 (do sự phóng xạ năng lượng sóng khi gặp K1, xem hình 10, 14); (2) Trường vận tốc dòng chảy dọc tuyến kè có hướng thẳng, ổn định và đều hơn so với khi không có K1 (xem hình 9). Cấu trúc trường vận tốc này kết hợp sự gia tăng V sẽ là điều kiện rất thuận lợi cho quá trình bào mòn đáy biển và tạo thành lạch sâu tại mé ngoài chân K1. Dự báo, tốc độ bồi tụ của bùn cát sẽ giảm mạnh khi gió nhẹ, và sẽ là vùng xói đáy khi có gió mạnh trong mùa GMTN. Đây là một trong số các nguy cơ, gây mất ổn định cho K1 và hình thành lạch ngầm ngăn cản sự phát triển bãi bồi về phía biển. Đối với khu vực biển ở phía Bắc điểm cuối tuyến kè, K1 sẽ gây ra các tác động đáng kể là: (1) V tại điểm cuối tuyến sẽ tăng rất mạnh (hình 9, 14); (2) Ảnh hưởng của K1 có thể lan rộng cho góc $\frac{1}{4}$ bên phải tuyến kè và kéo dài 200-300m lên phía Bắc (xem hình 14); (3) Hướng dòng chảy sẽ biến đổi mạnh; (4) Có hiện tượng cường hóa dòng chảy ven bờ phía đối diện với điểm cuối tuyến kè (xem hình 9, 14), có thể làm tăng mức độ xói bờ ở đây.

Chế độ SW trước khi có K1. Trên biển khơi phía Tây MT, độ cao sóng trong GMDB là 0,8-1,5m và trong GMTN là 1,0-3,0m. Chúng thường là sóng hỗn hợp gió lừng Sóng vào mùa GMDB ít ảnh hưởng đến VNC. Ngược lại, vào mùa GMTN, sóng tác động mạnh và trực diện lên vùng VNC, gây ra tác động rất tiêu cực, là yếu tố trực tiếp trực tiếp gây ra xói mòn, sạt lở bờ, tàn phá các hệ sinh thái, làm trơ mặt đáy biển và cửa sông, tạo nguồn bùn cát lơ lửng cho dòng chảy vận chuyển rời khỏi vị trí xói lở. Do đó, nói đến giải pháp giảm sạt lở bờ biển, đầu tiên là tìm giải pháp giảm tác động của sóng lên bờ biển và ĐRNM. Kết quả mô phỏng sóng cho thấy: (1) Hs tại VNCC giảm 30-60% so với độ cao sóng trên biển phía Tây MT; (2) Sóng có Hs dưới 1,0m thường bị vỡ trên vùng biển ven bờ độ sâu <3m và các sóng lớn (Hs >2m) thường vỡ ở khoảng cách xa bờ 3-6km; (3) Khi tiến vào sát bờ, sóng do gió tại chỗ tăng dần vai trò và sóng lừng từ biển truyền vào giảm dần vai trò; (4) Sóng trong mùa GMDB ít khi >0,3m; (5) Vào mùa GMTN, Hs bình quân đạt khoảng 0,35m và phóng xạ ra dòng năng lượng đủ lớn để tạo ra dòng Rip ven bờ biển và rìa ĐRNM; (6) Chế độ sóng phụ thuộc rất lớn vào dao động mực nước; khi triều đạt đỉnh, sóng tiếp cận sát đường bờ và ĐRNM, gây ra sạt lở bờ và ĐRNM. Chế độ SW tại VNC biến đổi rất mạnh khi thời tiết thay đổi, nhất là trong mùa GMTN. Đặc biệt, năng lượng do sóng biển phóng xạ là nguồn cung cấp năng lượng cho các xoáy dòng Rip có vai trò rất quan trọng đối với cấu tạo đường viền ĐRNM. Trong các đợt

GMTN mạnh trên cấp 6 (theo số liệu thống kê, tại VNC, mỗi năm có khoảng 7-10 đợt gió GMTN từ cấp 6 trở lên hoạt động trong vài ngày), các yếu tố sóng biển tại VNC mạnh đột biến (xem 10), gây ra các tác động rất tiêu cực vì: (1) Hs có thể > 1,0m và vỡ ngay chân đường bờ và rìa ĐRNM (hình 10); (2) Sự phóng xạ mạnh năng lượng sóng dẫn đến sự gia tăng mạnh V tại dải biển sát bờ và mực nước dâng cao, gia tăng tác động của sóng

Tác động của K1 lên chế độ SW. Kết quả mô phỏng chế độ SW khi có K1 cho thấy: (1) Đối với phần bờ nằm trong K1, Hs giảm 70%-90% (xem hình 10, 11), ít khi >0,2m (đây là tác động rất tích cực vì K1 chặn đứng các tác động gây xói bờ và tàn phá ĐRNM của sóng, giảm mạnh sự phóng xạ sóng gây ra dòng chảy ven bờ, tạo điều kiện thuận lợi cho hệ sinh rừng ngập mặn phát sinh và triển ổn định); (2) Đối với dải biển mép ngoài và dọc tuyến kè, K1 gây ra tác động nói chung là tiêu cực vì làm phát sinh sóng phản xạ và sự giao thoa giữa sóng tới và sóng phản xạ dẫn đến sự rối loạn của phổ sóng gây ra các hệ quả là: (i) Hs tăng thêm 5-10%; (ii) Cường độ phóng xạ năng lượng sóng tăng mạnh, sinh ra các xoáy rối cường độ lớn và làm tăng V (sự rối loạn phổ sóng kết hợp sự gia tăng V sẽ là yếu tố thuận lợi cho quá trình bào mòn đáy biển); (3) Tác động của K1 lên chế độ SW không lan rộng.

Một số nhận xét về nguyên nhân bồi xói tại VNC. Như đã biết, phù sa sông Mekong là vật liệu hình thành địa hình VNC với hành trình đường vòng: vào VN (qua biên giới Việt Nam-Campuchia), đi ra các cửa sông Cửu Long (kết thúc vào giữa tháng 11), trôi xuống mũi Cà Mau (trong suốt mùa GMĐB) sau đó vòng lên VNC (trong suốt mùa GMTN) và kéo dài trên 7 tháng. Từ năm 2007 đến nay, diễn biến xói lở bờ biển và ĐRNM tại VNC là phức tạp. Xu thế bồi và lấn biển trong quá khứ (những năm 80, 90 thế kỷ trước) đã chững lại, xu thế xói bờ tăng lên. Bề rộng ĐRNM ngày càng thu hẹp, từ 400m-600m trong quá khứ, nay chỉ còn khoảng 50m-300m, thậm chí 1-2m. Sạt lở bờ và bào mòn bề mặt vùng cận bờ và ĐRNM chủ yếu xảy ra trong mùa GMTN và đặc biệt mạnh trong GMTN trên cấp 5. Các nguyên nhân chính dẫn đến sự gia tăng tốc độ sạt lở ở đây bao gồm:

- Có sự thiếu hụt lượng bùn cát sông Mekong vào VN kéo dài từ năm 2005 đến nay. Theo kết quả đo dòng chảy và bùn cát lơ lửng đi qua 2 mặt cắt Tân Châu và Châu Đốc, thì tổng lượng phù sa vào VN trong 7 năm qua đạt 75 triệu tấn, xấp xỉ 1/2 bình quân hàng năm trong quá khứ. Đặc biệt, tổng lượng bùn cát của sông Mekong vào VN trong năm 2010 chỉ đạt 43 triệu tấn. Nguyên nhân: (1) Có sự sụt giảm rất mạnh hàm lượng bùn cát trong nước sông Mekong sau khi đập Tiêu Loan bắt đầu tích nước năm 1993 (X. X. Lu and R. Y. Siew, 2005, [13]); (2) Từ năm 2005 đến năm 2010, hầu như không có lũ trên hạ lưu sông Mekong.
- Kết quả phân tích diễn thế mực nước thực đo trong 26 năm qua cho thấy, mực nước trung bình hàng năm tại VNC (trạm Ông Đốc, Xẻo Rô) đang tăng với tốc độ 10.2mm/năm, nên độ sâu ngập nước, phạm vi và thời gian ngập ngày càng tăng vì vậy, tác động của sóng và dòng chảy lên bờ biển tại VNC cũng tăng lên.
- Sạt lở tăng mức độ sau khi xây dựng tuyến đê biển Tây. Quan sát bằng mặt cho thấy, sạt lở thường xảy ra rất mạnh tại các vùng có đê biển nằm sát bờ biển. Sự tàn phá ĐRNM của con người cũng là một nguyên nhân rất quan trọng

Một số nhận xét sơ bộ về tác động của K1 lên chế độ bồi xói. Sau khi có K1, chế độ HD và SW sẽ thay đổi, nên chế độ bồi xói cũng sẽ thay đổi theo, theo nguyên lý chung là: (1) Khu vực nào mà V và Hs giảm sau khi có K1, thì tốc độ bồi lấp tại đó sẽ tăng nếu khu vực đó đang là khu vực bồi lấp hoặc không xói và tốc độ xói sẽ giảm, thậm chí có thể trở thành khu vực bồi lấp nếu khu vực đó là khu vực đang xói lở; (2) Khu vực nào mà V và Hs tăng sau khi có K1, thì tốc độ bồi lấp tại đó sẽ giảm, thậm chí có thể trở thành khu vực xói nếu khu vực đó trước khi có K1 đang là khu vực bồi lấp hoặc không xói và tốc độ xói lở sẽ tăng nếu khu vực

đó trước khi có K1 là khu vực đang xói. Dựa vào kết quả tính toán và đánh giá tác động của K1 lên chế độ HD và SW, chúng ta có rút ra các đánh giá như sau:

- Đối với phần biển ven bờ nằm bên trong K1, tốc độ bồi tụ của bùn cát sẽ tăng rất mạnh, so với khi không có K1. Do Hs và V đều bé và đồng đều hơn so với khi không có K1, nên đây là vùng rất thuận lợi cho ĐRNМ phát sinh và triển ổn định.
- Đối với dải biển nằm ngoài và sát tuyến kè, sẽ có các biến động như sau: (1) Sẽ giảm bồi tụ khi gió yếu, và đáy biển sẽ bị bào mòn gây xói sâu tại khu vực cận chân tuyến kè khi GMTN vượt cấp 5; (2) Có thể xuất hiện lạch sâu tại chân phía ngoài tuyến kè, gây mất ổn định cho K1, chia cắt cấu tạo bằng phẳng địa hình tự nhiên của đáy biển tại VNC, cản trở sự phát triển sự bồi tụ phía ngoài tuyến kè.
- Đối với khu vực biển lân cận điểm cuối tuyến kè (ở phía Bắc tuyến), sẽ có thay đổi trong chế độ bồi xói, bao gồm: (1) Khu vực cận điểm cuối tuyến sẽ bị xói sâu; (2) Có nguy cơ tăng mức độ xói bờ phía đối diện với điểm cuối tuyến K1.

VII. KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

Gần đây, xói lở bờ biển và ĐRNМ tại VNC ngày càng tăng. Các nguyên nhân sâu xa gây ra xói lở cũng đã rõ như đã nêu trên. Hiện tượng xói lở tại VNC là sạt lở bờ và bào mòn bề mặt vùng cận bờ và ĐRNМ xảy ra trong mùa GMTN. Có hiện tượng cường hóa tốc độ chảy và có hệ thống dòng Rip tại dải ven bờ do sự phát xạ năng lượng sóng trong mùa GMTN. Bán kính xoáy Rip trùng với kích thước các cấu tạo răng cưa của đống bờ biển và biển ĐRNМ. Đặc biệt, khi có GMTN mạnh cấp 6, cấp 7 giạt cấp 8 hoạt động trong vài ngày, mức độ tác động của dòng Rip và sóng biển lên dải biển sát bờ là rất nguy hiểm, gây ra sạt lở rất mạnh. Giải pháp giảm tác động của sóng là lựa chọn hợp lý để bảo vệ ĐRNМ, chống sạt lở bờ và tạo bãi bồi lấn biển. Với tinh thần đó, việc tỉnh Cà Mau cho xây dựng thí điểm tuyến KTB là một việc làm rất có trách nhiệm. Kết quả nghiên cứu cho thấy hiệu quả rất lớn của tuyến KTB đối với quá trình tạo bãi, bảo vệ bờ và ĐRNМ, dập tắt các dòng xoáy Rip cho vùng biển ven bờ nằm bên trong tuyến, đáp ứng tốt các nhu cầu bức xúc của thực tế địa phương. Ảnh hưởng của tuyến kè này không lan rộng ra phía biển khơi. Tuy nhiên, sẽ có các tác động tiêu cực cho khu vực đáy biển nằm ở phía ngoài sát chân tuyến kè và phần biển phía Bắc điểm cuối tuyến kè. Nó có thể dẫn đến xói sâu tại chân tuyến kè và hình thành ra lạch ngầm chia cắt cấu tạo đáy biển tự nhiên nằm trong tuyến và ngoài tuyến kè. Diễn biến địa hình tại dải biển cận chân tuyến kè cần được quan tâm vì: phía trong tuyến sẽ bồi lấp nhanh (ước tính trong vòng 4-8 năm là thành RNM và khô nước khi triều kiệt, tức bồi thêm 1,0m-1,5m), trong khi đó phía ngoài tuyến, có nguy cơ xói sâu thêm (hoặc không bồi thêm), lúc đó, sẽ có lực xô ngang ra phía biển, phương hại đến độ ổn định của tuyến kè. Trong trường hợp có xói sâu tại chân mạnh (tốc độ >1m/năm), thì nguy cơ sụp kè là khá cao.

Hiện nay cơ sở để thiết kế và thi công tuyến KTB là dựa vào các quan sát thực địa, các kinh nghiệm rút ra việc thử nghiệm nhiều phương án bảo vệ đê biển và ĐRNМ tại địa phương. Chủ đầu tư có thể tham khảo thêm các kết quả nghiên cứu sơ bộ nêu trên để ra soát lại các thông số kỹ thuật của tuyến KTB trước khi mở rộng phạm vi áp dụng công nghệ này. Do số liệu đầu vào còn thiếu nhiều, nên các kết quả nghiên cứu và phân tích nêu trên sẽ có sai số nhất định, nhất là các phân tích về chế độ bồi xói trước và sau khi có K1. Do đó, cần thực hiện chương trình quan trắc diễn biến địa hình đáy cho ít nhất 4 mặt cắt ngang (kể từ bờ ra biển đến khoảng cách 200-250m so với tim tuyến KTB) trong vòng 2-4 năm để có số liệu tin cậy nhằm điều chỉnh các thông số kỹ thuật cho KTB. Cần phải tiếp tục nghiên cứu tìm kiếm và ứng dụng các giải công trình mềm và thân thiện môi trường tốt hơn tuyến KTB nêu ở trên và sử dụng các nguyên liệu tại chỗ (gỗ, cây, tre, tầm vông ...).

Cuối cùng, tác giả chân thành cảm ơn phòng Nghiên cứu Môi trường Biển và Biến đổi Khí hậu thuộc Viện Kỹ thuật Biển đã cung cấp số liệu thực đo dòng chảy và sóng được dùng vào việc hiệu chỉnh và kiểm định mô hình tính toán.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Bộ TN-MT (2012). Kịch bản biến đổi khí hậu, nước biển dâng cho Việt Nam.
- [2] Bộ NN-PTNT (2009, 2011). Dự án điều tra cơ bản tại các cửa sông chính ở Nam Bộ. Tổng cục Thủy lợi chủ trì. Viện KTB và Viện KHTLMN thực hiện.
- [3] Bộ NN-PTNT (2011). Dự án quy hoạch thủy lợi ở ĐBSCL trong điều kiện biến đổi khí hậu và nước biển dâng. Viện QHTLMN chủ trì.
- [4] Chương trình biển KHCN – 06, Chuyên khảo Biển Đông.
- [5] Nguyễn Hữu Nhân (2007). Nghiên cứu phát triển phần mềm dự báo sóng biển ven bờ và cửa sông Nam Bộ. Đề tài cấp Bộ Tài Nguyên và Môi Trường. Báo cáo chính, 326 trang.
- [6] Nguyễn Hữu Nhân (2013). Đánh giá mực nước dâng do bão tại biển ven bờ và cửa sông Nam Bộ trong điều kiện biến đổi khí hậu. Tạp chí KTTV, 5(628).
- [7] Nguyễn Hữu Nhân (2012). Đánh giá sự biến dạng các yếu tố triều tại vùng biển ven bờ và cửa sông Nam Bộ do nước biển dâng. Tạp chí KH và CN Thủy Lợi, 12(02).
- [8] VKHTL MN (2012). Báo cáo tổng kết đề tài cấp Nhà nước “Nghiên cứu chế độ dòng chảy, phân bố bùn cát ven biển từ cửa sông Soài Rạp đến cửa Tiểu, đề xuất giải pháp chống sạt lở đê biển Gò Công, tỉnh Tiền Giang”. Chủ nhiệm: Lê mạnh Hùng.
- [9] Viện KHTL VN (2012). Báo cáo tổng kết đề tài cấp cơ sở “Nghiên cứu sự biến dạng của các yếu tố triều trên biển ven bờ và các cửa sông Nam Bộ do nước biển dâng”. Chủ nhiệm: Nguyễn Hữu Nhân.
- [10] DHI (2009). MIKE21/3 Coupled Model FM. User Guide.
- [11] DHI (2009). MIKE21/3 Coupled Model FM. Hydrodynamic and transport module.
- [12] DHI (2009). MIKE21/3 Coupled Model FM. Spectal wave module
- [13] Lu, X. X., and Siew, R. Y.(2005). Water discharge and sediment flux changes in the Lower Mekong River. *Hydrology and Earth System Sciences Discussions*, 2, 2287–2325. Available from: <http://www.hydrol-earth-syst-sci-discuss.net/2/2287/print-redirect.html>. [Accessed 04 June 2012].
- [14] Le Thi Viet Hoa, Nguyen Huu Nhan, Wolanski Eric, Haruyama Shigeko, Tran Thanh Cong (2007). The Combined impact on flooding Vietnam’s Mekong River Delta of Local man-made structures, sea level rise, and dam upstream in river catchment. *Coastal and shelf Sciences*. Vol. 71 (1-2): 110-116.
- [15] Wolanski, E. and Nguyen Huu Nhan (2005). Oceanography of the Mekong River Estuary. pp. 113-115 in Chen, Z., Saito, Y. and Goodbred, S.L., *Mega-deltas of Asia- Geological evolution and human impact*. China Ocean Press, Beijing, 268 pp.
- [16] Wolanski E, Nhan N.H., Spagnol S 1998 *Fine sediment dynamics in the Mekong river estuary in the dry season*. J Coastal Research. Vol.14. No.2.
- [17] JICA, 2012. Assignment a study on the best-suited sea dyke types adaptive to the local situation. VKTB thực hiện.