

# Phân tích chuyển vị kè chắn sóng biển bằng phần mềm Plaxis

## Displacement analysis of pile-rock breakwater using Plaxis

> HỒNG QUỐC KHÁNH<sup>1</sup>, LÊ BẢO QUỐC<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>HVCH Trường Đại học Cần Thơ.

<sup>2</sup>GV Khoa Xây dựng, Trường Đại học Xây dựng Miền Tây, \*Email: [lebaquoc@mtu.edu.vn](mailto:lebaquoc@mtu.edu.vn)

### TÓM TẮT

Bờ biển Đông khu vực huyện Ngọc Hiển, tỉnh Cà Mau ngày bị xói lở do ảnh hưởng của biến đổi khí hậu, nước biển dâng, sóng biển. Công trình kè biển để bảo vệ bờ được xây dựng nhằm giảm sóng và xói lở. Sau quá trình xây dựng có những ảnh hưởng tác động dòng chảy, bồi lắng, xói lở, sóng biển. Bài báo trình bày khảo sát sự biến đổi địa hình, và phân tích đánh giá các yếu tố tác động lên khu vực, vùng ven biển và kết cấu kè biển bảo vệ bờ thông qua phương pháp phân tử hữu hạn. Phương pháp phân tử hữu hạn được sử dụng để mô hình hóa và phân tích các yếu tố liên quan tác động lên kết cấu kè biển và biến đổi địa hình khu vực nghiên cứu. Phương pháp số thông thường được sử dụng trong lĩnh vực kỹ thuật và nghiên cứu để mô phỏng và đánh giá các hiện tượng phức tạp.

**Từ khóa:** Kè ly tâm chắn sóng; chuyển vị; Plaxis; kè biển.

### ABSTRACT

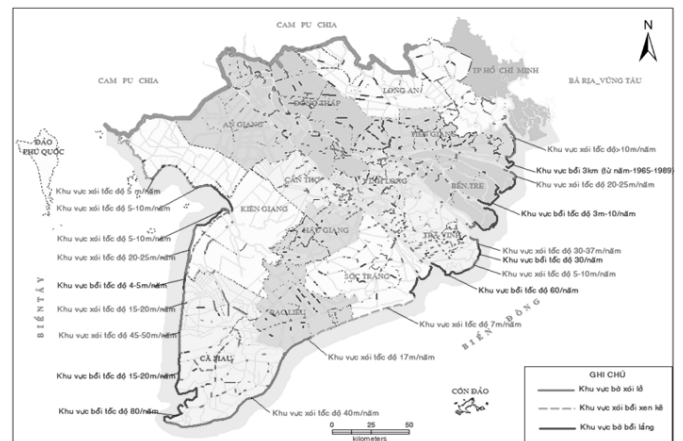
The coastal area of Ngọc Hien district, Cà Mau province, is experiencing erosion due to the impacts of climate change, rising sea levels, and coastal erosion. To mitigate these effects, a seawall project has been constructed to reduce wave action and erosion. After the construction process, there have been observable effects on water flow, sedimentation, erosion, and sea waves.

This article presents a survey of changes in the landscape and analyzes the factors affecting the coastal area and the structure of the seawall using the finite element method. The finite element method is employed to model and analyze the various factors that impact the seawall structure and the changes in the landscape of the research area. This numerical method is commonly used in engineering and research to simulate and evaluate complex phenomena.

**Keyword:** Pile-rock breakwater; displacement; plaxis; coastal dike.

### 1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Biến đổi khí hậu đang diễn ra hết sức phức tạp và tiến triển mạnh mẽ ảnh hưởng nghiêm trọng đến tài nguyên thiên nhiên, môi trường và sự phát triển kinh tế, xã hội. Cà Mau là một tỉnh thuộc Đồng bằng sông Cửu Long nằm ở cực nam của Việt Nam cũng bị ảnh hưởng nặng nề và tác động diễn biến nhanh, vì được bao quanh bởi biển Đông nên đường bờ biển Đông chịu tác động chủ yếu của sóng biển, gió bão. Trong những thập kỷ gần đây, tình trạng xói lở đường bờ biển Đông và mất dần diện tích rừng phòng hộ đang là một vấn đề xây ra nghiêm trọng tại tỉnh Cà Mau. Đồng thời, tình hình sạt lở ở khu vực này đang diễn biến rất phức tạp do sóng biển thường xuyên tác động dẫn đến xâm lấn mạnh mẽ vào phía trong ảnh hưởng trực tiếp đến tuyến bờ biển Đông, gây nguy hiểm trực tiếp đến vườn quốc gia Mũi Cà Mau, Khu Du lịch Mũi Cà Mau, đường Hồ Chí Minh, Cột mốc tọa độ Quốc gia.



**Hình 1.** Bản đồ xói lở tổng quát bờ biển ĐBSCL [8]

Thực trạng sạt lở nghiêm trọng, nhiều tuyến kè bờ biển Đông đã được xây dựng nhằm mục đích giảm tác động của sóng và phục hồi bãi biển. Tuyến công trình được thiết kế các dạng kết cấu chính trong tuyến kè biển này là kè ly tâm, kè Busadco và kè bán nguyệt. Qua quá trình khảo sát và nghiên cứu cho thấy kè ly tâm là giải pháp khá hiệu quả cho tuyến kè bờ biển Đông so với các giải pháp còn lại. Tuy nhiên, chưa có nghiên cứu quan trắc để đánh giá độ ổn định của kè cũng như xem xét so sánh với thiết kế bằng phương pháp phân tử hữu hạn. Bài báo trình bày khảo sát, đánh giá, phân tích, xét sự thay đổi địa hình ổn định công trình kè bờ biển Đông tại huyện Ngọc Hiển tỉnh Cà Mau.

## 2. KHU VỰC NGHIÊN CỨU

Huyện Ngọc Hiển thuộc tỉnh Cà Mau, là huyện cực Nam của Việt Nam. Địa bàn huyện này thuộc khu dự trữ sinh quyển Mũi Cà Mau đã được UNESCO công nhận là khu dự trữ sinh quyển thế giới. Huyện Ngọc Hiển là vùng đồng bằng ven biển của tỉnh Cà Mau có tổng diện tích tự nhiên là 37.797,81 ha, có chiều dài dọc theo bờ biển của huyện Ngọc Hiển có nhiều cửa sông lớn đổ ra biển, có những cửa sông rộng 600-1.800 m, sâu 19-26 m. Triều biển xâm nhập sâu vào đất liền theo hệ thống sông rạch, do biên độ triều cao nên phần lớn đất đai của huyện thường bị ngập (Hình 2) và sóng tác động bờ biển, nhằm bảo vệ bờ đã xây dựng công trình kè giảm sóng.

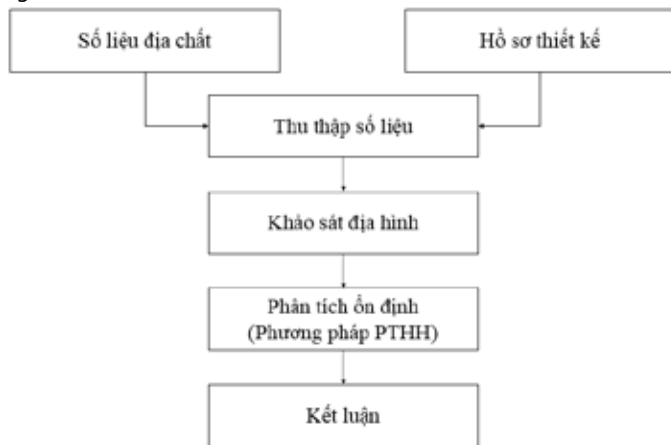


Hình 2. Khu vực xây dựng công trình kè ly tâm giảm sóng

## 3. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

### 3.1. Thu thập số liệu

Bài báo trình bày khảo sát, phân tích sự ổn định của công trình kè ly tâm giảm sóng đã xây dựng trên bờ biển huyện Ngọc Hải, tỉnh Cà Mau, trên cơ sở số liệu kết hợp khảo sát thực địa đo đạc, địa hình, đánh giá được sự thay đổi địa hình của khu vực nghiên cứu và phân tích ổn định do tác động sóng biển, dòng chảy dựa vào phương pháp PTHH thông qua phần mềm Plaxis. dựa theo sơ đồ nghiên cứu (Hình 3).



Hình 3. Sơ đồ nghiên cứu

Các số liệu địa chất được trình bày ở Bảng 1.

Bảng 1. Số liệu địa chất điển hình khu vực nghiên cứu

Thông số đất	Kí hiệu	Đơn vị	Lớp 1
Mô hình đất	-	-	Mohr-Coulomb
Trọng lượng riêng tự nhiên	$\gamma$	KN/m <sup>3</sup>	15,1
Trọng lượng riêng bão hòa	$\gamma_{bh}$	KN/m <sup>3</sup>	15,7
Hệ số thấm theo phương ngang	$K_h$	m/day	1,32E+02
Hệ số thấm theo phương đứng	$K_v$	m/day	6,58E+01
Mô đun đàn hồi	E	kPa	995

Thông số đất	Kí hiệu	Đơn vị	Lớp 1
Hệ số poisson	$\mu$	-	0,35
Lực dính	c	kPa	7,41
Góc ma sát	$\phi$	Độ	21,48
Rinter cọc và đất	-	-	0,85
Rinter cọc và đá hộc	-	-	0,80

Các thông số vật liệu được trình bày Bảng 2 và Bảng 3.

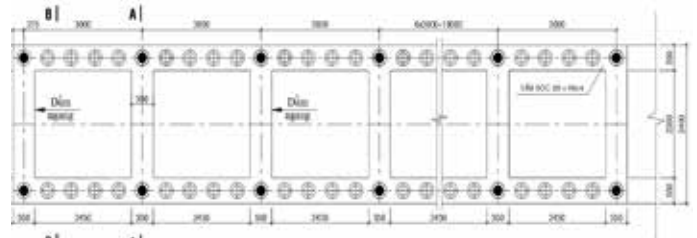
Bảng 2. Thông số vật liệu

STT	Vật liệu	Lực dính đơn vị (kPa)	Góc ma sát trong (độ)	Dung trọng tự nhiên (kN/m <sup>3</sup> )	Dung trọng bão hòa (kN/m <sup>3</sup> )	Mô đun đàn hồi (kPa)	Hệ số nở hông
1	Đất nền	7,4	21,5	15,1	15,7	995	0,35
2	Đá hộc	0,0	45,0	17,0	27,4	300.000	0,20

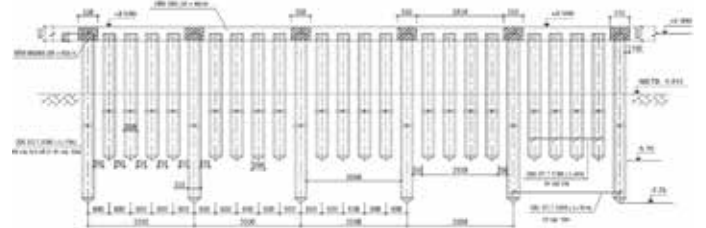
Bảng 3. Thông số vật liệu bê tông cốt thép

STT	Vật liệu	EA (KN/m)	EI (KN.m <sup>2</sup> /m)	W (KN/m/m)	v
1	Dầm (55x40)	6,2E+06	8,2E+04	0,40	0,2
2	Cọc BT dự ứng lực	9,8E+06	8,1E+05	3,05	0,2

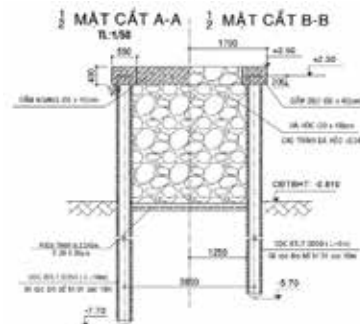
Công trình kè ly tâm chắn sóng tại bờ biển huyện Ngọc Hải được xây dựng trên nền địa chất rất yếu (lớp bùn dẻo dày khoảng 15m) và chiều dài cọc ly tâm 10m và đoạn cọc trên mặt đất là 3m, công trình được thiết kế Tần suất tính toán ổn định kết cấu: P = 3,33% (30 năm xuất hiện 1 lần), cao trình đỉnh kè là +2,50m; phía ngoài thân kè đóng 02 hàng cọc bê tông ly tâm tròn đường kính ngoài 35cm được thể hiện ở Hình 4 - Hình 6.



Hình 4. Mặt bằng của một đơn nguyên kè ly tâm chắn sóng



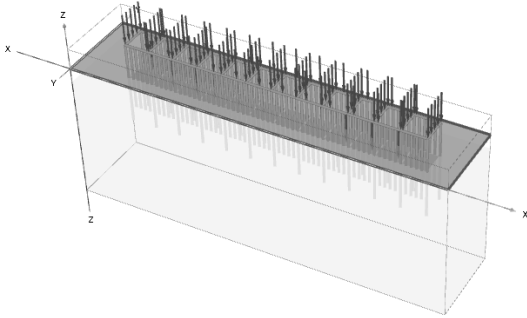
Hình 5. Mặt cắt một đơn nguyên của kè ly tâm chắn sóng



Hình 6. Mặt cắt ngang của kè ly tâm chắn sóng

3.2. Tính toán áp lực sóng

Bài báo tính toán tác động của sóng biển lên kết cấu kê ly tâm chắn sóng biển, ứng dụng phương pháp PTHH thông qua phần mềm Plaxis xác định ổn định của công trình thủy lợi: Chuyển vị theo phương ngang và dọc trục công trình (trục x và y) và ổn định trượt của công trình. Các kết quả tính toán sẽ được so sánh với TCVN 4253:2012 Công trình thủy lợi - Nền các công trình thủy công - Yêu cầu thiết kế nhằm kiểm toán sự chuyển vị của công trình có trong giới hạn cho phép.



Hình 7. Mô hình bài toán tính ổn định.

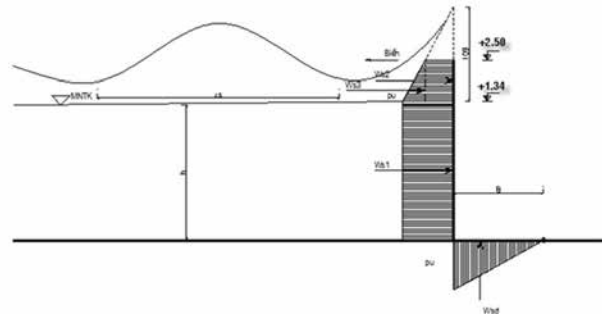
Áp lực sóng tác động lên kê giảm sóng được tính toán theo TCVN 9901:2014[16] (Hình 8), theo công thức:

$$p = p_u = \xi_0 \gamma g H_{SD} (0,033 \frac{L_s}{h} + 0,75) \quad (1)$$

$$\eta_c = - \frac{p_u}{\xi_0 \cdot \gamma \cdot g} \quad (2)$$

Bảng 4. Tính toán số liệu áp lực sóng

STT	Thông số/Công thức tính	Kết quả		
		Ký hiệu	Giá trị	Đơn vị
<b>I</b>	<b>Các thông số tính toán</b>			
1	Cao trình mực nước thiết kế	Z <sub>tkp</sub>	1,34	m
2	Cao trình đỉnh đê thiết kế	Z <sub>d</sub>	2,50	m
3	Cao trình chân đê	CTĐ	-0,84	m
4	Chiều cao mực nước từ đáy công trình đến MNTK (h <sub>1</sub> = Z <sub>tkp</sub> - CTĐ)	h <sub>1</sub>	2,17	m
5	Chiều cao sóng	H <sub>s</sub>	1,26	m
6	Bước sóng	L <sub>s</sub>	23,98	m
7	Độ dốc lớn đáy biển lớn nhất	i	0,14	
8	Độ dốc của sóng $S_0 = \frac{2\pi \cdot H_{sp}}{g \cdot T_{m-1,0}^2}$	S <sub>0</sub>	0,03	
9	Hệ số sóng vỡ $\xi_0 = \frac{tg\alpha}{\sqrt{S_0}}$	ξ <sub>0</sub>	0,76	
10	Chiều cao công trình (H= Z <sub>d</sub> - CTĐ)	H	3,33	m
11	Chiều rộng công trình	B	2,50	m
<b>II</b>	<b>Áp lực sóng tác dụng theo phương ngang</b>			
	Áp lực sóng lớn nhất			
	$p_u = \xi_0 \cdot \gamma \cdot g \cdot H_{SD} \cdot (0,033 \frac{L_s}{h} + 0,75) \cdot 0,1$	p <sub>u</sub>	1,04	T/m <sup>2</sup>
	$\eta_c = - \frac{p_u}{\xi_0 \cdot \gamma \cdot g}$	η <sub>c</sub>	-0,14	m
	Áp lực sóng tại đỉnh		0,10	T/m <sup>2</sup>
	Áp lực sóng phần dưới mực nước	W <sub>s1</sub>	2,71	T/m
	Áp lực sóng phần trên mực nước		2,02	
	- Phần chữ nhật	W <sub>s2</sub>	1,35	T/m
	- Phần tam giác	W <sub>s3</sub>	0,673	T/m
<b>III</b>	<b>Áp lực sóng tác dụng theo phương đứng</b>	W <sub>sd</sub>	1,63	T/m



Hình 8. Sơ đồ sóng tác dụng lên công trình

Các yếu tố sóng do gió được xác định theo Bretshneider.

$$\frac{gH_s}{w^2} = 0,283 \cdot tg \left[ 0,530 \left( \frac{gh}{w^2} \right)^{0,750} \right] \cdot tg \left[ \frac{0,0125 \left( \frac{gD}{w^2} \right)^{0,42}}{tg \left[ 0,530 \left( \frac{gh}{w^2} \right)^{0,750} \right]} \right] \quad (3)$$

$$\frac{gT_p}{w} = 2\pi \cdot 1,2 \cdot tg \left[ 0,83 \left( \frac{gh}{w^2} \right)^{0,375} \right] \cdot tg \left[ \frac{0,077 \left( \frac{gD}{w^2} \right)^{0,25}}{tg \left[ 0,833 \left( \frac{gh}{w^2} \right)^{0,375} \right]} \right] \quad (4)$$

Áp lực sóng được tính toán tương ứng trường hợp nguy hiểm nhất đối với công trình với mực nước cao nhất Z<sub>tkp</sub> = 1,34 (m), chiều cao sóng (H<sub>s</sub>) lớn nhất, bước sóng (L<sub>s</sub>) từ số liệu khảo sát tại khu vực nghiên cứu, được mô phỏng thành tải trọng phân bố tác dụng vào công trình theo sơ đồ Hình 8 Các giá trị tính toán áp lực sóng tác dụng vào công trình được trình bày Bảng 4.

Hệ số ổn định FS dựa theo phương pháp suy giảm sức kháng cắt là phương pháp được sử dụng rộng rãi trong các nghiên cứu của Cheng et al., Yuan et al., Tu et al. với [17],[18],[19]:

$$FS = \sum M_{sf} = \frac{\tan \varphi}{\tan \varphi_r} = \frac{c}{c_r}$$

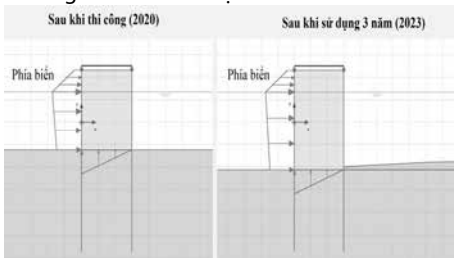
Việc giảm các thông số (c) và (φ) được kiểm soát bởi tham số ΣM<sub>sf</sub> biến động theo từng bước tính toán cho đến khi xảy ra trạng thái mất ổn định thì dừng lại. Giá trị ΣM<sub>sf</sub> cuối cùng đạt được trước khi trạng thái mất ổn định xảy ra là chính là hệ số an toàn của mái bờ FS.

Theo phương pháp suy giảm sức kháng cắt:

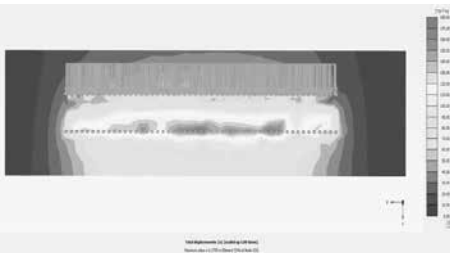
- FS > 1 thì mái bờ ở trạng thái ổn định;
- FS = 1 thì mái bờ đến giới hạn mất ổn định;
- FS < 1 thì mái bờ ở trạng thái mất ổn định dẫn đến nguy cơ sạt lở cao.

Theo Quy chuẩn Quốc gia (QCQG) 04-05:2012 của BNN&PTNN, (2012) về các quy định chủ yếu về thiết kế công trình thủy lợi, Mục 7 quy định về hệ số an toàn của công trình cấp III, IV. Hệ số an toàn về độ ổn định (K) trong trường hợp nguy hiểm nhất:

- K ≥ 1,05: Công trình ổn định;
- K < 1,05: Công trình mất ổn định.



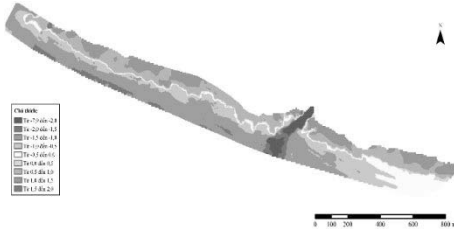
Hình 9. Sơ đồ tính toán.



Hình 10. Sơ đồ tính toán hệ số ổn định của công trình trên phần mềm PTM

### 3.3. Đánh giá sự biến đổi địa hình

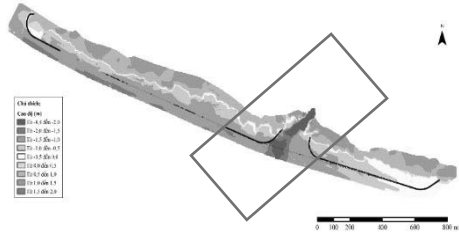
Địa chất khu vực bờ biển rất yếu với lớp bùn ở trạng thái chảy dẻo dày khoảng 15m. Cao độ bờ biển Ngọc Hải trước xây dựng kè ly tâm được thể hiện ở Hình 11 (Hòn Dấu). Địa hình khu vực có độ dốc không quá lớn với cao độ dao động từ 2,0 m đến -2,0 m.



Hình 11. Địa hình bờ biển Ngọc Hải tại giai đoạn thiết kế

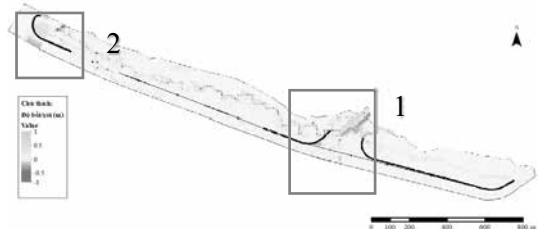
Khảo sát đo đạc xác định sự thay đổi địa hình sau khi thi công tuyến kè được xây dựng. Kết quả được thể hiện ở Hình 12, địa hình khu vực nghiên cứu không thay đổi đáng kể, cao độ chủ yếu của địa hình vẫn phân bố từ 2,0 m đến -2,0 m. Tuy nhiên, tại khu vực sông Rạch Gốc, địa hình đáy sông đã có sự thay đổi khi chiều sông lớn nhất của đáy sông đã tăng thêm 0,5 m (từ -7,9 m ở giai đoạn chưa

xây dựng kè lên -8,4 m sau khi kè chắn sóng được xây dựng). Điều này cho thấy tác động của kè đến sự biến hình lòng dẫn của khu vực cửa sông Rạch Gốc. Tại hai vị trí đầu của hai đoạn kè được thiết kế có dạng cung tròn nhằm bảo vệ hai bờ cửa sông. Tuy nhiên, thiết kế trên đã thu hẹp lòng dẫn tại vị trí cửa sông dẫn đến vận tốc tại đây tăng lên (theo định luật bảo toàn lưu lượng). Điều này đúng ở cả hai trường hợp: (1) nước chảy ra biển khi thủy triều thấp và (2) nước biển chảy vào đất liền khi thủy triều cao.



Hình 12. Địa hình bờ biển Ngọc Hải giai đoạn xây dựng kè chắn sóng

Nhóm tác giả đã sử dụng phần mềm GIS xác định sự thay đổi cao độ địa hình vào tháng 4/ 2023 tại khu vực nghiên cứu. Theo thời gian, sự thay đổi cao độ địa hình giai đoạn trước khi thi công kè ly tâm và sau khi thi công xong cho thấy thay đổi địa hình không quá lớn. Những thay đổi địa hình phần lớn ở những ba năm sau và tập trung tại hai vị trí đã được đánh dấu trên Hình 13.

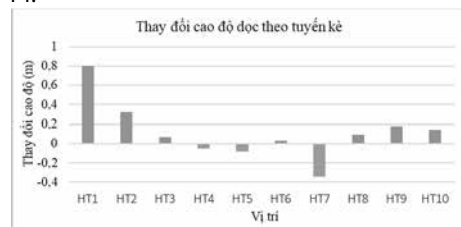


Hình 13. Địa hình bờ biển Ngọc Hải giai đoạn sau ba năm sử dụng kè chắn sóng

Nhận xét: Tại vị trí 1, cao độ địa hình được nâng lên tại bờ trái của cửa sông Rạch Gốc và hạ thấp tại bờ phải. Sự thay đổi cao độ trên có thể do tác động của công trình kè làm thay đổi lòng dẫn của cửa sông đã phân tích ở trên.

Vị trí 2, cao độ địa hình từ phía trong kè trở vào đất liền đã được nâng lên từ 0,0 m đến 1 m. Tuy nhiên cao độ phần đất từ kè trở ra biển ở đoạn này lại hạ xuống từ 0,0 m đến -0,5 m. Điều này cho thấy tác động của công trình kè ly tâm đã giữ lại lượng bùn cát phía trong kè giúp khu vực này có địa hình được nâng cao lên trong khi đó lượng bùn cát phía ngoài kè có xu hướng sụt giảm dẫn đến địa hình có phần bị hạ xuống. Đoạn đầu kè ở vị trí 2 là đoạn kè được thi công và hoàn thành đầu tiên nên tác động đến quá trình bồi tụ/xói lở tại vị trí đoạn kè này diễn ra rõ ràng hơn các vị trí còn lại của tuyến kè.

Các vị trí còn lại của tuyến kè, quá trình nâng lên và hạ xuống của địa hình diễn ra không quá rõ ràng, cao độ biến động tập trung ở các đoạn rạch thoát nước tự nhiên (lòng lạch) của bờ biển. Sự thay đổi cao độ tại có vị trí hố khoan địa chất từ khi thiết kế kè đến khi hoàn thành một phần tuyến kè cũng được tính toán và thể hiện ở Hình 14.



Hình 14. Sự thay đổi cao độ của các hố khoan địa chất dọc theo tuyến kè

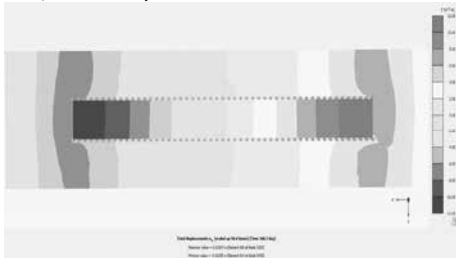
Các vị trí đã có kè xây dựng (HT1, HT6, HT8, HT9 VÀ HT10) cao độ địa hình đều nâng lên, Đặc biệt là vị trí HT1, quá trình bồi tụ tại vị trí này rất nhanh, do đây là vị trí đầu kè (Vị trí 2 ở Hình 13) có độ cong đặc biệt nên làm thay đổi hướng của dòng chảy dẫn đến sự lắng đọng của bùn cát. Sự tác động đến quá trình bồi lắng của kè không chỉ ở trong phạm vi kè mà còn tác động đến các vị trí gần đó như HT2 và HT3. Cao độ địa hình tại các vị trí trên đã được nâng lên rõ rệt.

Công trình kè cũng làm thay đổi lòng dẫn ở cửa sông Rạch Gốc, điều này dẫn đến cao độ tại vị trí HT7 đã hạ xuống gần 0,4 m. Tuy nhiên, Hình 14 cho thấy sự thay đổi lòng dẫn này chỉ diễn ra cục bộ tại cửa sông và không ảnh hưởng đến hai phía bờ, do công trình kè đã bảo vệ.

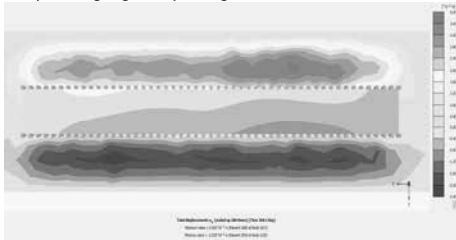
#### 4. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

##### 4.1. Chuyển vị của kè ly tâm theo thời gian

Ứng dụng phương pháp PTHH tính toán chuyển vị theo thời gian các đoạn kè tương ứng với địa hình đã thay đổi khi công trình kè chắn sóng được xây dựng. Kết quả tính toán ở từng vị trí hố khoan HT1 được trình bày ở Hình 15 đến Hình 6.

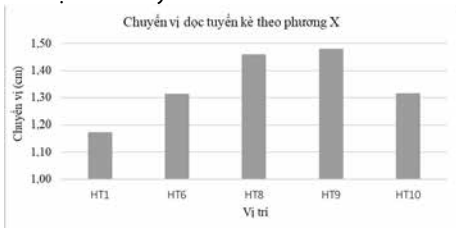


Hình 15. Chuyển vị ngang theo phương X của một module kè

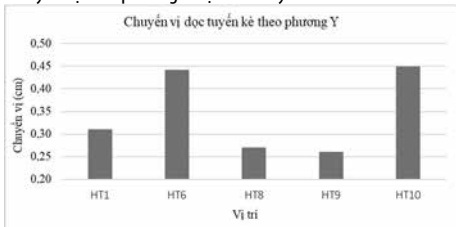


Hình 16. Chuyển vị ngang theo phương Y của một module kè

Bài báo đã tính toán sự chuyển vị của kè tại vị trí của 05 hố khoan địa chất tương ứng với 05 vị trí đã xây dựng kè ly tâm chắn sóng. Kết quả tính toán được trình bày ở Hình 17 đến Hình 18.



Hình 17. Chuyển vị theo phương X dọc theo tuyến kè



Hình 18. Chuyển vị theo phương Y dọc theo tuyến kè

Các chuyển vị theo phương ngang (X, Y) tính toán từ mô hình

PTHH cho kết quả tương đối nhỏ (<1,5 cm). Theo TCVN 4253:2012 thì các chuyển vị này nằm trong giới hạn cho phép, đảm bảo sự ổn định của công trình.

Theo phương pháp suy giảm kháng cắt cho thấy hệ số ổn định tăng lên từ FS > 1,61 sau khi thời gian xây dựng t=3 năm, đáp ứng theo QCVN 04:2012.

#### 5. KẾT LUẬN

Sự chuyển vị của công trình kè ly tâm chắn sóng theo phương ngang (phương x) lớn gấp 3 lần theo phương dọc (phương y). Đồng thời sự chuyển vị tương đối bé  $S_x=1,48$  (cm) và đảm bảo sự ổn định.

Độ ổn định của công trình kè được tính toán theo phương pháp suy giảm sức kháng cắt trên phần mềm PTHH cho thấy trong giai đoạn thiết kế hệ số ổn định FS > 1,51 và khi đưa vào sử dụng trong 3 năm thì hệ số ổn định FS > tăng lên 1,61. Quá trình nâng lên của cao độ địa hình giúp gia tăng hệ số ổn định cho công trình kè theo thời gian sử dụng.

#### TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Ngọc Thuận, N., Văn Tỷ, T., Văn Hùng, T., Thị Cẩm Hồng, H., Ngọc Nhận, H., Hải Lâm, T., Văn Duy, Đ., Khánh Hải, T., Văn Tuấn, T., & Minh Quảng, T. (2021). Đánh giá hiệu quả của các công trình kè giảm sóng tại bờ biển Tây tỉnh Cà Mau. Vietnam Journal of Hydrometeorology, 732(12),93-105. [https://doi.org/10.36335/vnjhm.2021\(732\).93-105](https://doi.org/10.36335/vnjhm.2021(732).93-105).
- [2]. Văn Hiệp, H., Hữu Trí, H., Thành Công, N., & Gia Truyền, N. (2022). Nghiên cứu nguyên nhân sạt lở bờ sông: trường hợp nghiên cứu tỉnh Trà Vinh. Vietnam Journal of Hydrometeorology, 9(741), 19-28. [https://doi.org/10.36335/vnjhm.2022\(741\).19-28](https://doi.org/10.36335/vnjhm.2022(741).19-28).
- [3]. Đỗ Văn Đệ và nnk (2013). Phần mềm Plaxis ứng dụng vào tính toán các công trình thủy công. NXB Xây dựng, Hà Nội.
- [4]. Ngô Bảo Việt. Cọc ván chừ bê tông dự ứng lực, khả năng ứng dụng công trình kè trên nền đất yếu, Tạp chí KHCN xây dựng, số 1/2015.
- [5]. Nguyễn Thành Đạt, Nguyễn Hải Dương, Trần Giang Nam (2016). Nghiên cứu khảo sát ảnh hưởng chiều dày lớp đất yếu tới chiều dài cọc ván bê tông cốt thép dự ứng lực cho công trình đường và kè ven sông qua việc tính toán bằng phần mềm PTHH Plaxis 8.2. Tạp chí khoa học Giao thông Vận tải.
- [6]. Severin Peters và các cộng sự (2016), Bảo vệ tổng hợp vùng bờ và phục hồi rừng ngập mặn ở ĐBSCL;
- [7]. Vũ Xuân Phái (2009), Xói lở bờ biển Việt Nam và biến đổi khí hậu toàn cầu;
- [8]. Viện Khoa học Thủy lợi Miền Nam (2018), Tiểu dự án 8: Đầu tư xây dựng cơ sở hạ tầng phòng chống xói lở bờ biển, cung cấp nước ngọt và phục vụ nuôi tôm rừng vùng ven biển tỉnh Cà Mau thuộc Dự án Chống chịu khí hậu tổng hợp và sinh kế bền vững ĐBSCL;
- [9]. Công ty CP Khoa học công nghệ Việt Nam (2018), Dự án Xây dựng Kè cấp bách bảo vệ đề biển Tây kết hợp xây dựng khu tái định cư (đoạn từ cống Sào Lưỡi đến Bắc cống Đá Bạc và đoạn từ Nam Đá Bạc hướng về Kênh Mới);
- [10]. 14TCN 130-2002: Hướng dẫn thiết kế đề biển;
- [11]. 222 TCN 22-95 Tải trọng và tác động (do sóng và do tàu) lên công trình thủy - Tiêu chuẩn thiết kế;
- [12]. Quy hoạch thủy lợi chi tiết vùng Nam bán đảo Cà Mau do Viện QHTL Miền Nam lập từ năm 2004 - 2009;
- [13]. Quy hoạch thủy lợi tỉnh Cà Mau. Đơn vị thực hiện Viện quy hoạch thủy lợi Miền Nam;
- [14]. Quy hoạch Tổng thể thủy lợi vùng ĐBSCL trong điều kiện BĐKH-NBD, đã được Thủ tướng Chính phủ phê duyệt theo Quyết định số 1397/QĐ-TTg, ngày 25/9/2012
- [15]. TCKT 1613 - 2012: Tiêu chuẩn kỹ thuật áp dụng cho Chương trình củng cố, bảo vệ và nâng cấp đề biển;
- [16]. TCVN 9901:2014 - Công trình thủy lợi - Yêu cầu thiết kế đề biển;
- [17]. Y. M. Cheng, T. Lansivaara, W.B. We (2007), Two-dimensional slope stability analysis by limit equilibrium and strength reduction methods, Computers and Geotechnics 34, 137-150.
- [18]. Yiliang Tu, Xinrong Liu \*, Zuliang Zhong, Yayong Li, (2016), New criteria for defining slope failure using the strength reduction method, Engineering Geology 212, 63-71.
- [19]. Yuan Wei, Bai Bing, Li Xiao-chun, Wang Hai-bin (2013), A strength reduction method based on double reduction parameters and its application, Central South University Press and Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Doi: 10.1007/s11771-013-1768-4