

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

DOÃN VĂN HUẾ

ỨNG DỤNG LÝ THUYẾT ĐỘ TIN CẬY TRONG PHÂN TÍCH AN  
TOÀN CÔNG TRÌNH KÈ BẢO VỆ BỜ SÔNG NAM BỘ

Ngành: Kỹ thuật xây dựng công trình thủy

Mã ngành: 9 58 02 02

TÓM TẮT LUẬN ÁN TIẾN SĨ KỸ THUẬT

Thành phố Hồ Chí Minh - Năm 2025

Công trình được hoàn thành tại: **Viện Khoa học Thủy lợi miền Nam**

Người hướng dẫn khoa học: PGS.TS Tô Văn Thanh  
PGS.TS Mai Văn Công

Phản biện 1: GS.TS Nguyễn Quang Hùng

Phản biện 2: PGS.TS Phạm Hiền Hậu

Phản biện 3: GS.TS Phạm Ngọc Quý

Luận án này được bảo vệ trước Hội đồng chấm luận án cấp cơ sở; họp tại: Viện Khoa học Thủy lợi miền Nam, số 658 Võ Văn Kiệt, Phường 1, Quận 5, Tp. Hồ Chí Minh.

vào hồi 8 giờ 30 phút ngày 24 tháng 8 năm 2023

Có thể tìm hiểu luận án tại thư viện:

- Thư viện Quốc gia Việt Nam.
- Thư viện Viện Khoa học Thủy lợi Việt Nam.
- Thư viện Viện Khoa học Thủy lợi miền Nam.

## MỞ ĐẦU

### 1. Tính cấp thiết của đề tài luận án

Nam Bộ có tiềm năng kinh tế đa dạng với đặc điểm sông rạch chằng chịt được chi phối bởi hai hệ thống sông lớn nhất trong vùng là sông Đồng Nai và sông Cửu Long. Sông ở Nam Bộ thường rộng, sâu, địa chất đất nền yếu và có tốc độ biến hình hàng năm khá lớn, vùng cửa sông thường xuyên chịu ảnh hưởng mạnh của sóng, gió bão, dòng chảy và nước biển dâng do biến đổi khí hậu; phía thượng nguồn bị chi phối bởi vấn đề khai thác và sử dụng nguồn nước của các quốc gia khác, nhất là Trung Quốc. Ngoài ra, cùng với các tác động lấn chiếm dòng chảy từ quá trình đô thị hóa vùng ven sông đã và đang diễn ra rất nhanh trong thời gian vừa qua, việc khai thác cát thiếu kiểm soát,... là những nguyên nhân gây ảnh hưởng và tác động mạnh mẽ đến sự biến đổi của lòng dẫn, bờ sông tạo ra nơi bồi, nơi xói lở và có những đoạn bị xói lở khá mạnh. Để chống xói lở, bảo vệ cơ sở hạ tầng các khu dân cư và vùng sản xuất ven sông, trong những năm qua Nhà nước đã đầu tư hàng nghìn tỷ đồng cho việc xây dựng các công trình kè (CTK) bảo vệ bờ.

Công trình kè bảo vệ bờ sông đa phần là các công trình đa mục tiêu. Tuy nhiên về mặt an toàn, CTK lại là nơi tiềm ẩn tai họa bởi sự cố sụp đổ gây ra do các yếu tố bất định từ phía tự nhiên tác động vào công trình ngày một phức tạp. Trong thời gian 15 năm trở lại đây, sự cố về mất ổn định CTK bảo vệ bờ sông ở Nam Bộ (kè bờ sông Cần Thơ, sông Tiền, sông Hậu, sông Nhà Bè, sông Sài Gòn,...) đã xảy ra ngày càng tăng thêm. Để có cơ sở quản lý an toàn và hiệu quả các CTK, cần có sự đánh giá chính xác mức độ an toàn của kè. Ở Việt Nam hiện nay, việc đánh giá an toàn CTK chủ yếu theo phương pháp truyền thống (tất định) và chưa xét đến rủi ro sạt lở bờ sông. Do đó, nhiều trường hợp đánh giá an toàn CTK chưa chính xác nên việc đề xuất giải pháp xử lý không phù hợp dẫn đến sự cố, gây thiệt hại công trình, sạt lở ảnh hưởng đến tài sản, tính mạng nhân dân vùng ven sông.

Luận án này nghiên cứu ứng dụng lý thuyết độ tin cậy (LTĐTC) và phân tích rủi ro (PTRR) trong đánh giá an toàn CTK có xét đến rủi ro sạt lở để nâng cao độ chính xác trong đánh giá an toàn công trình làm cơ sở cho việc cải tạo, nâng cấp và quản lý CTK bờ sông một cách khoa học và hiệu quả đáp ứng tính cấp thiết về mặt khoa học và thực tiễn nêu trên.

### 2. Mục tiêu nghiên cứu

- Xây dựng được phương pháp đánh giá mức độ an toàn theo lý thuyết độ tin cậy cho CTK bảo vệ bờ sông.
- Ứng dụng cho thiết kế mới, cải tạo nâng cấp các CTK bảo vệ bờ sông Nam Bộ.

### 3. Đối tượng và phạm vi nghiên cứu

*Đối tượng nghiên cứu:* CTK bảo vệ bờ sông.

*Phạm vi nghiên cứu:* Nghiên cứu an toàn kè bảo vệ bờ sông đang khai thác sử dụng ở vùng Nam Bộ.

#### **4. Cách tiếp cận và phương pháp nghiên cứu**

*Các tiếp cận:* Luận án lựa chọn cách tiếp cận tổng hợp bao gồm: (1) Tiếp cận hệ thống; (2) Tiếp cận tổng hợp; (3) Tiếp cận kế thừa, phát triển các kết quả nghiên cứu; (4) Tiếp cận bền vững; (5) Tiếp cận mang tính hiện đại.

*Phương pháp nghiên cứu:* (1) Phương pháp luận chính sử dụng là LTĐTC và PTRR; (2) Phương pháp điều tra, thu thập tài liệu; (3) Phương pháp thống kê; (4) Phương pháp phân tích, kế thừa; (5) Phương pháp mô hình toán, ứng dụng các tiến bộ khoa học; (6) Phương pháp chuyên gia.

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

*Ý nghĩa khoa học:* Thiết lập cơ sở khoa học đánh giá an toàn kè có xét đến rủi ro sạt lở bờ sông thông qua việc thiết lập và giải quyết bài toán hệ thống; Xác định xác suất sự cố (XSSC) của hệ thống, xác định độ tin cậy yêu cầu của hệ thống CTK dựa trên LTĐTC và PTRR sạt lở bờ sông; thiết kế CTK đạt độ tin cậy yêu cầu.

*Ý nghĩa thực tiễn:* Nhận dạng, phân tích các cơ chế gây mất an toàn cho CTK bờ sông, định lượng được mức độ an toàn CTK có xét đến rủi ro sạt lở thông qua việc xác định XSSC cho phép và chỉ số ĐTC yêu cầu, làm cơ sở cho việc lựa chọn giải pháp nâng cao an toàn kè bờ sông; áp dụng có kết quả cho kè bờ sông Sài Gòn đoạn chảy qua thành phố Thủ Dầu Một.

#### **6. Những đóng góp mới của luận án**

(1) Xây dựng được bài toán tính độ tin cậy hệ thống kè sông, tính rủi ro chấp nhận để tìm độ tin cậy tối ưu. Xây dựng bài toán thiết kế hệ thống kè sông theo độ tin cậy tối ưu.

(2) Áp dụng phân tích độ tin cậy cho hệ thống kè điển hình bảo vệ bờ sông Sài Gòn đoạn qua thành phố Thủ Dầu Một: đã lượng hóa được chỉ số an toàn hiện tại và độ tin cậy yêu cầu có kể đến rủi ro sạt lở bờ sông; nghiên cứu để xuất giải pháp sửa chữa, nâng cấp kè đạt độ tin cậy yêu cầu.

### **CHƯƠNG 1. TỔNG QUAN VỀ ĐÁNH GIÁ AN TOÀN KÈ BỜ SÔNG THEO LÝ THUYẾT ĐỘ TIN CẬY VÀ PHÂN TÍCH RỦI RO**

#### **1.1. Tổng quan về kè bảo vệ bờ sông ở Nam Bộ**

##### **1.1.1. Khái quát về kè bảo vệ bờ sông**

Kết cấu công trình kè (CTK) thường gồm 3 phần: chân kè, thân kè và đỉnh kè. Trên một mặt cắt ngang CTK sông, tại những cao trình khác nhau, mức độ ảnh hưởng của tải trọng lên công trình cũng khác nhau.

Theo hình dạng mặt cắt ngang CTK thường phân là 03 loại: kè mái nghiêng, kè tường đứng và kè hỗn hợp (mái nghiêng kết hợp tường đứng)

### **1.1.2. Tổng quan về xói lở bờ sông và sự cố các công trình kè ở Nam Bộ**

Kết quả phân tích sự cố của một số công trình kè bờ sông đã xảy ra trong thời gian 10 năm gần đây bao gồm: Kè đường Nguyễn Tri Phương thành phố Thủ Dầu Một; kè bờ trái phía hạ lưu cầu Phước Lộc, huyện Nhà Bè; kè bờ sông Hậu, tỉnh An Giang; kè bờ sông Cần Thơ; kè chống xói lở bờ sông Tiền khu vực chợ Bình Thành, tỉnh Đồng Tháp; kè bờ sông Gành Hào, tỉnh Bạc Liêu,... cùng với những kết quả đã được nghiên cứu, đánh giá sự về ổn định và hiệu quả của các giải pháp, công nghệ bảo vệ bờ sông từ hàng nghìn công trình kè bờ sông đã được xây dựng ở Nam Bộ liên tục trong nhiều năm qua đã cho thấy nguyên nhân gây mất ổn định CTK ngoài việc chưa có quy hoạch chính trị tổng thể thì chủ yếu từ yếu tố thủy lực lòng dẫn, chân kè bị xói cục bộ vượt giới hạn cho phép kéo theo các cơ chế mất ổn định cục bộ do xói chân kè và mất ổn định tổng thể.

a) Nguyên nhân gây xói lở bờ sông ở Nam Bộ có thể do con người gây ra và cũng có thể do các điều kiện tự nhiên gây ra, gồm có: dòng chảy trên sông, xây dựng làm co hẹp dòng chảy hoặc thay đổi dòng chảy, khai thác cát, thủy triều, sóng do gió hoặc do tàu thuyền lưu thông tạo sóng,...

b) Nguyên nhân sự cố kè bờ sông có thể khái quát thành hai nhóm nguyên nhân là chủ quan và khách quan. Nhóm các nguyên nhân chủ quan là do sự yếu kém trong công tác khảo sát, thiết kế, thi công, quản lý xây dựng,... gọi chung là chất lượng xây dựng và quản lý vận hành. Nhóm các nguyên nhân khách quan là do tính bất thường của thiên nhiên như bão lũ, động đất,...

Phân tích theo đặc tính làm việc và cơ chế phá hoại của các bộ phận kết cấu tạo thành CTK bờ sông dẫn đến sự cố hỏng kè cũng có thể khái quát thành hai nhóm nguyên nhân. Nhóm nguyên nhân thứ nhất là do kết cấu kè không đủ khả năng chịu tải biểu hiện ở các hiện tượng: kè bị trượt mái, nghiêng; kè bị nứt dọc, nứt ngang,... Nhóm nguyên nhân thứ hai sự cố xảy ra ở các CTK là do quản lý vận hành biểu hiện ở các hiện tượng: xói chân kè, neo đậu tàu thuyền, vi phạm hành lang an toàn công trình. Các nguyên nhân dẫn đến sự cố CTK có quan hệ móc nối với nhau tác động đến nhau theo logic hệ thống.

### **1.1.3. Phân tích nguyên nhân hư hỏng công trình kè**

Nguyên nhân gây hư hỏng CTK bờ sông thường liên quan trực tiếp đến quá trình xói lở lòng dẫn. Do điều kiện chịu lực trong quá trình làm việc của CTK có tính chất thay đổi cả về không gian và thời gian như:

a) Yếu tố làm tăng lực gây trượt tổng thể bao gồm: gia tải trên mặt kè; đất bờ sông bị bão hòa nước làm tăng trọng lượng khối đất bờ, phát sinh áp lực thấm; mực nước sông hạ thấp và do xói chân kè làm lực ngang tăng lên vượt

quá giới hạn cho phép của tường kè.

b) Yếu tố làm giảm tải trọng khối chống trượt là: lòng dẫn bị đào xói, khối đất phân áp của mái kè bị suy giảm, đất bờ sông bị thay đổi trạng thái liên tục, khô - ướt gây nứt nẻ làm giảm lực liên kết giữa chúng.

## **1.2. Tổng quan các nghiên cứu ứng dụng LTĐTC và PTRR trong lĩnh vực thủy lợi và đánh giá an toàn kè**

LTĐTC được ứng dụng từ năm 1920 và phát triển mạnh mẽ từ những năm 1970. Mỹ và Canada là 02 quốc gia đi đầu trong nghiên cứu ứng dụng LTĐTC đánh giá an toàn các đập lớn từ những năm 1990. Việc nghiên cứu kết hợp LTĐTC và PTRR trong đánh giá an toàn đập, hồ chứa nước được thực hiện tại Đức, Hà Lan và Úc từ năm 1996 và nhanh chóng lan rộng ra các nước Châu Âu, Mỹ, trở thành trọng tâm của các Hội thảo do Hội Đập lớn Thế giới (ICOLD) từ năm 2000 đến nay.

Ở Việt Nam, LTĐTC được phát triển từ năm 2000 trong lĩnh vực thủy lợi về công trình phòng lũ, công lộ thiên, hệ thống kênh và công trình trên kênh, CTĐM hồ chứa thủy lợi. Một số tác giả tiêu biểu: Nguyễn Văn Mạo, Nguyễn Quang Hùng, Phạm Hồng Cường, Mai Văn Công, Lê Xuân Bảo, Trần Quang Hoài,... Trong lĩnh vực an toàn hồ chứa, Nguyễn Lan Hương, Cẩm Thị Lan Hương đã xây dựng được phương pháp luận đánh giá ĐTC cho đầu mối hồ chứa thủy lợi.

Như vậy, ở Việt Nam hầu hết các nghiên cứu thường tập trung vào ứng dụng LTĐTC và PTRR trong đánh giá an toàn hồ đập, hệ thống kênh, đê điều và công; chưa có một nghiên cứu toàn diện tích hợp bài toán phân tích ĐTC hệ thống CTK với PTRR sạt lở bờ sông.

Hiện nay, trên thế giới có 3 phần mềm được dùng phổ biến để tính toán ĐTC là: Bestfit, VaP và Open FTA. Ở trong nước, phần mềm DCT2007 sử dụng để đánh giá chất lượng hệ thống công trình thủy nông theo LTĐTC cấp độ II; phần mềm SYPRO2016 xác định ĐTC của các công trình (đập đất, đập tràn và cống ngầm) ở cấp độ II và cấp độ III.

## **1.3. Tồn tại trong nghiên cứu đánh giá an toàn kè ở Việt Nam**

Ở Việt Nam, việc đánh giá CTK bờ sông được thực hiện theo phương pháp tất định, rủi ro sạt lở bờ sông đã được xét đến nhưng chưa đầy đủ, thường tập trung vào 1 trong 2 nội dung: (i) Đánh giá an toàn CTK, chưa xét đến mối liên hệ giữa ĐTC của CTK với rủi ro sạt lở; (ii) Thống kê thiệt hại để đề xuất phương án quản lý vận hành hợp lý và phương án ứng phó giảm thiểu rủi ro sạt lở mà chưa xét đến mối liên hệ với hiện trạng CTK.

Như vậy, cách đánh giá an toàn kè hiện nay có bất cập sau: Chỉ xét các CTK với sơ đồ bố trí tổng thể đơn giản; chưa xét đầy đủ, toàn diện các CCSC của từng hạng mục và hệ thống CTK, kết quả đánh giá chưa phản ánh khách quan

và đầy đủ về hiện trạng công trình; việc đánh giá thiệt hại, đánh giá mức độ rủi ro sạt lở là cần thiết nhưng chưa được quan tâm; các nghiên cứu còn rời rạc, chưa gắn an toàn CTK với rủi ro sạt lở.

**1.4. Định hướng nghiên cứu và các vấn đề cần giải quyết của luận án**  
Phương pháp kết hợp giữa LTĐTC và PTRR là phương pháp hiện đại, khắc phục được tồn tại trong đánh giá an toàn kè bờ sông ở Việt Nam. Đề tài chọn hướng nghiên cứu xây dựng phương pháp luận đánh giá an toàn kè bờ sông có xét đến rủi ro sạt lở.

### **1.5. Kết luận Chương 1**

Thông qua phân tích tổng quan về kè bờ sông vùng Nam Bộ; tổng quan về tình hình nghiên cứu và ứng dụng LTĐTC vào lĩnh vực thủy lợi và đánh giá an toàn công trình kè trên thế giới và ở Việt Nam; phân tích, đánh giá ưu, nhược điểm của một số nghiên cứu điển hình, Chương 1 đã chỉ ra tồn tại của các nghiên cứu trong nước. Từ đó, xác định hướng nghiên cứu tập trung vào xây dựng phương pháp luận đánh giá an toàn kè bờ sông thông qua việc phân tích ĐTC và PTRR; đề xuất giải pháp tối ưu sửa chữa, nâng cấp kè đáp ứng khả năng chấp nhận rủi ro sạt lở.

## **CHƯƠNG 2. CƠ SỞ KHOA HỌC CỦA LÝ THUYẾT ĐỘ TIN CẬY VÀ PHÂN TÍCH RỦI RO TRONG ĐÁNH GIÁ AN TOÀN KÈ BỜ SÔNG**

### **2.1. Lý thuyết độ tin cậy trong đánh giá an toàn kè bờ sông**

#### **2.1.1. Khái niệm an toàn kè sông**

a) An toàn kè sông bao gồm an toàn của công trình kè bảo vệ bờ sông và các công trình hạ tầng liên quan đến tuyến kè.

b) LTĐTC sử dụng phương pháp phân tích hệ thống và lý thuyết ngẫu nhiên nhằm xác định XSSC (Pf) của các cơ chế phá hủy thành phần từ đó xác định XSSC tổng hợp của toàn công trình. Giá trị chỉ số ĐTC ( $\beta$ ) được sử dụng để đánh giá mức bảo đảm an toàn của công trình.

c) Rủi ro và phân tích rủi ro

Rủi ro của một đối tượng là tích số của khả năng xảy ra sự cố của đối tượng và hậu quả do sự cố gây ra. Khi áp dụng cho đối tượng là kè bờ sông, rủi ro được xác định là rủi ro sạt lở bờ sông được xác định bằng tích số của xác suất xảy ra sự cố công trình kè và thiệt hại do sự cố kè gây ra.

Phương pháp LTĐTC và PTRR xác định quy mô công trình dựa trên quan điểm rủi ro chấp nhận được bằng cách xác lập quan hệ giữa XSSC của công trình với giá trị thiệt hại tương ứng do sự cố gây ra thông qua hàm rủi ro.

#### **2.1.2. Độ tin cậy của một cơ chế sự cố**

a) *Khái niệm cơ chế sự cố (CCSC):* là kiểu hư hỏng công trình do quá trình

cơ học - vật lý tương tác giữa điều kiện biên và công trình. Cơ chế sự cố được mô phỏng bằng 2 đại lượng là khả năng chịu tải (R) và tải trọng tác dụng (S).  
*b) Hàm tin cậy của một CCSC:* Hàm tin cậy (Z) là giá trị còn lại của khả năng chịu tải (R) dưới tác động của tải trọng tác dụng bên ngoài (S). Hàm (Z) được thiết lập tại trạng thái giới hạn sao cho các giá trị âm của nó tương ứng với trạng thái phá hoại/hư hỏng của cơ chế và ngược lại giá trị dương của Z tương ứng với trạng thái làm việc an toàn và được biểu diễn như sau:

$$Z = R - S \quad (2-1)$$

*c) Cách giải các hàm tin cậy của một CCSC:* Hàm tin cậy được giải với các cấp độ sau: Cấp độ I: Tính toán dựa trên các hệ số an toàn cho phép; cấp độ II: (phương pháp gần đúng) hàm tin cậy được tuyến tính hóa và hàm mật độ xác suất được thay bằng các hàm có dạng phân bố chuẩn; cấp độ III: Giải quyết bài toán ngẫu nhiên hoàn toàn khi hàm mật độ xác suất được giữ nguyên thể.

*d) Chỉ số độ tin cậy  $\beta$*  là giá trị được dùng để thay thế cho độ tin cậy hoặc xác suất sự cố  $P_f$  (Failure Probability):

$$\beta = \Phi^{-1} (1 - P_f) \quad (2-48)$$

trong đó,  $\Phi^{-1}$  là nghịch đảo của hàm phân phối chuẩn chuẩn hóa.

### **2.1.3. Sơ đồ cây sự cố**

Một công trình có thể chịu tác động của nhiều cơ chế gây mất an toàn. Với CTK bờ sông thường có các cơ chế: nước tràn đỉnh kè, trượt mái kè, xói chân kè, lún, lật, nghiêng kè,... Khi đó, để đánh giá an toàn công trình, cần tổ hợp tất cả các cơ chế sự cố có thể xảy ra với từng hạng mục công trình và mối quan hệ giữa sự cố tổng thể của từng hạng mục trong hệ thống và được thể hiện thông qua sơ đồ cây sự cố.

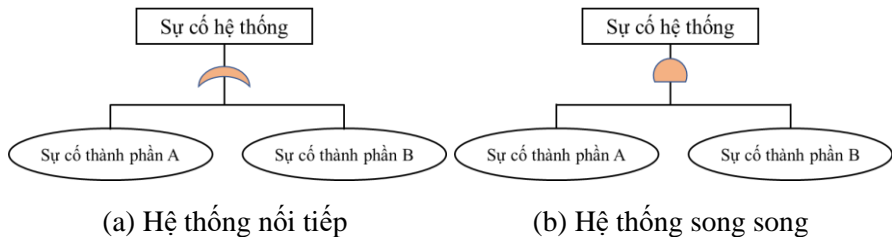
Mô tả sơ đồ cây sự cố bằng hệ thống ký hiệu quy ước chung biểu diễn các sự cố và các công liên kết thể hiện mối quan hệ giữa các sự cố.

### **2.1.4. Hàm tin cậy của một hệ thống**

Có 2 cách mô tả mối quan hệ giữa các sơ đồ cây sự cố thành phần thuộc hệ thống là ghép song song hoặc ghép nối tiếp.

*a) XSSC của hệ thống ghép nối tiếp*

XSSC của hệ thống ghép nối tiếp sẽ lớn hơn XSSC lớn nhất của một thành phần và nhỏ hơn tổng XSSC của tất cả các thành phần.

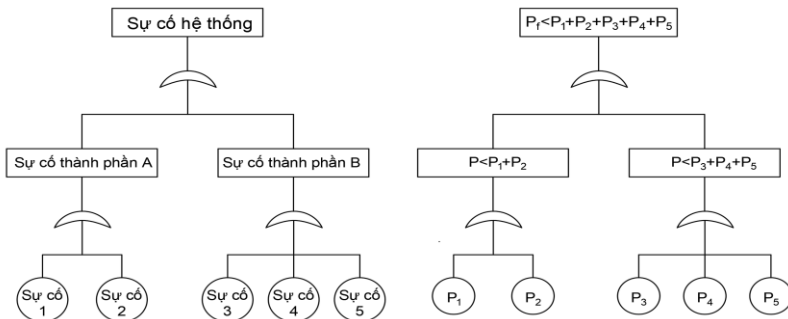


Hình 2-7: Sơ đồ cây sự cố điển hình của hệ thống

Ditlevsen đưa ra các công thức gần đúng như sau:

Nếu áp dụng phương pháp cấp độ II để tính XSSC của từng thành phần thì biên của XSSC trong hệ thống có n thành phần là:

$$\max(P(R_i < S_i)) \leq P_f \leq \sum_{i=1}^n P(R_i < S_i) \quad (2-56)$$



Hình 2-8: Minh họa cách xác định XSSC của hệ thống nối tiếp

### b) XSSC của hệ thống ghép song song

Hệ thống gặp sự cố khi tất cả các thành phần của hệ thống hư hỏng. Khoảng sự cố được định nghĩa là:

$$E_1 \cap E_2 \cap \dots \cap E_n \quad (2-58)$$

Xác suất xảy ra sự cố của hệ thống là:

$$P_f = P(E_1)P((E_2|E_1)P(E_3|E_1, E_2) \dots P(E_n|E_1 \dots E_{n-1})) \quad (2-59)$$

## 2.2. Phân tích rủi ro sạt lở bờ sông

Rủi ro sạt lở bờ sông do xảy ra sự cố mất an toàn CTK được xác định như sau:

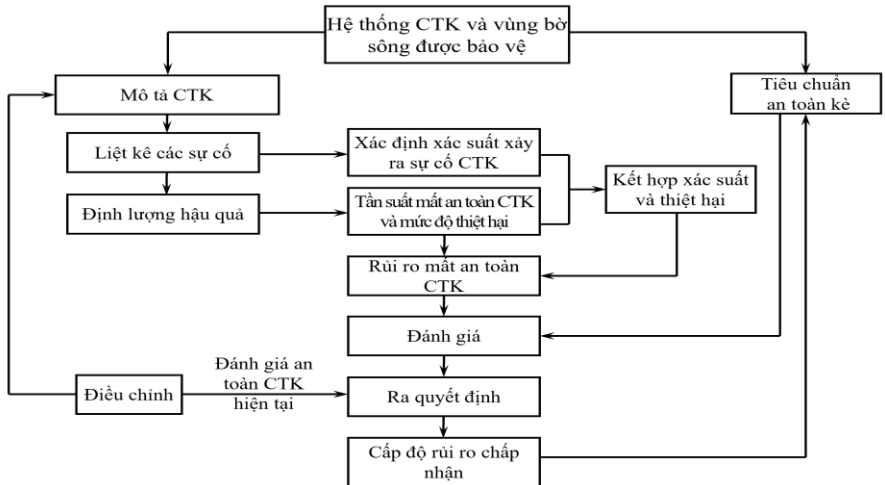
$$R_R = P_f \cdot C_n \quad (2-61)$$

trong đó,  $R_R$ : rủi ro sạt lở bờ sông;  $P_f$ : Xác suất xảy ra sự cố mất an toàn CTK;  $C_n$ : Tổng chi phí thiệt hại do hậu quả sự cố CTK gây ra.

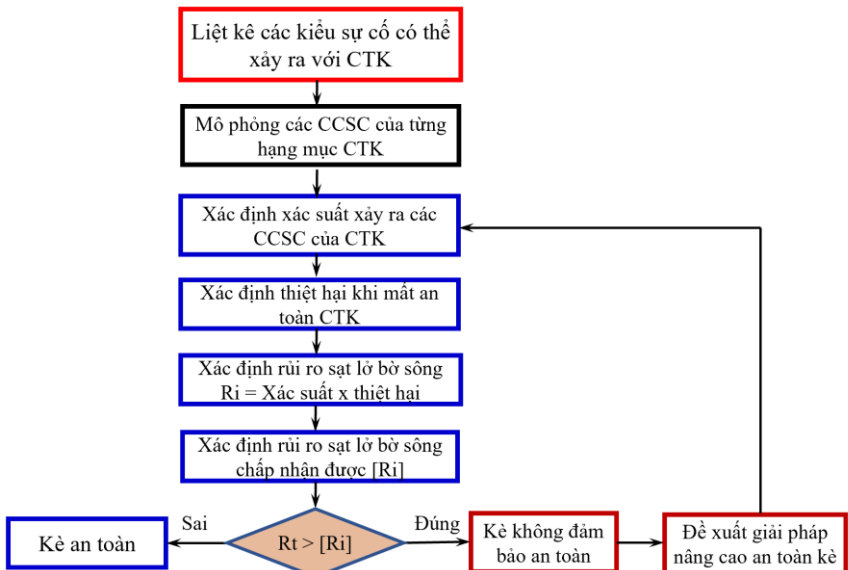
Kết quả PTRR sạt lở bờ sông được so sánh với các chuẩn rủi ro hay giá trị giới hạn rủi ro đã thiết lập. Trong trường hợp cần thiết, thông số kỹ thuật của

CTK, hệ thống công trình chống sạt lở phải điều chỉnh để giá trị rủi ro thỏa mãn tiêu chuẩn. Rủi ro chấp nhận được hay giá trị giới hạn rủi ro (chuẩn rủi ro) là giá trị rủi ro tương ứng với điểm tối ưu mà tại đó tổng chi phí nhỏ nhất.

a) Nguyên lý và trình tự PTRR sạt lở bờ sông tại Hình 2-9, Hình 2-10



Hình 2-9: Sơ đồ nguyên lý PTRR sạt lở bờ sông do sự cố kè



Hình 2-10: Các bước cơ bản trong PTRR sạt lở bờ sông do sự cố kè

### 2.3. Hậu quả của sạt lở bờ sông và xác định thiệt hại sạt lở bờ sông

**2.3.1. Hậu quả của cửa sạt lở bờ sông** là thiệt hại về kinh tế, xã hội và môi trường, đặc biệt trong trường hợp xảy ra mất an toàn CTK, được phân chia thành 2 nhóm, gồm: nhóm thiệt hại về con người và tài sản và được chia thành các loại: thiệt hại trực tiếp và gián tiếp; thiệt hại hữu hình và vô hình.

**2.3.2. Phương pháp đánh giá thiệt hại vùng bảo vệ của kè bờ sông**

Có 2 phương pháp phổ biến đánh giá thiệt hại, gồm: (i) Phương pháp thống kê (dựa vào số liệu lưu trữ) và (ii) phương pháp mô hình mô phỏng kết hợp kiểm chứng bằng số liệu điều tra, phương pháp này được sử dụng phổ biến bằng cách thức xây dựng đường cong thiệt hại (hàm thiệt hại) dựa trên bản đồ thiệt hại; kiểm chứng bằng số liệu lịch sử quan trắc được.

Tổng thiệt hại của vùng hạ du được xác định theo công thức sau:

$$D = \sum_{i=1}^n F_i \times f(h_i) \tag{2-62}$$

trong đó: D: tổng thiệt hại sạt lở bờ sông

$F_i$ : Diện tích ô thứ i toàn bộ diện tích vùng ảnh hưởng được chia thành n ô.

$f(h_i)$ : Giá trị hàm thiệt hại tương ứng với mức độ sạt lở ( $h_i$ ) của ô lưới thứ i.

Kết quả thiệt hại được trình bày dưới dạng bản đồ và bảng tính thiệt hại ứng với các mức nước sạt lở khác nhau.

**2.4. Đánh giá an toàn kè có xét đến rủi ro sạt lở bờ sông**

**2.4.1. Đánh giá rủi ro sạt lở bờ sông**

a) *Đánh giá rủi ro* là sự so sánh giá trị rủi ro với tiêu chuẩn an toàn hiện tại dựa trên giá trị rủi ro chấp nhận được.

b) *Khái niệm rủi ro chấp nhận* được: là giới hạn rủi ro tiềm tàng lớn nhất của vùng CTK sông bảo vệ hợp lý về mức độ ảnh hưởng và tần suất xuất hiện để làm cơ sở quyết định mức bảo đảm an toàn thiết kế.

b) *Nguyên lý xác định rủi ro chấp nhận* được theo quan điểm kinh tế

Theo quan điểm kinh tế, XSSC cho phép [ $P_f$ ] được xác định từ tối ưu về chi phí và rủi ro sạt lở bờ sông. Tổng chi phí của một hệ thống ( $C_{tot}$ ) được xác định bằng tổng chi phí ( $I_{pf}$ ) đầu tư sửa chữa, nâng cấp hệ thống đạt độ an toàn cao hơn  $P_f$  và rủi ro sạt lở ( $R_{pf}$ ). Khi đó, XSSC tối ưu được xác định qua hàm mục tiêu tổng quát sau:

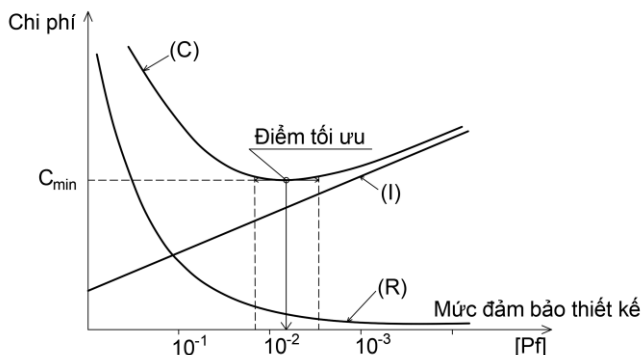
$$\min(C_{tot}) = \min(I_{P_f} + R_{P_f}) \tag{2-63}$$

trong đó:  $I_{pf}$ : Tổng chi phí đầu tư sửa chữa, nâng cấp hệ thống đạt độ an toàn cao hơn, bao gồm giá trị đầu tư xây dựng ban đầu ( $I_o$ ); chi phí đầu tư xây dựng mới hoặc, SCNC hệ thống an toàn hơn (có XSSC [ $P_{fi}$ ] thấp hơn); chi phí cho bảo trì đã thực hiện đối với công trình SCNC PV( $M_{pf}$ ); i, n: Thứ tự và số phương án đầu tư xây dựng mới hoặc SCNC hệ thống CTK được xem xét.

Hàm mục tiêu (2-63) đạt cực trị khi:

$$\frac{\partial C_{tot}}{\partial P_f} = 0 \quad (2-64)$$

Nghiệm của phương trình (2-64) chính là giá trị rủi ro chấp nhận được tương ứng với XSSC cho phép  $[P_f]$  của CTK, ký hiệu là  $P_{f-opt}$  xác định được theo hai phương pháp giải tích và thử dần.



Hình 2-13: Tối ưu XSSC theo quan điểm kinh tế

#### 2.4.2. Đánh giá an toàn kè bờ sông

So sánh XSSC của CTĐM ( $P_f$ ) với XSSC cho phép  $[P_f]$  xác định từ rủi ro chấp nhận được của vùng bờ sông được bảo vệ. Nếu giá trị rủi ro hiện tại của CTK vượt quá rủi ro chấp nhận được của vùng bảo vệ thì hệ thống cần được SCNC đảm bảo an toàn.

### 2.5. Kết luận Chương 2

Chương 2 đã hệ thống hóa, tổng hợp cơ sở khoa học về LTĐTC và PTRR sạt lở bờ sông: làm rõ khái niệm, nội dung, cách thức áp dụng LTĐTC và PTRR sạt lở bờ sông vào đánh giá an toàn CTK để tính toán, xác định: rủi ro sạt lở bờ sông, giá trị rủi ro chấp nhận được theo quan điểm tối ưu về kinh tế; XSSC cho phép  $[P_f]$  hay ĐTC yêu cầu của hệ thống CTK. Từ lý thuyết cơ bản này, Luận án tập trung phát triển các bài toán ứng dụng, gồm: PTRR hệ thống CTK, phân tích ĐTC của từng cơ chế sự cố, từng hạng mục và của hệ thống CTK tại Chương 3.

## CHƯƠNG 3. THIẾT LẬP BÀI TOÁN ỨNG DỤNG LÝ THUYẾT ĐỘ TIN CẬY TRONG ĐÁNH GIÁ AN TOÀN KÈ BỜ SÔNG NAM BỘ

### 3.1. Sơ đồ hóa mối liên hệ giữa công trình kè và bờ sông

#### 3.1.1. Sơ đồ hóa công trình kè sông

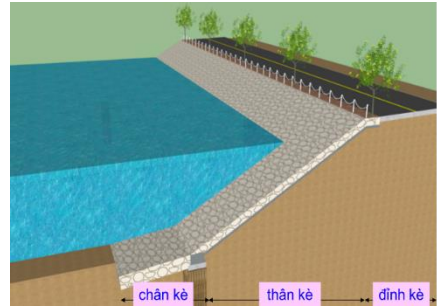
Các công trình được xây dựng bên bờ sông, kênh rạch cùng giải quyết các nhiệm vụ phòng chống sạt lở, bảo vệ khu dân cư, hạ tầng kỹ thuật và kết hợp

chính trang đô thị gọi là CTK bờ sông.

CTK thường gồm các hạng mục: chân kè, mái kè (thân kè) và đỉnh kè; ngoài ra còn có các công trình phụ trợ như: cống thoát nước, bến tàu, công viên,... Các hình thức bố trí tổng thể CTK bờ sông rất đa dạng. Tùy thuộc vào vị trí xây dựng và nhiệm vụ công trình, hình thức bố trí không gian kiến trúc tập trung vào 3 phần: khu vực mặt nước trước kè, CTK và hành lang công viên.

### 3.1.2. Cấu tạo công trình kè sông

Kết cấu CTK thường gồm 3 phần: chân kè, thân kè và đỉnh kè. Trên một mặt cắt ngang CTK sông, tại những cao trình khác nhau, mức độ ảnh hưởng của tải trọng lên công trình cũng khác nhau.

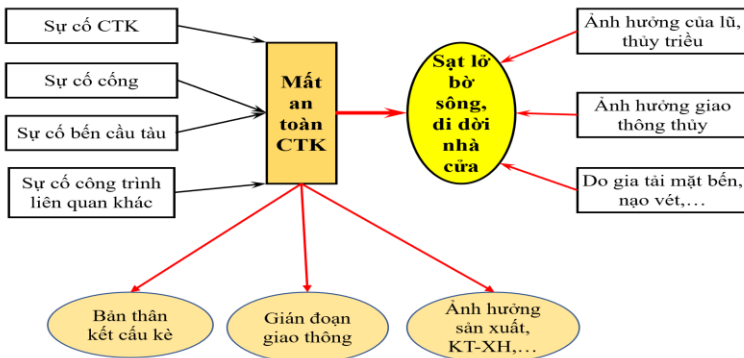


Hình 3-1: Sơ đồ tổng quát CTK bờ sông

Hình 3-2: Cấu tạo CTK bờ sông kiểu mái nghiêng

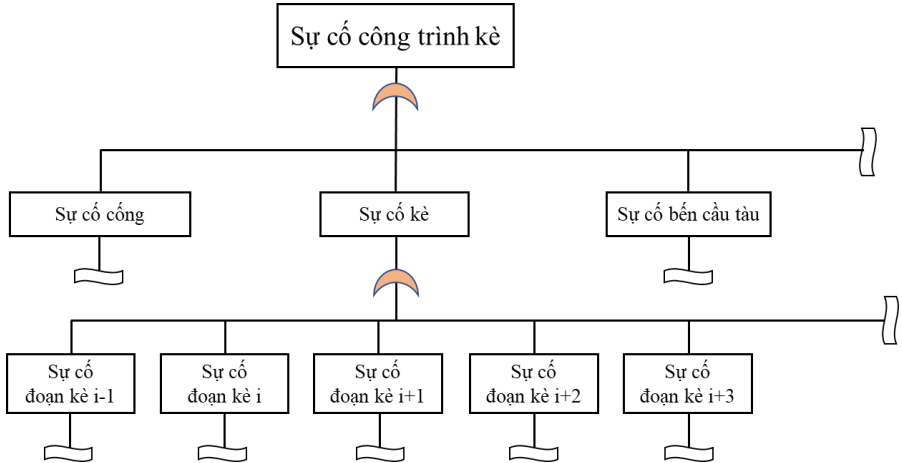
Đối với CTK tường đứng sẽ không có kết cấu mái kè. Thân kè thường là kết cấu tường BTCT trên nền cọc đóng sâu vào nền đất tốt hoặc kết cấu tường cừ (BTCT dự ứng lực, thép, bản nhựa, composite,...) đóng sâu vào đất nền. Tùy điều kiện địa chất đất nền và địa hình bờ sông có thể bố trí thêm kết cấu neo tường cừ.

### 3.1.3. Kết nối giữa an toàn công trình kè và sạt lở bờ sông



Hình 3-3: Sơ đồ kết nối giữa an toàn CTK và sạt lở bờ sông

Từ sơ đồ kết nối giữa an toàn CTK và sạt lở bờ sông, ứng với các trường hợp trong thực tiễn lại được tổ hợp với các yếu tố ảnh hưởng đến mức độ thiệt hại, gồm: ảnh hưởng do lũ và thủy triều, do giao thông thủy, do ảnh hưởng của gia tải mặt kè và nạo vét tại Hình 3-3. Từ việc phân tích mối liên hệ giữa các đoạn kè nêu và sạt lở bờ sông trên, thiết lập được sơ đồ cây sự cố tổng quát của CTK như sau:



Hình 3-4: Sơ đồ cây sự cố tổng quát công trình kè sông

### 3.1.4. Giới hạn trường hợp nghiên cứu

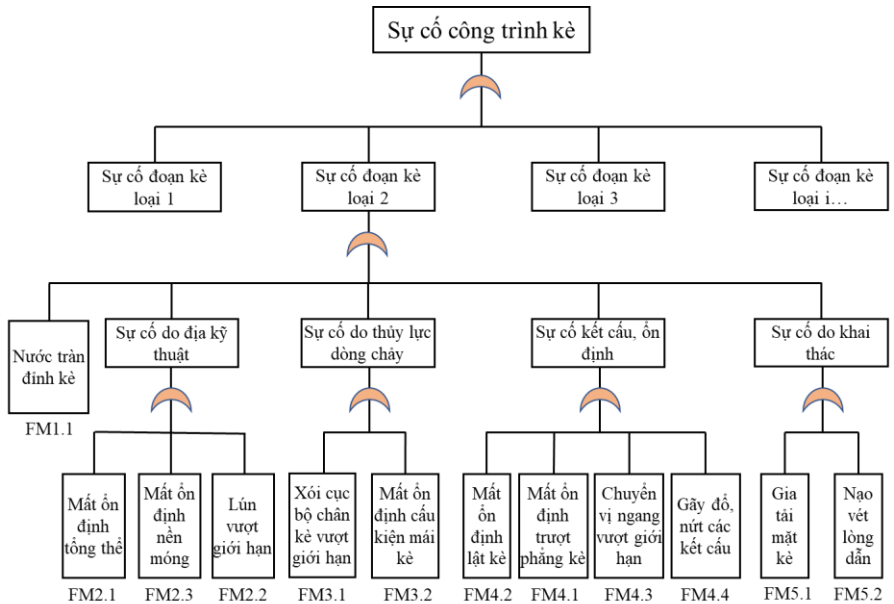
Luận án chỉ nghiên cứu thiết lập các bài toán ứng dụng LTĐTC và PTRR đánh giá an toàn kè bờ sông cho trường hợp phổ biến ở Nam Bộ như sau:

- (i) Hệ thống CTK bờ sông gồm một đoạn kè hoặc nhiều đoạn kè và không xét tới các hạng mục phụ trợ khác như công qua kè, bến cầu tàu do đã được nghiên cứu [1];
- (ii) CTK được mô phỏng theo hệ thống có liên kết nối tiếp.

### 3.2. Thiết lập sơ đồ cây sự cố

Đối với kè bờ sông, hệ thống được phân tích toàn diện từ điểm đầu đến điểm cuối tuyến. Sự cố ở kè bờ sông gồm sự cố của các kết cấu kè ở một đoạn kè hoặc xảy ra ở các đoạn kè khác nhau trên bờ sông, sẽ trực tiếp hoặc gián tiếp dẫn đến hư hỏng kè gây sạt lở bờ sông, trong đó, mất ổn định tổng thể CTK là trường hợp gây thiệt hại lớn nhất.

Sơ đồ cây sự cố tổng quát cho CTK sông như Hình 3-5:



Hình 3-5: Sơ đồ cây sự cố của CTK sông vùng Nam Bộ

### 3.3. Thiết lập hàm độ tin cậy của cơ chế sự cố CTK sông

- Nguyên tắc thiết lập: Hoạt động của từng hạng mục thuộc CTK tuân theo quy luật vật lý, cơ học tác động qua lại giữa môi trường nước, nền, công trình. Quy luật này được xem xét để xác định hàm tải trọng (S) và hàm độ bền (R) khi thiết lập hàm tin cậy.
- Điều kiện áp dụng: Đối tượng nghiên cứu là CTK được mô phỏng theo hệ thống có liên kết nối tiếp.
- Giải hàm tin cậy: Các hàm tin cậy được giải theo cấp độ 3 bằng phương pháp mô phỏng ngẫu nhiên Monte Carlo (MCS).

### 3.4. Xác định SXSC và phân tích ĐTC của hệ thống CTK sông

#### 3.4.1. Mục tiêu

Đánh giá hiện trạng an toàn của CTK thông qua việc xác định và so sánh ĐTC của CTK với chuẩn an toàn hiện có; từ đó đề xuất giải pháp nâng cao ĐTC cho công trình và giảm thiểu rủi ro vùng bảo vệ ven sông.

#### 3.4.2. Nội dung bài toán

- Trình tự thực hiện: Xác định ĐTC cho các cơ chế sự cố của các hạng mục thuộc CTK; phân tích ĐTC của các hạng mục thuộc hệ thống CTK, đề xuất giải pháp nâng cao ĐTC của CTK và giảm thiểu rủi ro vùng bảo vệ.
- Các bước giải bài toán:

- Bước 1: Mô tả về nhiệm vụ, cấu tạo, quy mô, hiện trạng của các thành phần thuộc hệ thống CTK; xác định mối quan hệ giữa các thành phần;
- Bước 2: Phân tích nguyên nhân dẫn đến sự cố theo các cơ chế khác nhau; liệt kê các sự cố có thể xảy ra cho các hạng mục công trình và hệ thống CTK;
- Bước 3: Xây dựng sơ đồ cây sự cố của các hạng mục và toàn hệ thống CTK;
- Bước 4: Thiết lập và giải hàm tin cậy của các CCSC để xác định XSSC;
- Bước 5: Phân tích sơ đồ cây sự cố, tổng hợp XSSC cho từng hạng mục và toàn bộ hệ thống CTK theo ma trận sự cố.
- Bước 6: Xác định chỉ số ĐTC ( $\beta$ ) của từng cơ chế sự cố và của cả hệ thống.

*Bảng 3-4: Ma trận XSSC của hệ thống công trình kè*

Các hạng mục thuộc CTK sông	Cơ chế sự cố						Tổng
	Sự cố 1	Sự cố 2	...	Sự cố i	...	Sự cố n	
(0)	(1)	(2)	...	(i)	...	(n)	
Đoạn kè 1	$p_{11}$	$p_{12}$	...	$p_{1i}$	...	$p_{1n}$	$P_1$
Đoạn kè 2	$p_{21}$	$p_{22}$	...	$p_{2i}$	...	$p_{2n}$	$P_2$
...	...	...	...	...	...	...	...
Đoạn kè j (thứ j)	$p_{j1}$	$p_{j2}$	...	$p_{ji}$	...	$p_{jn}$	$P_j$
...	...	...	...	...	...	...	...
Các hạng mục khác (m)	$p_{m1}$	$p_{m2}$	...	$p_{mi}$	...	$p_{mn}$	$P_m$
<b>Tổng hợp</b>	$P_{SC1}$	$P_{SC2}$	...	$P_{SCi}$	...	$P_{SCn}$	$P_{HT}$

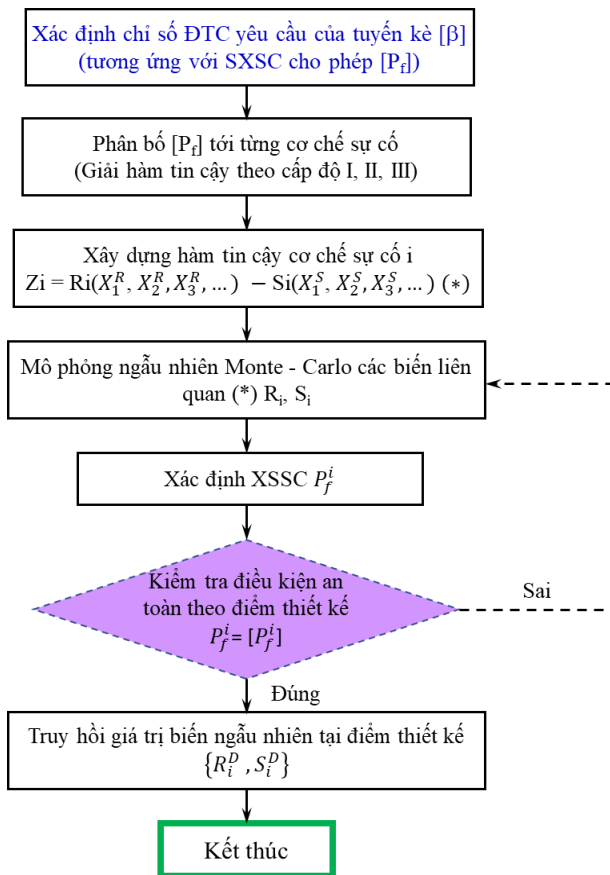
### 3.4.3. Kết quả và ý nghĩa của bài toán

Kết quả của bài toán cho ta (i) nhận dạng được hạng mục công trình có nguy cơ xảy ra sự cố cao nhất ( $P_j$  max) để xác định hạng mục thuộc CTK cần phải tập trung để SCNC; (ii) Xác định được CCSC có XSSC lớn nhất ( $P_{SCi}$  max) để đề xuất giải pháp thiết kế SCNC nâng cao ĐTC cho CTK.

### 3.5. Xây dựng đường cong sự cố và đường cong thiết kế

Với mỗi cơ chế sự cố, tiến hành tính toán cho một khoảng biên của các BNN chính cho từng cơ chế sự cố khác nhau bằng cách giữ nguyên dạng phân phối thống kê (độ lệch chuẩn  $\sigma$ ), thay đổi giá trị kỳ vọng toán ( $\mu$ ), tính lập theo phương pháp MCS tìm các XSSC  $P_{fi}$  tương ứng và vẽ đường cong sự cố và đường cong thiết kế.

Trên cơ sở đường cong sự cố của từng cơ chế sự cố nêu trên có thể xác định được giá trị tới hạn của các tham số thiết kế tương ứng với từng cơ chế đảm bảo điều kiện làm việc an toàn của kè: Xác suất sự cố của từng cơ chế  $\leq$  xác suất sự cố cho phép tương ứng [ $P_i^l$ ]. Ứng dụng bài toán phân tích độ tin cậy cấp độ III theo mô phỏng ngẫu nhiên Monte-Carlo xác định được giá trị thiết kế của các tham số chính của kè gồm: cao trình đỉnh kè, chiều sâu bảo vệ chân kè, chiều sâu hố xói tới hạn,... đáp ứng điều kiện an toàn theo từng cơ chế. Các bước thực hiện theo sơ đồ khối tại Hình 3-10 như sau:



Hình 3-10: Sơ đồ thuật toán xác định giá trị thiết kế theo bài toán ĐTC cấp độ III

Xác định chỉ số ĐTC yêu cầu của tuyến kè [β] tương ứng với SXSC cho phép [Pf] được thực hiện thông qua mô phỏng ngẫu nhiên Monte Carlo (cấp độ III), kết hợp phân tích sơ đồ cây sự cố theo phương pháp cấp độ II xác định được mức độ ảnh hưởng của từng cơ chế sự cố đến xác suất sự cố của toàn tuyến kè, từ đó phân bố [Pf] tới từng cơ chế sự cố. Trên cơ sở đó phân tích phân bố được ĐTC yêu cầu của tuyến kè đến từng cơ chế sự cố làm cơ sở cho bài toán thiết kế theo ĐTC ứng với cấp độ cơ chế sự cố.

Trên cơ sở ĐTC yêu cầu của từng cơ chế sự cố, xác định được giá trị tham số biến tại điểm thiết kế làm cơ sở tính toán thiết kế kích thước kè đảm bảo xác suất sự cố từng cơ chế thỏa mãn điều kiện xác suất sự cố cho phép. Đây chính là cơ sở đề xuất giải pháp sửa chữa, nâng cấp kè đạt ĐTC yêu cầu.

### 3.6. Phương pháp xác định ĐTC yêu cầu cho hệ thống kè

#### 3.6.1. Phương pháp xác định giá trị rủi ro chấp nhận

Giá trị rủi ro chấp nhận của vùng được bảo vệ bởi hệ thống kè được xác định bằng cách cân bằng giữa mức độ đầu tư để đạt được một chuẩn an toàn và các thiệt hại tiềm tàng (hay rủi ro tiềm tàng có thể xảy ra) theo các kịch bản đầu tư khác nhau.

### ***3.6.2. ĐTC yêu cầu từ giá trị rủi ro chấp nhận dựa theo quan điểm kinh tế***

ĐTC yêu cầu được xác định tại điểm tối ưu trên đường cong tổng chi phí, là điểm mà tại đó có tổng chi phí khả dĩ của hệ thống là nhỏ nhất. Tổng chi phí của một hệ thống ( $C_{tot}$ ) được xác định bằng tổng cộng giá trị đầu tư ( $I_{\Delta H}$ ) nâng cấp hệ thống để đạt được độ an toàn cao hơn; chi phí khả dĩ cho duy tu và bảo dưỡng  $M$  và thiệt hại kinh tế khả dĩ  $D$ .

### **3.7. Biện pháp nâng cao an toàn kè sông, giảm thiểu rủi ro sạt lở**

Trường hợp  $XSSC (P_f) \geq [P_f]$  thì kè không bảo đảm an toàn, vùng bảo vệ vẫn có khả năng bị rủi ro sạt lở. Khi đó, cần có giải pháp nâng cao an toàn CTK, giảm thiểu rủi ro sạt lở vùng bảo vệ.

#### ***3.7.1. Nhóm giải pháp giảm thiểu rủi ro sạt lở bờ sông***

Dựa trên nguyên tắc giữ nguyên hiện trạng CTK, xác định rủi ro chấp nhận được của vùng bảo vệ ứng với trường hợp thiệt hại sạt lở bờ sông lớn nhất do mất an toàn CTK và thực hiện các biện pháp phòng, tránh để giảm thiểu rủi ro cho vùng bảo vệ (Top - Down): bảo trì công trình; xây dựng phương án ứng phó với thiên tai, tình huống khẩn cấp, lập phương án đầu tư công trình bảo vệ bờ cho khu vực ven sông như xây dựng đê, kè sông,...

#### ***3.7.2. Nhóm giải pháp phòng, tránh rủi ro sạt lở bờ sông (Bottom - Up)***

Đầu tư sửa chữa, nâng cấp hệ thống CTK đáp ứng ĐTC yêu cầu được xác định từ rủi ro chấp nhận được của vùng bảo vệ. Quy mô của từng hạng mục công trình xác định từ việc phân bổ ĐTC cho phép  $[P_f]$  cho từng hạng mục thuộc hệ thống CTK.

#### ***3.7.3. Giải pháp kết hợp giảm thiểu và phòng, tránh rủi ro sạt lở bờ sông***

Dựa trên nguyên tắc tác động đồng thời cả hệ thống CTK và vùng bảo vệ. Căn cứ vào yêu cầu quản lý để lựa chọn “điểm thiết kế” và XSSC  $[P_f]$  cho phù hợp: (i) chọn “điểm thiết kế” lệch trái của điểm “tối ưu” khi chấp nhận rủi ro (R) tăng để giảm vốn đầu tư (I) hoặc (ii) chọn “điểm thiết kế” lệch phải khi lựa chọn tăng vốn đầu tư (I) để giảm rủi ro (R) như Hình 2-14.

### **3.8. Kết luận Chương 3**

Các bài toán được thiết lập đã chỉ ra được mối liên hệ giữa an toàn CTK với rủi ro sạt lở; xây dựng cơ sở khoa học xác định XSSC hiện trạng và chỉ số độ tin cậy ( $\beta$ ) của hệ thống CTK; thiết kế CTK đạt ĐTC yêu cầu theo khả năng chấp nhận rủi ro sạt lở. Từ đó, đề xuất giải pháp nâng cao an toàn kè và

giảm thiểu rủi ro sạt lở, chỉ ra cách lựa chọn điểm thiết kế đáp ứng yêu cầu về thực tiễn quản lý.

## **CHƯƠNG 4. ỨNG DỤNG LÝ THUYẾT ĐỘ TIN CẬY ĐÁNH GIÁ AN TOÀN KÈ BỜ SÔNG SÀI GÒN ĐOẠN THÀNH PHỐ THỦ DẦU MỘT**

### **4.1. Giới thiệu chung về kè bờ sông Sài Gòn đoạn Tp. Thủ Dầu Một**

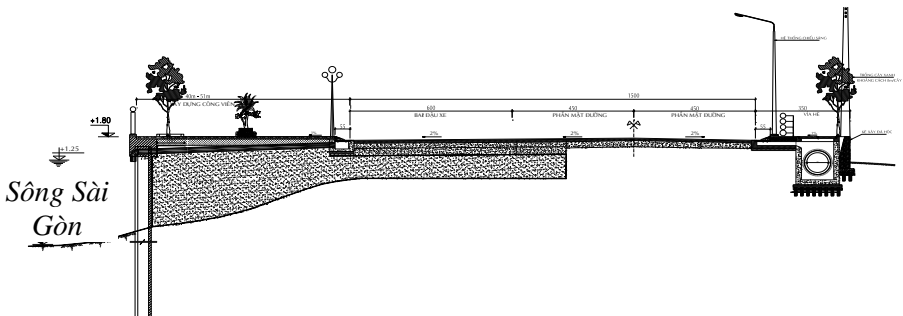
#### **4.1.1. Vị trí khu vực nghiên cứu**

Vị trí công trình nằm ở phía bờ tả sông Sài Gòn thuộc phường Phú Cường và phường Chánh Nghĩa thành phố Thủ Dầu Một, tỉnh Bình Dương, chiều dài tuyến kè 2.160 m; có tọa độ địa lý 106°38'45" kinh độ Đông và 10°58'55" vĩ độ Bắc (Hình 4-6).

#### **4.1.2. Khái quát về kè sông Sài Gòn đoạn thành phố Thủ Dầu Một**

CTK được thiết kế với quy mô công trình cấp IV gồm 4 đoạn kè nối tiếp nhau: Đoạn 1 dài 290 m (từ K0 đến cầu Thổ Ngữ); Đoạn 2 dài 560 m (từ cầu Thổ Ngữ đến cầu Thầy Năng); Đoạn 3 dài 660 m (từ cầu Thầy Năng đến rạch Bảy Tra); Đoạn 4 dài 650 m (từ rạch Bảy Tra đến cầu Phú Cường) có nhiệm vụ chống sạt lở bờ sông Sài Gòn kết hợp tạo cảnh quan. Kết quả kiểm tra, đánh giá hiện trạng CTK trong quá trình thi công và sử dụng cho thấy các đoạn kè có nguy cơ gặp sự cố do các cơ chế phá hỏng như: nước tràn đỉnh kè, mất ổn định địa kỹ thuật (trượt mái hạ lưu), xói tại chân kè, sự cố về kết cấu kè,...

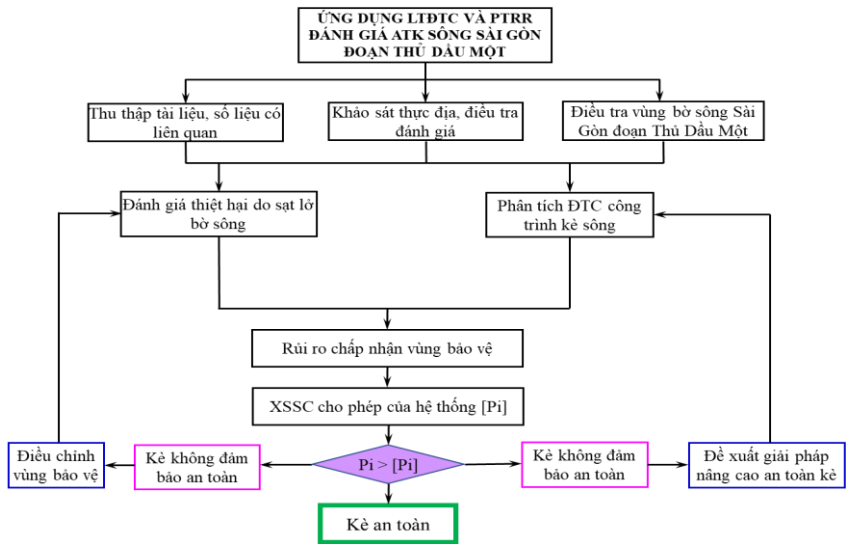
CTK có kết cấu kiểu tường đứng bằng cừ BTCT dự ứng lực loại SW600B, chiều dài cừ  $L = 21\text{m}$ , liên kết đỉnh tường cừ bằng dầm mũ BTCT M250 kích thước 100x70cm. Cao trình đỉnh tường kè +1,8m, bề rộng hành lang vỉa hè kết hợp công viên trên mặt kè từ 3,5m đến 41m. Chân kè không gia cố, cao trình chân kè theo mặt đất tự nhiên ở cao độ -1m đến -1,5m.



Hình 4-3: Mặt cắt ngang điển hình kè bờ sông Sài Gòn đoạn Tp. Thủ Dầu Một

### **4.2. Đánh giá hiện trạng an toàn của kè bờ sông Sài Gòn đoạn TDM**

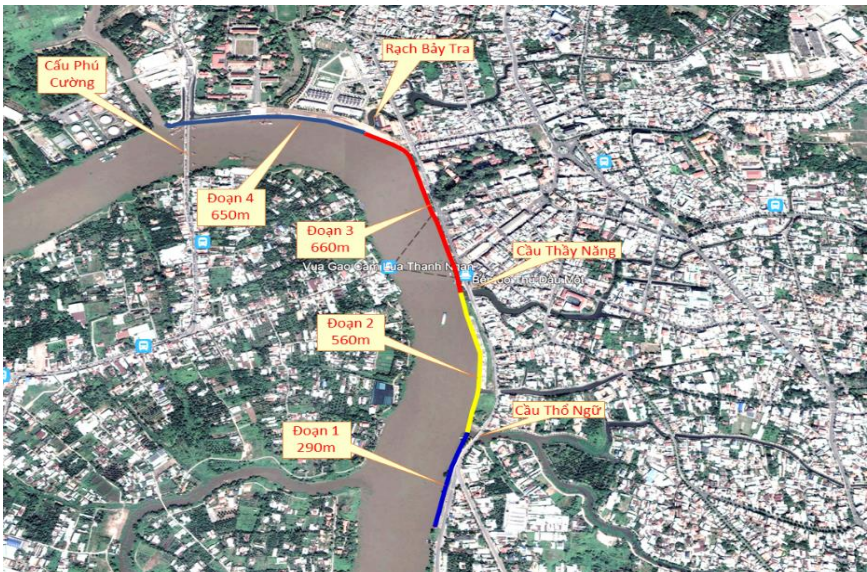
#### **4.2.1. Sơ đồ tiếp cận phân tích an toàn kè**



Hình 4-5: Sơ đồ tiếp cận giải quyết bài toán

#### 4.2.2. Xác định xác suất sự cố và chỉ số độ tin cậy hiện trạng của kè

a) Sơ đồ hóa công trình kè và vùng ảnh hưởng như Hình 4-6



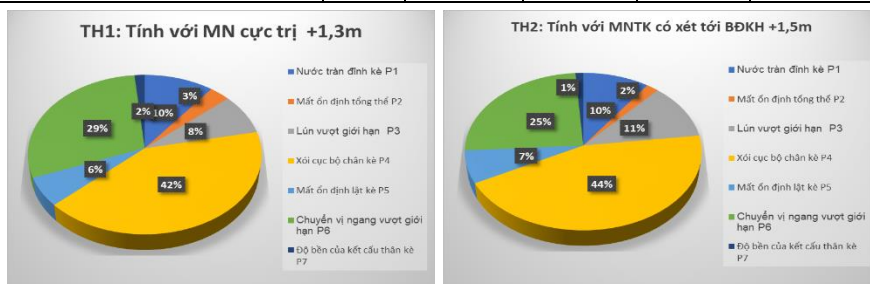
Hình 4-6: Sơ họa vị trí CTK bờ sông Sài Gòn khu vực Thủ Dầu Một

b) Xây dựng sơ đồ cây sự cố như Hình 3-5.

c) Xác định XSSC và phân tích ĐTC của các cơ chế tại Bảng 4-21 và Hình 4-11

Bảng 4-21: Xác suất sự cố của CTK sông Sài Gòn đoạn Thủ Dầu Một

TT	Cơ chế sự cố	Ký hiệu	TH1: Tính với MN cực trị năm		TH2: Tính với MN thiết kế có xét đến BDKH	
			XSSC $P_f$	Mức độ ảnh hưởng	XSSC $P_f$	Mức độ ảnh hưởng
1	Nước tràn đỉnh kè	P1	0,043	10,40%	0,054	9,77%
2	Mất ổn định tổng thể	P2	0,013	3,11%	0,010	1,83%
3	Lún vượt giới hạn	P3	0,034	8,14%	0,063	11,34%
4	Xói cục bộ chân kè	P4	0,173	41,49%	0,245	44,35%
5	Mất ổn định lật kè	P5	0,025	5,94%	0,037	6,72%
6	Chuyển vị ngang vượt giới hạn	P6	0,122	29,40%	0,138	24,85%
7	Gãy đổ, nứt các kết cấu	P7	0,006	1,52%	0,006	1,14%
<b>XSSC hệ thống CTK</b>			<b>0,416</b>		<b>0,553</b>	
<b>Độ tin cậy hệ thống CTK</b>			<b>58,40%</b>		<b>44,66%</b>	
<b>Chỉ số độ tin cậy hệ thống CTK (<math>\beta</math>)</b>			<b>0,212</b>		<b>-0,134</b>	

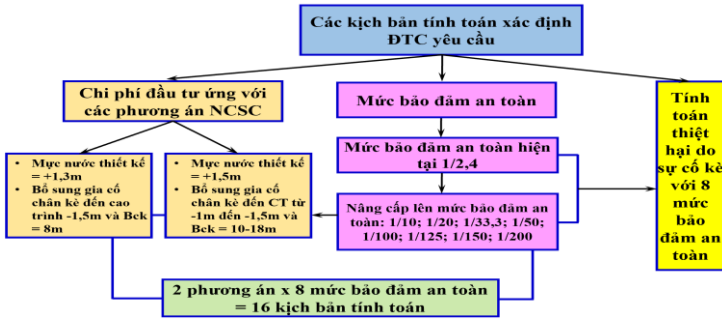


Hình 4-11: Mức độ ảnh hưởng của các cơ chế sự cố đến an toàn kè sông Sài Gòn đoạn Thủ Dầu Một

Trong cả 2 trường hợp tính toán, giá trị XSSC đều lớn hơn mức bảo đảm an toàn thiết kế:  $P_f > P_{2\%} = 0,02$  nên CTK có khả năng bị sự cố.

#### 4.2.3. Xác định độ tin cậy yêu cầu của CTK theo rủi ro sạt lở

a) Xây dựng đường cong chi phí đầu tư  $I_{pf}$  theo các kịch bản tại Hình 4-14



Hình 4-14: Các kịch bản tính toán xác định ĐTC yêu cầu của kè bờ sông Sài Gòn đoạn Thủ Dầu Một

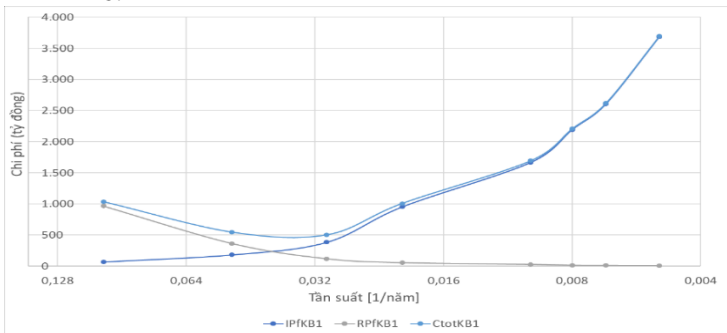
b) Xác định giá trị đầu tư, rủi ro và tổng chi phí

Bảng 4-27: Tần suất đảm bảo, giá trị đầu tư, rủi ro và tổng chi phí của tuyến kè bờ sông Sài Gòn đoạn Thủ Dầu Một

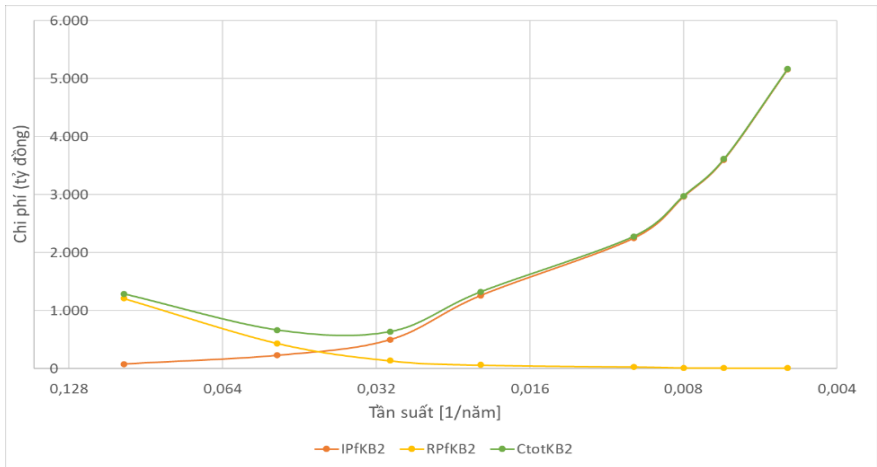
STT	Chu kỳ lặp lại (năm)	Tần suất 1/năm $P_f$	Giá trị đầu tư $I_{Pf}$ (tỷ đồng)		Thiệt hại D (tỷ đồng)		Rủi ro $R_{Pf}$ (tỷ đồng)		Tổng chi phí của tuyến kè $C_{tot}$ (tỷ đồng)	
			KB1	KB2	KB1	KB2	KB1	KB2	KB1	KB2
1	10	0,1	67,77	77,94	9.670,33	12.085,88	967,03	1.208,59	1.034,81	1.286,53
2	20	0,05	182,30	227,87	7.254,69	8.708,36	362,73	435,42	545,03	663,29
3	33,3	0,03	383,42	498,45	3.925,03	4.531,04	117,87	136,07	501,29	634,52
4	50	0,02	952,29	1.257,02	2.705,69	3.111,71	54,11	62,23	1.006,40	1.319,25
5	100	0,01	1.666,50	2.249,78	2.667,45	3.059,18	26,67	30,59	1.693,17	2.280,37
6	125	0,008	2.193,23	2.960,86	1.620,47	1.898,88	12,96	15,19	2.206,19	2.976,05
7	150	0,0067	2.608,17	3.599,28	1.539,95	1.950,91	10,27	13,01	2.618,44	3.612,29
8	200	0,005	3.684,30	5.158,03	1.626,04	2.146,27	8,13	10,73	3.692,44	5.168,76

▪ Xác định độ tin cậy yêu cầu

Quan hệ giữa xác suất sự cố cho phép, tổng chi phí đầu tư, chi phí rủi ro và tổng chi phí của CTK được xác định và trình bày trong Bảng 4-27, Hình 4-15 và Hình 4-16.



Hình 4-15: Đường quan hệ ( $I_{Pf}$ ), ( $R_{Pf}$ ) và ( $C_{tot}$ ) ứng với kịch bản 1



Hình 4-16: Đường quan hệ ( $I_{Pf}$ ), ( $R_{Pf}$ ) và ( $C_{tot}$ ) ứng với kích bản 2

c) Lựa chọn xác suất sự cố cho phép [ $P_f$ ] của công trình kè

Từ kết quả trình bày trong Hình 4-15 và Hình 4-16, nhận thấy  $C_{tot}$  đạt giá trị nhỏ nhất ứng với kích bản 1 và kích bản 2 tại điểm có giá trị  $C_{min}$  xấp xỉ nhau và ĐTC tối ưu  $P_{f-opt} = 1/33,3$ .

**4.2.4. Kết quả đánh giá an toàn CTK có xét đến sạt lở bờ sông**

XSSC hiện tại:  $P_{fMNBDKH} = 0,553 > P_{fMNcực\ trị\ năm} = 0,416 > [P_f] = 0,02 = 1/50$   
 Như vậy, CTK bờ sông Sài Gòn đoạn Thủ Dầu Một (được thiết kế với mức đảm bảo an toàn phòng lũ kiểm tra theo QCVN 04-05:2012/BNNPTNT là  $P = 1,5\% = 1/67$  năm) vẫn có khả năng bị sự cố, CTK có khả năng xảy ra sự cố gây sạt lở bờ sông và cần được sửa chữa, nâng cấp đảm bảo an toàn để phù hợp với các yếu tố ngẫu nhiên về thủy văn, thủy lực và khả năng chấp nhận rủi ro khu vực bờ sông thay đổi giảm so với thiết kế.

**4.2.5. Phân tích lựa chọn giải pháp SCNC kè bờ sông Sài Gòn**

Chọn giải pháp NCSC theo phương án 2: Nâng MNTK lên cao trình +1,5; bổ sung gia cố chân kè và nâng cao trình đỉnh tường chắn sóng trên dầm mũ lên cao trình +2,0m.

**4.2.6. Thiết kế kè bờ sông Sài Gòn đoạn Thủ Dầu Một đạt ĐTC yêu cầu**

Từ kết quả tính tại Bảng 4-27 cho thấy kích thước mặt cắt cơ bản của CTK sông Sài Gòn đoạn Thủ Dầu Một khi thiết kế theo LTĐTC với XSSC cho phép  $[P_f] = 1/33,3 = 0,03$  cho kết quả lớn hơn so với kích thước của mặt cắt ban đầu của kè. Do vậy, CTK sông Sài Gòn đoạn Thủ Dầu Một đã được nâng cấp đáp ứng ĐTC cao hơn.

Bảng 4-28: Kích thước cơ bản của CTK tính theo xác suất sự cố cho phép

Cơ chế sự cố	Nước tràn đỉnh kè	Lún vượt giới hạn	Xói cục bộ chân kè vượt giới hạn	Chuyển vị ngang vượt giới hạn
Tỷ lệ phân bổ ĐTC	9,77%	11,34%	44,35%	24,85%
XSSC	$5,4.10^{-2}$	$6,3.10^{-2}$	$24,5.10^{-2}$	$13,8.10^{-2}$
Kích thước của kè	$Z_{dk}$ (m)	$Z_{dk}$ (m)	$Z_{ck}$ (m)	$B_{ck}$ (m)
Giá trị thiết kế	2,00	2,00	-1,20	12,00

### 4.3. Kết luận Chương 4

Kết quả tính toán, phân tích đánh giá an toàn kè bờ sông Sài Gòn đoạn Thủ Dầu Một trong giới hạn của nghiên cứu này cho thấy XSSC trường hợp tính với mực nước thiết kế có xét đến BĐKH đến 2050  $P_{fMNTK-BĐKH} = 0,553$  (tương ứng  $\beta = -0,134$ ) > trường hợp tính mực nước cực trị năm theo chuỗi quan trắc  $P_{fMNCực\ trị\ năm} = 0,416$  (tương ứng  $\beta = 0,212$ ) >  $[P_f] = 0,02$  (tương ứng với mức đảm bảo an toàn là 1/50 năm và ĐTC yêu cầu có xét đến rủi ro sạt lở bờ sông  $[\beta] = 2,17$ ). Vì vậy CTK có khả năng xảy ra sự cố gây sạt lở bờ sông và cần được sửa chữa nâng cấp đảm bảo an toàn.

Kết quả tính toán cho thấy xác suất sự cố gia tăng khi mực nước trong sông vượt cao trình +1,5m và cao độ mặt đất tự nhiên bờ sông phía trước kè thấp hơn -1,5m. Do vậy, trong quản lý, cần thiết theo dõi diễn biến xói lở lòng sông khu vực chân kè để duy trì cao độ mặt đất tự nhiên không thấp hơn cao trình -1,5m với bề rộng tối thiểu là 12,0m.

## KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

### 1. Kết quả đạt được của luận án

- (1) Đánh giá tổng quan được xu thế gia tăng rủi ro sạt lở và thực trạng an toàn hệ thống kè bờ sông vùng Nam Bộ; phân tích và khái quát hóa được các nguyên nhân chính gây mất an toàn hệ thống kè bờ sông vùng Nam Bộ;
- (2) Phân tích chỉ ra được các tồn tại trong xác định tiêu chuẩn an toàn và phương pháp xác định các chỉ tiêu an toàn hiện tại của hệ thống kè: chưa kể yếu tố phát triển kinh tế xã hội trong xác định tiêu chuẩn an toàn; chưa xem xét đến tính ngẫu nhiên của biến tải trọng và độ bền trong đánh giá an toàn;
- (3) Phân tích khái quát được tình hình phát triển và ứng dụng phương pháp PTRR và LTĐTC trên thế giới và tại Việt Nam trong giải quyết các bài toán đánh giá an toàn xác định ĐTC hiện tại, phân tích rủi ro xác định ĐTC yêu cầu cho hệ thống công trình phòng chống sạt lở nói chung và hệ thống kè nói riêng; trên cơ sở đó chỉ ra được các khoảng trống chuyên môn trong ứng dụng tính toán cho hệ thống kè phòng chống sạt lở và đề xuất hướng nghiên cứu của luận án;

(4) Tích hợp được các bài toán ứng dụng của phương pháp LTĐTC và PTRR trong đánh giá an toàn xác định ĐTC hiện tại và ĐTC yêu cầu cho hệ thống kè bờ sông vùng Nam Bộ; áp dụng tính toán được cho kè bờ sông Sài Gòn đoạn qua Thủ Dầu Một;

(5) Thiết lập cây sự cố và hàm tin cậy cho các cơ chế sự cố phổ biến của các thành phần công trình thuộc hệ thống kè bờ sông Sài Gòn. Thiết lập được các bước giải chi tiết cho bài toán phân tích ĐTC theo cấp độ III xác định các chỉ số an toàn hiện tại của hệ thống kè, trong đó có xét đến ảnh hưởng của mức độ gia tăng điều kiện biên trong tương lai do ảnh hưởng của BĐKH;

(6) Kết hợp phân tích sơ đồ cây sự cố theo phương pháp cấp độ II xác định được mức độ ảnh hưởng của từng cơ chế sự cố đến xác suất sự cố của toàn tuyến kè. Trên cơ sở đó phân tích phân bố được ĐTC yêu cầu của tuyến kè đến từng cơ chế sự cố làm cơ sở cho bài toán thiết kế theo ĐTC ứng với cấp độ cơ chế sự cố;

(7) Trên cơ sở ĐTC yêu cầu của từng cơ chế sự cố, xây dựng được sơ đồ và thuật giải bài toán thiết kế theo ĐTC yêu cầu của từng cơ chế sự cố, xác định được giá trị tham số biến tại điểm thiết kế làm cơ sở tính toán thiết kế kích thước kè đảm bảo XSSC từng cơ chế thỏa mãn điều kiện XSSC cho phép;

(8) Áp dụng bài toán tích hợp ĐTC để xác định ĐTC yêu cầu của hệ thống kè bờ sông Sài Gòn đoạn qua Thủ Dầu Một trường hợp kịch bản: thời kỳ cơ sở (hiện trạng) và tương lai khi xem xét đến tác động của BĐKH-NBD và phát triển kinh tế đến năm 2050.

## **2. Những đóng góp mới của luận án**

(1) Xây dựng được bài toán tính độ tin cậy hệ thống kè sông, tính rủi ro chấp nhận để tìm độ tin cậy tối ưu. Xây dựng bài toán thiết kế hệ thống kè sông theo độ tin cậy tối ưu.

(2) Áp dụng phân tích độ tin cậy cho hệ thống kè điển hình bảo vệ bờ sông Sài Gòn đoạn qua thành phố Thủ Dầu Một: đã lượng hóa được chỉ số an toàn hiện tại và độ tin cậy yêu cầu có kể đến rủi ro sạt lở bờ sông; nghiên cứu đề xuất giải pháp sửa chữa, nâng cấp kè đạt độ tin cậy yêu cầu.

## **3. Các tồn tại**

1) Chưa xem xét được sự cố của các công trình qua kè như các công thoát nước, cầu tầu và các công trình khác trên tuyến kè.

2) Trong tính toán chưa xem xét đến ảnh hưởng trực tiếp của việc vận hành các hồ chứa thượng nguồn đến an toàn hệ thống đê kè vùng hạ du.

3) Hàm phân phối xác suất của các biến ngẫu nhiên cơ bản được xây dựng trên cơ sở số liệu đầu vào hạn chế. Điều này phần nào làm giảm tính tin cậy của kết quả.

#### **4. Hướng phát triển**

Hướng phát triển tiếp theo gồm:

(1) Phân tích ĐTC của CTK toàn diện hơn khi xem xét đến các sự cố của các công trình khác thuộc CTK trong sơ đồ cây sự cố; phân tích tương quan giữa các cơ chế sự cố khác nhau; các mối tương quan kết hợp giữa các cơ chế sự cố tới rủi ro trong trường hợp nhiều sự cố có thể có chung nguyên nhân.

(2) Nghiên cứu bài toán xác định ĐTC yêu cầu cho CTK đa thành phần, đa mục tiêu và thiết lập hệ thống cơ sở dữ liệu về thiệt hại, rủi ro và các BNN về tải trọng và sức chịu tải phục vụ phân tích xác định mức độ đảm bảo an toàn cho hệ thống CTK tại Việt Nam.

(3) Nghiên cứu xem xét đến các yếu tố thiệt hại phi vật chất trong hàm rủi ro gồm cả thiệt hại do phải sơ tán dân và sự xáo trộn cuộc sống của người dân; định lượng hậu quả tiềm tàng trong trường hợp mất an toàn CTK và sạt lở do các trường hợp không kiểm soát được xả lũ thượng nguồn, bao gồm cả sự không chắc chắn về hiệu quả cảnh báo và sơ tán dân.

(4) Các biến ngẫu nhiên cơ bản trong nghiên cứu này hiện đang xem xét là độc lập thống kê. Trên thực tế các biến có sự phụ thuộc nhất định, do đó cần nghiên cứu xác định sự phụ thuộc thống kê giữa các biến, chuẩn phân phối biến ngẫu nhiên và ảnh hưởng của nó đến kết quả là cần thiết.

#### **5. Kiến nghị**

Việc tính toán đánh giá an toàn CTK nói chung và hệ thống kè bờ sông nói riêng bằng phương pháp LTĐTC và PTRR khá phức tạp và đòi hỏi số liệu đầu vào khá lớn để đảm bảo tính tin cậy. Vì vậy, cần phải có các chương trình, dự án thiết lập hệ thống cơ sở dữ liệu về sự cố kè; về thiệt hại, rủi ro và các BNN tải trọng, sức chịu tải phục vụ việc phân tích xác định ĐTC yêu cầu cho các hệ thống công trình. Trong đó giá trị thiệt hại của vùng được bảo vệ cần được cập nhật thường xuyên theo sự thay đổi do các hoạt động xây dựng và phát triển kinh tế xã hội trong vùng nghiên cứu. Cần có quy trình đánh giá định kỳ để có cơ sở điều chỉnh phân cấp đề kè sông và tiêu chuẩn an toàn cho phù hợp với thực tế và thiết lập hệ thống cơ sở dữ liệu về quan trắc công trình, quan trắc khí tượng thủy văn chuyên dùng và số liệu về thiệt hại sạt lở bờ sông với chuỗi quan trắc đủ dài và đồng bộ nhằm nâng cao tính chính xác trong việc xác định ĐTC của hệ thống kè bờ sông ở Việt Nam./.

## DANH MỤC CÁC CÔNG TRÌNH ĐÃ CÔNG BỐ

- [1] **Doãn Văn Huế**, Tô Văn Thanh, Nguyễn Hữu Bảo (2018), “Một số vấn đề về an toàn hệ thống công trình kè ở đồng bằng sông Cửu Long”, *Tạp chí Khoa học và Công nghệ Thủy lợi, Viện Khoa học Thủy lợi Việt Nam*, Số 49, tr. 45-52.
- [2] **Doãn Văn Huế**, Tô Văn Thanh (2020), “Tính toán xác suất mất mát an toàn cho công trình kè theo lý thuyết độ tin cậy”, *Tuyển tập Kết quả Khoa học và Công nghệ 2019-2020, Viện Khoa học Thủy lợi miền Nam*, Số 21, tr. 357-365.
- [3] **Doãn Văn Huế** (2022), “Một vài đánh giá về sự cố xây dựng công trình liên quan đến đất nền, nước ngầm và địa kỹ thuật ở vùng đồng bằng sông Cửu Long”, *Tuyển tập Kết quả Khoa học và Công nghệ 2020-2021, Viện Khoa học Thủy lợi miền Nam*, Số 22, tr. 407-416.
- [4] **Doãn Văn Huế** (2023), “Ứng dụng lý thuyết độ tin cậy đánh giá an toàn công trình kè bờ sông Sài Gòn đoạn thành phố Thủ Dầu Một”, *Tạp chí Khoa học và Công nghệ Thủy lợi, Viện Khoa học Thủy lợi Việt Nam*, Số 76, tr. 86-90.
- [5] **Doãn Văn Huế** (2023), “Tính toán độ tin cậy yêu cầu và đề xuất giải pháp nâng cấp công trình kè bờ sông Sài Gòn đoạn thành phố Thủ Dầu Một”, *Tạp chí Khoa học và Công nghệ Thủy lợi, Viện Khoa học Thủy lợi Việt Nam*, Số 77, tr. 19-27.

-----///-----

MINISTRY OF EDUCATION  
AND TRAINING

MINISTRY OF AGRICULTURE  
AND RURAL DEVELOPMENT

VIETNAM ACADEMY FOR WATER RESOURCES  
**SOUTHERN INSTITUTE OF WATER RESOURCES RESEARCH**

**DOAN VAN HUE**

**APPLICATION OF RELIABILITY THEORY IN THE SAFETY  
ANALYSIS OF SOUTHERN RIVER EMBANKMENTS**

Major: Hydraulic construction engineering  
Major code: 9 58 02 02

**SUMMARY OF THE DOCTORAL DISSERTATION IN  
ENGINEERING**

**Ho Chi Minh City, 2025**



## **INTRODUCTION**

### **1. Necessity of the Dissertation**

The Southern region of Vietnam possesses varied economic possibilities. It features a complex network of rivers and canals, mostly governed by two principal river systems: Dong Nai and Mekong. Rivers in this area are often large and deep, with weak geological foundations and severe annual morphological changes. Coastal regions are often affected by waves, storms, and tidal currents, in addition to rising sea levels resulting from climate change. Furthermore, upstream water management is affected by actions in other countries, especially China. Some parts of rivers are severely eroded due to human activities such as the rapid urbanization of riverside communities and unregulated sand mining, which worsen changes in the riverbed and riverbank. To combat erosion and protect infrastructure, residential areas, and production zones along rivers, substantial investments amounting to thousands of billions of VND have been made in the construction of river embankments.

River embankments often serve multiple purposes; however, their safety is frequently jeopardized by failures caused by increasingly complex natural uncertainties. Over the past 15 years, incidents of embankment instability (e.g., in the rivers of Can Tho, Tien, Hau, Nha Be, and Sai Gon) have been on the rise. Accurate safety evaluations of embankments are critical for their effective management. In Vietnam, current evaluations primarily rely on traditional (deterministic) methods that do not account for riverbank erosion risks, leading to inaccurate safety assessments and inadequate remedial measures, which can result in structural failures and significant damage to riverside communities.

This dissertation investigates the application of reliability theory (RT) and risk analysis (RA) in assessing embankment safety, incorporating erosion risks. The aim is to enhance the accuracy of safety evaluations, serving as a basis for the scientific and effective management and upgrading of river embankments.

### **2. Objectives of the thesis**

- To develop a method to evaluate embankment safety levels using RT.
- To apply this method to the design and upgrading of river embankments in Southern Vietnam.

### **3. Subjects and scope of the thesis**

*Subjects:* river embankments.

*Scope:* existing river embankments in the Southern Region of Vietnam.

### **4. Approach and methodology of the thesis**

*Approaches:* The thesis adopts a comprehensive approach encompassing: (1) a System-based approach; (2) Integrated approach; (3) Approach based on the utilization and development of previous research findings; (4) Sustainable approach; and (5) Modern approach.

*Methods:* (1) Principal methodologies: RT and RA; (2) Investigation and data collection methods; (3) Statistical analysis methods; (4) Analytical and inheritance methods; (5) Method of mathematical modeling and application of scientific advancements; and (6) Expert consultation method.

## **5. Scientific and practical contributions of the thesis**

**Scientific contributions:** By formulating and solving system-based problems, this study provides a scientific foundation for evaluating river embankment safety, taking riverbank erosion into account. This includes determining the system's probability of failure (PF), defining the reliability requirements for embankments using RT and RA, and designing structures to fulfill the specified reliability standards.

**Practical contributions:** The study identifies and analyzes the mechanisms that contribute to the unsafety of river embankments, and it quantifies the safety levels by determining the permissible PoF and the required reliability indicator. This functions as a basis for the selection of solutions that will improve the safety of embankments. The method has been effectively implemented to evaluate the safety of the embankment along the Saigon River section that flows through Thu Dau Mot City.

## **6. Novelty of the dissertation**

- (1) The dissertation has established the methodology for assessing the reliability of river embankment systems and acceptable risk thresholds to determine optimal reliability. It additionally presents a design calculation for river embankments based on optimal reliability.
- (2) It applies reliability analysis to a typical embankment system protecting the Saigon Riverbank in the section passing through Thu Dau Mot City. It quantifies the current safety indicator and the required reliability, taking into account the risk of riverbank erosion. It also proposes solutions for upgrading the embankment to meet the required reliability.

# **CHAPTER 1. OVERVIEW OF RIVER EMBANKMENT SAFETY EVALUATION USING RELIABILITY THEORY AND RISK ANALYSIS**

## **1.1. Overview of embankments for Southern Vietnam's rivers**

### ***1.1.1. Characteristics of river embankments***

An embankment typically comprises three main components: the foundation, the body, and the crest. Along a cross-section of an embankment, the impact of loads varies depending on the elevation.

Based on cross-sectional shapes, an embankment can be categorized into three types: sloped revetment, vertical retaining wall, and hybrid one (a combination of sloped revetments and vertical walls).

### ***1.1.2. Overview of riverbank erosion and embankment failures in Southern Vietnam***

The analysis of failures of embankments in the past decade has been conducted for embankments along Nguyen Tri Phuong Street in Thu Dau Mot City, Phuoc Loc Bridge's downstream left bank in Nha Be District, Hau River in An Giang Province, Can Tho River, Tien River near Binh Thanh Market in Dong Thap Province, and Ganh Hao River in Bac Lieu Province. Combined with research findings and assessments of the stability and effectiveness of riverbank protection solutions and technologies applied to thousands of embankment projects constructed in the Southern region over many years, it has been shown that the primary causes of embankment instability besides the lack of comprehensive river training planning stem mainly from hydraulic factors in the riverbed. These include localized scouring at the embankment toe exceeding allowable limits, leading to localized instability mechanisms due to toe scouring and overall structural instability.

a) The causes of riverbank erosion in Southern Vietnam can be attributed to both human-induced and natural factors, including river flow, construction activities that narrow or alter the river flow, sand mining, tidal effects, waves caused by wind and boats and ships navigating the river, etc.

b) The causes of river embankment failures can be summarized into two main groups: subjective causes and objective causes. Subjective causes include weaknesses in surveying, design, construction, and management practices, collectively referred to as poor construction quality and operational management. Objective causes relate to the unpredictability of natural disasters such as floods, storms earthquakes, etc.

The examination of the operational attributes and failure processes of embankment structural components resulting in their failures can be categorized into two groups of causes. The first group involves structural inadequacies of the embankment, as evidenced by phenomena such as slope sliding or tilting, longitudinal or transverse cracking, etc. The second group pertains to operational management issues, reflected in phenomena such as toe scouring, damage caused by ship docking, and violations of the safety corridor of the structure. These causes are interconnected and influence each

other according to systemic logic.

### ***1.1.3. Analysis of causes of river embankment failures***

The causes of failures of the embankment are often directly related to the process of riverbed erosion. This is due to the changing load conditions during its operation, which vary in both space and time, as follows:

a) Factors increasing the forces causing overall sliding include: additional loading on its surface; saturation of riverbank soil increasing its weight, generating seepage pressure; lowering of river water levels; and riverbed scouring at its base, leading to increased horizontal forces exceeding the allowable limits.

b) Factors reducing the resisting forces of anti-sliding masses include: erosion of the riverbed; degradation of counterweight soil masses on the riverbank slope; and continuous changes in the riverbank soil condition (drying and wetting cycles causing cracking and reduced cohesion between particles).

## **1.2. Overview of research on the application of RT and RA in water resource management and embankment safety evaluation**

RT has been applied since 1920 and gained significant development momentum in the 1970s. The United States and Canada were pioneers in applying RT to assess the safety of large dams in the 1990s. Combining RT with RA for the safety evaluation of dams and reservoirs was initiated in Germany, the Netherlands, and Australia in 1996. This approach quickly spread to European countries and the United States, becoming a central topic at International Commission on Large Dams (ICOLD) conferences since 2000.

In Vietnam, RT has been applied in hydraulic engineering since 2000, focusing on flood control structures, sluices, canal systems, and other structures on canals and head works of reservoirs. Prominent researchers in this field include Nguyen Van Mao, Nguyen Quang Hung, Pham Hong Cuong, Mai Van Cong, Le Xuan Bao, Tran Quang Hoai, etc. In the field of reservoir safety, Nguyen Lan Huong and Cam Thi Lan Huong developed a methodology for RT assessment of reservoir headworks.

However, in Vietnam, most studies have focused on applying RT and RA to evaluate the safety of dams, canal systems, and dikes without a comprehensive study integrating RT analysis of embankment systems with RA of riverbank erosion.

Currently, three software tools are widely used internationally for RT calculations: Bestfit, VaP, and Open FTA. In Vietnam, DCT2007 is used for evaluating the quality of irrigation systems based on Level II RT, and SYPRO2016 is used to determine the RT of structures (earth dams, spillways, and sluices) at grades II and III.

### **1.3. Existing issues in the embankment safety assessment in Vietnam**

In Vietnam, the evaluation of river embankments is mainly conducted using a deterministic method. Riverbank erosion risks have been considered but not comprehensively addressed, typically focusing on one of two aspects: (i) Assessment of embankment safety, without considering the relationship between reliability and erosion risks; (ii) Damage statistics to propose reasonable operation and management, and erosion risk mitigation measures, without linking these to the current state of the embankment.

The current safety assessment of embankments exhibits the following shortcomings: (i) Only simple layout schemes of embankment are considered; (ii) A comprehensive analysis of individual components and the overall embankment system is lacking; (iii) Evaluation results do not objectively or fully reflect the actual state of the embankments; (iv) Erosion damage and risk assessment are necessary but remain underdeveloped; and (v) studies are fragmented and fail to integrate embankment safety with erosion.

### **1.4. Directions and issues to be addressed in the thesis**

The combined method of RT and RA represents a modern approach that addresses the shortcomings in the safety assessment of Vietnam's river embankment. The thesis aims to develop a methodology for assessing river embankment safety, incorporating erosion risk analysis.

### **1.5. Conclusion of Chapter 1**

Through an analysis of Southern Vietnam's river embankments, a review of the research and application of RT in the water resource field and river embankment safety globally and Vietnam; and an evaluation of the pros and cons of notable studies, Chapter 1 highlights the existing gaps in Viet Nam. Based on these findings, the thesis focuses on developing a methodology for evaluating river embankment safety through RT and RA. It also proposes optimal solutions for repairing and upgrading the embankments to meet acceptable erosion risk levels.

## **CHAPTER 2. SCIENTIFIC BASIS OF THE RT AND RA IN ASSESSING THE SAFETY OF RIVER EMBANKMENT**

### **2.1. Reliability theory for the evaluation of the river embankment safety**

#### ***2.1.1. Concept of river embankment safety***

- a) River embankment safety encompasses the safety of its structures as well as related infrastructure along it.
- b) RT employs system analysis and stochastic theory to determine the probability of failure (PF) for individual failure mechanisms, ultimately combining these to

derive the overall failure probability for the entire embankment. The reliability index ( $\beta$ ) is used to assess the safety level of the structure.

c) Risk and risk analysis:

Risk is defined as the product of the likelihood of failure and the consequences of the failure. For river embankments, risk is calculated as the product of the probability of failure and the damage caused by the failure.

The RT and RA methods determine the scale of the embankment based on acceptable risk by establishing the relationship between its failure probability and the corresponding damage through a risk function.

### **2.1.2. Reliability of a failure mechanism**

a) *Failure mechanism (FM) concept*: is a type of structural damage resulting from mechanical-physical interactions between the boundary conditions and the structure. It is modeled using two variables, including resistance capacity (R) and applied load (S).

b) *Reliability function for an FM*: The reliability function (Z) represents the remaining resistance capacity (R) under the influence of an applied external load (S). It is defined at the limit state, where negative values of Z correspond to failure/damage, while positive values indicate safe operation. The reliability function is expressed as:

$$Z = R - S \quad (2-1)$$

c) *Solving reliability functions for a FM*: The reliability function can be solved at three levels: Level I: Calculations based on allowable safety factors; Level II: (Approximation method) The reliability function is linearized, and the probability density function is replaced by a standard normal distribution; and Level III: Fully stochastic analysis where the probability density function is preserved.

d) The reliability index ( $\beta$ ) is used as an alternative to the reliability or failure probability  $P_f$  and is calculated as:

$$\beta = \Phi^{-1}(1 - P_f) \quad (2-48)$$

Where,  $\Phi^{-1}$  is the inverse of the standard normal cumulative distribution function.

### **2.1.3. Fault tree diagram**

A structure may be subjected to multiple failure mechanisms that compromise its safety. For river embankments, common mechanisms include: overtopping, slope sliding, toe scouring, settlement, overturning, and tilting. To assess its safety, all potential failure mechanisms for each component of the structure must be combined, and their interrelations within the system are represented through a fault tree diagram.

The fault tree diagram employs a standardized system of symbols to represent failures and linkage gates to illustrate the relationships between them.

### 2.1.4. Reliability function of a system

There are 2 ways to describe the relationship between fault tree diagrams of components within a system: series connection or parallel connection.

#### a) PF of the series system

The PF of a series-connected system is greater than the maximum reliability of an individual component but less than the sum of the reliability values of all components.

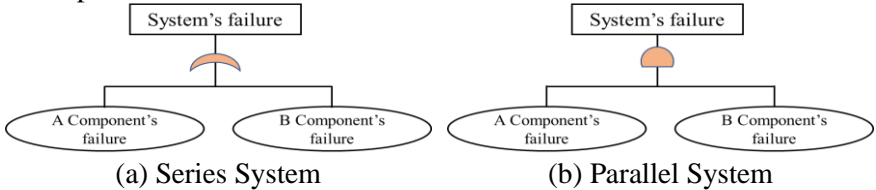


Figure 2-7: Typical fault tree diagram for a system

Ditlevsen proposed the following approximate formulas:

If the Level II method is applied to calculate the PF for each component, the bounds of the system's PF in a system with n components are:

$$\max(P(R_i < S_i)) \leq P_f \leq \sum_{i=1}^n P(R_i < S_i) \quad (2-56)$$

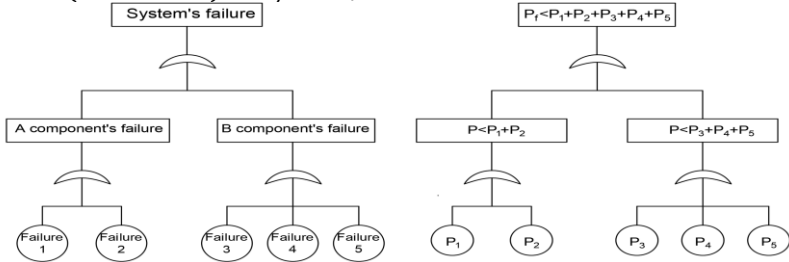


Figure 2-8: Illustration of determining the failure probability of a series system

#### b) PF of the parallel system

The system fails when all its components fail. The failure domain is defined as:

$$E_1 \cap E_2 \cap \dots \cap E_n \quad (2-58)$$

The PF of the system is:

$$P_f = P(E_1)P((E_2|E_1)P(E_3|E_1, E_2) \dots P(E_n|E_1 \dots E_{n-1})) \quad (2-59)$$

### 2.2. Analysis of riverbank erosion risk

The risk of riverbank erosion due to embankment safety failures is determined as follows:

$$R_R = P_f \cdot C_n \quad (2-61)$$

Where:  $R_R$ : Riverbank erosion risk;  $P_f$ : Probability of a safety failure in the embankment;  $C_n$ : Total damages caused by the consequences of the failure. The results of the riverbank erosion risk analysis are compared with established risk standards or threshold values. If necessary, the technical



These damages are divided into two groups: human and property damage, which can be further categorized as direct and indirect damages, as well as tangible and intangible damages.

### **2.3.2. Methods for evaluating embankment protection zone damage**

There are two common methods for evaluating damage: (i) the statistical method (based on historical data) and (ii) the modeling method combined with verification through field investigation data. The latter method is commonly used by constructing a damage curve (damage function) based on a damage map, verified with historical monitoring data.

The total damage in the downstream area is determined by the following:

$$D = \sum_{i=1}^n F_i \times f(h_i) \quad (2-62)$$

Where: D: total damage;  $F_i$ : Area of the i-th cell (the entire affected area is divided into “n” cells); and  $f(h_i)$ : The damage function corresponding to the erosion level  $h_i$  of the “i” grid.

The damage results are presented in the form of maps and tables detailing the damages corresponding to various erosion levels.

## **2.4. Evaluation of river embankment safety considering erosion risk**

### **2.4.1. Evaluation of erosion risk**

a) *The evaluation of risk* is the comparison of the risk value with the current safety standards based on the acceptable risk value.

b) *The concept of acceptable risk*: It is the maximum potential risk limit for the embankment protection area, considering the reasonable level of impact and occurrence frequency, which forms the basis for determining the required safety level in the design.

b) *Principle of determining acceptable risk from an economic perspective*

From the economic perspective, the acceptable PF is determined based on the optimization of costs and riverbank erosion risks. The total cost of a the system ( $C_{tot}$ ) is defined as the sum of the investment cost ( $I_{Pf}$ ) required for repairing and upgrading the system to achieve a higher safety level than Pf, and the erosion risk ( $R_{Pf}$ ). The optimal PF is determined through the following function:

$$\min(C_{tot}) = \min(I_{P_j} + R_{P_j}) \quad (2-63)$$

Where:  $I_{Pf}$ : Total investment cost for repairs and upgrading the system to a higher safety level, including the construction investment value ( $I_o$ ); the cost for new construction or upgrading the system to a safer level (with [Pfi] lower); and the maintenance cost already incurred for the upgraded structure  $PV(MPf)$ ; i and n: The order and number of investment options for new construction or upgrading of the embankment system under consideration.

The objective function (2-63) reaches an extreme value when:

$$\frac{\partial C_{tot}}{\partial P_f} = 0 \quad (2-64)$$

The solution to equation (2-64) is the acceptable risk value corresponding to the allowable failure probability [Pf] of the embankment, denoted as  $P_{f-opt}$ , which can be determined through analytical and trial methods.



Figure 2-13: Optimizing failure probability in economic perspective

#### 2.4.2. Evaluation of embankment safety

By comparing the PF of the existing system with the allowable PF determined by the acceptable risk of the protected riverbank area, if the current risk value of the embankment system exceeds the acceptable risk for its protected area, it needs to be upgraded to ensure safety.

### 2.5. Conclusion of Chapter 2

Chapter 2 has systematized and summarized the scientific basis for the RT and riverbank erosion RA. In this chapter, the concepts, content, and application of RT and erosion RA for embankment safety have been reviewed. This helps determine riverbank erosion risk, acceptable risk value from an economic perspective, allowable failure probability, and the required reliability of the embankment. From this basic theory, the thesis focuses on developing practical calculations, including RA for the embankment systems, analyzing the reliability of each failure mechanism, and of the system components in Chapter 3.

## CHAPTER 3. ESTABLISHING CALCULATIONS OF THE RT APPLICATION FOR EMBANKMENT SAFETY ASSESSMENT IN THE SOUTHERN REGION

### 3.1. Diagram of the relationship between embankment and riverbank

#### 3.1.1. Diagram of embankments

The structure built along rivers and canals that address erosion, protect residential areas, and infrastructure, and contribute to urban planning is called the river embankment.

It typically consists of several components: the foundation, the body (wall), and the crest. Additionally, auxiliary structures such as drainage culverts, docks, and parks may also be included.

Its spatial arrangement varies depending on its location and function. Generally, the architectural space focuses on three main areas: the water area in front of it, the embankment itself, and the corridor.

### 3.1.2. Structure of the embankment

The embankment typically includes three parts: the foundation, the body (wall), and the top. At various elevations, the degree of impact of the loads on its structure varies.

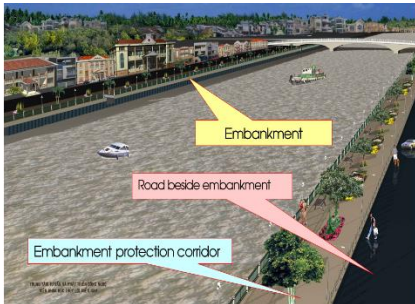


Figure 3-1: Layout of the embankment

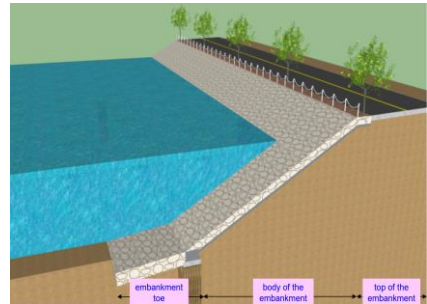


Figure 3-2: Structure of the sloped embankment

For vertical wall embankment, there is no slope. The body of the embankment is often a reinforced concrete (RC) wall built on deep piles or a sheet piling structure (RC prestressed, steel, plastic, composite, etc.) that is driven deep into stable soil. Depending on the geological conditions and the terrain of the riverbank, additional anchoring structures may be incorporated to stabilize the sheet piles.

### 3.1.3. The connection between river embankment safety and erosion

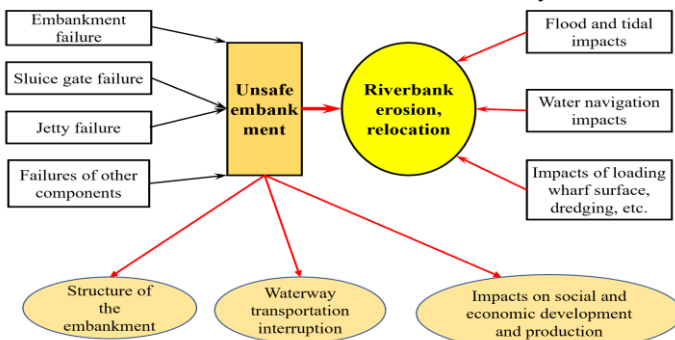


Figure 3-3: Linkage between embankment safety and erosion

Figure 3-3 shows the connection between the safety of the river embankment and riverbank erosion, which is influenced by various practical scenarios such as flood and tide impacts, water traffic, additional load impacts, and dredging. From analyzing the relationship between different sections of the embankment and the riverbank erosion, a general fault tree diagram for the embankment is established in Figure 3.4.

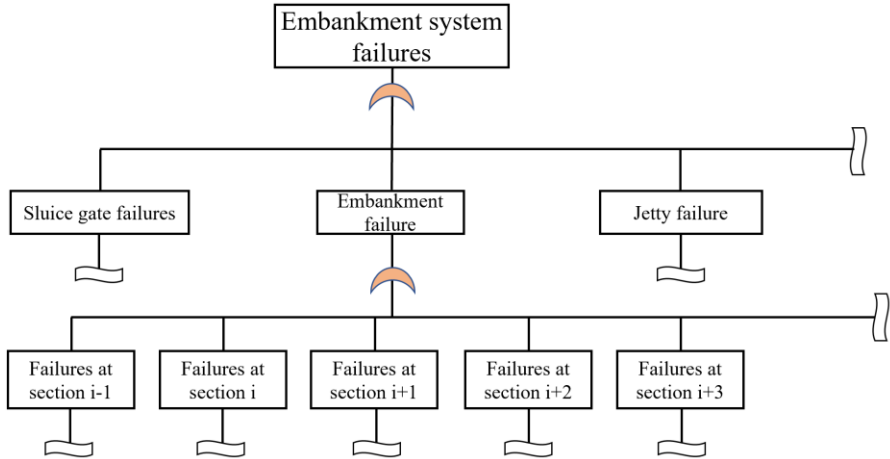


Figure 3-4: General fault tree diagram for the embankment

### 3.1.4. Scope of the thesis

The thesis mainly concentrates on formulating calculations for the implementation of RT and RA in assessing the safety of typical embankments in the Southern region, as detailed below:

- (i) The embankment systems consist of one or more sections, excluding auxiliary components such as sluice gates or docks, which have already been studied [1];
- (ii) The embankment systems with a series of connections.

### 3.2. Establishing the fault tree diagram

The embankment system is thoroughly evaluated from beginning to end. System failures, whether one section or multiple sections, will directly or indirectly result in damage and riverbank erosion, with the loss of overall stability being the most critical failure scenario.

The general fault tree diagram for the embankment is shown in Figure 3-5.

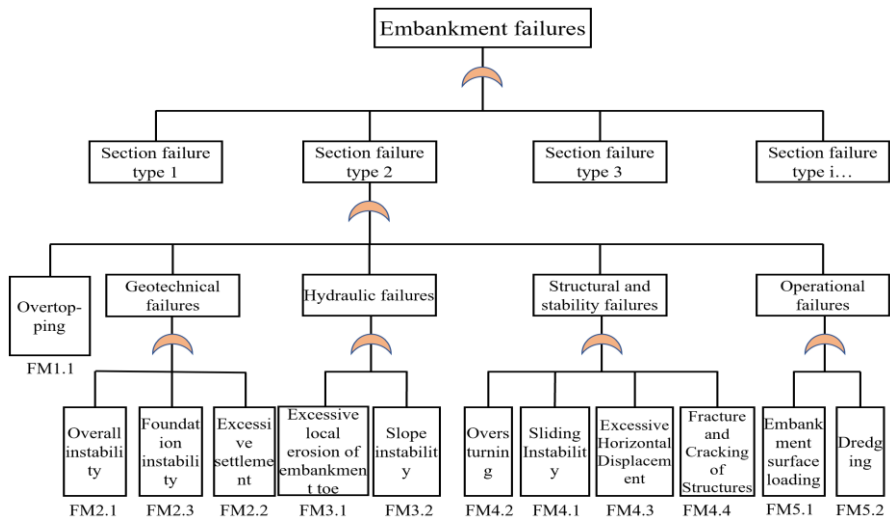


Figure 3-5: Fault tree diagram for the Southern region's river embankments

### 3.3. Establishing the reliability function of the failure mechanism of the embankment

- a) Principles of establishment: Each component of the embankment follows physical and mechanical rules that describe the interaction between the water environment, the soil foundation, and the structure itself. These rules are considered to define the load function (S) and the resistance function (R) when establishing the reliability function.
- b) Conditions of application: the embankment system is modeled as a system with a series connection.
- c) Solving the reliability function: The reliability functions are solved using level 3 Monte Carlo Simulation (MCS).

### 3.4. PF identification and reliability analysis of the embankment

#### 3.4.1. Objective

The aim is to evaluate the current safety condition of the embankment by measuring and comparing its reliability against the applicable safety standards. As such, recommendations are put forth to enhance its reliability and reduce the risk to its protection regions.

#### 3.4.2. Description of the calculations

- a) Implementation process: The process involves determining the safety level for the failure mechanisms of the components of the embankment system, analyzing the safety level of each component, and proposing solutions to enhance the system's safety level and reduce the risk to the protection area.

b) Solving Steps:

- Step 1: Describe the tasks, structure, scale, and current state of the components of the embankment system; identify the relationships between the components.
- Step 2: Analyze the causes of failure according to different failure mechanisms; list potential failures for the system and its components.
- Step 3: Build the fault tree diagram for the system and its components.
- Step 4: Establish and solve the reliability functions of the failure mechanisms to determine the PF.
- Step 5: Analyze the fault tree diagram and compile the PF for the entire system and its components using a failure matrix.
- Step 6: Determine the safety index ( $\beta$ ) for each failure mechanism and the entire system.

*Table 3-4: Failure probability matrix of embankment system*

Components of the embankment	Failure mechanism						Total
	Failure 1	Failure 2	...	Failure i	...	Failure n	
(0)	(1)	(2)	...	(i)	...	(n)	
Segment 1	$p_{11}$	$p_{12}$	...	$p_{1i}$	...	$p_{1n}$	$P_1$
Segment 2	$p_{21}$	$p_{22}$	...	$p_{2i}$	...	$p_{2n}$	$P_2$
...	...	...	...	...	...	...	...
Segment j (the j-th)	$p_{j1}$	$p_{j2}$	...	$p_{ji}$	...	$p_{jn}$	$P_3$
...	...	...	...	...	...	...	...
Other components (m)	$P_{m1}$	$p_{m2}$	...	$p_{mi}$	...	$p_{mn}$	$P_m$
<b>Total</b>	$P_{SC1}$	$P_{SC2}$	...	$P_{SCi}$	...	$P_{SCn}$	$P_{HT}$

### **3.4.3. Results and significance of the calculation**

The results of the calculation provide: (i) Identification of the component with the highest risk of failure ( $P_j \max$ ) to determine the component within the system that needs to be upgraded or repaired; (ii) Determination of the failure mechanism with the highest PF ( $P_{SCi} \max$ ) to propose design solutions for upgrading to increase the reliability of the system.

### **3.5. Developing the failure curve and design curve**

For each failure mechanism, calculations are made for a range of values for the key input parameters of each failure mechanism by keeping the distribution form (standard deviation  $\sigma$ ) constant and varying the expected value ( $\mu$ ). Using the MCS method, the corresponding PFs are calculated, and failure curves and design curves are drawn.

Based on the failure curves for each failure mechanism, the threshold values for the design parameters can be determined to ensure the safe operation of the embankment system. This ensures that the PF for each mechanism is  $\leq$  the allowable PF corresponding to  $[P_{fi}]$ . The calculation, analyzed using Level III reliability analysis via MCS, helps determine the design values for key

parameters of the system, including the crest elevation, protection depth at the base, and critical scour depth, all of which must meet safety conditions for each failure mechanism. The process follows the flowchart shown in *Figure 3-10*.

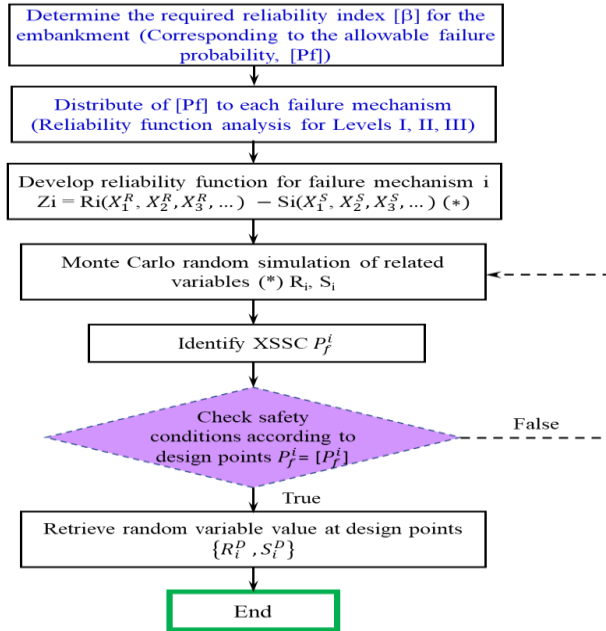


Figure 3-10: Algorithm for determining design value according to level III reliability. The required reliability index  $[\beta]$  corresponding to the permissible PF is determined through Level III MSC, combined with Level II fault tree analysis. This helps assess the influence of each failure mechanism on the overall PF of the entire system, thereby distributing PF for each failure mechanism. Based on this, the required reliability index for each failure mechanism can be determined, forming the basis for the design calculations based on the reliability index for each failure mechanism.

From the required reliability index of each failure mechanism, the design parameters at the design point can be calculated, ensuring that the PF for each mechanism satisfies the allowable PF. This forms the basis for proposing repair and upgrade solutions to meet the required reliability index.

### 3.6. Method for the required reliability determination of the embankment

#### 3.6.1. Method for determining the acceptable risk value

The acceptable risk value for the protected area of the embankment is determined by balancing the level of investment needed to achieve a safety

standard with the potential damages (or risks) according to different investment scenarios.

### ***3.6.2. Required reliability from the acceptable risk value from an economic risk perspective***

The required reliability is determined at the optimal point on the total cost curve, where the total feasible cost of the system is the smallest. The total cost of the system ( $C_{tot}$ ) is determined by the sum of the costs ( $\Delta H$ ) required to upgrade the system for higher safety, the feasible maintenance costs ( $M$ ), and the potential economic damage costs ( $D$ ).

### **3.7. Measures to enhance embankment safety and minimize erosion risk**

When the system's PF of the system exceeds the acceptable one, the system is not safe, and its protected area still faces the potential risk of erosion. In this case, solutions need to be implemented to improve its safety and reduce the erosion risk for its protected area.

#### ***3.7.1. Solutions for reducing riverbank erosion risk (top-down approach)***

Based on maintaining the current state of the embankment system, the acceptable risk for its protected area is determined in the case of the greatest erosion damage due to the loss of system safety. Measures to mitigate risks are then implemented (top-down), such as: maintaining the system; developing disaster and emergency response plans; establishing investment plans for riverbank protection structures such as embankments, etc.

#### ***3.7.2. Solutions for preventing and controlling riverbank erosion (Bottom-Up Approach)***

Investment in the repair and enhancement of the embankment system is determined by the allowed risk for the protected area to achieve the necessary reliability. The scale of system components is established by allocating the permissible reliability [Pf] among them.

#### ***3.7.3. Combined approach to reducing and preventing the erosion risk***

This approach involves simultaneously impacting both the embankment system and its protected area. Management requirements are used to select the "design point" and the PF that best fit the situation: (i) Selecting a "design point" to the left of the optimal point when accepting an increase in risk ( $R$ ) to reduce investment capital ( $I$ ); (ii) Choosing a "design point" to the right when opting to increase investment capital ( $I$ ) to reduce risk ( $R$ ), as illustrated in *Figure 2-14*.

### **3.8. Conclusion of Chapter 3**

The calculations outlined in this chapter demonstrate the relationship between the embankment system safety and riverbank erosion risk. In addition, the scientific basis for determining the current PF and the reliability index ( $\beta$ ) of the system is also established. The design of the system to meet



## 4.2. Assessment of the current safety of the Saigon River embankment section in Thu Dau Mot

### 4.2.1. Safety Analysis Diagram

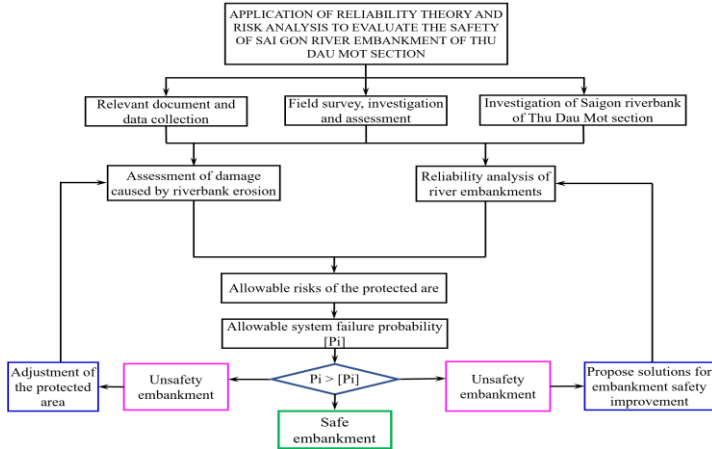


Figure 4-5: Diagram of the calculation

### 4.2.2. Determining the existing PF and reliability index of the embankment

- A schematic of the embankment and its protected area: in Figure 4-3.
- The fault tree diagram: in Figure 4-5.
- The PF and the reliability index ( $\beta$ ) for the various failure mechanisms are summarized in Table 4-21 and Figure 4-11.

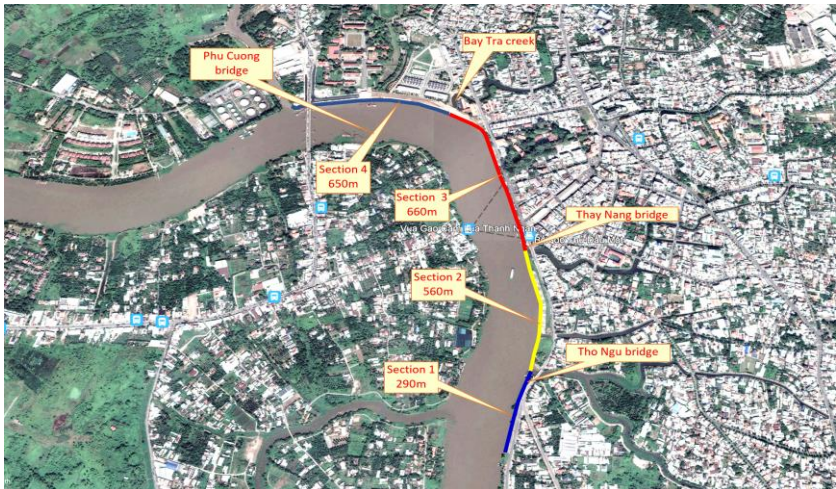


Figure 4-6: Layout of the Sai Gon river embankment of Thu Dau Mot section

Table 4-21: PF of the Thu Dau Mot section of the Sai Gon river embankment

No.	Mechanism of Failure	Label	Scenario 1: Calculated with annual maximum water levels		Scenario 2: Calculated with Design water level in consideration of climate change	
			<i>P<sub>fi</sub></i>	<i>Affected scale</i>	<i>P<sub>fi</sub></i>	<i>Affected scale</i>
1	Overtopping of the embankment	P1	0.043	10.40%	0.054	9.77%
2	Overall instability	P2	0.013	3.11%	0.010	1.83%
3	Excessive settlement	P3	0.034	8.14%	0.063	11.34%
4	Local erosion of the embankment toe	P4	0.173	41.49%	0.245	44.35%
5	Overturning instability	P5	0.025	5.94%	0.037	6.72%
6	Excessive displacement limit	P6	0.122	29.40%	0.138	24.85%
7	Structural breakage	P7	0.006	1.52%	0.006	1.14%
<b>System PF of the system</b>			<b>0.416</b>		<b>0.553</b>	
<b>System reliability</b>			<b>58.40%</b>		<b>44.66%</b>	
<b>System reliability index (<math>\beta</math>)</b>			<b>0.212</b>		<b>-0.134</b>	

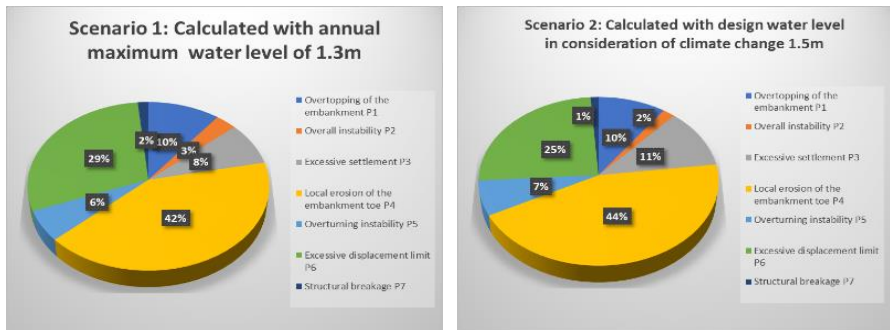


Figure 4-11: Impact levels of failure mechanisms on the safety of the Saigon River embankment section of Thu Dau Mot city

In both calculation scenarios, the PF exceeds the design safety threshold:  $P_f > P_{2\%} = 0,02$ . This suggests that the embankment system has a risk of failure.

#### 4.2.3. Determining the required reliability of the embankment based on erosion risk

a) Developing investment cost curves  $I_{pf}$  for different scenarios are in Figure 4-14.

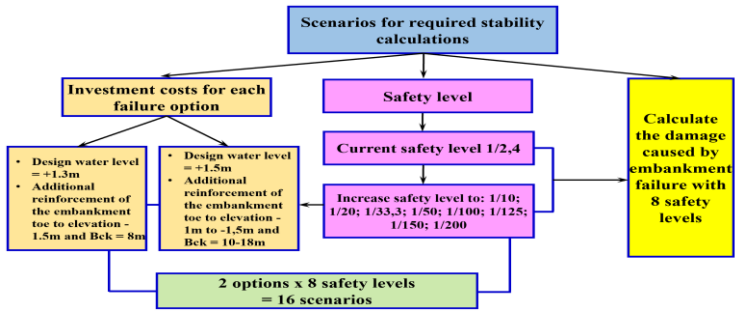


Figure 4-14: Scenarios for determining the required reliability of the Saigon River embankment in the Thu Dau Mot Section

b) Determining investment costs, risk, and total costs

Table 4-27: Frequency of guarantee, investment cost, risk value, and total costs for the Saigon River Embankment Section in Thu Dau Mot

No.	Cycle Period (year)	Frequency 1/year $P_f$	Investment cost $I_{pr}$ (billion VND)		Damage D (billion VND)		Risk $R_{pr}$ (billion VND)		Total cost of the embankment system $C_{tot}$ (billion VND)	
			Scenario 1	Scenario 2	Scenario 1	Scenario 2	Scenario 1	Scenario 2	Scenario 1	Scenario 2
			1	10	0,1	67,77	77,94	9.670,33	12.085,88	967,03
2	20	0,05	182,30	227,87	7.254,69	8.708,36	362,73	435,42	545,03	663,29
3	33,3	0,03	383,42	498,45	3.925,03	4.531,04	117,87	136,07	501,29	634,52
4	50	0,02	952,29	1.257,02	2.705,69	3.111,71	54,11	62,23	1.006,40	1.319,25
5	100	0,01	1.666,50	2.249,78	2.667,45	3.059,18	26,67	30,59	1.693,17	2.280,37
6	125	0,008	2.193,23	2.960,86	1.620,47	1.898,88	12,96	15,19	2.206,19	2.976,05
7	150	0,0067	2.608,17	3.599,28	1.539,95	1.950,91	10,27	13,01	2.618,44	3.612,29
8	200	0,005	3.684,30	5.158,03	1.626,04	2.146,27	8,13	10,73	3.692,44	5.168,76

- Determine the required reliability

The relationship between the allowable PF, total investment cost, risk costs, and total costs of the embankment system is presented in Table 4-27, Figure 4-15, and Figure 4-16.

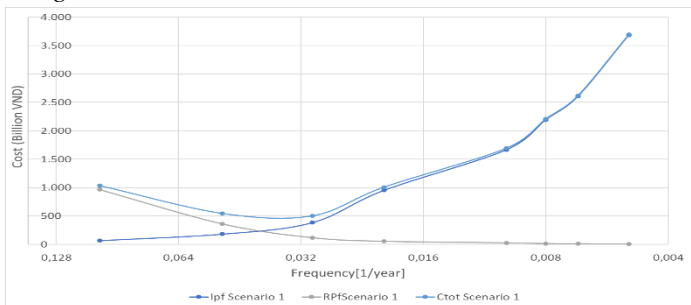


Figure 4-15: The relationship curves ( $I_{pr}$ ), ( $R_{pr}$ ), and ( $C_{tot}$ ) for scenario 1

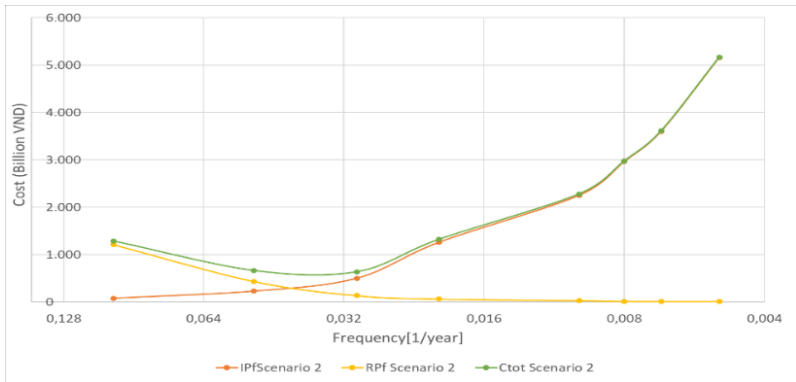


Figure 4-16: The relationship curves ( $I_{Pf}$ ), ( $R_{Pf}$ ), and ( $C_{tot}$ ) for scenario 2  
 c) Choosing the allowable PF for the embankment

Figures 4-15 and 4-16 show that the total cost ( $C_{tot}$ ) reaches its minimum value for both Scenario 1 and 2 at the points where the  $C_{min}$  values are approximately the same, and the optimal reliability ( $Pf\text{-opt}$ ) is 1/33.3.

#### 4.2.4. Safety analysis of the embankment in consideration of erosion risk

The current PF:  $P_{fMNBDKH} = 0.553 > P_{fMN \text{ annual maximum level}} = 0.416 > [P_f] = 0.02 = 1/50$ . Thus, the Saigon River embankment section in the Thu Dau Mot city (designed with a flood protection reliability according to QCVN 04-05:2012/BNNPTNT at  $P = 1.5\% = 1/67$  years) still has the potential for failure. It may experience incidents leading to riverbank erosion and needs to be repaired and upgraded to ensure safety, aligning with the random factors of hydrology, hydraulics, and the changing risk acceptance of the riverbank area compared to the design.

#### 4.2.5. Selecting the upgrading and repairing solutions for the Sai Gon River embankment

The repair and upgrade solutions have been selected as Option 2. In option 2, the designed water level will rise to +1.5m, the embankment toe will be reinforced, and the wall crest will be elevated to +2.0m.

#### 4.2.6. Design of the Saigon River embankment section of Thu Dau Mot City to meet the required reliability

According to the calculations in Table 4-28, the basic cross-sectional dimensions of the Saigon River embankment in the Thu Dau Mot section, planned per RT and an acceptable PF  $[P_f] = 1/33.3 = 0.03$ , exceed those of the initial design. Consequently, the Saigon River embankment in this section needs to be upgraded to meet higher reliability standards.

*Table 4-28: Dimensions of the Sai Gon River embankment section according to the allowable PF*

<b>Failure Mechanism</b>	<b>Overtopping</b>	<b>Excessive settlement limit</b>	<b>Excessive erosion limit of the embankment toe</b>	<b>Excessive horizontal displacement limit</b>
The distribution rate of the reliability	9.77%	11.34%	44.35%	24.85%
PF	$5.4 \cdot 10^{-2}$	$6.3 \cdot 10^{-2}$	$24.5 \cdot 10^{-2}$	$13.8 \cdot 10^{-2}$
Embankment dimensions	$Z_{dk}$ (m)	$Z_{dk}$ (m)	$Z_{ck}$ (m)	$B_{ck}$ (m)
Design values	2.00	2.00	-1.20	12.00

### **4.3. Conclusion of Chapter 4**

The results of the safety calculation and analysis of the Saigon River embankment in the Thu Dau Mot section, within the scope of this study, show that the PF with the designed water level, considering climate change up to 2050  $Pf_{MNTK-BĐKH} = 0.553$  (corresponding to  $\beta = -0.134$ ), is higher than the FP with the maximum annual water level based on the observation series  $Pf_{MN\text{cực tri năm}} = 0.416$ , (corresponding to  $\beta = 0.212$ ), which is greater than the  $[Pf] = 0.02$  (corresponding to a safety level of 1/50 years, and the required reliability considering riverbank erosion risk  $[\beta] = 2.17$ ). Therefore, the section has the potential for failure, causing riverbank erosion, and needs to be repaired and upgraded to ensure safety.

In addition, the calculation results show that the PF increases when the river water level exceeds the elevation of +1.5 meters and the natural ground elevation of the riverbank in front of the embankment is lower than -1.5 meters. Therefore, it is necessary to monitor the erosion dynamics of the riverbed at the embankment base to maintain the natural ground elevation at no less than -1.5 meters, with a minimum width of 12.0 meters.

## **CONCLUSIONS AND RECOMMENDATIONS**

### **1. Achievements of the Thesis**

- (1). A thorough evaluation of the escalating risk of bank erosion and the present safety of the river embankment system in the Southern region has been conducted. The principal reasons for insecurity in the river embankment systems in this region have been identified and summarized.
- (2). The analysis has pointed out existing gaps in determining safety standards and methods for identifying safety indicators for the current embankment systems. These gaps include neglecting the socio-economic development factor in safety standards and overlooking the randomness of loading variables and durability in safety assessments.
- (3). A summary of the international and national developments and application of RT and RA methods to safety assessments has been presented. This

includes analyzing risks and determining required safety standards for river embankments, pointing out professional gaps in applying calculations for these systems, and suggesting future research directions for the thesis.

- (4). The application of RT and RA methods in assessing current and required safety standards for the Saigon River embankment system in the Thu Dau Mot section has been successfully implemented.
- (5). The fault tree and reliability function for common failure mechanisms of the Saigon River embankment components have been developed. Detailed steps for analyzing safety indicators using Level III failure analysis have been provided, considering the future impacts of climate change on the embankment system.
- (6). A Level II fault tree analysis has been used to assess the impact of each failure mechanism on the PF of the entire embankment section. Based on this, required safety levels for each mechanism have been allocated, forming the basis for design decisions based on failure mechanism safety levels.
- (7). Based on the required safety level of each failure mechanism, a design methodology has been developed to determine the optimal design parameters, ensuring that the PF for each failure mechanism meets the allowable criteria.
- (8). The integrated approach to determining required safety standards for the Saigon River embankment system in Thu Dau Mot has been applied to scenarios considering climate change, economic development, and other factors until 2050.

## **2. Contributions of the thesis**

- (1). A reliability calculation for river embankment systems and risk acceptance analysis has been developed, aimed at optimizing the reliability of embankment systems. A design calculation based on optimal reliability for river embankment systems has been proposed.
- (2). The reliability analysis of a typical embankment system protecting the Saigon River bank in Thu Dau Mot has been conducted, quantifying the current safety indicators and reliability requirements, and considering riverbank erosion risks. Recommendations for upgrading and repairing the embankment to meet the required reliability have been provided.

## **3. Limitations**

- (1). The analysis did not consider the failure of other structures along the embankment, such as drainage culverts, piers, etc.
- (2). The influence of upstream reservoir operations on the safety of the embankment system in downstream areas was not accounted for in the calculations.

- (3). The probability distribution functions of the basic random variables were developed based on limited input data, which reduces the reliability of the results.

#### **4. Directions for the next step**

The following development directions are proposed:

- (1). A more comprehensive analysis of the embankment system's safety, considering other structures along the embankment in the fault tree diagram, analyzing the correlations between different failure mechanisms, and exploring joint causes of multiple potential failures.
- (2). Investigating the problem of determining required safety standards for multi-component, multi-objective systems and establishing a database for damage, risk, and load-bearing capacities for safety analysis of embankment systems in Vietnam.
- (3). Considering intangible damage factors in the risk function, including damages caused by forced evacuations and disruptions to local communities, and quantifying the potential consequences of safety failures, such as uncontrolled flood releases from upstream reservoirs and uncertainties in evacuation and early warning systems.
- (4). The basic random variables in this study are assumed to be statistically independent. However, in reality, variables may be dependent, and further research on identifying statistical dependencies between variables and their impact on results is necessary.

#### **5. Recommendations**

The safety analysis of embankment systems in general, and river embankments in particular, using RT and RA methods is complex and requires a large amount of input data to ensure reliability. Therefore, programs and projects should be developed to establish a database on embankment failures, damages, risks, and load-bearing capacities to support the analysis of required safety standards for the systems. The value of protected area damages should be updated regularly based on changes in construction and socio-economic development activities in the study area. Periodic evaluations should be established to adjust embankment classifications and safety standards to match real-world conditions. Additionally, a monitoring system for embankments, meteorological and hydrological data, and riverbank erosion damage should be developed with long-term and synchronized data to improve the accuracy of safety assessments for river embankment systems in Vietnam./.

## LIST OF PUBLISHED WORKS

- [1] **Doan Van Hue**, To Van Thanh, Nguyen Huu Bao (2018), “Some Issues on the Safety of Embankment Systems in the Mekong Delta”, *Journal of Science and Technology in Water Resources*, Vietnam Academy for Water Resources, Volume No. 49, pp. 45-52.
- [2] **Doan Van Hue**, To Van Thanh (2020), “Probability Calculation for Embankment Safety Failures Using Reliability Theory”, *Compilation of Scientific and Technological Results 2019-2020*, Southern Institute of Water Resources Research, Volume No. 21, pp. 357-365.
- [3] **Doan Van Hue** (2022), “Some Evaluations of Construction Failures Related to Soil Foundations, Groundwater, and Geotechnics in the Mekong Delta”, *Compilation of Scientific and Technological Results 2020-2021*, Southern Institute of Water Resources Research, Volume No. 22, pp. 407-416.
- [4] **Doan Van Hue** (2023), “Application of Reliability Theory in Evaluating the Safety of the Saigon River embankment section of Thu Dau Mot City”, *Journal of Science and Technology in Water Resources*, Vietnam Academy for Water Resources, Volume No. 76, pp. 86-90.
- [5] **Doan Van Hue** (2023), “Calculating Required Reliability and Proposing Solutions for Upgrading the Saigon Riverbank Embankment in Thu Dau Mot City”, *Journal of Science and Technology in Water Resources*, Vietnam Academy for Water Resources, Volume No. 77, pp. 19-27.

-----///-----