

**BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO**

**BỘ XÂY DỰNG**

**VIỆN KHOA HỌC CÔNG NGHỆ XÂY DỰNG**

----- \*\*\* -----

**NGUYỄN CÔNG KIÊN**

**NGHIÊN CỨU ĐÁNH GIÁ ĐIỀU KIỆN ĐỊA KỸ THUẬT MÔI TRƯỜNG VÀ  
THIẾT LẬP HỆ THỐNG QUAN TRẮC PHỤC VỤ PHÒNG CHỐNG TAI  
BIẾN VÀ PHÁT TRIỂN BỀN VỮNG ĐỐI ĐỘNG SÔNG HỒNG  
KHU VỰC HÀ NỘI**

**LUẬN ÁN TIẾN SĨ KỸ THUẬT**

**NỘI, NĂM 2023**

**BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO**

**BỘ XÂY DỰNG**

**VIỆN KHOA HỌC CÔNG NGHỆ XÂY DỰNG**

----- \*\*\* -----

**NGUYỄN CÔNG KIÊN**

**NGHIÊN CỨU ĐÁNH GIÁ ĐIỀU KIỆN ĐỊA KỸ THUẬT MÔI TRƯỜNG VÀ  
THIẾT LẬP HỆ THỐNG QUAN TRẮC PHỤC VỤ PHÒNG CHỐNG TAI  
BIẾN VÀ PHÁT TRIỂN BỀN VỮNG ĐỐI ĐỘNG SÔNG HỒNG  
KHU VỰC HÀ NỘI**

**CHUYÊN NGÀNH : KỸ THUẬT ĐỊA CHẤT**

**Mã số : 9 52 05 01**

**LUẬN ÁN TIẾN SĨ KỸ THUẬT**

**NGƯỜI HƯỚNG DẪN KHOA HỌC:**

- 1. PGS.TSKH. TRẦN MẠNH LIÊU**
- 2. TS. ĐINH QUỐC DÂN**

**HÀ NỘI, NĂM 2023**

## LỜI CAM ĐOAN

Tác giả xin cam đoan đây là công trình nghiên cứu của bản thân tác giả. Các kết quả nghiên cứu và các kết luận trong luận án là trung thực, không sao chép từ bất kỳ một nguồn nào và dưới bất kỳ hình thức nào. Việc tham khảo các nguồn tài liệu (nếu có) đã được thực hiện trích dẫn và ghi nguồn tài liệu tham khảo đúng quy định.

**Tác giả luận án**  
*Chữ ký*

Nguyễn Công Kiên

## LỜI CẢM ƠN

Luận án được hoàn thành tại đơn vị chuyên môn Viện chuyên ngành Địa kỹ thuật - Viện Khoa học công nghệ Xây dựng, dưới sự hướng dẫn khoa học của hai thầy **PGS.TSKH. Trần Mạnh Liễu** và **TS. Đinh Quốc Dân**.

Trong quá trình thực hiện, Tác giả đã nhận được sự quan tâm giúp đỡ của Ban lãnh đạo Viện Khoa học công nghệ xây dựng, Viện chuyên ngành Địa kỹ thuật, phòng quản lý nghiên cứu sinh Viện Khoa học công nghệ Xây dựng. Tác giả cũng nhận được sự giúp đỡ, đóng góp nhiều ý kiến quý giá của các nhà khoa học thuộc đơn vị chuyên môn như: Viện chuyên ngành Địa kỹ thuật, Viện Khoa học Thủy lợi Việt Nam, Viện Địa kỹ thuật (thuộc Liên Hiệp các hội khoa học kỹ thuật Việt Nam) và các đồng nghiệp. Tác giả xin chân thành cảm ơn sự giúp đỡ quý báu đó, đặc biệt là sự giúp đỡ tận tình, hết lòng của hai thầy hướng dẫn **PGS.TSKH. Trần Mạnh Liễu** và **TS. Đinh Quốc Dân**.

Do thời gian và điều kiện có hạn, bản luận án không thể tránh khỏi những hạn chế nhất định, những vấn đề đặt ra chưa giải quyết được hết. Tác giả rất mong sự đóng góp ý kiến của các thầy, các nhà khoa học và các bạn đồng nghiệp.

Cuối cùng, tác giả xin chân thành cảm ơn gia đình, bạn bè và đồng nghiệp đã động viên, khuyến khích để tác giả hoàn thành luận án.

## MỤC LỤC

MỤC LỤC .....	v
DANH MỤC CÁC HÌNH ẢNH.....	ix
DANH MỤC CÁC BẢNG BIỂU.....	x
DANH MỤC CÁC TỪ VIẾT TẮT .....	xii
MỞ ĐẦU .....	1
1. Tính cấp thiết của đề tài luận án .....	1
2. Mục tiêu nghiên cứu .....	2
3. Đối tượng và phạm vi nghiên cứu .....	2
4. Nội dung nghiên cứu .....	2
5. Cách tiếp cận và phương pháp nghiên cứu.....	3
6. Những luận điểm bảo vệ.....	4
7. Những điểm mới khoa học của Luận án.....	4
8. Ý nghĩa khoa học và thực tiễn .....	5
9. Cơ sở tài liệu của Luận án .....	5
10. Cấu trúc của Luận án.....	6
CHƯƠNG 1. TỔNG QUAN ĐỐI ĐỘNG SÔNG HỒNG, ĐỊA KỸ THUẬT MÔI TRƯỜNG, CƠ SỞ LÝ THUYẾT HỆ THỐNG KỸ THUẬT - TỰ NHIÊN VÀ QUAN TRẮC PHỤC VỤ PHÒNG CHỐNG TAI BIẾN.....	7
1.1. Đối động sông Hồng sự hình thành và phát triển.....	7
1.1.1. Đối động sông Hồng.....	7
1.1.2. Các nghiên cứu về đối động sông Hồng .....	9
1.1.3. Tai biến và phát triển bền vững.....	10
1.2. Địa kỹ thuật môi trường và điều kiện địa kỹ thuật môi trường.....	12
1.2.1. Địa kỹ thuật môi trường (ĐKTMT) .....	12
1.2.2. Điều kiện địa kỹ thuật môi trường.....	16
1.3. Lý thuyết hệ thống kỹ thuật - tự nhiên .....	17

1.3.1. Khái niệm hệ thống kỹ thuật - tự nhiên .....	17
1.3.2. Các tương tác trong hệ thống kỹ thuật - tự nhiên .....	19
1.3. Hệ thống quan trắc.....	22
1.3.1. Khái niệm và phân loại.....	22
1.3.2. Quan trắc địa kỹ thuật môi trường.....	23
1.3.3. Thực trạng quan trắc và xu hướng áp dụng công nghệ mới .....	24
Kết luận chương 1 .....	27
<b>CHƯƠNG 2. HỆ THỐNG KỸ THUẬT - TỰ NHIÊN VÀ ĐIỀU KIỆN ĐỊA KỸ THUẬT MÔI TRƯỜNG ĐỐI ĐỘNG SÔNG HỒNG KHU VỰC HÀ NỘI.....</b>	<b>28</b>
2.1. Hệ thống kỹ thuật - tự nhiên đối động sông Hồng khu vực Hà Nội .....	28
2.2. Điều kiện phụ hệ thống môi trường địa chất.....	30
2.2.1. Điều kiện địa hình, địa mạo .....	30
2.2.2. Điều kiện địa tầng .....	33
2.2.3. Điều kiện kiến tạo, tân kiến tạo .....	35
2.2.4. Điều kiện tính chất cơ lý các lớp đất đá.....	39
2.2.5. Điều kiện địa chất thủy văn .....	48
2.3. Phụ hệ thống kỹ thuật.....	50
2.3.1. Hệ thống đê.....	50
2.3.2. Các công trình xây dựng và hạ tầng kỹ thuật.....	53
2.3.3. Các công trình chỉnh trị sông (kè lát mái, mỏ hàn, cống).....	55
2.4. Phụ hệ thống môi trường xung quanh .....	56
2.4.1. Điều kiện dòng chảy .....	56
2.4.2. Điều kiện hàm lượng bùn cát trong dòng chảy .....	62
2.4.3. Điều kiện lòng dẫn.....	64
2.4.4. Khí quyển, sinh quyển và phần sâu của thạch quyển.....	66
Kết luận chương 2 .....	67
<b>CHƯƠNG 3. ĐÁNH GIÁ PHÂN VÙNG NGUY CƠ CÁC TAI BIẾN ĐỊA KỸ THUẬT MÔI TRƯỜNG.....</b>	<b>68</b>

3.1. Các tai biến địa kỹ thuật môi trường và phân vùng dự báo nguy cơ tai biến.....	68
3.1.1. Các tai biến địa kỹ thuật môi trường.....	68
3.1.2. Phân vùng dự báo nguy cơ tai biến.....	69
3.2. Nguy cơ tai biến xói lở bờ sông .....	70
3.2.1. Đặc điểm tai biến.....	70
3.2.2. Điều kiện, nguyên nhân và cơ chế tai biến.....	73
3.2.3. Phân vùng dự báo nguy cơ xói lở bờ sông .....	74
3.3. Nguy cơ biến dạng thấm nền đê .....	85
3.3.1. Cơ chế biến dạng thấm nền đê trong thời gian mưa lũ.....	85
3.3.2. Cơ sở phân vùng đánh giá dự báo nguy cơ biến dạng thấm nền đê .....	86
3.3.3. Phân vùng đánh giá dự báo ổn định thấm nền đê.....	100
3.4. Nguy cơ tai biến ngập lụt ngoài bãi sông .....	102
3.4.1. Đặc điểm khả năng thoát lũ.....	102
3.4.2. Bản đồ phân vùng đánh giá nguy cơ ngập lụt.....	108
3.5. Nguy cơ lún nền đê.....	111
3.3.1. Cơ sở phương pháp .....	111
3.3.2. Bản đồ phân vùng nguy cơ lún nền đê .....	115
Kết luận chương 3 .....	117
<b>CHƯƠNG 4. LUẬN CHỨNG CƠ SỞ VÀ THIẾT LẬP HỆ THỐNG QUAN TRẮC</b> <b>ĐKTMT PHỤC VỤ PHÒNG CHỐNG TAI BIẾN VÀ PHÁT TRIỂN BỀN VỮNG ĐỐI</b> <b>ĐỘNG SÔNG HỒNG KHU VỰC HÀ NỘI.....</b>	<b>118</b>
4.1. Cơ sở thiết lập hệ thống quan trắc Địa kỹ thuật môi trường .....	118
4.1.1 Quan trắc phục vụ phòng chống tai biến và phát triển bền vững .....	118
4.1.2. Mục tiêu quan trắc.....	119
4.1.3. Yêu cầu của hệ thống quan trắc .....	119
4.1.4. Nguyên tắc thiết kế .....	120
4.1.5. Quy trình xây dựng hệ thống quan trắc.....	121
4.1.6. Tính toán số điểm và khoảng cách các điểm quan trắc .....	121

4.1.7. <i>Tính toán chu kỳ quan trắc</i> .....	124
4.1.8. <i>Yêu cầu về các thiết bị đo</i> .....	125
4.1.9. <i>Phương pháp quan trắc</i> .....	125
4.1.10. <i>Yêu cầu về quản lý vận hành</i> .....	126
4.2. Hệ thống quan trắc biến dạng thềm nền đê .....	126
4.3. Hệ thống quan trắc xói lở bờ sông.....	129
4.4. Hệ thống quan trắc ngập lụt ngoài bãi sông .....	132
4.5. Hệ thống quan trắc lún nền đê khu vực đới động.....	134
4.6. Hệ thống quan trắc tổng hợp đới động sông Hồng khu vực Hà Nội.....	137
Kết luận chương 4 .....	142
KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ.....	143
DANH MỤC CÔNG TRÌNH ĐÃ CÔNG BỐ .....	145
TÀI LIỆU THAM KHẢO .....	146
PHỤ LỤC .....	



## DANH MỤC CÁC HÌNH ẢNH

Hình 1.1 Đới động sông Hồng.....	8
Hình 1.2 Sơ đồ hoạt động của hệ thống kỹ thuật - Tự nhiên .....	19
Hình 1.3 Sơ đồ nguyên tắc điều khiển hệ thống kỹ thuật - Tự nhiên.....	21
Hình 2.1 Sơ đồ hệ thống KTTN Đới động sông Hồng khu vực Hà Nội.....	28
Hình 2.2 Hoạt động của hệ thống KTTN đới động sông Hồng .....	29
Hình 2.3 Bản đồ địa hình khu vực Đới động (tỷ lệ 1:50 000).....	33
Hình 2.4 Bản đồ địa mạo khu vực Đới động (tỷ lệ 1:50 000).....	33
Hình 2.5 Bản đồ kiến tạo và tân kiến tạo (tỷ lệ 1:50.000) [47].....	38
Hình 2.6 Đê Hà Nội giai đoạn từ 1915 đến nay .....	51
Hình 2.7 Mặt cắt đáy sông [41].....	55
Hình 2.8 Xói lở bờ do khai thác cát [41].....	55
Hình 2.9 Quá trình mực nước trung bình tháng ở Hà Nội những năm lũ lớn.....	57
Hình 2.10 Diễn biến mực nước mùa kiệt cống Liên Mạc (2000-2015) [42] .....	59
Hình 2.11 Biểu đồ mực nước max và min sông Hồng khu vực Hà Nội qua các năm .....	62
Hình 2.12 Lượng bùn cát tại các trạm .....	64
Hình 2.13 Biểu đồ biến đổi lượng bùn cát về hạ du.....	64
Hình 3.1 Hình ảnh xói lở trên sông Hồng khu vực Hà Nội.....	72
Hình 3.2 Vị trí xói lở đoạn Ngã 3 Thao - Đà -Lô đến trạm thủy văn Sơn Tây .....	73
Hình 3.3 Vị trí xói lở đoạn từ trạm thủy Văn Sơn Tây đến Thụy Phương (Từ Liêm).....	73
Hình 3.4 Vị trí xói lở đoạn Thụy Phương (Từ Liêm) đến Cầu Vĩnh Tuy.....	73
Hình 3.5 Vị trí xói lở đoạn Cầu Vĩnh Tuy đến Quang Lãng.....	73
Hình 3.6 Các khoảng phân chia của chỉ số $I_{\Sigma}$ .....	83
Hình 3.7 Bản đồ phân vùng đánh giá nguy cơ xói lở bờ (Tỷ lệ 1: 50 000).....	84
Hình 3.8 Sơ họa quá trình phá hủy thềm nền đê [21, 22].....	85
Hình 3.9 Hình ảnh phá hủy thềm nền đê Vân Cốc - Hà Tây năm 1986 [21, 22].....	85
Hình 3.10 Sơ đồ xác định áp lực dòng thấm gia tăng .....	87

Hình 3.11 Mặt cắt địa chất công trình của 6 trạm thủy văn .....	90
Hình 3.12 Biểu đồ diễn biến mực nước lũ năm 1996 tại các trạm thủy văn.....	91
Hình 3.13 Biểu đồ diễn biến áp lực thấm $\Delta H(x,t)$ của dòng thấm.....	97
Hình 3.14 Bản đồ phân vùng ổn định thấm nền đê (Tỷ lệ 1: 50 000).....	101
Hình 3.15 Đường quan hệ mực nước H và lưu lượng Q trạm Sơn Tây [60].....	103
Hình 3.16 Đường quan hệ mực nước H và lưu lượng Q trạm Hà Nội [60].....	105
Hình 3.17 Đường quan hệ mực nước H và lưu lượng Q trạm Thượng Cát [60].....	106
Hình 3.18 Đường quan hệ Q tại Hà Nội với H (cm) tại Hưng Yên [60].....	107
Hình 3.19 Bản đồ phân vùng ngập lụt theo 3 cấp báo động (tỷ lệ 1: 50 000).....	110
Hình 3.20 Kích thước mặt đê thực tế .....	114
Hình 3.21 Biểu đồ lún trên 2 tuyến đê Tả và Hữu .....	115
Hình 3.22 Bản đồ phân vùng lún tối đa nền đê (tỷ lệ 1: 50 000) .....	116
Hình 4.1 Sơ đồ đảm bảo phát triển bền vững hệ thống kỹ thuật - tự nhiên .....	120
Hình 4.2 Tính khoảng cách giữa các điểm quan trắc số liệu ổn định .....	122
Hình 4.3 Xác định khoảng cách giữa các điểm quan trắc số liệu không ổn định .....	123
Hình 4.4 Xác định tần số quan trắc trong điều kiện cơ chế của tai biến không ổn định..	125
Hình 4.5 Bản đồ vị trí tuyến quan trắc biến dạng thấm nền đê (Tỷ lệ 1:50 000).....	128
Hình 4.6 Bản đồ vị trí tuyến quan trắc xói lở bờ (Tỷ lệ 1: 50 000).....	131
Hình 4.7 Bản đồ vị trí tuyến quan trắc ngập lụt (Tỷ lệ 1: 50 000).....	133
Hình 4.8 Bản đồ vị trí tuyến quan trắc lún nền đê (Tỷ lệ 1: 50 000) .....	136
Hình 4.9 Bản đồ hệ thống quan trắc tổng hợp (Tỷ lệ 1: 50 000).....	139

### **DANH MỤC CÁC BẢNG BIỂU**

Bảng 1.1 Các quá trình phát sinh do hoạt động của hệ thống KTTN .....	20
Bảng 2.1 Các đặc trưng thủy văn .....	56
Bảng 2.2 Các cấp báo động tại các trạm thủy văn .....	58
Bảng 2.3 Tần suất xuất hiện các đỉnh lũ tại Hà Nội (%) (Theo số liệu của Viện QHTL) .	60
Bảng 2.4 Đỉnh lũ và thời gian ngâm lũ sông Hồng tại trạm Hà Nội.....	60
Bảng 3.1 Giá trị trọng số của các yếu tố.....	81

Bảng 3.2 Kết quả tính toán .....	81
Bảng 3.3 Vùng nguy cơ xói lở bờ khu vực nghiên cứu.....	83
Bảng 3.4 Thông số địa chất thủy văn tại mặt cắt các trạm thủy văn.....	89
Bảng 3.5 Thông số địa chất của các lớp tại các mặt cắt tính toán.....	89
Bảng 3.6 Số liệu đo mực nước tại các trạm thủy văn lũ 1996.....	91
Bảng 3.7 Kết quả biến đổi áp lực gia tăng dòng thấm $\Delta H$ .....	93
Bảng 3.8 Nguyên tắc phân vùng ổn định nền đê.....	100
Bảng 3.9 Mực nước H ứng với cấp lưu lượng Q tại trạm Sơn Tây [60].....	103
Bảng 3.10 Mực nước H ứng với cấp lưu lượng Q tại trạm Hà Nội [60].....	104
Bảng 3.11 Mực nước H ứng với các cấp lưu lượng Q tại Thượng Cát [60] .....	105
Bảng 3.12 Mực nước H (cm) tại Hưng Yên với cấp Q tại Hà Nội qua 4 thời kỳ [60].....	107
Bảng 3.13 Các cấp báo động mực nước lũ.....	108
Bảng 4.1 Bậc của đa thức K và số lượng hệ số.....	121
Bảng 4.2 Tên và vị trí các tuyến quan trắc tổng hợp.....	137
Bảng 4.3 Tuyến quan trắc theo từng cấp ưu tiên triển khai .....	140

## DANH MỤC CÁC TỪ VIẾT TẮT

<b>Ký hiệu viết tắt</b>	<b>Chữ viết đầy đủ</b>
ĐĐSHHN	Đới động sông Hồng khu vực Hà Nội
ĐCCT	Địa chất công trình
ĐCĐL	Địa chất động lực
ĐKT	Địa kỹ thuật
ĐKTMT	Địa kỹ thuật Môi trường
MTĐC	Môi trường địa chất
HTKTTN	Hệ thống kỹ thuật - tự nhiên

## TÓM TẮT

### ĐỀ TÀI LUẬN ÁN:

**“Nghiên cứu đánh giá điều kiện địa kỹ thuật môi trường và thiết lập hệ thống quan trắc phục vụ phòng chống tai biến và phát triển bền vững đới động sông Hồng khu vực Hà Nội”.**

Hà Nội nơi có tốc độ phát triển đô thị hóa nhanh trong những thập niên vừa qua và những năm tiếp theo, dân số ngày càng gia tăng, quỹ đất khai thác sử dụng chỉ có vậy. Trong khi đó hiện hữu khu đất giữa hai con đê sông Hồng có đầy tiềm năng trong quy hoạch với diện tích hơn 37.000 ha nhưng chưa được sử dụng một cách hiệu quả. Bởi đây là một *Đới động* được đánh giá tiềm ẩn nhiều nguy cơ phát sinh và phát triển các tai biến địa kỹ thuật môi trường từ các hoạt động tương tác đa dạng về loại hình, biến đổi bất thường về đặc tính theo thời gian, không gian. Để khai thác hiệu quả khu đất này, cần phải có các số liệu quan trắc đánh giá dự báo các tai biến nhằm phòng chống chúng, hiện tại còn đang thiếu chưa đầy đủ và đồng bộ. Các số liệu hiện có, chỉ phục vụ cho các nghiên cứu đơn lẻ với mục đích cụ thể mà chưa có các dữ liệu mang tính toàn khu vực đới động Hà Nội nhằm khai thác một cách bền vững khu vực này, cùng với đó là mạng quan trắc cũng rời rạc thưa và xây dựng đã lâu.

Từ nhu cầu thực tế, với quan điểm Địa kỹ thuật môi trường luận án đi sâu đánh giá điều kiện địa kỹ thuật môi trường hệ thống kỹ thuật - tự nhiên đới động sông Hồng khu vực Hà Nội trên cơ sở lý thuyết hệ thống của G.K. Bondarik. Hệ thống này có sự khác biệt được đặc trưng bởi 3 phụ hệ thống: phụ hệ thống môi trường địa chất có đặc trưng cơ bản là địa tầng và tính chất cơ lý của đất đá khá phức tạp được phân chia làm 23 lớp đất đá, trong đó các lớp cần đặc biệt chú ý gồm: Lớp chứa hữu cơ (lớp 5, lớp 9 lớp 11) là những lớp nhạy cảm với tải trọng tĩnh là điều kiện cho tai biến lún đối với các công trình có tải trọng lớn và dạng dải. Các lớp cát, cát pha (lớp 1, 2b, 3b, 7a, 7b, 13a, 13b) là các lớp nhạy cảm với tải trọng động và cũng là điều kiện cho sự phát sinh các quá trình đùn, xói, hóa lỏng và tai biến biến dạng thắm. Các lớp biến đổi phức tạp theo không gian. Phụ

hệ thống kỹ thuật có đặc trưng cơ bản là hệ thống đê được xây dựng hơn 1000 năm với kết cấu đê thay đổi theo tiến trình lịch sử và phát triển của con người là nguyên nhân gây ra sự mất cân bằng về địa hình trong và ngoài đê làm kéo theo xu thế dâng cao dần đỉnh lũ hàng năm. Bên cạnh đó là hoạt động khai thác cát bừa bãi không kiểm soát với gần 201 điểm khai thác đã gây nên tai biến xói lở bờ sông làm mất đất và nhà cửa của người dân. Phụ hệ thống môi trường xung quanh (với thủy quyển giữ vai trò chính) đặc trưng và giữ vai trò chính là dòng sông Hồng, hoạt động của sông Hồng khu vực đới động chịu sự điều tiết của các đập thủy điện, hồ chứa ở thượng nguồn đã làm cho chế độ thủy văn dòng chảy thay đổi hình thành các khúc uốn theo dạng hình Sin, tại các đỉnh cong của khúc uốn thường xảy ra các hiện tượng xói lở. Ngoài ra sự hình thành các bãi bồi giữa sông làm cản trở khả năng thoát lũ vào mùa mưa như bãi Tân Đức, Xuân Tiến, bãi Vĩnh Lại, Tân Hồng, bãi Đại Độ - xã Võng La, bãi Phú Xá, bãi Trung Hà...

Đới động sông Hồng Hà Nội dưới tác dụng của dòng chảy đã làm phát sinh các tai biến ĐKTMT, trong đó đáng chú ý là các tai biến đã, đang và sẽ tiềm ẩn nguy cơ gây ra các thiên tai như: biến dạng thềm nền đê, xói lở bờ sông, ngập lụt và mất ổn định thân đê. Các bản đồ phân vùng đánh giá dự báo nguy cơ tai biến và các bản đồ thành phần tương ứng được xây dựng trên cơ sở của các yếu tố: cao độ địa hình, kiến tạo, tính chất cơ lý và chiều dày các lớp đất đá, hình thái dòng sông, yếu tố tác động của con người và chế độ thủy văn của dòng sông đã được phân chia thành các vùng khác nhau về tai biến.

Trên cơ sở các bản đồ phân vùng đánh giá nguy cơ tai biến, hệ thống quan trắc đới động sông Hồng được đưa ra với đầy đủ cơ sở khoa học bao gồm: Mục tiêu, nguyên tắc, quy trình, tính toán điểm quan trắc, tính toán chu kỳ quan trắc, các thông số quan trắc, yêu cầu của hệ thống quan trắc, yêu cầu của thiết bị, các phương pháp quan trắc và yêu cầu về quản lý hệ thống quan trắc. Hệ thống quan trắc ĐKTMT phục vụ phòng chống tai biến đã được thiết lập với 30 tuyến quan trắc biến dạng thềm nền đê, 46 tuyến quan trắc xói lở bờ sông, 20 tuyến quan trắc ngập lụt ngoài bãi sông và 33 tuyến quan trắc lún nền đê. Các hệ thống quan trắc trên được tích hợp và hình thành một hệ thống quan trắc tổng hợp phòng chống tai biến và phát triển bền vững đới động sông Hồng Hà Nội bao gồm: 54 tuyến

quan trắc tổng hợp. Hệ thống quan trắc được chia thành những cấp sử dụng theo mức độ ưu tiên để đảm bảo tính khả thi khi áp dụng thực tế gồm 3 cấp: Cấp 1 (12 tuyến) triển khai ở mức ưu tiên số 1; Cấp 2 (25 tuyến) triển khai ở mức ưu tiên số 2; Cấp 3 (54 tuyến) triển khai ở mức ưu tiên số 3.

Các kết quả của luận án góp phần bổ sung cơ sở lý thuyết và phương pháp luận cho hướng nghiên cứu mới Địa kỹ thuật môi trường. Đồng thời, hệ thống quan trắc địa kỹ thuật môi trường đới động sông Hồng có thể áp dụng ngay vào thực tế nhằm bổ sung những dữ liệu cần thiết phục vụ phát triển, quy hoạch và khai thác sử dụng một cách bền vững đới động góp phần làm đẹp thủ đô Hà Nội và giải quyết vấn đề quỹ đất. Bên cạnh đó, kết quả này có thể làm tài liệu tham khảo và áp dụng mở rộng cho các khu vực khác.

## SUMMARY

### THESIS TOPIC:

"Research on assessment of environmental geotechnical conditions and establishment of monitoring system for hazard prevention and sustainable development of the Red River dynamic zone in Hanoi".

Hanoi, where there has been rapid urbanization development in recent decades and the following years, the population is increasing, the exploited land fund is only that. Meanwhile, the existing land between the two Red River dykes has full potential in planning with an area of more than 37,000 hectares but has not been used effectively. Because this is a *dynamic zone* that is assessed to have many potential risks arising and developing environmental geotechnical hazards, the environment is private, the interaction activities are diverse in type, abnormal changes in characteristics over time and space. To effectively exploit this land, it is necessary to have monitoring data to assess and predict accidents to prevent them, which are currently incomplete and incomplete. The existing data only serve for single studies with specific purposes, but there is no data on the whole Hanoi dynamic area to sustainably exploit this area, along with the observation network is also sparse and built for a long time.

From practical needs, with the perspective of environmental geoengineering, the thesis deeply assesses the environmental geotechnical conditions technical - natural systems, Red River dynamic zone in Hanoi on the basis of system theory of G.K. Bondarik. This system has the difference of being characterized by 3 sub-systems: the geological environment subsystem with the basic characteristics of stratigraphy and the mechanical and physical properties of the soil and rock are quite complex divided into 23 layers of soil and rock, of which the layers that need special attention include: Organic storage layers (grade 5, 9, 11) are sensitive to static loads that are conditions for subsidence hazards for buildings with large loads and strips. Sand, phase sand layers (grades 1, 2b, 3b, 7a, 7b, 13a, 13b) are sensitive to dynamic loads and are also conditions for the generation of extrusion, ironing, liquefaction and permeability deformation hazards. The layers vary spatially complexly. The technical subsystem has the basic characteristic that the system has been built for more than 1000 years with the structure changing according to the course of history and human development, which is the cause of the imbalance in the terrain inside and outside the, leading to the trend of gradual increase in flood peaks every year. In addition, uncontrolled indiscriminate sand mining with nearly 201 mining sites has caused riverbank erosion, depriving people of land and homes. Subsystem of the surrounding environment (with the hydrosphere playing the main role) and between the main role of the Red River, the operation of the Red River in the dynamic area is regulated by hydroelectric dams and reservoirs upstream that have caused the hydrological regime of the flow to change the formation of drinking bends in the form of sinusoids, at the curved peaks of the bend often erosion phenomena occur. In addition, the formation of mudflats in the middle of the river hinders the ability to drain floods in the rainy season such as Tan Duc beach, Xuan Tien beach, Vinh Lai beach, Tan Hong beach, Dai Do beach - Vĩng La commune, Phu Xa beach, Trung Ha beach.

Red River dynamic zone in Hanoi under the influence of the flow has given rise to environmental geotechnical hazards, notably the accidents that have been, are and will have the potential to cause natural disasters such as: deformation of permeability, river



bank erosion, flooding and body instability. The zoning maps assessing the risk of accidents and the corresponding composition maps are built on the basis of factors: topographic elevation, tectonics, mechanical and physical properties and thickness of rock layers, river morphology, human impact factors and the hydrological regime of the river have been divided into other regions each other about hazards.

On the basis of zoning maps assessing the risk of hazards, the Red River dynamic zone monitoring system is launched with a full scientific basis including: Objectives, principles, processes, calculation of monitoring points, calculation of monitoring cycles, monitoring parameters, requirements of monitoring systems, requirements of equipment, monitoring methods and requirements for management of monitoring systems. The environmental geotechnical monitoring system for accident prevention has been established with 30 dike permeability deformation monitoring lines, 46 riverbank erosion monitoring lines, 20 river bank flood monitoring lines and 33 dike subsidence monitoring lines. The above monitoring systems are integrated and formed an integrated monitoring system for hazards prevention and sustainable development of the Red River dynamic zone in Hanoi including: 54 integrated monitoring routes. The monitoring system is divided into levels of use according to priority to ensure the feasibility of practical application including 3 levels: Level 1 (12 routes) deployed at priority level 1; Level 2 (25 routes) deployed at priority level 2; Level 3 (54 routes) is deployed at priority level 3.

The results of the thesis contribute to the addition of the theoretical and methodological basis for the new research direction of Environmental Geoengineering. At the same time, the environmental geotechnical monitoring system of the Red River dynamic zone can be immediately applied in practice to supplement necessary data for the development, planning and sustainable use of the dynamic zone, contributing to beautifying Hanoi capital and solving the land fund problem. Besides, this result can serve as a reference and apply extensively to other regions.

## MỞ ĐẦU

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

Phát triển bền vững “*Sự phát triển có thể đáp ứng được những nhu cầu hiện tại mà không ảnh hưởng, tổn hại đến những khả năng đáp ứng nhu cầu của các thế hệ tương lai...*” [Ủy ban Brundland]. Điều này đã trở thành nhu cầu cấp bách trong tiến trình phát triển trên thế giới cũng như của từng Quốc gia. Việt Nam đã có những định hướng chiến lược phát triển bền vững giai đoạn 2011 – 2020 nhằm bảo đảm phát triển bền vững đất nước trong thế kỷ 21.

Hà Nội là thủ đô Văn hóa - Kinh tế - Xã hội của cả nước, nơi có tốc độ phát triển đô thị hóa nhanh trong những thập niên vừa qua và những năm tiếp theo. 37.000 ha khu đất giữa hai con đê sông Hồng có đầy tiềm năng trong quy hoạch sử dụng một cách hiệu quả nhưng cũng chứa đựng những phức tạp trong đánh giá điều kiện địa kỹ thuật môi trường và thiết lập hệ thống quan trắc phục vụ phòng chống tai biến để có thể phát triển bền vững khu vực này. Việc kiến nghị quy hoạch khai thác sử dụng đã được đề xuất như: Dự án Tràn Sông Hồng năm 1994, được đề xuất bởi nhà đầu tư đến từ Singapore. Năm 2006, lãnh đạo Hà Nội và thị trưởng thành phố Seoul (Hàn Quốc) đã ký thỏa thuận hợp tác quy hoạch, cải tạo và phát triển hai bên bờ sông Hồng với dự án có tên gọi “Thành phố bên sông”. Năm 2018, ba Công ty lớn về bất động sản trong nước tiếp tục tự góp vốn kinh phí nghiên cứu quy hoạch hai bên bờ sông Hồng nhưng cho đến nay các dự án này vẫn chỉ dừng lại ở các ý tưởng và kiến nghị.

Thực tế đã cho thấy, đây là một *Đới động* được đánh giá tiềm ẩn nhiều nguy cơ phát sinh và phát triển các tai biến địa kỹ thuật môi trường từ các hoạt động tương tác đa dạng về loại hình, biến đổi bất thường về đặc tính theo thời gian, không gian gắn liền với các hoạt động khai thác của con người, đi kèm sự biến đổi của lòng sông cùng với một cấu trúc địa chất bất đồng nhất, có đặc trưng chất địa chất công trình biến đổi mạnh theo diện và chiều sâu, dẫn đến tính động trong khi sử dụng. Địa hình thay đổi trong trạng thái mất cân bằng với các quá trình tích tụ và xói lở đan xen, sông Hồng đang trở thành sông "treo" gây ra sự mất ổn định bờ sông và đe dọa đến ổn định toàn tuyến đê (vỡ đê) khi nước lũ dâng cao. Bên cạnh đó, việc nghiên cứu sử dụng đới động còn khó khăn trong các quy định của Luật đê điều, đồng thời hệ thống các trạm quan

trắc cung cấp số liệu còn ít và rời rạc, các thông số đo phục vụ tính toán dự báo còn chưa đầy đủ và đồng bộ.

Xuất phát từ mục tiêu khai thác sử dụng bền vững khu vực này cần phải nghiên cứu đánh giá điều kiện địa kỹ thuật môi trường đặc trưng của đới động, đồng thời xác định các tai biến địa kỹ thuật môi trường (ĐKTMT) có thể phát sinh phát triển gây ra nhưng rủi ro cho hoạt động kinh tế của con người. Một hệ thống quan trắc địa kỹ thuật môi trường nhằm cung cấp các thông số đầu vào cho các mô hình tính toán dự báo và đề ra biện pháp phòng chống các tai biến địa kỹ thuật môi trường với đầy đủ cơ sở khoa học nhằm phát triển bền vững đới động là thật sự cần thiết.

Luận án “*Nghiên cứu đánh giá điều kiện địa kỹ thuật môi trường và thiết lập hệ thống quan trắc phục vụ phòng chống tai biến và phát triển bền vững đới động sông Hồng khu vực Hà Nội*” được đặt ra như một nhu cầu cấp thiết, trên cả hai góc độ khoa học và thực tế.

## **2. Mục tiêu nghiên cứu**

- Làm sáng tỏ điều kiện địa kỹ thuật môi trường của đới động sông Hồng khu vực Hà Nội phục vụ khai thác bền vững đới động.
- Thiết lập cơ sở và xây dựng hệ thống quan trắc phục vụ các mô hình dự báo, phòng chống tai biến và phát triển bền vững đới động.

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

Đối tượng nghiên cứu là điều kiện địa kỹ thuật môi trường đới động sông Hồng khu vực Hà Nội và hệ thống quan trắc tương ứng.

Phạm vi nghiên cứu đới động sông Hồng khu vực Hà Nội gồm phần lãnh thổ giữa hai con đê và vùng ảnh hưởng. Khu vực nghiên cứu có diện tích hơn 37.000 ha, trải dài khoảng 117 KM, từ xã Thái Hòa huyện Ba Vì đến Km 117 xã Quang Lãng huyện Phú Xuyên với chiều sâu hết vùng trâm tích Đệ tứ.

## **4. Nội dung nghiên cứu**

Nhằm hoàn thành các nhiệm vụ nêu trên, luận án tập trung nghiên cứu những nội dung chính sau:

- Nghiên cứu tổng quan về Địa kỹ thuật môi trường, điều kiện địa kỹ thuật môi trường cơ sở lý thuyết hệ thống kỹ thuật - tự nhiên và hệ thống quan trắc phục vụ phòng chống tai biến.

- Nghiên cứu đánh giá đặc điểm hình thành và phát triển hệ thống kỹ thuật - Tự nhiên đối động với các phụ hệ thống gồm: phụ hệ thống môi trường địa chất (địa hình, địa mạo, kiến tạo, tân kiến tạo, cấu trúc địa chất, tính chất cơ lý đặc trưng); phụ hệ thống kỹ thuật (hệ thống đê, nhà cửa, cầu cống và các hoạt động khai thác kinh tế); phụ hệ thống môi trường xung quanh (khí quyển, sinh quyển, thủy quyển);

- Nghiên cứu phân tích, đánh giá và thiết lập các bản đồ đánh giá nguy cơ tai biến làm cơ sở cho việc thiết lập hệ thống quan trắc ĐKTMT đối động.

- Luận chứng cơ sở và thiết lập hệ thống quan trắc ĐKTMT nhằm dự báo phòng chống tai biến và phát triển bền vững đối động sông Hồng khu vực Hà Nội.

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

### **5.1. Cách tiếp cận**

- Tiếp cận hệ thống: Tiếp cận vấn đề nghiên cứu theo quan điểm hệ thống với khái niệm hệ thống kỹ thuật - tự nhiên là xem phụ hệ thống môi trường địa chất, phụ hệ thống kỹ thuật, phụ hệ thống môi trường xung quanh (thủy quyển là chủ yếu) và các tác động giữa các phụ hệ này như là một hệ thống nhất. Đặc điểm tương tác giữa các phụ hệ thống trong hệ làm thay đổi trạng thái của hệ, có thể tiến đến trạng thái ổn định khác và có thể tiến tới trạng thái bất ổn định - phát sinh tai biến. Để trạng thái của hệ thay đổi theo ý muốn, hướng tới ổn định, bền vững thì cần một hệ thống quan trắc cung cấp đầy đủ các thông số làm biến đổi hệ thống phục vụ các mô hình tính toán dự báo, từ đó đề ra các biện pháp phòng chống sự mất ổn định của hệ thống.

- Tiếp cận tổng hợp (kế thừa - phát triển - áp dụng): Kế thừa các quy chuẩn, tiêu chuẩn, chỉ dẫn kỹ thuật và những kết quả nghiên cứu cơ bản có liên quan đến vấn đề nghiên cứu ở trong và ngoài nước.

### **5.2. Phương pháp nghiên cứu**

Để giải quyết các nhiệm vụ của luận án đặt ra, các phương pháp nghiên cứu đã được sử dụng là sự kết hợp giữa phương pháp nghiên cứu cơ bản, phương pháp hiện đại và các phần mềm hiện đại như:

- Phương pháp lý thuyết hệ thống;
- Phương pháp hồi cứu;
- Phương pháp khảo sát, điều tra;
- Phương pháp chuyên gia;
- Phương pháp giải tích và phương pháp số (phân tích, xử lý số liệu, lập bản đồ, GIS, phân tích ảnh máy bay, vệ tinh, Geoslope, ArcGIS, ENVI);

## 6. Những luận điểm bảo vệ

Luận án tập trung bảo vệ các luận điểm sau:

**Luận điểm 1:** Điều kiện địa kỹ thuật môi trường đới động sông Hồng khu vực Hà Nội phức tạp, biến đổi mạnh theo không gian và thời gian, được đặc trưng bởi: Môi trường địa chất bất đồng nhất (với 23 phân vị địa tầng được phân chia), nhạy cảm với các loại tác động. Các yếu tố tác động từ các hoạt động kinh tế - xây dựng và môi trường xung quanh đến môi trường địa chất biến đổi đa dạng và mạnh mẽ. Đây là những yếu tố điều kiện và nguyên nhân phát sinh phát triển các tai biến địa kỹ thuật môi trường. Trong đó các tai biến chính bao gồm: biến dạng thắm nền đê; xói lở bờ sông; ngập lụt ngoài bãi sông; lún không đều nền đê với các vùng nguy cơ tai biến rất khác nhau.

**Luận điểm 2:** Hệ thống quan trắc địa kỹ thuật môi trường đới động sông Hồng khu vực Hà Nội được xây dựng trên cơ sở các bản đồ phân vùng nguy cơ tai biến và các bản đồ thành phần của 4 tai biến tương ứng.

## 7. Những điểm mới khoa học của Luận án

1. Điều kiện địa kỹ thuật môi trường đới động sông Hồng khu vực Hà Nội biến đổi theo không gian và thời gian được phân tích đánh giá hoàn chỉnh trên cơ sở của lý thuyết hệ thống kỹ thuật - tự nhiên.
2. Hệ thống các bản đồ phân vùng đánh giá nguy cơ tai biến đới động sông Hồng được xây dựng trên cơ sở phân tích đầy đủ các yếu tố điều kiện, nguyên nhân gây tai biến và được phân chia theo các mức độ nguy cơ khác nhau.
3. Hệ thống quan trắc địa kỹ thuật môi trường tổng hợp được thiết lập trên cơ sở tích hợp 4 bản đồ phân vùng nguy cơ tai biến và các bản đồ thành phần tương ứng với đầy đủ cơ sở khoa học, thực tiễn phục vụ phòng chống tai biến và phát triển bền vững đới động sông Hồng khu vực Hà Nội.

## **8. Ý nghĩa khoa học và thực tiễn**

1. Ý nghĩa khoa học: Góp phần bổ sung cơ sở lý thuyết và phương pháp luận cho hướng nghiên cứu mới Địa kỹ thuật môi trường.
2. Ý nghĩa thực tiễn: Kết quả nghiên cứu của luận án có thể triển khai sớm trên thực tế hệ thống quan trắc địa kỹ thuật môi trường đới động sông Hồng và áp dụng mở rộng cho các khu vực khác.

## **9. Cơ sở tài liệu của Luận án**

Luận án được xây dựng trên cơ sở các tài liệu là kết quả của các đề tài trọng điểm các thành phố Hà Nội mà tác giả là thành viên trực tiếp tham gia:

- Đề tài “Thu thập kiểm chứng các tài liệu đã có, nghiên cứu bổ sung lập bản đồ phân vùng đất yếu Hà Nội phục vụ phát triển bền vững thủ đô”, Sở khoa học và công nghệ Hà Nội, 2006, chủ trì Nguyễn Huy Phương.
  - Đề tài “Nghiên cứu đánh giá điều kiện địa kỹ thuật môi trường và kiến nghị phương hướng quy hoạch sử dụng đất hợp lý cho khu vực đới sông ven sông Hồng trong phạm vi Hà Nội”, Sở khoa học và công nghệ Hà Nội, Hà Nội, 2006; chủ trì: Đoàn Thế Tường; Trần Mạnh Liễu; Nguyễn Công Kiên.
  - Đề tài “Luận chứng cơ sở khoa học và thiết lập hệ thống quan trắc địa kỹ thuật môi trường cho khu vực đới động ven sông Hồng trên địa bàn Hà Nội”, Sở khoa học và công nghệ Hà Nội, Hà Nội, 2009; chủ trì: Đoàn Thế Tường; Trần Mạnh Liễu; Nguyễn Công Kiên.
  - Đề tài “Nghiên cứu định hướng quy hoạch và khai thác sử dụng không gian ngầm đô thị Hà Nội”, Sở Khoa học và công nghệ Hà Nội, 2013; chủ trì: Trần Mạnh Liễu, Đoàn Thế Tường, Nguyễn Công Kiên.
  - Đề tài “Chuẩn hóa các kết quả nghiên cứu về Địa kỹ thuật - Môi trường thành phố Hà Nội phục vụ công tác quản lý tài nguyên, quy hoạch, xây dựng và sử dụng đất hiệu quả, bền vững”, Sở Khoa học và công nghệ Hà Nội, 2017; chủ trì: Trần Mạnh Liễu, Nguyễn Công Kiên.
- + Ngoài ra luận án còn sử dụng các tài liệu của các đơn vị như: Tài liệu hồ khoan khảo sát địa chất công trình và kết quả đề tài của Viện KHCN Xây dựng, Viện Thủy Công - Viện KH Thủy lợi Việt Nam, Viện Địa chất - Viện Hàn Lâm công nghệ và khoa học

Việt Nam, Viện Địa kỹ thuật - Liên Hiệp các hội khoa học kỹ thuật Việt Nam, Trường ĐH Khoa học Tự Nhiên - Đại học Quốc Gia Hà Nội, Trường ĐH Mỏ Địa chất, Trung tâm quy hoạch và điều tra tài nguyên nước Quốc gia.

## **10. Cấu trúc của Luận án**

Luận án gồm phần Mở đầu, 4 chương kết quả nghiên cứu, kết luận và kiến nghị, tài liệu tham khảo và phụ lục.

Mở đầu

Chương I: Tổng quan đới động sông Hồng, Địa kỹ thuật môi trường, cơ sở lý thuyết hệ thống kỹ thuật - Tự nhiên và quan trắc phục vụ phòng chống tai biến.

Chương II: Hệ thống kỹ thuật - Tự nhiên và điều kiện ĐKTMT đới động sông Hồng khu vực Hà Nội.

Chương III: Đánh giá phân vùng nguy cơ các tai biến ĐKTMT đới động sông Hồng khu vực Hà Nội.

Chương IV: Luận chứng cơ sở và thiết lập hệ thống quan trắc ĐKTMT phục vụ phòng chống tai biến và phát triển bền vững đới động sông Hồng khu vực Hà Nội.

Kết luận và kiến nghị

# CHƯƠNG 1. TỔNG QUAN ĐỚI ĐỘNG SÔNG HỒNG, ĐỊA KỸ THUẬT MÔI TRƯỜNG, CƠ SỞ LÝ THUYẾT HỆ THỐNG KỸ THUẬT - TỰ NHIÊN VÀ QUAN TRÁC PHỤC VỤ PHÒNG CHỐNG TAI BIẾN

## 1.1. Đới động sông Hồng sự hình thành và phát triển

### 1.1.1. Đới động sông Hồng

Đứt gãy Sông Hồng là một hệ thống đứt gãy trượt bằng gồm đứt gãy chính và nhiều đứt gãy phụ kéo dài từ Duy Tây, Vân Nam, Trung Quốc chạy dọc thung lũng sông Hồng đến vịnh Bắc Bộ, với chiều dài trên 1560 km. Đứt gãy Sông Hồng được xem là ranh giới phân chia khối lục địa Nam Trung Hoa và khối Đông Dương và là kết quả của sự va chạm của mảng Ấn Độ vào mảng châu Á. Hoạt động của đứt gãy cách đây 30 triệu năm đến 55 triệu năm về trước và tạo ra các trầm tích Oligocen thượng và Miocen dày 7 - 10 km. Tốc độ dịch chuyển của hai bên đứt gãy  $7\pm 3$ mm/năm.

Sông Hồng được hình thành trên đứt gãy chính, trong thời gian Đệ tứ, sông Hồng đã trải qua các chu kỳ biển tiến và biển thoái sau:

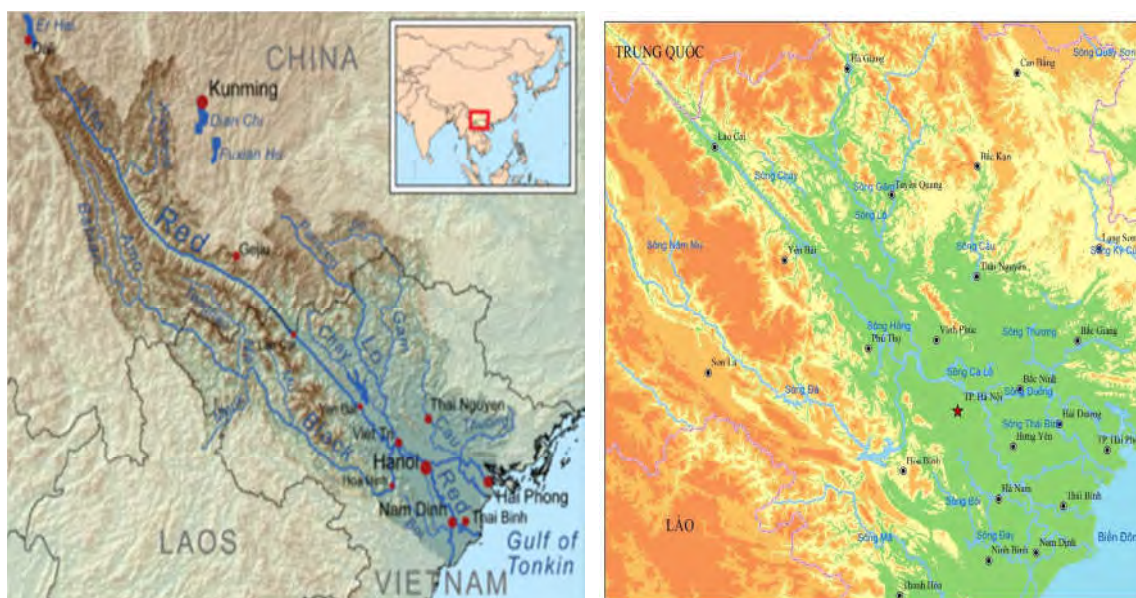
- Băng hà Gunz (1,9 - 1,4 triệu năm cách ngày nay): xảy ra vào đầu Pleistocen sớm gây nên quá trình biển thoái trên vùng biển Việt Nam, lúc này đường bờ cổ nằm ở độ sâu 2000 – 2500m. Kết quả là quá trình biển tiến và tạo thêm biển ở độ cao 80 – 90m bắt gặp ở ven biển miền Trung.
- Băng hà Mindel (800 - 402 ngàn năm cách ngày nay): Xảy ra vào đầu Pleistocen giữa phần sớm (Q12a) gây nên quá trình biển thoái lần thứ 2, ghi dấu đường bờ cổ ở độ sâu 700 – 1000m, gây nên quá trình biển tiến và tạo thêm biển ở độ cao 40 -50m.
- Băng hà Riss (191 – 130 ngàn năm cách ngày nay): xảy ra vào đầu Pleistocen giữa phần muộn tương ứng với chu kỳ biển thoái lần thứ 3 tạo nên đường bờ cổ ở độ sâu 400 – 500m.
- Băng hà Wurm 1 (83 – 50 ngàn năm cách ngày nay): xảy ra vào đầu pleistocen muộn phần sớm tương ứng với chu kỳ biển thoái lần thứ 4 tạo nên đường bờ cổ ở độ sâu 200 – 300m nước, gây nên biển tiến “Vĩnh Phúc” và tạo thêm biển ở độ cao 10 – 15m.
- Băng hà Wurm 2 (40 – 18 ngàn năm cách ngày nay): xảy ra biển thoái lần thứ 5 vào đầu Pleistocen muộn phần muộn tạo nên đường bờ cổ ở độ sâu 100 – 120m nước. Biển tiến Flandrian (18 – 5 ngàn năm): xảy ra vào cuối Pleistocen muộn đến Holocen tạo



nên đường bờ cỏ ở độ sâu 50 – 60m và 25 – 30m nước. Trên đất liền thềm biển và ngân sóng vỗ của mực nước biển cao nhất đạt tới độ cao 5m.

- Biển thoái Holocen muộn (từ 5 ngàn năm đến 1 ngàn năm). Sự thay đổi mực nước biển đã làm thay đổi môi trường tích tụ trầm tích theo chu kỳ, đồng thời tạo nên dòng chảy sông Hồng. Dưới tác dụng bồi xói dòng chảy liên tục đổi dòng đồng thời tạo nên vùng trầm tích gọi là đới động.

Như vậy đới động sông Hồng là vùng trầm tích Đệ tứ liên tục bị biến đổi do tác dụng biến đổi dòng của sông Hồng, theo đó đới động có chiều sâu đến hết chiều sâu trầm tích Đệ tứ, được thể hiện qua Hình 1.1.



Hình 1.1 Đới động sông Hồng

Để khai thác sử dụng đới động sông Hồng, con người đã xây dựng hệ thống đê nhằm kiểm soát lũ, từ đó hệ thống đê sông Hồng đã được hình thành. Theo Việt sử lược năm 1077, nhà Lý cho đắp đê sông Như Nguyệt - sông Cầu, triều Lý Nhân Tông năm thứ 32, mùa xuân tháng giêng, vua xuống chiếu cho trong và ngoài kinh thành đều phải đắp đê ngăn nước lụt. Vào thời nhà Trần năm 1248, nước sông Hồng lên to, đê vỡ làm nội thành bị lụt lội, Nhà vua ra lệnh cho các tỉnh ở hai bên sông Hồng từ thượng nguồn ra tới biển phải đắp đê phòng lũ. Năm Mậu Thìn (1808) vua Gia Long cho đắp thêm 10 đoạn đê mới tại các nơi như Sơn Nam thượng tại các huyện Thanh Trì, Gia Lâm, Văn Giang. Dưới chế độ cai trị của người Pháp, nạn vỡ đê liên tiếp xảy

ra nhất là dọc tuyến đê sông Hồng. Pháp cũng đã tổ chức đắp đê sông qui mô từ 1908 - 1913. Ở Hà Nội, từ năm 1905 đến 1945 đã xảy ra vỡ đê trong 10 năm và có 25 đoạn đê bị vỡ dẫn đến chương trình đắp đê vào năm 1905 đã được xây dựng. Đến năm 1909 đưa ra quy cách và tiêu chuẩn của mặt cắt đê chống lũ với cao trình chống lũ tại Hà Nội là 10.5 m và đến năm 1932 đê có cao trình 13.30 m với chống lũ mức 12.00 m. Sau cách mạng tháng 8-1945 Chính quyền nhân dân chú trọng công tác phòng chống lũ lụt, khắc phục hậu quả của các trận vỡ đê năm 1945.

Từ đó đến nay, Hà Nội tiếp tục củng cố dần các tuyến đê xung yếu và mở rộng tuyến đê phục vụ giao thông đi lại của người dân. Thành phố Hà Nội hiện có 20 tuyến đê chính với tổng chiều dài 469.913 Km, trong đó: 37,709 Km đê hữu Hồng là đê cấp đặc biệt; 211.569 Km đê cấp I (hữu Hồng, tả Hồng, hữu Đuống, tả Đáy); 67.464 km đê cấp II (hữu Đà, tả Đáy, La Thạch, Ngọc Tảo, tả Đuống); 87.325 km đê cấp III (Vân Cốc, Tiên Tân, Quang Lãng, Liên Trung, hữu Cầu, tả-hữu Cà Lò); 65.846 Km đê cấp IV (tả Tích, tả Bùi, Đường 6 Chương Mỹ, Mỹ Hà). Ngoài ra còn có 23 tuyến đê bồi với tổng chiều dài 73.350 km. Đê sông Hồng có một vai trò quan trọng trong việc khai thác, sử dụng khu vực mà con sông Hồng chảy qua từ quá khứ đến hiện tại.

Sau khi đê sông Hồng được hình thành sự đổi dòng của sông Hồng bị khống chế bởi hệ thống đê và hình thành lên một thành tạo mới liên tục biến đổi. Cao độ địa hình, địa mạo mất cân bằng nghiêm trọng và sông Hồng dần trở thành “sông Treo”. Điều này đã kéo theo sự phát sinh phát triển các quá trình và tai biến với những đặc điểm khác biệt của đới này, đó là lý do hình thành **“Đới động sông Hồng khu vực Hà Nội: là vùng đất giữa hai con đê và vùng ảnh hưởng của nó thuộc địa phận Hà Nội, nơi thường xuyên và liên tục xảy ra các quá trình và tai biến địa kỹ thuật môi trường làm ảnh hưởng tới sự phát triển kinh tế - xã hội của khu vực”**, cần phải nghiên cứu với mục đích phát triển bền vững.

### **1.1.2. Các nghiên cứu về đới động sông Hồng**

Từ những thập niên cuối thế kỷ 20 đã có rất nhiều kết quả nghiên cứu đã được công bố về địa chất, trầm tích Đệ tứ, điển hình có các công trình của các tác giả Hoàng Ngọc Kỹ, Ngô Quang Toàn, về thủy động lực dòng chảy có tác giả Nguyễn Văn Cu, PGS.TSKH Nguyễn Thị Kim Thoa, Trần Xuân Thái.

Trước năm 2008 đới động sông Hồng thuộc địa phận Hà Nội cũ đã được nghiên cứu về điều kiện ĐCCT tương đối đầy đủ. Sau năm 2008 có những nghiên cứu đánh giá điều kiện ĐKTMT chi tiến hành đơn lẻ ở những vị trí cụ thể như: nghiên cứu hệ thống đê khu vực Vân Cốc, Cổ Đô, Phúc Thọ, Vĩnh phúc và Hưng Yên (Km 77 T.H, Km 83 T.H, Km 85 T.H, Km 90, Km 96 T.Hồng của tác giả Nghiêm Hữu Hạnh); “Nghiên cứu cơ sở khoa học của sự hình thành và phát triển các loại hình sự cố đê hữu Hồng từ K0-K48, tỉnh Hà Tây và đề xuất các giải pháp phòng chống có hiệu quả” do Viện Địa chất-Viện KH&CN Quốc gia thực hiện năm 2003; "Nghiên cứu đánh giá điều kiện địa chất công trình và dự báo khả năng xuất hiện các sự cố dọc tuyến đê sông Hồng thuộc địa phận Hà Nội" do TS. Trần Văn Tư thuộc Viện Địa chất-Viện KH&CN Quốc gia thực hiện năm 2012. Các tác giả đặt nền móng cho nghiên cứu Địa kỹ thuật môi trường đới động Sông Hồng là PGS.TS. Đoàn Thế Tường, PGS.TSKH Trần Mạnh Liễu “Luận chứng cơ sở khoa học và thiết lập hệ thống quan trắc địa kỹ thuật môi trường trong khu vực đới động ven sông Hồng trên địa bàn Hà Nội” năm 2011.

Tuy nhiên các nghiên cứu của các đề tài trên chỉ mang tính cục bộ về một vấn đề xảy ra trong thực tế mà chưa có một đánh giá đầy đủ nhằm ổn định hệ thống kỹ thuật - tự nhiên đới động sông Hồng bởi giới hạn phạm vi hành chính và số liệu quan trắc còn thiếu vì chưa có một hệ thống quan trắc cung cấp đầy đủ số liệu phục vụ ổn định hệ thống này. Do đó, việc nghiên cứu đánh giá điều kiện địa kỹ thuật môi trường là rất cần thiết. Lý thuyết hệ thống kỹ thuật - tự nhiên của GS.Bondarik.G.K được xem như một cách tiếp cận tốt, làm cơ sở lý thuyết cho nghiên cứu ĐKTMT, hỗ trợ giải quyết toàn diện và triệt để các bài toán phức tạp nhiều số liệu và đề xuất các giải pháp phòng chống các tai biến ĐKTMT xảy ra trong hệ.

### ***1.1.3. Tai biến và phát triển bền vững***

Tai biến địa chất là các hiện tượng tự nhiên tham gia tích cực vào quá trình biến đổi địa hình bề mặt thạch quyển và là một dạng tai biến môi trường phát sinh trong thạch quyển. Các dạng tai biến địa chất chủ yếu gồm núi lửa phun, động đất, nứt đất, lún đất, trượt lở đất.

Tai biến môi trường là quá trình nguy hiểm và gây hại cho con người đang vận hành tiềm tàng trong các hệ thống môi trường nhưng chưa vượt qua ngưỡng an toàn

của hệ thống. Thực ra các hệ thống tự nhiên bao giờ cũng an toàn tự thân. Trái đất luôn tự tạo lập lại sự cân bằng mới như vốn có của nó. Do đó nói đến tính gây hại và tính an toàn trong khái niệm tai biến môi trường là nói đến tác động xấu đến tính mạng và tài sản của con người. Nói đến tai biến chỉ là nói đến sự an toàn của xã hội loài người. Ở đâu chưa có con người, ở đấy chỉ có quá trình tự nhiên mà không có tai biến môi trường. Khi các tai biến vượt quá ngưỡng an toàn (đối với con người) thì nó sẽ trở thành thiên tai hoặc sự cố môi trường. Một quá trình gây hại của tai biến môi trường vận hành trong hệ thống môi trường gồm 3 giai đoạn: giai đoạn nguy cơ (hay hiểm họa): các yếu tố gây hại tồn tại trong hệ thống, nhưng chưa phát triển gây mất ổn định. Giai đoạn phát triển: các yếu tố tai biến tập trung lại, gia tăng, tạo trạng thái mất ổn định nhưng chưa vượt qua ngưỡng an toàn của hệ thống môi trường. Giai đoạn sự cố môi trường: quá trình vượt qua ngưỡng an toàn, gây thiệt hại cho con người về sức khoẻ, tính mạng, tài sản,... Những sự cố gây thiệt hại lớn được gọi là tai họa, lớn hơn nữa được gọi là thảm họa môi trường.

Tai biến địa kỹ thuật môi trường: các quá trình và hiện tượng xuất hiện trong quá trình tương tác của phụ hệ thống môi trường địa chất, phụ hệ thống kỹ thuật và phụ hệ thống môi trường xung quanh với các mức độ khác nhau về cường độ, quy mô và mức độ ảnh hưởng đến sự bền vững của hệ thống. Trong số các tác động và các quá trình tương ứng, quan trọng hơn cả là: quá trình địa chất động lực công trình phát sinh trong MTĐC do tác động từ phụ hệ thống kỹ thuật (lún mặt đất do tải trọng công trình, chuyển hướng dòng chảy do hệ thống kè mỏ hàn, xói lở bờ do khai thác cát..vv.); các quá trình phá hủy công trình trong phụ hệ thống kỹ thuật do nguyên nhân từ nền địa chất (MTĐC); các quá trình địa chất động lực ngoại sinh phát sinh trong MTĐC do tác động từ môi trường xung quanh (xói lở bờ sông, xói sâu lòng..v.v..). Những quá trình kể trên, có thể đe dọa trạng thái hoạt động bình thường của hệ thống hoặc con người, môi trường sống và môi trường xung quanh được gọi là *Tai biến địa kỹ thuật môi trường*. Bởi vì theo (Ragozin, 1995), bản chất vật lý của tai biến địa kỹ thuật môi trường được xem như tính chất của hệ thống biến đổi rất nhanh trạng thái của chúng dưới dạng các tai biến kể trên. Như vậy, tai biến địa kỹ thuật môi trường là các quá

trình và hiện tượng xuất hiện trong quá trình tương tác của 3 phụ hệ thống có thể đe dọa trạng thái hoạt động bình thường của hệ thống kỹ thuật - Tự nhiên.

Phát triển bền vững là sự phát triển hài hòa cả về 3 mặt: Kinh tế - Xã hội - Môi trường để đáp ứng những nhu cầu về đời sống vật chất, văn hoá, tinh thần của thế hệ hiện tại nhưng không làm tổn hại, gây trở ngại đến khả năng cung cấp tài nguyên để phát triển kinh tế - xã hội mai sau, không làm giảm chất lượng cuộc sống của các thế hệ trong tương lai. Điều này là xu thế tất yếu trong tiến trình phát triển của xã hội loài người và đã được trên thế giới thông qua 27 nguyên tắc cơ bản về Phát triển bền vững và Chương trình Nghị sự 21 tại Rio năm 1992.

Các hoạt động xây dựng dẫn đến hủy diệt dần các nguyên liệu khoáng, phát triển các quá trình địa chất nguy hiểm và nhiễm bẩn môi trường sống, các trường địa hóa địa vật lý của môi trường địa chất vượt ra khỏi các giới hạn cho phép, hậu quả của các quá trình đó là phá vỡ điều kiện sống bình thường, phát sinh bệnh tật cho con người và sinh vật trong vùng bị ảnh hưởng. Vì vậy các giải pháp hữu hiệu nhằm đảm bảo ổn định và phục hồi các chức năng môi trường của nền địa chất, hệ thống địa kỹ thuật đã được nghiên cứu lý thuyết và triển khai áp dụng thực tế ở hàng loạt nước công nghiệp phát triển như Nga, các nước SNG, Mỹ, Canada, Thụy Điển, Na Uy, Nhật Bản, Anh Quốc... Một số các vấn đề lý thuyết mới về hệ thống kỹ thuật - tự nhiên, hệ thống địa kỹ thuật và địa kỹ thuật môi trường (ĐKTMT) đã thực sự phát huy tác dụng trong các vấn đề quy hoạch sử dụng hợp lý lãnh thổ, đầu tư phát triển kinh tế, chủ động phòng tránh tai biến, giảm nhẹ thiệt hại, bảo vệ môi trường, bảo vệ các công trình cũng như các hệ thống kỹ thuật trên các miền lãnh thổ.

## **1.2. Địa kỹ thuật môi trường và điều kiện địa kỹ thuật môi trường**

### **1.2.1. Địa kỹ thuật môi trường (ĐKTMT)**

Sự phát triển vô trái đất cùng các hoạt động sống do quá trình khai thác lãnh thổ và gây nhiễm bẩn môi trường trên lãnh thổ đã làm lãnh thổ đó không ngừng biến đổi. Những biến đổi mang tính toàn cầu đã xuất hiện các hiện tượng như tan băng, nước biển dâng, ô nhiễm nguồn nước, thảm họa động đất, sóng thần, sự mất cân bằng sinh thái. Tất cả đã đặt ra các vấn đề cần phải nghiên cứu những biến đổi đó đảm bảo sự phát triển bền vững. Trong xu thế đảm bảo sự phát triển bền vững có những thuật ngữ

khoa học thường được đề cập, đó là môi trường địa chất (Geological environment) và Địa kỹ thuật môi trường (Environmental geoenvironmenting). Trong đó, môi trường địa chất (MTĐC) (Geological Environment) là phần trên cùng của vỏ Trái Đất, bao gồm lớp thổ nhưỡng, nham thạch, khoáng sản, nước dưới đất, cũng như trường vật lý hình thành trong đó, nơi bị con người khai phá để sinh sống và tiến hành các hoạt động nhân sinh và ngược lại, cũng tác động trở lại với con người, chi phối điều tiết một cách tự nhiên, tạo thuận lợi hoặc trở ngại cho cuộc sống và hoạt động của con người. Theo đó Địa chất môi trường là một chuyên ngành của kỹ thuật địa chất dựa trên nền tảng kiến thức của địa chất học để giải quyết các vấn đề về môi trường địa chất như sinh quyển, thạch quyển, thủy quyển và một phần thuộc khí quyển. Vai trò chính của địa chất môi trường là giảm thiểu những tác động đến môi trường của các hoạt động tìm kiếm thăm dò và khai thác khoáng sản, giảm thiểu chất thải từ các hoạt động trên. Một nhánh khác liên quan đến các tai biến tự nhiên là tập trung vào những ảnh hưởng của các tai biến này đối với con người. Bên cạnh đó, địa chất môi trường còn nghiên cứu về quản lý các hệ tự nhiên liên quan đến phát triển bền vững, ví dụ như quản lý các nguồn tài nguyên thiên nhiên hỗ trợ cho sự phát triển kinh tế và xã hội của con người. Tuy nhiên, khái niệm trên lại rất rộng.

Dấu mốc đầu tiên của sự phát triển đó có thể kể đến Hội nghị thế giới đầu tiên về môi trường sống tại Stockholm - Thụy Điển năm 1972. Cũng chính từ đó các ngành khoa học có liên quan đã nhanh chóng cấu trúc lại các nhiệm vụ của mình, lồng ghép với các vấn đề sinh thái, môi trường, tài nguyên và xuất hiện nhiều hướng khoa học mới, trong đó có Địa kỹ thuật môi trường.

Đặc biệt nước Nga là nước đi đầu nghiên cứu địa kỹ thuật môi trường trong khai thác sử dụng tổng hợp lãnh thổ với cơ quan nghiên cứu là Viện nghiên cứu địa kỹ thuật môi trường trực thuộc Viện hàn lâm khoa học Liên bang Nga. Tại đây đã nghiên cứu các nguyên tắc và thành lập các bản đồ địa kỹ thuật môi trường toàn Nga và các vùng lãnh thổ kinh tế quan trọng như vùng Sibêri. Các tác giả đặt nền tảng cho những nghiên cứu địa kỹ thuật môi trường như: I.V.Pôpv, L.Đ.Belui, M.V. Trurinov, Giáo sư G.K. Bondarik, F.P.Xavarensky, N.V.Kolomensky, V.Đ.Lôm-tadze [53, 54, 55].

Ở Mỹ, các vấn đề môi trường trong địa kỹ thuật được nghiên cứu vào khoảng năm 1980, theo C.D. Shackelford cho rằng các vấn đề môi trường cơ bản mà các kỹ sư địa kỹ thuật phải đối mặt liên quan đến (1) Thiết kế và xây dựng các công trình chứa chất thải mới, như bãi chôn lấp được sử dụng để xử lý chất thải rắn đô thị và chất thải nguy hại; (2) Đánh giá và khắc phục của các môi trường bị ô nhiễm bởi các tập quán công nghiệp trong quá khứ đã gây ra mối đe dọa cho sức khỏe cộng đồng và môi trường. Theo C.D. Shackelford một số vấn đề môi trường hiện tại và tương lai phải đối mặt với Kỹ thuật địa kỹ thuật bao gồm bảy vấn đề môi trường hiện tại và tương lai được mô tả như sau: (1) Hiệu suất dài hạn của hệ thống ngăn chặn chất thải; (2) Chấp nhận các hạn chế của vật liệu thay thế; (3) Cần có các quy định mới và vật liệu mới; (4) Xuất hiện các dạng chất thải mới; (5) Tăng tầm quan trọng của các quá trình sinh học; (6) Vai trò của mô hình hóa; (7) Tầm quan trọng của bản sắc nghề nghiệp và sự cần thiết của sự thống nhất các thuật ngữ chuyên môn. Cụ thể các vấn đề trên được nghiên cứu thể hiện qua các tác giả sau:

- Tác giả McInerney et al, 2006 - Những biện pháp giảm thiểu nào có thể được áp dụng cho vùng xung quanh của than bùn để ngăn chặn sự phân hóa và thúc đẩy sự tăng trưởng của các loài đóng góp cho đa dạng sinh học; tác giả Jefferson et al, 2007 - Đề xuất 107 chỉ tiêu địa kỹ thuật môi trường được sử dụng để xác định tính bền vững cho các dự án địa kỹ thuật; tác giả Phear và Harris, 2008 - Cải thiện, gia cố và ổn định đất; tác giả O'Kelly và Naughton, 2008 - Điều tra về cốt thép geogrid kết hợp khả năng thoát nước trong mặt phẳng có thể tạo điều kiện cho việc sử dụng chất độn biên trong việc xây dựng các cấu trúc đất gia cố; tác giả Khatami và O'Kelly, 2013 - Cải thiện các tính chất cơ học cát sử dụng biopolymer [64, 71];

Tại Anh đã có những nghiên cứu địa kỹ thuật môi trường từ những năm 1988, các nhà nghiên cứu đã đưa ra những phương pháp đánh giá về môi trường đối với các công trình xây dựng. Điển hình là phương pháp **BREEAM** (Building Research Establishment Environmental Assessment Method) được đưa ra vào năm 1990, phương pháp xếp hạng EcoHome, hay hệ thống Ecopoints là một công cụ đánh giá môi trường một điểm có thể được sử dụng để đánh giá tác động của tòa nhà hoặc quá

trình đối với môi trường bằng thang điểm từ 1 (tác động thấp nhất) đến 100 (tác động cao nhất) [63].

Ở Nhật bản, các vấn đề địa kỹ thuật môi trường cũng đã được nghiên cứu từ những năm 1990, tuy nhiên họ cũng xuất phát từ các nghiên cứu tính chất hóa học, cơ lý của các vật liệu chống thấm và các cơ chế di chuyển của các chất ô nhiễm được sinh ra từ các bãi rác thải, điều này được thể hiện qua các nghiên cứu của các tác giả như: Tác giả Masashi Kamon, Changyun Ying và Takeshi Katsumi, 12/1997 đã nghiên cứu Ảnh hưởng của mưa axit đến tính chất hóa học và tính cơ lý của đất; tác giả Hideo Komine và Nobuhide Ogata, 04/1999 đã nghiên cứu thực nghiệm về đặc điểm trương nở của hỗn hợp cát- bentonite để xử lý chất thải hạt nhân; Tác giả Masashi Kamon, Huyuan Zhang và Takeshi Katsumi, 06/2002 đã nghiên cứu các hiệu ứng oxi hóa khử đối với sự suy giảm kim loại nặng trong lớp lót đất sét; tác giả Masashi Kamon, H. Zhang, Takeshi Katsumi và Naoki Sawa, tác giả Masashi Kamon, H. Zhang, Takeshi Katsumi và Naoki Sawa, 12/2002 đã nghiên cứu tác dụng oxi hóa khử đối với độ dẫn thủy lực của đất sét) [72];

Tại Việt Nam, trong một số năm gần đây đã phát hiện những biểu hiện của sự phát triển thiếu bền vững trong các hoạt động kỹ thuật, kinh tế xã hội của con người. Những biểu hiện này nằm ở nhiều các sự cố công trình xây dựng có nguyên nhân nền móng, sụt lún bề mặt đất do khai thác quá nước dưới đất, sự ô nhiễm môi trường đất và nước xung quanh các bãi tích chứa chất thải rắn, sự gia tăng quá trình xói lở các bờ sông, hiện tượng nứt đất, nứt thân đê, vỡ đê, ngập lụt ven sông. Các nghiên cứu theo quan điểm địa kỹ thuật môi trường nhằm phòng chống các sự cố công trình và các tai biến ĐKTMT vẫn còn khá mới mẻ chưa được nghiên cứu nhiều. Đã có nhiều các quan điểm về địa kỹ thuật môi trường, đáng chú ý đó là quan điểm của tác giả Bùi Văn Trường “Địa kỹ thuật môi trường là sự kết hợp một cách khoa học của địa kỹ thuật và môi trường để giải quyết những vấn đề ô nhiễm dưới đất. Địa kỹ thuật môi trường có liên quan tới các vấn đề môi trường dưới mặt đất, do đó là một nhánh trong Địa kỹ thuật và Kỹ thuật môi trường. Mục đích mà địa kỹ thuật môi trường hướng tới là bảo vệ và giảm thiểu ô nhiễm môi trường đất và các tầng nước dưới đất. Với mục đích đó, nhiệm vụ chủ yếu của chuyên ngành kỹ thuật này là dự báo, đánh giá mức độ, phạm



vi, tốc độ vận chuyển lan truyền ô nhiễm từ đó đề xuất phương án có tính khả thi và hiệu quả nhất để giảm thiểu ô nhiễm đảm bảo các yêu cầu về kinh tế, kỹ thuật, xã hội và môi trường”. Ngoài ra, các tác giả đặt nền móng cho những nghiên cứu về địa kỹ thuật môi trường còn có: PGS.TS. Đoàn Thế Tường, PGS.TSKH. Trần Mạnh Liễu, PGS.TS Nguyễn Huy Phương, GS. Phạm Văn Ty.

Các qua điểm trên có thể thấy vấn đề về phát triển bền vững của một lãnh thổ chỉ được xem xét độc lập, chưa hướng tới sự phát triển bền vững. Trong khi sự biến đổi bền vững của một lãnh thổ phụ thuộc vào rất nhiều yếu tố có quan hệ mật thiết với nhau, do đó để đảm bảo lãnh thổ bền vững, đề xuất một quan điểm Địa kỹ thuật môi trường là các vấn đề tương tác qua lại giữa môi trường địa chất với các yếu tố liên quan ảnh hưởng đến sự phát triển bền vững của lãnh thổ đó, các yếu tố này được xem xét trong một thể thống nhất gọi là hệ thống kỹ thuật - tự nhiên (KTTN) bằng lý thuyết hệ thống và số liệu quan trắc biến đổi của hệ thống, cụ thể như sau:

Địa kỹ thuật môi trường (ĐKTMT) là nghiên cứu cấu trúc, tính chất, hoạt động của hệ thống kỹ thuật - tự nhiên (KTTN), dự báo và phòng chống các tai biến địa kỹ thuật môi trường, đảm bảo hệ thống KTTN phát triển bền vững.

Hướng khoa học này được xây dựng trên nền tảng của các ngành khoa học cơ sở: Địa chất công trình, địa chất thủy văn, cơ học đất - đá, nền móng công trình, động lực học dòng chảy, địa động lực, địa hóa, địa vật lý và trắc địa...v.v. Đối tượng nghiên cứu của ĐKTMT là môi trường địa chất, tác động của hệ thống kỹ thuật và môi trường xung quanh (khí quyển, thủy quyển, sinh quyển) vào môi trường địa chất và ngược lại trong hệ thống kỹ thuật - tự nhiên. Dự báo các tai biến có thể phát sinh phát triển do tác động qua lại của các phụ hệ thống làm cho trạng thái của hệ mất ổn định. Xây dựng hệ thống quan trắc, đánh giá, dự báo trạng thái của chúng, trên cơ sở đó mới có thể đề xuất các biện pháp xử lý, điều chỉnh thích hợp cho hệ thống luôn ổn định và bền vững.

### ***1.2.2. Điều kiện địa kỹ thuật môi trường***

Theo quan điểm địa kỹ thuật môi trường được đề xuất thì điều kiện địa kỹ thuật môi trường là tổ hợp các yếu tố về cấu trúc, tính chất và sự vận động của hệ thống kỹ thuật - tự nhiên, các quá trình và tai biến ĐKTMT tương ứng ảnh hưởng tới sự phát triển bền vững của hệ thống.

Một cách tổng quát, điều kiện ĐKTMT của một hệ thống kỹ thuật - tự nhiên (HTKTTN) bao gồm điều kiện địa chất công trình của phụ hệ thống môi trường địa chất (MTĐC), các điều kiện tác động của phụ hệ thống kỹ thuật, các điều kiện tác động của phụ hệ thống môi trường xung quanh và tương tác giữa các điều kiện ĐKTMT quyết định chiều hướng phát triển, trạng thái ĐKTMT của hệ thống KTTN đang nghiên cứu.

Các yếu tố điều kiện ĐKTMT được xác định từ việc phân tích hoạt động của HTKTTN bao gồm: (1) Các yếu tố về cấu trúc và tính chất của phụ hệ thống môi trường địa chất: địa hình, địa mạo, kiến tạo, cấu trúc địa chất, tính chất cơ lý đất đá, nước ngầm; (2) Các yếu tố tác động từ phụ hệ thống kỹ thuật bao gồm toàn bộ các tác động theo bản chất vật lý (tải trọng tĩnh, tải trọng động, tác động hóa học, sinh học,..) đến MTĐC, MTXQ và đặc điểm phân bố, quy mô, cường độ tác động của chúng; (3) Các yếu tố tác động từ phụ hệ thống môi trường xung quanh (khí quyển, sinh quyển, thủy quyển, phần sâu của thạch quyển) đến MTĐC và hệ thống kỹ thuật; (4) Các tai biến ĐKTMT phát sinh phát triển trong quá trình tương tác giữa các phụ hệ thống trong hệ với nhau [54, 55].

### **1.3. Lý thuyết hệ thống kỹ thuật - tự nhiên**

#### **1.3.1. Khái niệm hệ thống kỹ thuật - tự nhiên**

Lý thuyết hệ thống được sáng lập bởi Ludwig von Bertalanffy (1901-1972) người Áo, thuộc trường Đại học Tổng hợp Chicago, tiếp cận vấn đề hệ thống từ góc độ sinh học bởi theo ông: “Mọi tổ chức hữu cơ đều là những hệ thống được tạo nên từ các tiểu hệ thống và ngược lại cũng là một phần của hệ thống lớn hơn”. Trong công trình “Lý thuyết hệ thống tổng quát”, xuất bản năm 1956 của ông đã được nhân loại đánh giá là công trình có tính chất nền tảng cho sự hình thành và phát triển của lý thuyết hệ thống đã trình bày.

Tác giả người Mỹ Kenneth E. Boulding (1910-1993) cho rằng: *Hệ thống là một thực thể phổ biến ở trong tất cả thế giới vật chất của chúng ta, chúng ta sống trong hệ thống*. Theo tác giả Stefferd Beer (1926-2002) người Anh nghiên cứu về hệ thống từ góc độ điều khiển học, ông chia hệ thống làm hai nhóm: Hệ thống tiên định và hệ thống xác suất. Trong đó, *hệ thống tiên định* là hệ thống mà hành vi được xác định đơn

trị: mỗi trạng thái hiện tại chỉ xác định một trạng thái tiếp theo; *Hệ thống xác suất* là hệ mà hành vi có thể xác định với một xác suất nào đó, mỗi trạng thái hiện tại quyết định xác suất xảy ra các trạng thái có thể tiếp theo [12, 13].

Theo GS Vũ Cao Đàm: “Hệ thống là tập hợp các phần tử có liên hệ tương tác nhằm thực hiện một mục tiêu (hoặc một số mục tiêu) định trước”. GS. Hoàng Tuy: “Hệ thống là một tổng thể gồm nhiều yếu tố (bộ phận) quan hệ và tương tác với nhau và với môi trường xung quanh một cách phức tạp. Theo định nghĩa của “Lý thuyết công tác xã hội hiện đại”: “Hệ thống là một tập hợp các thành tố được sắp xếp có trật tự và liên hệ với nhau để hoạt động thống nhất”.

Tập hợp các quan điểm có thể thống nhất: Hệ thống là một tập hợp gồm nhiều yếu tố (bộ phận) quan hệ, tương tác với nhau đồng thời tương tác với môi trường xung quanh một cách phức tạp.

Khi xem xét quá trình tương tác giữa các yếu tố nhân sinh và tự nhiên. Sự tương tác này đòi hỏi phải xem xét các đối tượng này như một hệ thống nhất. Một hệ thống gồm hai hợp phần tương tác chính đó là yếu tố nhân sinh và yếu tố tự nhiên được gọi là hệ thống kỹ thuật - tự nhiên. Lý thuyết về hệ thống kỹ thuật - Tự nhiên đã được đề xuất bởi GS.TS. G.K. Bondarik như sau.

Các yếu tố của quyển kỹ thuật tương tác với môi trường xung quanh (Thạch quyển, khí quyển, thủy quyển, sinh quyển) làm xuất hiện các quá trình nhân sinh, làm thay đổi tính chất của các lớp vỏ tự nhiên của trái đất và quyển kỹ thuật tương ứng.

Tổ hợp các yếu tố tương tác tự nhiên và nhân sinh (xét tất cả các góc độ xã hội, văn hóa - lịch sử, kỹ thuật) được xem xét như một hệ thống thống nhất, được gọi là Hệ thống kỹ thuật - tự nhiên (HTKTTN). Trên phạm vi trái đất hệ thống KTTN được gọi là hệ thống kỹ thuật - tự nhiên toàn cầu.

Hệ thống kỹ thuật – tự nhiên là một thực thể thống nhất trong những mối quan hệ nhất định theo thời gian và không gian các yếu tố tương tác tự nhiên và nhân sinh (bao gồm cả vật chất và các trường năng lượng) và đặc trưng bởi những tính chất thuộc tính chung của hệ thống.

Ranh giới được xác định là đường bao vùng tương tác giữa các phụ hệ thống (tại đó có sự gián đoạn quá trình tương tác giữa các phụ hệ). Ranh giới có thể xác định

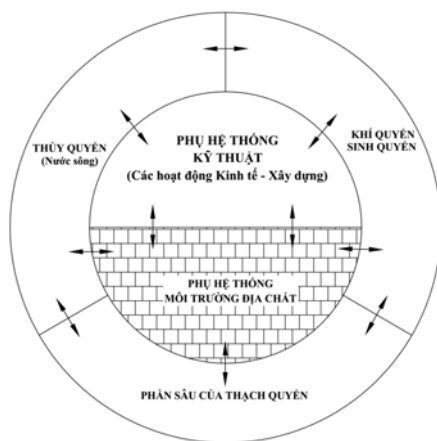
bằng tính toán các quá trình, có thể bằng các thông tin cập nhật về trạng thái của hệ thống do quan trắc.

Hệ thống kỹ thuật - tự nhiên về bản chất vật lý có cấu trúc thứ bậc và được phân chia thành các cấp phụ thuộc vào mục đích nghiên cứu. Để nghiên cứu trạng thái và hoạt động của hệ thống, khả năng phát sinh các tai biến và các giải pháp điều khiển phát triển bền vững hệ thống, hệ thống KTTN có thể chia làm ba phụ hệ thống: Phụ hệ thống kỹ thuật, phụ hệ thống môi trường địa chất và phụ hệ thống môi trường xung quanh. Theo phạm vi phát triển và đặc điểm tương tác chủ yếu của hệ thống, hệ thống KTTN có cấu trúc thứ bậc như sau: Cấp đơn vị (không phân chia được tiếp) - Cấp cục bộ - Cấp khu vực - Cấp quốc gia - Cấp toàn cầu.

Hệ thống KTTN có những tính chất đặc trưng sau: *tính chất thuộc tính chung, tính chất điều chỉnh được, tính chất động, tính chất mở, tính chất tổ chức, tính chất tự tổ chức, tính chất thích ứng.*

### **1.3.2. Các tương tác trong hệ thống kỹ thuật - tự nhiên**

Trạng thái hệ thống địa kỹ thuật -tự nhiên quyết định chủ yếu boiwd quá trình tương tác giữa các yếu tố trong cùng phụ hệ thống và giữa các phụ hệ thống bao gồm: môi trường địa chất, hệ thống kỹ thuật với môi trường xung quanh, các tương tác này được minh họa trong (Hình 1.2)



Hình 1.2 Sơ đồ hoạt động của hệ thống kỹ thuật - tự nhiên

Trong quá trình diễn ra các tương tác đó luôn có sự chuyển hóa năng lượng từ dạng này sang dạng khác từ đó phát sinh những vấn đề địa kỹ thuật môi trường. Các tương tác và những vấn đề địa kỹ thuật môi trường tương ứng được thể hiện trên Bảng 1.1

Bảng 1.1 Các quá trình phát sinh do hoạt động của hệ thống KTTN

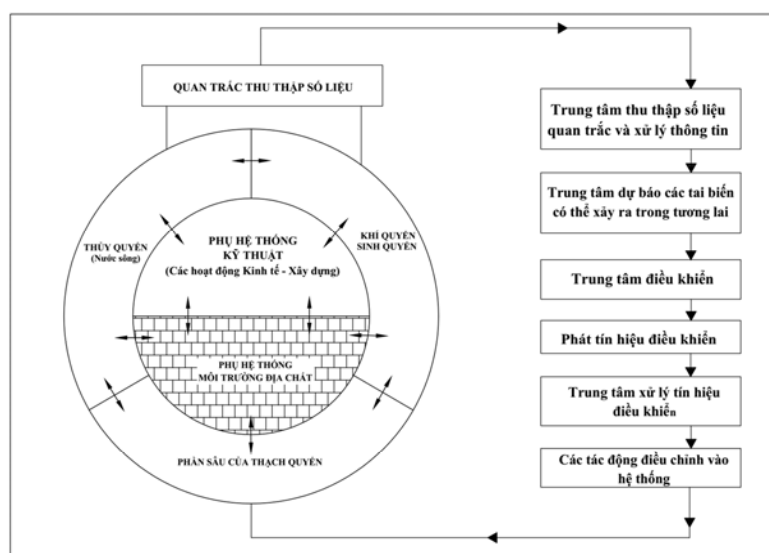
Hướng tác động	Các quá trình và những vấn đề môi trường
Từ hệ thống kỹ thuật đến MTĐC (1)	Các quá trình địa chất động lực công trình (bao gồm cả ô nhiễm) và những vấn đề địa kỹ thuật môi trường tương ứng phát triển trong MTĐC
Từ MTĐC đến hệ thống kỹ thuật (bao gồm cả con người) (2)	Các quá trình làm hư hại công trình có nguyên nhân nền móng, các bệnh địa phương có nguyên nhân từ nền địa chất
Từ hệ thống kỹ thuật đến khí quyển, thủy quyển, sinh quyển (3)	Các quá trình phát thải làm ô nhiễm khí quyển, thủy quyển, sinh quyển
Từ khí quyển, thủy quyển, sinh quyển đến hệ thống kỹ thuật (4)	Các quá trình tự nhiên và bán nhân sinh làm hư hại các công trình, gây bệnh tật cho con người có nguồn gốc từ khí quyển, thủy quyển, sinh quyển
Từ khí quyển, thủy quyển, sinh quyển đến MTĐC (5)	Các quá trình địa chất động lực ngoại sinh tự nhiên và bán nhân sinh phát triển trong MTĐC trên ranh giới của MTĐC với khí quyển, thủy quyển, sinh quyển
Từ MTĐC đến khí quyển, thủy quyển, sinh quyển (6)	Các quá trình nhân sinh giải phóng năng lượng, vật chất từ MTĐC và tích tụ năng lượng trong khí quyển, thủy quyển, sinh quyển
Từ MTĐC đến phần sâu của thạch quyển - dưới vùng ảnh hưởng của hệ thống kỹ thuật (7)	Các quá trình nhân sinh làm tích tụ năng lượng ở phần sâu của thạch quyển - dưới vùng ảnh hưởng của hệ thống kỹ thuật
Từ phần sâu của thạch quyển đến MTĐC (8)	Các quá trình địa chất động lực nội sinh biểu hiện trên mặt đất của MTĐC

Tổ hợp các thông số về phụ hệ thống kỹ thuật, về môi trường địa chất, về môi trường xung quanh quyết định hoạt động của HTKTTN tại một thời điểm nào đó được gọi là trạng thái của hệ thống kỹ thuật - tự nhiên. Hệ thống KTTN được gọi là ổn định trong một miền trạng thái cho phép nếu như quỹ đạo vận động của chúng không vượt ra khỏi miền trạng thái cho phép đó. Trạng thái của hệ thống KTTN biến đổi liên tục dưới ảnh hưởng của các quá trình và tai biến địa kỹ thuật môi trường, các thông số đặc trưng cho sự xuất hiện các quá trình và tai biến là những đặc trưng về sự vận động của hệ thống KTTN. Trong điều kiện làm việc bình thường của HTKTTN thì quỹ đạo vận

động của hệ thống phải nằm trong giới hạn cho trước (vùng trạng thái giới hạn). Theo đó có nhận xét về các tác động trong hệ thống kỹ thuật tự nhiên như sau:

Trong số 8 hướng tác động kể trên thì 4 hướng tác động (1), (2), (5), (8), là các tác động có thể đánh giá cường độ, quy mô bằng các khái niệm của địa chất công trình. Những nhóm gây ra các tai biến mà trong địa kỹ thuật chúng được gọi là tai biến địa kỹ thuật. Tuy nhiên theo khái niệm mới về địa kỹ thuật môi trường chúng được xếp vào tai biến địa kỹ thuật môi trường. Bởi vì theo (Ragozin, 1995), bản chất vật lý của tai biến địa kỹ thuật môi trường được xem như biến đổi rất nhanh trạng thái của hệ thống KTTN. Ngược lại các tương tác thuộc nhóm 3, 4, 6, 7, chỉ được đánh giá theo các quy luật dựa trên các số liệu thu thập từ hệ thống quan trắc địa kỹ thuật môi trường.

Như vậy đánh giá điều kiện địa kỹ thuật theo quan điểm hệ thống KTTN cho mục đích phát triển bền vững chính là đánh giá cường độ, quy mô các tương tác. Việc đánh giá phải được tiến hành dựa trên các số liệu của hệ thống, các số liệu được thu nhận từ mạng quan trắc địa kỹ thuật môi trường được trình bày trong Hình 1.3. Trong hệ thống quan trắc này phụ hệ thống môi trường địa chất và phụ hệ thống kỹ thuật luôn đóng vai trò trung tâm của các dạng quan trắc. Đây là cách tiếp cận phát huy được các tiến bộ của công nghệ tin học tự động hóa, phù hợp với xu thế của thời đại công nghệ 4.0.



Hình 1.3 Sơ đồ nguyên tắc điều khiển hệ thống kỹ thuật - tự nhiên

### **1.3. Hệ thống quan trắc**

#### ***1.3.1. Khái niệm và phân loại***

Quan trắc là từ ghép Hán Việt quan và trắc, trong đó quan là quan sát, trắc là trắc đạc. Do đó, quan trắc một đối tượng là theo dõi sự biến đổi của đối tượng đó theo thời gian thông qua quan sát hoặc đo đếm các chỉ số đặc trưng cho đối tượng đó ở các thời điểm khác nhau đã định trước trong quá trình theo dõi.

Theo Luật BVMT 2014, quan trắc là quá trình theo dõi có hệ thống về môi trường, các yếu tố tác động lên môi trường nhằm cung cấp thông tin phục vụ đánh giá hiện trạng, diễn biến chất lượng môi trường và tác động xấu tới môi trường.

Theo Ủy ban Kinh tế Xã hội châu Á Thái Bình Dương Liên Hiệp Quốc (ESCAP), 1994 “Quan trắc môi trường là một quy trình lặp đi lặp lại các hoạt động quan sát và đo lường một hay nhiều thông số chất lượng môi trường, có thể quan sát những thay đổi diễn ra trong một giai đoạn thời”.

Để xác định sự biến đổi theo không gian ở những thời điểm nhất định của chỉ số đặc trưng cho đối tượng, phải sử dụng nhiều điểm quan trắc được bố trí theo mạng lưới quan trắc. Mạng lưới quan trắc là tập hợp các điểm quan trắc bố trí theo các phương khác nhau với mục đích nghiên cứu cụ thể.

Quan trắc là phương pháp nghiên cứu thực nghiệm để sáng tỏ các quy luật biến đổi theo không gian và thời gian của đối tượng nghiên cứu. Tùy theo mục đích, đối tượng nghiên cứu phương pháp thu thập số liệu quan trắc mà quan trắc có nhiều dạng khác nhau, được phân loại và phân biệt theo những nguyên tắc như sau:

- Theo yêu cầu thu nhận số liệu quan trắc có sự phân biệt giữa các loại quan trắc khác nhau.
- Theo mức độ chi tiết của đối tượng: quan trắc bằng ảnh trên không: ảnh viễn thám, UAV, ảnh kỹ thuật số với đo đếm trực tiếp.
- Trong chuyên ngành quan trắc, quan trắc phân ra các kiểu quan trắc nền và kiểu quan trắc tác động. Theo bản chất ảnh hưởng đến môi trường của đối tượng quan trắc:
  - + Quan trắc nền: điểm quan trắc nền được lựa chọn tại những khu vực không bị ảnh hưởng trực tiếp của các nguồn ô nhiễm nhằm xác định giá trị nền của các thông số môi trường tự nhiên làm cơ sở để so sánh với quan trắc tác động.

+ Quan trắc tác động: điểm quan trắc tác động được lựa chọn tại những khu vực bị ảnh hưởng trực tiếp của các nguồn ô nhiễm (các nguồn xả chất thải hay cơ sở sản xuất có thể làm ô nhiễm hoặc thay đổi chất lượng môi trường).

- Theo phương tiện quan trắc:

+ Quan trắc tự động là quan sát từ xa thông tin liên tục cập nhật theo một chu kỳ, cho phép thu nhận thông tin tại một thời điểm ở các điểm quan trắc khác nhau.

+ Quan trắc thủ công là quan sát và đo vẽ trực tiếp các đối tượng cần thu thập số liệu tại hiện trường bằng các công cụ thủ công.

- Trong quan trắc môi trường hệ thống quan trắc được phân biệt như sau:

+ Quan trắc môi trường quốc gia là mạng lưới các trạm, vị trí quan trắc môi trường nền và môi trường tác động phục vụ việc quan trắc, cung cấp thông tin chất lượng môi trường nền và môi trường tác động tại các khu vực có tính chất liên vùng, liên tỉnh, xuyên biên giới;

+ Quan trắc môi trường cấp tỉnh là mạng lưới các trạm, vị trí quan trắc môi trường nền và môi trường tác động phục vụ việc quan trắc, cung cấp thông tin chất lượng môi trường nền và môi trường tác động tại các khu vực trên địa bàn;

- Quan trắc môi trường phục vụ quản lý ngành, lĩnh vực quy định tại Điều 109 Luật Bảo vệ môi trường 2020;

+ Quan trắc môi trường tại dự án đầu tư, cơ sở, khu sản xuất, kinh doanh, dịch vụ tập trung, cụm công nghiệp;

+ Quan trắc đa dạng sinh học tại khu bảo tồn thiên nhiên;

Tương ứng với các quan trắc đó là tổ chức tham gia hệ thống quan trắc môi trường bao gồm:

- Cơ quan quản lý nhà nước về quan trắc môi trường;

- Tổ chức lấy mẫu, đo đạc mẫu môi trường tại hiện trường;

- Phòng thí nghiệm, phân tích mẫu môi trường;

- Tổ chức kiểm định, hiệu chuẩn thiết bị quan trắc môi trường;

- Tổ chức quản lý, xử lý số liệu và lập báo cáo kết quả quan trắc môi trường.

### ***1.3.2. Quan trắc địa kỹ thuật môi trường***

Quan trắc là một công tác thường có trong các chuyên ngành môi trường, xây dựng



công trình và địa kỹ thuật, đó là 3 lĩnh vực chuyên môn khác nhau, trong đó:

- Quan trắc địa kỹ thuật là đo đạc và xử lý các số liệu về địa chất, địa hình từ độ cao, vị trí, phương hướng hay kích thước của địa hình mặt đất. Nội dung quan trắc địa kỹ thuật bao gồm: xác định các thông số về ứng suất, biến dạng của công trình, thông qua các nội dung như sau: Quan trắc biến dạng (độ lún, chuyển vị ngang, khe nứt và độ nghiêng của công trình); Quan trắc ứng suất của thanh dầm, thanh chống, tường vây và vỏ hầm; Quan trắc áp lực tổng lên thanh chống, tường vây và vỏ hầm; Quan trắc áp lực nước lỗ rỗng và mực nước ngầm của đất nền.

- Quan trắc công trình: theo Nghị định số 06/2021/NĐ-CP Quan trắc công trình là hoạt động theo dõi, đo đạc, ghi nhận sự biến đổi về hình học, biến dạng, chuyển dịch và các thông số kỹ thuật khác của công trình Kiểm tra, xác định độ lún: Các thông số về độ lún bao gồm lún lệch, tốc độ lún của công trình.

- Quan trắc môi trường: Theo luật Bảo vệ môi trường 2020 quy định: Quan trắc môi trường là việc theo dõi liên tục, định kỳ, đột xuất, có hệ thống về thành phần môi trường, các nhân tố tác động đến môi trường, chất thải nhằm cung cấp thông tin đánh giá hiện trạng môi trường, diễn biến chất lượng môi trường và tác động xấu đến môi trường. Quan trắc môi trường bao gồm quan trắc chất thải và quan trắc khí tượng thủy văn.

Như vậy, với khái niệm địa kỹ thuật môi trường theo quan điểm lý thuyết hệ thống kỹ thuật - tự nhiên thì hệ thống quan trắc địa kỹ thuật môi trường là một tổ hợp hợp lý các phương pháp quan trắc khác nhau, phân bố hợp lý theo không gian (diện và chiều sâu) trên lãnh thổ nghiên cứu với mục đích thu thập và theo dõi sự biến đổi của các thông số địa kỹ thuật môi trường khác nhau nhằm đánh giá sự phát sinh và phát triển các tai biến địa kỹ thuật môi trường. Thành phần và đặc trưng của hệ thống quan trắc được lựa chọn khác nhau tùy thuộc vào điều kiện địa kỹ thuật môi trường của lãnh thổ đang nghiên cứu.

### ***1.3.3. Thực trạng quan trắc và xu hướng áp dụng công nghệ mới***

Quan trắc đã được thực hiện ngay từ những năm giữa thế kỷ trước nhằm theo dõi các thông số địa kỹ thuật đánh giá độ ổn định của khối trượt tự nhiên, của các công trình xây dựng lớn (đê, đập thủy điện, đường đắp cao trên nền yếu,..). Sau đó, vào

những năm 60-70 với sự phát triển của môn học địa kỹ thuật và địa kỹ thuật môi trường, quan trắc đã tiến tới dự báo và đánh giá ảnh hưởng của các tai biến tự nhiên đến hoạt động của con người như hoạt động tân kiến tạo (nâng, hạ địa phương), động đất, sóng thần, lũ bùn đá. Tiếp theo khi các hoạt động kinh tế - kỹ thuật của con người với quy mô lớn đến nỗi làm thay đổi cả tính chất của môi trường địa chất thì quan trắc đạt tới trình độ như hiện nay. Theo dõi sự biến đổi của môi trường địa chất không chỉ liên quan đến các hoạt động tự nhiên mà còn cả của con người. Đó là các quan trắc nghiên cứu lún bề mặt đất do khai thác nước dưới đất, khai thác khoáng sản trong lòng đất (Mexico, Mỹ, Trung Quốc, Thái Lan,..), nghiên cứu ảnh hưởng bất lợi đến môi trường địa chất và công trình xây dựng xung quanh các hố đào sâu, các công trình san nền đắp cao trên diện rộng. Ở Nhật Bản các hệ thống quan trắc phục vụ phòng chống thiên tai được phát triển mạnh mẽ, họ có mạng lưới các trạm quan trắc quốc gia lên đến 6.726 trạm về mực nước và 10.051 trạm lượng mưa chịu sự điều hành và quản lý của Trung tâm quản lý dữ liệu thông tin nước. Đặc biệt, quan trắc địa kỹ thuật môi trường không thể thiếu khi khai thác không gian ngầm các đô thị. Tại Paris, Maxcova, Saint-Petersburg có các hệ thống quan trắc địa kỹ thuật môi trường theo dõi các tai biến địa kỹ thuật khi khai thác sử dụng hệ thống các tuyến giao thông ngầm (metro) trong đô thị. Ở Matxcova người ta đã xây dựng hệ thống thông tin địa kỹ thuật môi trường, trong đó không chỉ có hệ thống quan trắc địa kỹ thuật môi trường và cơ sở dữ liệu đi kèm mà còn cả hệ thống tác nghiệp trên cơ sở dữ liệu đó. Đó chính là các mô hình tính toán, đánh giá dự báo tai biến trên cơ sở của các số liệu quan trắc và hệ thống ra quyết định điều chỉnh xử lý tương ứng.

Tại Việt Nam, hệ thống quan trắc còn là công việc mới mẻ và mới chỉ là bước đi ban đầu, các nghiên cứu và áp dụng thực tế quan trắc mới chỉ xoay quanh trong phạm vi một loại hình công trình cụ thể, một dự án xây dựng cụ thể, nhưng cũng chưa đầy đủ và chưa thấy được tầm quan trọng của chúng. Các áp dụng thực tiễn của quan trắc đầu tiên thực hiện trong các công trình đập thủy điện với mục đích thi công và khai thác an toàn công trình này. Sau đó, các áp dụng cho các công trình cụ thể khác như các dự án san nền quy mô lớn, các đoạn đường đắp cao và các hố móng đào sâu cho

các công trình cao tầng như dự án Kho cảng Thị vải, Khí điện đạm Cà Mau, khu công nghiệp Nhơn Trạch.

Hệ thống quan trắc quy mô nhất hiện nay là hệ thống quan trắc nghiên cứu lún bề mặt đất Hà Nội do bơm hút khai thác nước dưới đất. Tại đây, một số quan trắc đã được tiến hành trong 8 trạm đo trong khu vực Hà Nội để nghiên cứu ảnh hưởng của quá trình khai thác nước dưới đất đến quá trình lún bề mặt, hư hỏng công trình xây dựng và lập kế hoạch khai thác hợp lý nước dưới đất. Khu vực đới động sông Hồng hiện tại có 4 trạm quan trắc thủy văn (trạm Trung Hà, Sơn Tây, Hà Nội, An Cảnh) bên cạnh còn có trạm Việt Trì, trạm Hưng Yên, các trạm có khoảng cách khá xa nhau trạm Trung Hà cách trạm Sơn Tây khoảng 30 km, trạm Sơn Tây đến trạm Hà Nội khoảng 40 km, từ trạm Hà Nội đến trạm An Cảnh khoảng 30 km. Trong đó để theo dõi chế độ thủy văn dòng chảy sông Hồng đoạn qua Hà Nội phục vụ khai thác chỉ có 2 trạm đó là trạm thủy văn Sơn tây và Trạm thủy văn Hà nội. Hai trạm này bắt đầu đo đạc vào năm 1902 do người Pháp xây dựng, khoảng hơn 10 năm đầu 2 trạm chỉ đo đạc yếu tố mực nước (H) sau đó đo thêm yếu tố lưu lượng (Q), từ những năm 40 mới đo thêm yếu tố bùn cát (S). Ngoài ra, đã có hàng loạt các giếng quan trắc áp lực nước lỗ rỗng kiểu hở (PH), kiểu kín (PZ) và các giếng giảm áp ở Phúc Thọ, Đan Phượng, Từ Liêm, Hoàng Mai, Thanh Trì nhưng hiện tại các giếng quan trắc này đã không còn hoạt động. Ngoài ra trên lãnh thổ Việt Nam còn có rất nhiều trạm khí tượng thủy văn bố trí ở vùng miền khác nhau trên lãnh thổ.

Tóm lại, công tác quan trắc đã được triển khai rất sớm, trong đó các quan trắc chuyên ngành địa kỹ thuật ngày càng phổ biến, tất cả sẽ là cơ sở để kế thừa cho việc xây dựng hệ thống quan trắc địa kỹ thuật môi trường đới động sông Hồng. Điều đó cho thấy việc xây dựng hệ thống quan trắc địa kỹ thuật môi trường là hoàn toàn khả thi, nhất là những năm gần đây việc ứng dụng công nghệ điện tử tin học ngày càng sâu rộng. Trong đó, công tác quan trắc sử dụng công nghệ hiện đại hàng đầu thế giới với sự tích hợp công nghệ đám mây và hệ thống thông tin thời gian thực trong công tác ghi nhận số liệu, tự động xử lý và tổng hợp báo cáo, cho phép người dùng truy cập kết quả quan trắc mọi lúc, mọi nơi.

## **Kết luận chương 1**

- Khái niệm Địa kỹ thuật môi trường và điều kiện địa kỹ thuật môi trường dựa trên cơ sở lý thuyết hệ thống kỹ thuật - tự nhiên là một quan điểm mới, được đưa ra nhằm giải quyết các vấn đề phát triển bền vững của hệ thống kỹ thuật - tự nhiên đang từng bước phát triển và hoàn thiện, cho nên còn rất nhiều ý kiến tranh luận. Đặc biệt ở Việt Nam, quan điểm này còn mới mẻ, chưa được nghiên cứu nhiều vẫn chỉ mang tính đơn lẻ cục bộ.

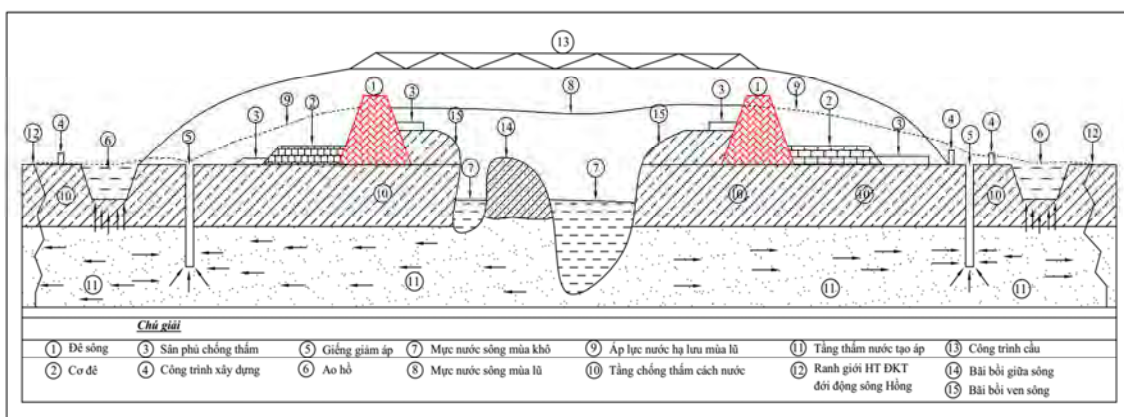
- Lý thuyết hệ thống và cụ thể là lý thuyết hệ thống kỹ thuật - tự nhiên được đề xuất bởi G.K. Bondarik là cơ sở lý thuyết rất tốt cho nghiên cứu ĐKTMT, hỗ trợ giải quyết toàn diện và triệt để các bài toán phức tạp nhiều số liệu như các bài toán về ổn định của hệ thống kỹ thuật - tự nhiên.

- Hệ thống quan trắc là một đặc trưng và yêu cầu cơ bản trong nghiên cứu địa kỹ thuật môi trường theo quan điểm của lý thuyết hệ thống kỹ thuật - tự nhiên.

## CHƯƠNG 2. HỆ THỐNG KỸ THUẬT - TỰ NHIÊN VÀ ĐIỀU KIỆN ĐỊA KỸ THUẬT MÔI TRƯỜNG ĐỐI ĐỘNG SÔNG HỒNG KHU VỰC HÀ NỘI

### 2.1. Hệ thống kỹ thuật - tự nhiên đối động sông Hồng khu vực Hà Nội

Hệ thống kỹ thuật - tự nhiên đối động sông Hồng khu vực Hà Nội được cấu thành gồm 3 phụ hệ thống: phụ hệ thống Môi trường địa chất, phụ hệ thống kỹ thuật (bao gồm: Hệ thống đê; Các công trình xây dựng, nhà cửa; Hệ thống cơ sở hạ tầng và Các hoạt động kinh tế khác) và phụ hệ thống môi trường xung quanh (thủy quyển (giữ vai trò chủ đạo), sinh quyển, khí quyển và vùng sâu của thạch quyển) được xem xét trong một hệ thống nhất. Ranh giới đối động theo chiều sâu được giới hạn đến hết vùng trầm tích Đệ tứ. Chiều dài trong phạm vi 117Km từ Km 0 Hữu Hồng đến Km 117 Hữu Hồng. Chiều rộng được xác định là trong vùng ảnh hưởng của đối động. Các thành phần của hệ thống KTTN đối động sông Hồng được trình bày trong Hình 2.1.



Hình 2.1 Sơ đồ hệ thống KTTN Đối động sông Hồng khu vực Hà Nội

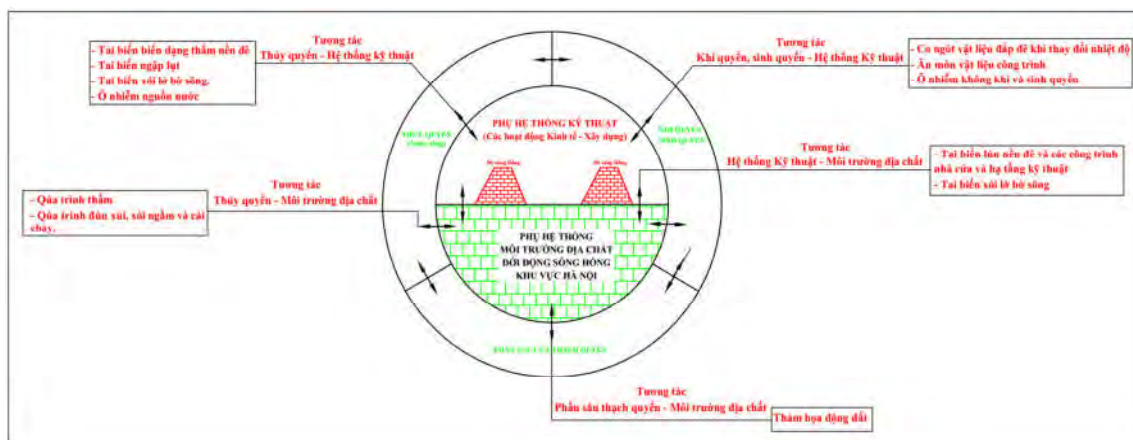
Hệ thống kỹ thuật - tự nhiên đối động sông Hồng là một hệ thống đặc thù, bởi các yếu tố thành phần và tính chất cơ lý đất đá của môi trường địa chất phức tạp (nhạy cảm với các loại tải trọng), địa hình địa mạo thì thay đổi đột ngột với cao độ địa hình bãi bồi từ 10-12m đến 5-7m. Lòng dẫn biến đổi theo chế độ dòng chảy tạo thành các bãi bồi xói lở đan xen tác động vào một hệ thống kỹ thuật đa dạng về loại hình. Chính những yếu tố này đã tạo lên cho hệ thống KTTN đối động những tính chất đặc trưng như sau:

- Tính chất điều chỉnh được: các tương tác làm biến đổi hệ thống có thể điều khiển được. Đó là lưu lượng dòng chảy được khống chế bằng hệ thống đập hồ chứa phía

thượng nguồn, hệ thống đê có thể nâng cao để ngăn cản sự dâng cao của mực nước trong thời gian mưa lũ, hệ thống kè đê đảm bảo tuyến bờ ổn định và điều chỉnh hướng dòng chảy theo một thể sông ổn định.

- Tính chất động: được thể hiện qua trạng thái của hệ thống luôn biến đổi theo thời gian và không gian làm cho hệ thống đời động phức tạp và khó kiểm soát.
- Tính chất mở: Thể hiện ở sự tác động tương hỗ và liên tục với nhau của các yếu tố trong hệ làm cho quá trình trao đổi chất và năng lượng liên tục diễn ra.
- Tính chất tổ chức: Thể hiện ở sự biến đổi theo quy luật của tự nhiên và có khả năng giữ được tính trật tự của mình theo thời gian dưới tác động của hệ thống kỹ thuật.
- Tính chất tự tổ chức: hệ thống có khả năng tăng cường tính tổ chức của mình khi có các tác động điều chỉnh.
- Tính chất thích ứng: hệ thống có khả năng giữ được cấu trúc của mình dưới tác động của các yếu tố tự nhiên và nhân sinh và khi vượt quá giới hạn cho phép thì hệ thống sẽ bị phá vỡ.

Hoạt động của hệ thống KTTN đới động sông Hồng quyết định chủ yếu bởi quá trình tương tác giữa các phụ hệ thống với nhau và kết quả của các tương tác kể trên là phát sinh phát triển các tai biến ĐKTMT làm biến đổi tính chất và trạng thái của hệ, các hướng tương tác chính gây nên những biến đổi của hệ thống KTTN đới động cụ thể như sau và được thể hiện trong Hình 2.2.



Hình 2.2 Hoạt động của hệ thống KTTN đới động sông Hồng

Từ các tác động tương hỗ giữa các phụ hệ thống có thể thấy hệ thống KTTN đới động sông Hồng được vận động, biến đổi và thích ứng tạo nên sự cân bằng của hệ

thống là dựa trên sự tác động của các điều kiện địa chất công trình của phụ hệ thống môi trường địa chất (MTĐC), các điều kiện tác động của phụ hệ thống kỹ thuật và điều kiện tác động của phụ hệ thống môi trường xung quanh (thủy quyển là chủ đạo) của hệ. Với sự tương tác đó đã sinh ra các quá trình và tai biến ĐKTM có thể là nguy cơ dẫn đến làm mất ổn định của hệ thống đới động, bao gồm: biến dạng thấm nền đê; xói lở bờ sông; ngập lụt ngoài bãi bồi; lún không đều nền đê. Để nghiên cứu các tai biến này thì cần phải lý giải được bản chất của quá trình, nguyên nhân, cơ chế phát sinh, cường độ và quy luật phân bố của chúng. Điều này sẽ được luận án đi sâu phân tích đánh giá các điều kiện để thấy được sự phức tạp của hệ thống KTTN đới động, cụ thể như sau:

## **2.2. Điều kiện phụ hệ thống môi trường địa chất.**

### **2.2.1. Điều kiện địa hình, địa mạo**

Đới động sông Hồng nằm ở vùng rìa phía Tây Bắc và trung tâm đồng bằng Bắc Bộ, do vậy sự phát triển các yếu tố địa mạo rất đa dạng. Sự đa dạng của các yếu tố địa mạo càng thể hiện rõ nét khi mà sự hoạt động mạnh mẽ của tân kiến tạo, kiến tạo hiện đại và sự tác động trực tiếp của hệ thống đê kết hợp với hoạt động bồi lắng của dòng sông theo quy luật lòng dẫn. Trên cơ sở bản đồ địa hình (Hình 2.3), các vết lộ thực địa cho thấy địa hình, địa mạo đới động phát triển các kiểu địa hình như: bậc thềm, bãi bồi (cao, trung, thấp, di động) và dạng địa hình vũng, hồ đầm lầy.

Phần đồng bằng châu thổ ngoài đê có sự phân bậc, thấp dần từ cao độ của đê ra tới sông bao gồm: Bãi bồi cao (High Mudflats, ký hiệu M5) tới bãi bồi trung (Mid Mudflats, ký hiệu M4) tới các bãi bồi thấp (Low Mudflats, ký hiệu M3), tới các bãi bồi tương đối ổn định giữa sông (Stable Mudflats, ký hiệu M2) và các bãi bồi di động (Mobile Mudflats, ký hiệu M1). Sự phân bậc địa hình thể hiện rõ tại các ranh giới các bãi bồi, đặc biệt giữa bãi bồi cao và thấp với các vách đứng rõ ràng, bãi bồi cao thường dễ nhận biết qua sự có mặt của hoạt động nhà cửa ven sông đã hình thành từ lâu đời. Sự phân bố của các dạng địa hình này trong hệ thống đới động được trình bày trong bản đồ địa mạo (Hình 2.4) và được mô tả như sau:

- Các dải địa hình bãi bồi cao: Là khu vực có địa hình cao nhất dải đất ven hai đê Tả và Hữu sông Hồng với cao độ biến đổi từ 19m đến 6m theo hướng Tây Bắc - Đông

Nam. Cao độ thay đổi từ 19m đến 12m tập trung sát 2 con đê. Kiểu địa hình này có cấu tạo địa chất là sét – sét pha với chiều dày lớn, phía dưới là cát pha, cát phân bố chủ yếu dọc theo chân đê và tiến sát ra bờ sông tại các khu vực xã Liên Mạc, Đông Ngạc, Thụy Phương, Võng La, Ngọc Thụy, Bồ Đề, Bạch Đằng, Thanh Lương, Bát Tràng, Kim Lan, Duyên Hà, Vạn Phúc. Do chiều dày lớp sét - sét pha tương đối lớn và là lớp đất thành tạo sớm nhất ở bãi sông sau khi có đê nên khả năng chống sạt lở tốt. Sau khi đập thủy điện Hoà Bình đi vào hoạt động, diện tích này ít bị ngập trong mùa mưa lũ. Bãi bồi cao là khu vực chịu nhiều tác động từ hoạt động kinh tế - xây dựng của con người.

- Các dải địa hình bãi bồi trung: Bề mặt của bãi bồi trung hơi nghiêng về phía sông và ở cao độ 8 – 10m, phân bố khá rộng rãi trong khu vực đống ở Bạch Hạc, Phú Thịnh đến Khai Thái - Phú Xuyên. Cấu tạo địa chất bãi bồi trung là sét pha, cát pha xen kẽ các thấu kính cát. Chiều dày của các nhip trầm tích tương đối nhỏ nên khả năng chống đỡ tác động của dòng chảy yếu. Bãi bồi trung tiến sát ra bờ sông tại Hải Bối, Đông Du tại những nơi này lòng dẫn đi sát bờ tai biến xói lở bờ xảy ra rất mạnh. Bãi thường xuyên được bồi đắp phù sa hàng năm của sông Hồng nên chất lượng tốt nên được khai thác trồng hoa màu.

- Các dải địa hình bãi bồi thấp: Với độ cao từ 6 - 9 m, là nơi tích tụ các thành tạo trẻ trong khu vực nằm ven bờ sông Tả Hồng và Hữu Hồng, dễ bị thay đổi sau mỗi mùa lũ dưới tác động của quá trình bồi tụ và xói lở. Bãi bồi thấp phát triển khá rộng rãi và chiếm diện tích đánh kể nằm rải rác từ xã Tân Hồng (Ba Vì) đến Đức Hợp (Phú Xuyên). Ở cao trình nước 9m, bề mặt này hầu như chìm dưới nước sông. Bãi bồi thấp cấu tạo chủ yếu bằng cát pha hoặc sét pha - cát pha hạt mịn màu nâu tươi, dưới là cát hạt mịn, hạt bụi nên độ bền liên kết kiến trúc yếu rất dễ bị sạt lở.

- Các dải địa hình bãi bồi tương đối ổn định giữa sông: Trong địa phận Hà Nội có 8 bãi nổi với cao độ bề mặt các bãi trung bình 9-12m, thành phần chủ yếu cát - cát pha, hay sạt lở, diện tích thay đổi lớn tùy theo mùa, nằm rải rác Cổ Đô đến Phú Thượng Tây Hồ. Bãi thuộc xã Tân Đức, thành phố Việt Trì, Phú Thọ (từ Hữu Hồng Km5 đến Km7), Bãi thuộc xã Phú Cường (từ Hữu Hồng Km8 đến Km10), Bãi thuộc xã Tân Hồng, xã



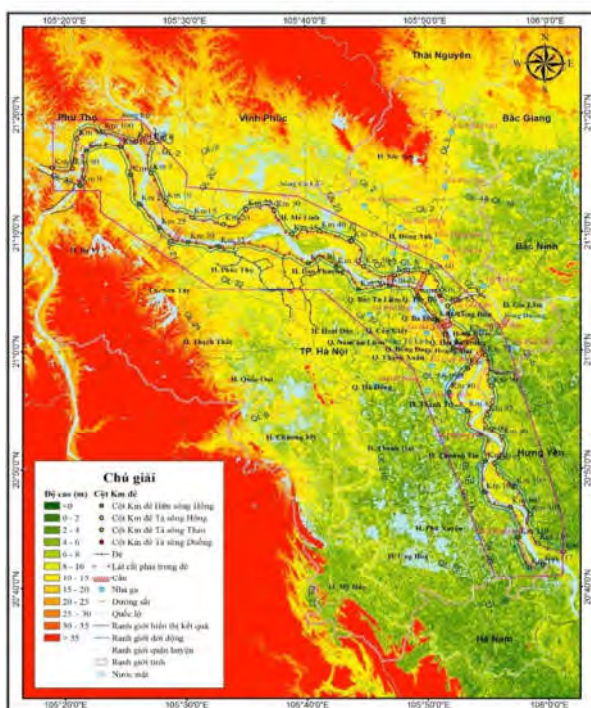
Phú Phương (từ Hữu Hồng Km 12 đến Km 15), Bãi Đại Độ-xã Võng La, huyện Đông Anh, Bãi Phú Xá - xã Phú Thượng, xã Nhật Tân, quận Tây Hồ, Bãi trung Hà.

- Các dải địa hình bãi bồi di động: Bãi có cao độ từ 2- 5m hoặc cao hơn, các bãi cát này hình thành ở giữa sông hoặc ven bờ, không ổn định, thường bị di chuyển sau mỗi mùa lũ,. Các bãi cát này là đối tượng khai thác làm vật liệu xây dựng và san lấp nền cho các công trình xây dựng ở phía trong đê. Ở thời điểm hiện tại 201 các bãi khai thác cát và tập kết cát nằm tập trung ở khu vực xã Cổ Đô, Tân Đức, Cao Xá, Thụy Vân, Minh Nông, Thanh Miếu, Phú Cường thuộc khu vực Ngã Ba Thao Đà nơi hợp lưu của ba con sông, nơi có hoạt động khai thác cát rất lớn. Tiếp đến các bãi cát có diện tích nhỏ hơn nằm rải rác từ ở xã Phúc Châu, Chu Minh đến xã Vạn Phúc – huyện Thanh Trì.

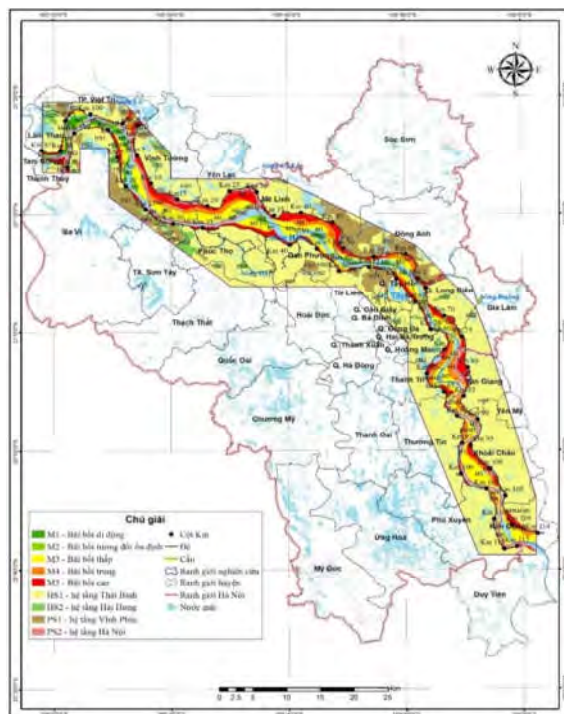
- Dạng địa hình trũng, đầm lầy: Phân bố rải rác dọc theo hai bờ đê trong và ngoài đê. Hướng phân bố tập trung theo ba hướng chính: hướng á vĩ tuyến tập trung ở Phúc Thọ và Đan Phượng. Hướng á kinh tuyến tập trung ở khu vực Chu Phan, Thọ Xuân, Sơn Tây, Phúc Thọ. Về đặc điểm hình thái dạng có 2 dạng: dạng tuyến với chiều dài lớn hơn rất nhiều so với chiều rộng và thường hai bên bờ của dải trũng và đầm lầy có vách dốc, hoặc có ranh giới rõ ràng như ở Chu Phan; dạng hình thái đẳng thước (có nghĩa là chiều rộng và chiều dài không chênh nhau mấy và chúng có sườn dạng lòng chảo). Cấu tạo địa chất chủ yếu là các trầm tích sét, bùn và hợp chất hữu cơ, dạng địa hình này có sự ảnh hưởng khá rõ rệt đến độ ổn định của tuyến đê (dễ gây ra mạch đùn, mạch sủi, lún nền đê).

Với sự phân bố và đặc điểm của các yếu tố địa mạo cho thấy có liên quan chặt chẽ đến sự hoạt động của hệ thống sông và xa hơn nữa là kiến tạo tân kiến tạo, mỗi một yếu tố địa mạo phản ánh đặc điểm của hoạt động kiến tạo với mức độ hoạt động khác nhau. Thông thường, nơi nào có hoạt động kiến tạo hạ (kiến trúc âm) thì ở đó độ uốn khúc của dòng sông rất lớn, phát triển nhiều dấu vết của lòng sông cổ, các đầm lầy và các dải trũng, kéo dài, trục địa hình thấp. Trong khu vực nghiên cứu, nhận thấy một số khu vực có độ bền vững kém như: khu vực Sơn Tây - Vĩnh Thịnh, Vân Cốc - Chu Phan, Khu vực Đan Phượng, Liên Mạc, Tứ Liên, Bát Tràng, Đông Mỹ, An Cảnh, Quang Lãng với sự xuất hiện nhiều những dải trũng, dấu vết của lòng sông cổ và các vách dốc, đầm lầy và bãi bồi hiện đại nằm sát đê. Do vậy, các dạng địa hình địa mạo

của đới động là các yếu tố điều kiện làm phát sinh các quá trình và tai biến luôn tiềm ẩn như: tai biến xói lở, biến dạng thấm qua nền đê, lún nền đê.



Hình 2.3 Bản đồ địa hình khu vực Đới động (tỷ lệ 1:50 000)



Hình 2.4 Bản đồ địa mạo khu vực Đới động (tỷ lệ 1:50 000)

### 2.2.2. Điều kiện địa tầng

Địa tầng trầm tích Đệ tứ của khu vực thành phố Hà Nội nằm trên **Hệ tầng Vĩnh Bảo (N<sub>2</sub> vb)** với các nguồn gốc khác nhau, được hình thành từ Pleistocen sớm đến Holocen muộn, được phân chia như sau:

#### \* Thống Pleistocen

##### - Phụ thống Pleistocen dưới. Hệ tầng Lệ Chi (aQ<sub>1</sub><sup>1</sup> lc).

Hệ tầng do Ngô Quang Toàn xác lập năm 1989, hệ tầng được chia làm 3 tập với tổng chiều dày của hệ tầng 25 - 30m. Tập 1: (dưới) gồm cuội, sỏi có độ mài tròn tốt, sỏi lẫn ít cát, bột, sét: Dày 20m. Tập 2: (giữa) gồm cát, bột màu vàng xám, dày 3 - 10 m. Tập 3: (trên) gồm bột, sét, cát màu xám, xám đen do lẫn vật chất hữu cơ, chiều dày 1 - 4,5m.

##### - Phụ thống Pleistocen giữa-trên. Hệ tầng Hà Nội, (ap, am Q<sub>1</sub><sup>2-3</sup> hn)

Hệ tầng do Hoàng Ngọc Kỳ xác lập năm 1973, hệ tầng chia làm 3 tập: Tập 1: (dưới)

gồm: cuội, cuội tảng kích thước 7÷15cm, sỏi, sạn và rất ít cát bột xen kẽ thuộc tướng sông miền núi, chiều dày từ 10 -20 m. Tập 2: (giữa) gồm : sỏi nhỏ, cát hạt thô, cát bột màu vàng, vàng xám, vàng nâu là trầm tích sông điển hình, chiều dày 17m. Tập 3: (trên) gồm : thành phần cát bột lẫn sét, cát vàng. Chiều dày trung bình 20m. Tổng chiều dày của tầng ở vùng phủ khoảng 34m.

#### **- Phụ thống Pleistocen trên. Hệ tầng Vĩnh Phúc ( $Q_1^3vp$ ).**

Hệ tầng do Hoàng Ngọc Kỳ xác lập năm 1973, hệ tầng được chia làm 4 tập: Tập 1: (dưới): gồm cuội, cuội nhỏ, cát lẫn ít sét bột thuộc tướng lòng sông vùng núi và vùng chuyển tiếp. Chiều dày: 3-10m. Tập 2: gồm cát, bột, có ít sét, cát vàng, đôi nơi có thau kính sỏi nhỏ, đặc trưng cho tướng lòng và gần lòng sông đồng bằng, chiều dày 33m. Tập 3: gồm sét kaolinit màu xám trắng, sét bột xám vàng, có sự xen kẽ của cát bột, bột sét, sét và cát mịn, đặc trưng cho tầng bãi bồi, chiều dày từ 0 đến 10-15m. Tập 4: gồm sét đen, bột sét màu nâu đen, xám vàng chứa tàn tích thực vật, đặc trưng cho tướng hồ, đầm lầy ven sông, chiều dày 3-8m.

#### **\* Thống Holocen.**

#### **- Phụ thống Holocen dưới -giữa. Hệ tầng Hải Hưng ( $Q_2^{1-2}hh$ )**

Hệ tầng do Hoàng Ngọc Kỳ xác lập năm 1978. Hệ tầng Hải Hưng bao gồm:

- Phụ tầng Hải Hưng dưới: Trầm tích hồ- đầm lầy ( $lbQ_2^{1-2}hh_1$ ). Đây là phân hệ tầng dưới của hệ tầng Hải Hưng. Có 2 kiểu mặt cắt: Mặt cắt kiểu hồ đầm lầy ven biển và kiểu mặt cắt hồ-đầm lầy lục địa (phát triển ở đồng bằng diện tích nhỏ ).

- Phụ tầng Hải Hưng giữa: Trầm tích biển ( $mQ_2^{1-2}hh_2$ ) phân bố ở Nhôn, Tây Mỗ, Tây Tựu và dọc sông Đuống ở Mai Lâm, Dục Tú, Long Biên, Gia Lâm tới Bát Tràng. Hệ tầng bị trầm tích hệ tầng Thái Bình phủ lên trên và có chiều dày từ 0,5÷15 m.

- Phụ tầng Hải Hưng trên: Trầm tích đầm lầy ( $bQ_2^{1-2}hh_3$ ) thành tạo đầm lầy phát triển sau biển tiến Holocen giữa. Thành phần gồm: bột sét, ít cát, than bùn lộ ra trên mặt và bị ngập nước, chiều dày 2 -5 m.

#### **- Phụ thống Holocen trên Hệ tầng Thái Bình ( $Q_2^3tb$ ).**

Hệ tầng do Hoàng Ngọc Kỳ xác lập năm 1978. Đây là trầm tích trẻ nhất, tuổi khoảng 3000 năm đến nay gần như có mặt khắp khu vực nghiên cứu, phân bố ở quận Hoàn Kiếm; quận Cầu Giấy tại Mai Dịch, Quan Hoa; ở quận Thanh Xuân tại Khương

Thượng, Giáp Bát, Định Công; ở Thanh Trì tại Tam Hiệp, Hoàng Liệt; ở Gia Lâm tại Phù Đổng, Sài Đồng, Gia Thụy; ở Sóc Sơn tại Bắc Lý, Phù Lỗ; ở Đông Anh tại Yên Thường, Mai Lâm. Hệ tầng Thái Bình trong diện tích thành phố Hà Nội có các thành tạo trong đê ( $Q_2^3tb_1$ ) và ngoài đê ( $Q_2^3tb_2$ ). Theo thạch học và nguồn gốc trầm tích, hệ tầng Thái bình được phân ra: Phân hệ tầng dưới ( $Q_2^3tb_1$ ) bao gồm: Tích tụ sông và tích tụ hồ-đầm lầy. Thành phần bao gồm: cát, bột sét màu xám nâu, xám vàng, đôi chỗ xen lẫn sét màu xám đen, chiều dày của phân hệ tầng dưới 5 -20 m. Phân hệ tầng trên ( $aQ_2^3tb_2$ ). Thành phần bao gồm: Phần dưới là cuội sỏi, cát lẫn ít bột sét màu nâu vàng, xám vàng, bề dày 3÷10m, chiều dày là 20- 35m.

#### **\* Đá gốc**

Các trầm tích Đệ tứ phủ trực tiếp lên các đá gốc. Đá gốc có nguồn gốc trầm tích và magma, có tuổi từ Proterozoi đến Kainozoi. Đá gốc không lộ ra trên địa phận ĐĐHN, xuất hiện nông hơn tại khu vực Ba Vì (chùng 20-30m) và chìm dần xuống phía nam theo dòng chảy (chùng 120-160m tại Phú Xuyên). Thành phần chủ yếu là cát, bột kết. Đặc biệt tại khu vực Sơn Tây có mặt đá vôi của điệp Đồng Giao bị cactơ hóa. Đá gốc, ngoài đá vôi, ít có ý nghĩa liên quan đến các tai biến ĐKTMT nên thường không được chú ý đánh giá, thêm nữa chúng thường nằm sâu.

#### **2.2.3. Điều kiện kiến tạo, tân kiến tạo**

Trên cơ sở kết quả nghiên cứu của nhiều tác giả cho thấy thành phố Hà Nội nằm trong phạm vi của 5 đới kiến tạo được thể hiện trên Hình 2.5 [47] cụ thể như sau:

Đới An Châu: Trên diện tích thành phố Hà Nội đới An Châu lộ ra ở góc đông bắc thành phố trên toàn bộ diện tích huyện Sóc Sơn và phần phía bắc huyện Mê Linh. Trên phạm vi đới có đứt gãy Sông Lô 1 (Vĩnh Ninh), Sông Lô 2, Đông Triều và Sông Cháy chạy qua.

Đới Hà Nội: Đới Hà Nội hay còn gọi là vùng trũng Hà Nội, phân bố trên một diện rộng từ phía nam đứt gãy Sông Lô 1 đến phía bắc đứt gãy Sông Hồng, chiếm toàn bộ các quận nội thành, toàn bộ huyện Đông Anh đến Chương Mỹ và Mỹ Đức. Đới Hà Nội phủ chồng lên đới Sông Hồng, Ninh Bình và An Châu.

Đới Sông Hồng: Trên địa phận Hà Nội, đới Sông Hồng chỉ biểu hiện một phần nhỏ ở phía tây bắc của thành phố - nơi có móng uốn nếp cổ kết tiền Cambri lộ ra trên bề

mặt địa hình. Đới phân bố ở phía bắc đứt gãy Sông Hồng, kéo dài từ Cổ Đô (Ba Vì) đến Tuyết Nghĩa (Quốc Oai) và thị xã Sơn Tây.

Đới Phăng Si Păng: Trên địa phận Hà Nội chỉ có một phần nhỏ của đới Phăng Si Păng (đầu mút phía đông nam đới) và phân bố trên một diện hẹp ở phía tây huyện Ba Vì sát Sông Đà.

Đới Ninh Bình: Đới Ninh Bình phân bố ở phía nam đứt gãy Sông Hồng, ở các huyện Ba Vì, Thạch Thất, Quốc Oai, Chương Mỹ, Ứng Hòa, Mỹ Đức. Đới tiếp giáp với đới Phăng Si Păng ở phía tây bắc bởi đứt gãy Tòng Bạt – Khánh Thượng (một phần của đứt gãy dạng vòng cung Chợ Bờ - Hòa Bình – Sơn Tây); tiếp giáp với đới Sông Hồng ở phía bắc và đới Hà Nội ở phía đông, đông – nam.

Địa bàn thành phố vừa có bộ phận nằm trong đới sụt lún trung tâm của đồng bằng Bắc Bộ, vừa có bộ phận nằm trong đới nâng chuyển tiếp rìa Đông Bắc và đới nâng chuyển tiếp rìa tây nam đồng bằng Bắc Bộ. Tuy nằm trong đới sụt lún trung tâm, nhưng thực ra chỉ là phần đầu mút gần như tận cùng về phía tây bắc của nó, vì thế tổng biên độ sụt lún tân kiến tạo là không đáng kể.

Trong giai đoạn tân kiến tạo (Paleogen muộn - Đệ tứ), trên địa bàn Hà Nội cũng như các vùng lân cận, hoạt động kiến tạo tương đối mạnh và xảy ra trong bối cảnh địa động lực với 2 kiểu trường ứng suất kiến tạo (TUSKT) khác nhau: Kiểu TUSKT thứ nhất ứng với pha kiến tạo sớm, diễn ra trong thời kỳ hình thành các bồn trũng Oligocen - Miocen. Kiểu TUSKT thứ hai ứng với pha kiến tạo muộn hơn, trong Pliocen - Đệ tứ. Kiểu TUSKT thứ hai có trục ứng suất nén ép gần nằm ngang, phương á kinh tuyến, trục ứng suất tách giãn gần nằm ngang, phương á vĩ tuyến và trục ứng suất trung gian gần thẳng đứng ứng với nó.

Dựa vào đặc điểm địa hình, quá trình địa mạo hiện đại, bề dày Đệ tứ và biên độ nâng hạ trong giai đoạn tân kiến tạo, khu vực nghiên cứu tạo thành các vùng nâng hạ khác nhau cả về diện lẫn mức độ: Vùng nâng mạnh phân bố xung quanh núi Ba Vì và Vườn quốc gia Ba Vì, thuộc địa bàn các xã Tân Lĩnh, Minh Quang, Khánh Thượng, Ba Trại và Yên Bài (huyện Ba Vì). Vùng nâng trung bình phía đông bắc Hà Nội, ở phía bắc huyện Sóc Sơn. Ngoài ra còn xuất hiện các huyện Thạch Thất, Quốc Oai, Chương Mỹ, dải từ Nam Phương Tiến (Chương Mỹ) đến Hương Sơn (Mỹ Đức) với

địa hình núi karst điển hình cấu thành từ các thành tạo carbonat hệ tầng Đồng Giao. Vùng nâng yếu ở phía tây Hà Nội, tại xã Thạch Hòa (huyện Thạch Thất). Vùng sụt lún tương đối ở phía đông bắc Hà Nội, vùng sụt lún tương đối chiếm phần lớn huyện Sóc Sơn và một phần huyện Đông Anh. Vùng sụt lún tương đối là dải sát Sông Đà từ Thuần Mỹ đi Tòng Bạt và dải sát Sông Hồng từ Cổ Đô đến phía bắc huyện Phúc Thọ đến huyện Ứng Hòa. Vùng sụt lún trung tâm bị ảnh hưởng và chi phối khống chế bởi 2 đứt gãy khu vực là đứt gãy Sông Lô 1 ở phía đông bắc và đứt gãy Sông Hồng ở phía Tây Nam. Ngoài ra còn có các khối sụt Tây Hồ, khối sụt Gia Lâm - Thanh Trì, chúng còn tiếp tục kéo dài xuống phía Đông Nam [47].

- Đoạn từ ngã ba Trung Hà đến Cổ Đô nằm gọn trong kiến trúc sụt lún phương kinh tuyến nên dòng sông cũng phát triển theo cơ chế sụt nghiêng và lòng dẫn tiếp tục uốn khúc mở rộng theo chiều ngang và tạo thành các bãi bồi rộng. Khả năng lắng đọng phù sa rất lớn.

- Đoạn từ Cổ Đô đến Tân Hồng (nơi sông có hướng chảy á vĩ tuyến) do tác động nâng cục bộ khối Việt Trì lòng sông tiếp tục xói lở mạnh ở bờ phía nam (bờ phải).

- Đoạn từ Tân Hồng - Châu Sơn đến Vân Hồng hiện đang phát triển trong đới tách giãn - sụt lún phương á kinh tuyến Châu Sơn nên cơ chế hoạt động của dòng chảy tương tự đoạn Trung Hà - Cổ Đô, tuy nhiên do ở đây đới tách giãn sụt lún có kích thước lớn hơn nên khả năng tích tụ bồi tích mạnh hơn, các bãi bồi cũng rộng hơn.

- Đoạn Ba Vì - Phúc Thọ bị khống chế ở phía Tây Nam bởi khối kiến trúc Tây Bắc - Đông Nam khá bền vững Tây Đằng - Thanh Mỹ, ở phía Đông Bắc khối nâng Vĩnh Tường - Vĩnh Yên tiếp tục hoạt động yếu do hoạt động cộng ứng của hai đới đứt gãy Ba vì - Sơn Tây và Phúc Thọ - Phúc Yên nên đoạn uốn cong này đã đạt tới vị trí ổn định và tương lai chúng ít thay đổi.

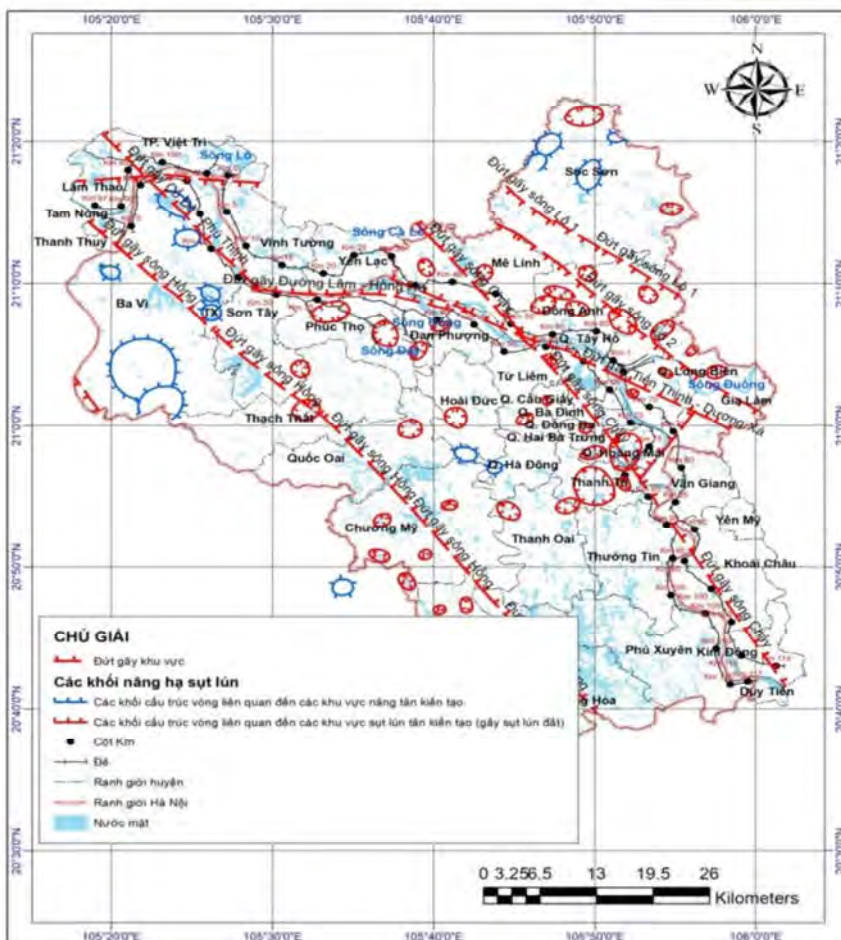
- Đoạn Phúc Thọ - Liên Mạc phát triển trên phong sụt lún chung và bị phức tạp hoá bởi sự chuyển động phân dị các khối bậc cao vì vậy dòng chảy ở đây còn biến đổi phức tạp nhưng với khuynh hướng chung là uốn khúc, mở rộng lòng sông, bãi bồi theo chiều ngang và bồi lắng xảy ra khá lớn.

- Hai cửa tiêu nước của sông Đáy và sông Cà lồ đều nằm trong đới sụt lún cục bộ phương á kinh tuyến nên khả năng thoát lũ kém. Mặt khác lòng dẫn của chúng đều cắt

qua các đới nâng cục bộ đang phát triển nên trong tương lai chúng sẽ bị thoái hoá.

- Sự xuất hiện các kiến trúc nâng và hạ cục bộ xen kẽ trong dải Văn Khê - Hồ Tây chứng tỏ khối nâng này đang phát triển tiếp tục. Đoạn từ Yên Phụ đến Yên Sở thì sự biến đổi lòng sông tuân theo qui luật uốn khúc trong vùng sụt, tiếp theo tới Thường Tín có xu thế phát triển theo phương á kinh tuyến của đoạn sông uốn cong bị hạn chế sẽ gây xói lở và bồi tụ xen kẽ.

Hoạt động kiến tạo và đặc biệt là tân kiến tạo là yếu tố quyết định chiều hướng phát triển của sông khu vực Đới động, các đặc điểm hoạt động nâng hạ cho ta thấy chiều hướng phát triển lòng dẫn và từ đó đánh giá được nguy cơ phát sinh các tai biến ĐKTMT liên quan đến ổn định tuyến đê, đới bờ (bao gồm xói sâu và xói lở bờ) của khu vực nghiên cứu. Yếu tố kiến tạo là một trong những thông số cần quan trắc bởi sự tác động của nó tới sự mất ổn định của hệ thống.



Hình 2.5 Bản đồ kiến tạo và tân kiến tạo (tỷ lệ 1:50.000) [47]

#### **2.2.4. Điều kiện tính chất cơ lý các lớp đất đá**

Trầm tích Đệ tứ đối động về cơ bản cũng bao gồm các phân vị địa tầng có mặt trong khu vực Hà Nội. Tuy nhiên, khu vực này sự phân bố và tính chất cơ lý của các lớp đất đá có đặc trưng riêng. Do đó tính nhạy cảm với các tải trọng tác động từ nhân sinh và tự nhiên khác so với phần còn lại của Hà Nội. Trên cơ sở hơn 500 hố khoan khảo sát trong khu vực đối động cho thấy cấu trúc địa chất là bất đồng nhất từ thành phần, tính chất và tuổi địa chất. Vì vậy, để nghiên cứu khả năng ứng xử của MTĐC dưới tác động của phụ hệ thống kỹ thuật và phụ hệ thống môi trường xung quanh, tác giả đã phân chia các lớp đất đá khu vực đối động thành những lớp (phân vị địa tầng) với nguyên tắc như sau: lớp có cùng nguồn gốc thành tạo, cùng tuổi địa chất, tựa đồng nhất kiểu thạch học, cùng một khoảng trạng thái, tựa đồng nhất về tính chất địa chất công trình, cùng phân bố trong trật tự không gian của cột địa tầng chi tiết đến phụ hệ tầng. Trong một lớp đất có thể tới 80 - 90% mẫu cùng một dạng thạch học, có thể 10 - 20% dạng thạch học khác. Với nguyên tắc chia lớp đất như trên kết hợp với lý thuyết phân loại đất đá trong địa chất công trình của giáo sư G.K.Bondarik, tác giả chia đất đá trong phạm vi nghiên cứu thành 23 lớp đất đá (phân vị địa tầng) theo thứ tự từ trên xuống dưới. Các lớp đất đá này được thể hiện cụ thể và chi tiết trên bản đồ địa chất công trình và các lát cắt địa chất công trình (phụ lục Hình 1, Hình 2). Sau đây là mô tả ngắn gọn về chúng:

##### **\* Trầm tích nhân sinh: Đất lấp, bùn đáy ao hồ hiện đại**

- **Đất đắp đê, đất lấp, thành phần sét, sét pha, hỗn tạp, trạng thái không đều (ký hiệu lớp T):** lớp trong khu vực có thành phần không đồng nhất, có thể là sét, sét pha - vật liệu san lấp các hồ, ao ven đê để chống thấm qua nền đê, có thể là cát pha, sét pha, thậm chí cả gạch vụn - vật liệu san lấp nền công trình nên trạng thái không đồng nhất. Đất đắp đê được lấy tại chỗ, thường có thành phần sét pha - sét tương đối đồng nhất đảm bảo chống thấm qua thân đê trong thời gian mưa lũ.

- **Lớp bùn đáy ao hồ (ký hiệu lớp Ta):** lớp này có thành tạo trầm tích hiện đại, liên quan đến các ao, hồ, sông cổ thời kỳ Holocen muộn có mặt trên địa bàn thành phố Hà Nội. Trong khu vực nghiên cứu đặc điểm phân bố của lớp Ta cũng chỉ tập trung thành dải không liên tục như: dải ở Km 75 đến Km80 Hữu Hồng, Km 83 Hữu Hồng, Km 4



Tả Hồng, Km 15 đến Km20 Tạ hồng, Km 80 đến Km85 Tạ Hồng. Đây là các diện phân bố tương đối hẹp xuất hiện ít với chiều dày biến đổi không lớn khoảng từ 0.8 – 3.8m. Lớp này chủ yếu xuất hiện phi trong và ngoài đê không xuất hiện dưới nền đê, nên không gây lún nền đê nhưng có khả năng tạo điều kiện cho sự xuất hiện các mạch đùn sủi gây biến dạng thấm.

**\* Phụ hệ tầng Thái Bình trên (aQ<sub>2</sub><sup>3</sup>tb<sub>2</sub>)**

- **Lớp cát lòng sông và bãi bồi di động ven sông (ký hiệu lớp 1):** Lớp này thành phần chủ yếu là: Cát lòng sông và bãi cát di động màu nâu vàng, vàng xám phủ toàn bộ lòng sông và tập trung thành các bãi cát di động nổi lên ở ven bờ hoặc giữa sông. Các số liệu phân tích cho thấy độ phân tuyền của cát thuộc loại khá tốt phù hợp cho vật liệu xây dựng. Phân bố rải rác khắp khu vực nghiên cứu, tập trung nhiều ở khu vực ngã ba Thao -Đà, chiều dày luôn biến động mạnh có thể từ 3,5m (cầu Thanh Trì) đến 15-17m (cầu Vĩnh Tuy) hoặc 20 - 22m (cầu Nhật Tân). Thành phần hạt của lớp này có phần mịn dần theo chiều xuôi dòng về hạ lưu. Cát có khả năng thấm nước tốt và lúc nào cũng bão hòa nước, là yếu tố điều kiện gây ra xói lở bờ sông.

- **Lớp sét pha - cát pha màu nâu, nâu hồng trạng thái dẻo, dẻo mềm (ký hiệu lớp 2a):** Lớp có thành phần chủ yếu là: Sét pha - cát pha, cát pha màu nâu hồng trạng thái dẻo - dẻo mềm là trầm tích phân bố trên mặt của 3 bãi nổi tương đối ổn định giữa sông (Đại Độ, Phú Xá, Trung Hà) và các bãi bồi thấp (bãi bồi M3) hai bên bờ: Thượng Cát, Đại Mạch, Tầm Xá, Tứ Liên, Long Biên, Thanh Trì, Vân Đức, trong đó diện tích phân bố lớn nhất tại 2 bãi Tầm Xá và Vân Đức. Chiều dày biến đổi trung bình của lớp từ 2 - 4m, cá biệt có những nơi chiều dày của lớp 2a lên đến 10,0m (km49+250), lớp này có khả năng giữ ổn định bờ sông.

- **Lớp cát hạt nhỏ, hạt mịn màu xám nâu, nâu gụ, nâu hồng trạng thái xốp (ký hiệu lớp 2b):** Lớp có thành phần chủ yếu là: Cát hạt bụi - hạt mịn - hạt nhỏ màu xám nâu, nâu gụ, nâu hồng trạng thái xốp, nằm ngay dưới lớp 2a trong phạm vi các bãi nổi giữa sông tương đối ổn định và các bãi bồi thấp (bãi bồi M3) hai bên bờ sông trong một nhịp trầm tích chung tạo nên các cấu trúc địa mạo kể trên. Chiều dày của lớp có thể biến đổi rất mạnh và phức tạp từ 3,5 m đến 17m. Thành phần hạt thô dần theo

chiều sâu trong các lỗ khoan, lớp có khả năng thấm nước tốt, là yếu tố điều kiện thuận lợi gây ra xói lở bờ sông.

**- Lớp sét pha màu nâu gụ thẫm, nâu gụ trạng thái dẻo cứng - dẻo mềm (ký hiệu lớp 3a):** lớp có thành phần chủ yếu là: Sét pha, Sét pha - cát pha không đồng nhất màu nâu gụ thẫm, nâu xám trạng thái dẻo cứng - dẻo mềm, phân bố ở phần trên mặt cắt bãi bồi trung (bãi bồi M4) trong khu vực nghiên cứu. Diện tích phân bố được mở rộng xuống hạ lưu, tức là tại khu vực huyện Thanh Trì, huyện Gia Lâm (xã Văn Đức, Đông Du, Long Biên), xã Tầm Xá, phường Nhật Tân, Tứ Liên. Tại các xã Đại Mạch và Thượng Cát lớp phân bố thành 2 dải hẹp. Chiều dày của lớp 3a biến đổi trung bình từ 3-5m, cá biệt có thể tới 12m (km 69+200, tả Hồng). Tại taluy sạt lở bờ sông khu vực Hải Bối trong tổng thể chiều dày 5m của lớp 3a. Sự tồn tại của các nhíp trầm tích kéo theo sự bất đồng nhất của lớp đất 3a, ảnh hưởng đến khả năng chống sạt lở bờ sông của lớp đất này.

**- Lớp cát pha màu nâu gụ, xám nâu, nâu vàng trạng thái dẻo (ký hiệu lớp 3b):** Lớp có thành phần chủ yếu là: Cát pha - cát mịn - cát nhỏ màu xám, xám nâu, xám sáng trạng thái xốp - chặt vừa, trầm tích của bãi bồi trung, nằm dưới lớp 3a trong phạm vi của bãi bồi trung (bãi bồi M4), hình thành trong một chu kỳ trầm tích chung tạo nên bãi bồi M4. Không phải trên toàn diện tích bãi bồi M4 đều có mặt đầy đủ các nhíp trầm tích kể trên, cũng chính vì vậy lớp 3b không có mặt ở tất cả các khu vực có mặt lớp 3a (km61+100 Hữu Hồng; km62+500 Hữu Hồng;...), hoặc lớp 3b tồn tại với chiều dày mỏng. Chiều dày của lớp 3b biến đổi tương đối mạnh và phức tạp từ 1m (Km78; Km85 Hữu Hồng) đến 7m (Km 49+250 Hữu Hồng)

**- Lớp sét pha màu nâu, nâu gụ, xám nâu, nâu vàng trạng thái dẻo cứng (ký hiệu lớp 4a):** Lớp có thành phần chủ yếu là: Sét màu nâu, nâu gụ thẫm, xám nâu trạng thái dẻo cứng - dẻo. phân bố rộng rãi trên mặt của bãi bồi cao (bãi bồi M5) dọc theo chân đê thành các dải hẹp. Tại một số khu vực sét lớp 4a kéo dài từ chân đê ra đến bờ sông như: xã Liên Mạc, Đông Ngạc, Phú Thượng, Chương Dương, Bạch Đằng, Thanh Lương, Duyên Hà (Hữu Hồng); Ngọc Thụy, Bát Tràng, Kim Lan (Tả Hồng). Sét tương đối đồng nhất khả năng chống sạt lở tốt hơn nhiều so với các lớp trẻ hơn kể trên, chiều dày trung bình 5 - 7m cá biệt có nơi tới 13m (km 69+200, Tả Hồng).

**\* Phụ hệ tầng Thái Bình dưới (a, l Q<sub>2</sub><sup>3</sup>tb<sub>1</sub>)**

- **Lớp sét pha màu nâu, nâu gụ, xám nâu, nâu vàng trạng thái dẻo cứng - dẻo mềm (ký hiệu lớp 4):** Lớp có thành phần chủ yếu là: Sét - sét pha màu nâu gụ, nâu vàng trạng thái dẻo cứng-dẻo mềm. Phân bố rất rộng rãi ở phía trong đê ngay trên mặt đất, dưới nền đê và phía ngoài đê dưới lớp đất 4a, chiều dày biến đổi từ 1 - 12.5m. Sét - sét pha lớp 4 có vai trò như sân phủ chống thấm phía hạ lưu đê trong thời gian mưa lũ, vì vậy chiều dày của lớp này ở hạ lưu đê có vai trò rất quan trọng trong việc đảm bảo ổn định cho hệ thống đê và cả khu vực.

- **Lớp sét pha màu nâu xám lẫn ít hữu cơ trạng thái dẻo chảy - chảy (ký hiệu lớp 5):** Lớp có thành phần chủ yếu là: Sét pha màu nâu xám lẫn ít hữu cơ trạng thái dẻo chảy. Đây là lớp đất yếu phân bố bên bờ Hữu Hồng dưới nền đê tại Km 63+500, Km66, Km 69, Km 76-77, Km79+500, Km81+500. Ở ngoài bãi sông khu vực huyện Thanh Trì lớp 5 phân bố tương đối rộng rãi ở các xã Lĩnh Nam, Yên Sở, Yên Mỹ, Duyên Hà. Bên bờ Tả lớp 5 gặp dưới nền đê tại Km34, Km35, Km 69+500, Km70, Km99, từ Km 100 đến Km105, Km 108, Km 111. Chiều dày của lớp thay đổi từ 2 - 15.4m, trung bình 7.2m. Sự có mặt của lớp 5 dưới nền đê là nguyên nhân gây lún không đều nền và thân đê, tuy nhiên lớp này làm tăng chiều dày tầng phủ, giảm khả năng thấm nền đê.

- **Lớp sét pha xen kẹp cát pha màu nâu xám trạng thái dẻo mềm (ký hiệu lớp 6):** Lớp có thành phần chủ yếu là: Sét pha xen kẹp cát pha màu nâu xám trạng thái dẻo mềm. Lớp 6 phân bố hạn chế bên Bờ tả dưới nền đê từ Km68 đến Km69, Km 96, Km 97 TH và phân bố rộng hơn bên Bờ hữu dưới nền đê từ Km 62 đến Km72, một ít ở dưới nền đê Km79. Chiều dày thay đổi từ 2.3 - 7,8m. Lớp này nằm phân bố chủ yếu dưới lớp 4, đôi chỗ dưới lớp 5. Lớp này làm tăng chiều dày tầng phủ, giảm khả năng thấm nền đê.

- **Lớp cát bụi - cát mịn màu xám nâu (ký hiệu lớp 7a):** Lớp có thành phần chủ yếu là: Cát bụi - cát mịn màu xám nâu, xám, trạng thái xốp - chặt vừa. Lớp phân bố từ Km87 đến Km 105 Tả Thao nằm ngay dưới lớp 4 với chiều dày từ 2.8m đến 14.5m, Phía bờ tả sông Hồng, lớp 7a bắt gặp tại Km4, Km13+350 đến Km15TH, Km20 đến Km22TH, từ Km91 đến Km92TH, Km 108 đến Km109+300TH. Phía bờ Hữu, lớp 7a

phân bố Km20 đến Km23+600HH với chiều dày từ 3m đến 7.5m, Km30 đến Km36HH, từ Km10 đến Km15 đê Vân Cốc với chiều dày trung bình 5.6m, lớp 7a, nằm rải rác ở Thượng Cát, Yên Phụ, Phúc Tân, Chương Dương, khu vực huyện Thanh Trì từ Km72+500 đến Km78 và từ Km80 đến Km105 chiều dày trung bình 10-15m tại khu vực cầu Thanh Trì chiều dày lên tới 25m. Cát hạt bụi ở trạng thái bão hoà nước là điều kiện thuận lợi cho phát sinh biến dạng thấm nền đê.

**- Lớp cát hạt nhỏ màu xám xanh, xám nâu trạng thái chặt vừa, đôi chỗ có lẫn sỏi nhỏ ở đáy (ký hiệu lớp 7b):** Lớp có thành phần chủ yếu là: Cát hạt nhỏ màu xám xanh, xám nâu trạng thái chặt vừa, đôi chỗ lẫn sỏi nhỏ ở đáy hoặc xen kẹp cát pha. Lớp 7b phân bố không đồng đều trong khu vực đê động. Phía tả Thao xuất hiện từ Km 90 đến Km 105, Phía bờ Tả Hồng lớp 7b xuất hiện ở Km3 đến Km 5TH, Km8 đến Km14TH, Km23 đến Km26+450TT, bãi sông khu vực xã Long Biên Km69 - Km70 TH, chiều dày từ 5 - 10m, xuất hiện một ít tại Km114TH, từ Km 2 đến Km20 HH, xuất hiện rộng khắp khu vực đê Vân Cốc Km3 đến Km15 với chiều dày 5.5m đến 9.4m, phân bố từ Nhật Tân - Tây Hồ đến Thanh Trì từ Km 59 đến Km 83 HH, chiều dày biến đổi trung bình từ 10m đến 20m. Đây là tầng thấm nước quan trọng dưới nền đê lại gần mặt đất, do đó trong phạm vi phân bố của lớp 7b đã xảy ra nhiều sự cố về biến dạng thấm nền đê Hà Nội.

**\* Phụ hệ tầng Hải Hưng giữa ( $mQ_2^{1-2}hh_2$ )**

**- Lớp sét xám xanh trạng thái dẻo mềm - dẻo cứng (ký hiệu lớp 8):** Lớp có thành phần chủ yếu là: Sét xám xanh, trạng thái dẻo mềm - dẻo cứng. Lớp này phân bố rất hạn chế trong khu vực nghiên cứu. Bên bờ Tả sông Hồng khu vực nghiên cứu xuất hiện ở Km 28 đến Km30 TH huyện Mê Linh, chỉ phát hiện trên mặt cắt cầu Thanh Trì tại mố A2 và trụ số 4 phía trong đê Gia Lâm, chiều dày 2-2,7m. Bên bờ hữu lớp 8 xuất hiện rất hạn chế dưới nền đê, Km70 HH, Km78 – Km79 HH và ngoài bãi sông thuộc xã Duyên Hà (mặt cắt ngang Km84) và lộ ra ở mép sông thuộc khu vực này ở độ sâu các mặt bãi 9m. chiều dày của lớp 8 rất hạn chế từ 2,4m đến 5m. Vì diện phân bố không lớn, nên ảnh hưởng của chúng đến ổn định chung của khu vực hạn chế.

**\* Phụ hệ tầng Hải Hưng dưới ( $lbQ_2^{1-2}hh_1$ )**

- **Lớp bùn sét màu xám đen lẫn hữu cơ (ký hiệu lớp 9):** Lớp có thành phần chủ yếu là: Bùn sét màu xám đen lẫn hữu cơ. Đây là lớp đất yếu chủ yếu của khu vực nghiên cứu, phân bố hạn chế ở hai bên bờ sông. Bên bờ Tả Hồng, lớp 9 phân bố dưới nền đê từ Km56 đến Km61+500, Km71+500 với chiều dày biến đổi từ 1,5 - 2,5m, Km 77 đến Km78 +300 TH và ở bãi sông khu vực Xóm Mới, Đại Bàng xã Kim Lan, Gia Lâm, Km 83 đến Km 87 TH với chiều dày từ 2m đến 7.8m, Km 92 đến Km 1115 TH với chiều dày từ 2.3m đến 5.2m. Bên bờ Hữu Hồng, dưới nền đê lớp 9 phân bố ngay sát mặt đất khu vực xã Thượng Cát, Liên Mạc tại Km48, Km50, Km52 đến Km52+500. Tại các quận nội thành và huyện Thanh Trì từ Km66 - Km68, Km70 - Km71, Km78 - Km79, Km83+500-Km85HH, Km87 đến Km117 HH, chiều dày của lớp biến đổi rất mạnh và đột ngột từ 0,4 m đến 20,5m. Sự tồn tại của lớp 9 dưới nền đê ở dạng các túi bùn là điều kiện cho quá trình cố kết nền đê, gây lún không đều thân đê.

**\* Hệ tầng Vĩnh Phúc (a,l,lbQ<sub>1</sub><sup>3</sup>vp)**

- **Lớp sét - sét pha nâu vàng, xám trắng, vàng, đỏ loang lỗ trạng thái nửa cứng - dẻo cứng (ký hiệu lớp 10):** Lớp có thành phần chủ yếu là: Sét - sét pha màu nâu vàng, xám trắng, loang lỗ, trạng thái nửa cứng - dẻo cứng- dẻo mềm. Lớp này phân bố tương đối rộng rãi, nhưng không liên tục do bị bào mòn và khoét thủng trong khu vực nghiên cứu. Đây là tầng “đánh dấu” của khu vực, là tầng cách nước lý tưởng, cũng là tầng chịu lực tốt cho các công trình bề mặt, tương đối bền vững dưới tác động của dòng chảy. Lớp xuất hiện điển hình tại: từ Km 87TT đến Km 105TT với chiều dày từ 2m đến 9.8m, từ Km0 đến Km30 TH, từ Km 35TH đến Km64 TH (cửa Đuống) lớp 10 lộ ngay trên mặt. Phân bố không liên tục từ Km64-Km67+500HH, Km72+500 - Km74HH, Km75- Km76+500HH, chiều dày từ 4 - 9m. Ngoài bãi sông Tả Hồng, lớp 10 phân bố dọc chân đê kéo dài từ Km48 đến Km56TH, Km62 - Km64 (Đông Anh), Km64 - Km67+500TH (Gia Lâm), khu vực Từ Liêm và Tây Hồ lớp 10 lộ ngay trên mặt đất tự nhiên, lớp 10 bị bào khoét thành các trũng tại Km48-Km49, Km50, Km52-Km53 HH, huyện Thanh trì xuất hiện từ Km69+500HH đến Km72+500HH với bề mặt bị bào khoét mạnh, chìm sâu cách mặt đất tự nhiên từ 6 - 22m. Lớp 10 có mặt chủ yếu ở khu vực các xã Liên Mạc, Đông Ngạc, Phú Thượng huyện Từ Liêm từ chân đê tới mép sông, vì vậy mặc dù bờ sông ép sát vào chân đê nhưng đê vẫn ổn định.

**- Lớp sét pha màu xám đen lẫn hữu cơ trạng thái dẻo chảy - chảy (ký hiệu lớp 11):** lớp có thành phần chủ yếu là: Sét pha màu xám đen lẫn hữu cơ, trạng thái dẻo chảy-chảy. Lớp này phân bố thành các diện nhỏ rất hạn chế trong khu vực Hà Nội, còn trong phạm vi đới động chỉ bắt gặp tại một lỗ khoan F029 (Km79+200, đê hữu Hồng, Thanh Trì) ở độ sâu 25-29m từ mặt đê và Km 101+600 đến Km102+200 TH với chiều dày nhỏ từ 2m đến 3m. Km 103 đến Km105 HH với chiều dày nhỏ từ 3m đến 4m.

**- Lớp cát pha xen kẹp sét pha trạng thái dẻo mềm (ký hiệu lớp 12):** Lớp có thành phần chủ yếu là: Cát pha - cát xen kẹp sét pha màu xám vàng, trạng thái dẻo mềm. Trong phạm vi đới động sông Hồng Hà Nội, lớp 12 phân bố hạn chế và chủ yếu ở dưới nền đê khu vực Đông Anh và Từ Liêm. Dưới nền đê Đông Anh (Tả Hồng) lớp 12 nằm dưới lớp 10 từ Km48 - Km50 TH, Km 51 - Km53 TH, chiều dày trung bình 2,0 - 4,0m. Dưới nền đê khu vực Từ Liêm, lớp 12 nằm dưới lớp 10 tại km51 ở dạng thấu kính và từ Km54 - Km56, Km69 đến Km70 HH chiều dày 5 - 8m. Ngoài ra lớp 12 còn bắt gặp cục bộ trong lỗ khoan quan trắc nước ngầm (P2AB) Km 77+250 khu vực xã Lĩnh Nam - huyện Thanh Trì, chiều dày 8,5m. Lớp 12 nằm dưới lớp 10 dưới nền đê nên có giá trị chống thấm qua nền đê trong thời gian mưa lũ.

**- Lớp cát hạt nhỏ màu nâu, nâu vàng trạng thái chặt vừa - chặt (ký hiệu lớp 13a):** Lớp có thành phần chủ yếu là: cát hạt nhỏ màu nâu, nâu vàng, lớp 13a phân bố tương đối rộng rãi nhưng không liên tục hai bên bờ sông Hồng khu vực nhiên cứu, lớp xuất hiện toàn bộ khu vực Km 87 TT đến Km105 TT với độ sâu từ 17m đến 36m, độ sâu phân bố mặt lớp hạ thấp dần theo chiều dòng chảy từ Km0 TH đến Km 105 TH với độ sâu từ 13 đến 32m so với mặt đất tự nhiên. Tại khu vực Đông Anh, Từ Liêm lớp 13a nằm ngay dưới lớp 10 hoặc lớp 12. Tại các khu vực Thanh Trì, Gia Lâm lớp 13a thường nằm dưới lớp 7b. Đây là tầng chứa nước trong khu vực và thông nước dưới nền đê, là nơi xảy ra các sự cố biến dạng thấm dưới nền đê Hà Nội. Chiều dày của lớp 13a trong phạm vi nghiên cứu giao động mạnh, các lỗ khoan sâu để xác định hết chiều dày của chúng còn hạn chế, song những số liệu có được cho thấy chiều dày lớp 13a biến đổi từ 3,3m đến 20,5m.

**- Lớp cát hạt trung lẫn sạn sỏi màu xám vàng, xám trắng trạng thái chặt (ký hiệu lớp 13b):** Lớp có thành phần chủ yếu là: cát hạt nhỏ - hạt trung lẫn sạn sỏi màu xám vàng, xám trắng. Đây là lớp có diện phân bố rất rộng, hầu như có mặt ở khắp mọi nơi (trừ một số vị trí có lòng dẫn sông Hồng cổ trước Holocen đi qua như khu vực Hồ Tây) với chiều sâu phân bố có xu hướng tăng dần từ bắc xuống nam theo chiều dòng chảy sông Hồng. Tuy nhiên chiều sâu bề mặt lớp 13b biến đổi rất mạnh trong phạm vi nhỏ, tạo nên các dị thường dòng chảy ngầm qua nền đê trong thời gian mưa lũ. Đây là tầng chứa nước quan trọng và là tầng thông nước dưới nền đê nguy hiểm trong mùa mưa lũ. Chiều dày của lớp 13b xác định chủ yếu theo các tài liệu thu thập, các lỗ khoan sâu hết chiều sâu phân bố của lớp 13b trong phạm vi nghiên cứu rất khiêm tốn. Chiều dày của lớp 13b biến đổi từ 4 - 20m, trung bình 10 - 15 m.

**\* Hệ tầng Hà Nội (ap, amQ<sub>1</sub><sup>2-3</sup>hn)**

**- Lớp sét pha cát pha màu nâu xám, xám ghi, đôi chỗ lẫn sạn sỏi trạng thái dẻo - dẻo mềm (ký hiệu lớp 14):** Lớp có thành phần chủ yếu là: Sét pha - cát pha màu nâu xám, xám ghi, trạng thái dẻo - dẻo mềm, đôi chỗ lẫn hữu cơ, sạn sỏi. Đây là lớp đất dính, nằm ở phía trên của tầng Hà Nội, trên toàn thành phố Hà Nội lớp 14 rất ít gặp, lớp này chỉ phân bố cục bộ thành diện rất nhỏ ở phía nam sông Hồng. Trong phạm vi đới động lớp 14 chỉ gặp duy nhất tại lỗ khoan P2AB tại Km 76+300 đến Km 77+200HH khu vực Lĩnh Nam ở độ sâu 38,5 - 52m (tính từ mặt đê).

**- Lớp cuội sỏi lẫn cát, sét màu xám, xám nâu, xám vàng (ký hiệu lớp 15):** lớp có thành phần chủ yếu là: cuội sỏi lẫn cát, sét màu xám, xám vàng, xám nâu. Lớp 15 phân bố rộng khắp thành phố Hà Nội, có mặt trên toàn bộ diện tích đới động. Bề mặt lớp 15 có xu hướng chung thấp dần từ Bắc xuống Nam và theo chiều dòng chảy từ Đông Anh, Từ Liêm xuống Thanh Trì, Gia Lâm. Bên bờ Tả Hồng, bề mặt lớp 15 ở độ sâu 20-25m các mặt đất tự nhiên ở khu vực Đông Anh, 35 - 45m ở khu vực Gia Lâm. Bên bờ Hữu Hồng mặt lớp 15 ở độ sâu 30-35 ở khu vực Từ Liêm, giảm xuống 40 - 50 m ở khu vực trung tâm và Thanh Trì. Chiều dày tổng thể của lớp 15 theo tài liệu đo sâu điện của đề tài và các tài liệu tham khảo khác (các hố khoan sâu) biến đổi từ 20- 45m. Đây là tầng chứa nước quan trọng nhất của thành phố, tầng cung cấp nước sinh hoạt cho toàn thành phố Hà Nội.

### \* Hệ tầng Lê Chi (aQ<sub>1</sub><sup>1c</sup>)

- **Lớp cuội sỏi đôi chỗ lẫn cát, cát pha, sét màu xám ghi, xám nâu đôi chỗ lẫn sạn sỏi (ký hiệu lớp 16):** Cuội sỏi đôi chỗ lẫn cát, cát pha, sét màu xám ghi, xám nâu đôi chỗ lẫn sạn sỏi, lớp 16 có diện phân bố hẹp, chỉ tập trung ở phía Bắc – thuộc địa phận huyện Gia Lâm, Bát Tràng, Dương Xá, Lê Chi, Ái Mộ, Yên Thường; ngoài ra lớp này còn bắt gặp tại một số khu vực như: Tiên Dương, Hải Bối, Phú Minh,... Chiều sâu phân bố lớn, tại khu vực Sóc Sơn thường 47.7-59.1 m, Đông Anh 45.0-65.0 m, Gia Lâm 55.0-75m. Chiều dày trung bình biến đổi từ 12-20 m, và thường phân bố ngay dưới lớp 15 và là tầng lót đáy của trầm tích đệ tứ, nằm trên móng đá cứng - cát bột sét kết phong hoá hệ tầng Neogen.

- **Lớp đá Neogen (ký hiệu lớp 17):** Lớp này không phân chia

Tính chất cơ lý của đất đá được phân tích và thí nghiệm theo đúng tiêu chuẩn hiện hành trong các phòng thí nghiệm thuộc Viện KHCN Xây dựng, Viện Thủy Nông, Viện Giao Thông Vận Tải và các phòng LAS có đủ năng lực từ hàng nghìn mẫu thu thập trong các hố khoan tại khu vực nghiên cứu. Các giá trị trung bình đại diện cho các chỉ tiêu tính chất cơ lý của các lớp trên được phân chia và mô tả sơ bộ trong (phụ lục Bảng 2). Các phân vị địa tầng của khu vực đới động sông Hồng Hà Nội được tổng hợp trong cột địa tầng tại (phụ lục Bảng 1). Địa tầng trầm tích Đệ Tứ trong đới động sông Hồng được thể hiện trong các mặt cắt địa chất công trình dọc đê sông và các mặt cắt địa chất công trình ngang sông (phụ lục Hình 1). Sự phân bố theo diện các phân vị địa tầng được thể hiện rõ trên sơ đồ tuyến mặt cắt địa chất công trình (phụ lục Hình 2).

Từ tính chất cơ lý và diện phân bố của 23 lớp được phân chia trong phạm vi nghiên cứu thuộc các trầm tích Đệ Tứ cho thấy các lớp này có vai trò cực kỳ quan trọng trong sự ổn định trạng thái của đới động sông Hồng Hà Nội. Các trầm tích mềm rời Đệ Tứ vẫn còn tiếp tục được hình thành, biến đổi do tác động trầm tích, bào xói lòng sông và điều này làm cho điều kiện ĐKTM của khu vực đới động thường xuyên biến đổi. Tuy nhiên, tính dễ biến đổi của các loại đất trong trầm tích Đệ Tứ không giống nhau và do đó vai trò của chúng trong tác động làm biến đổi điều kiện ĐKTM của khu vực đới động cũng khác nhau. Trong số các lớp trầm tích Đệ Tứ, xét về tính dễ biến đổi, có thể xếp theo thứ tự như sau theo thứ tự giảm dần về tính dễ bị biến đổi



(cũng là nguy cơ gây các tai biến cho môi trường địa chất dưới tác động từ các phụ hệ thống khác của hệ thống KTTN):

- Các lớp đất chứa tàn tích thực vật thuộc đất yếu bao gồm đất bùn, than bùn lẫn hữu cơ điển hình của khu vực đới động đó là lớp Ta, lớp 5 thuộc hệ tầng Thái Bình dưới, lớp 9 thuộc hệ tầng Hải Hưng dưới, lớp 11 thuộc hệ tầng Vĩnh Phúc phân bố không đồng đều, thường hay tạo thành các túi bùn lớn với chiều dày không ổn định tạo nên đặc điểm bất đồng nhất của môi trường địa chất tạo điều kiện thuận gây nguy cơ các biến đổi về điều kiện ĐKTMT của toàn hệ, có thể dẫn tới các tai biến ĐKTMT, điển hình là gây lún đê dưới tác động của bản thân trọng lượng của khối đắp đê.

- Các lớp có tính nhạy cảm với các tải trọng động, dễ hóa lỏng đó là các lớp cát bao gồm lớp 7a, 7b, 13a, 13b, phân bố khắp khu vực nghiên cứu, lớp này là điều kiện cho các tai biến biến dạng thềm nền đê khi mực nước lũ dâng cao dẫn đến áp lực nước lớn gây ra các quá trình xói ngầm, cát chảy và khi lớp chống thấm phía trên bị bục thì các vật liệu cát này bị mang đi tạo thành các hố xói dưới nền đê làm cho nền đê bị biến dạng và dẫn đến nguy cơ mất ổn định hệ thống đê.

- Các lớp cát pha 1, 2a, 2b, 3b đáy là các lớp điển hình của khu vực đới động phân bố rộng rãi ở các bãi bồi di động, bãi bồi thấp và rải rác ở bãi bồi trung với chiều dày biến đổi từ 2-5m, các lớp 1, 2a có tính khả năng thấm nước tốt và lúc nào cũng bão hoà nước liên chiều dày thay đổi từ 5 đến 9m, thành phần mịn dần theo chiều dòng chảy thường xuyên bồi xói và cũng là một trong những nguyên nhân cản trở dòng chảy dẫn đến nguy cơ ngập lụt vào mùa mưa.

### **2.2.5. Điều kiện địa chất thủy văn**

Theo kết quả nghiên cứu của một tác giả cho rằng với đặc điểm phân chia, sự phân bố các lớp đất đá, thành phần thạch học và các đặc điểm địa chất thủy văn, khu vực Hà Nội tồn tại 9 tầng chứa nước và 7 tầng cách nước. Phần này tác giả chỉ trình bày đặc điểm các tầng chứa nước trong các trầm tích mềm, rời thuộc Đệ Tứ vì chúng là các yếu tố quan trọng liên quan đến điều kiện địa kỹ thuật môi trường đới động sông Hồng khu vực Hà Nội.

Tầng chứa nước Holocen qh: Tầng chứa nước này phân bố rộng rãi ở Nam sông Hồng từ thị xã Sơn Tây kéo dài dọc theo sông Hồng đến sông Đáy thì mở rộng ra bao

trộn Hà Nội. Các thành tạo tầng qh có nguồn gốc sông lớp 1, 2b, 3b, 7a, 7b, hợp thành một hệ tầng chứa nước liên thông phát triển từ sông qua nền đê vào phía trong đê, lớp 2b, 3b phân bố ở ngoài bãi ngay dưới tầng chắn – cách nước thứ nhất phía ngoài đê, lớp 7a, 7b phân bố từ sông qua nền đê vào phía trong đê hoặc dừng lại ở phạm vi bãi sông, nước không áp hoặc áp nhẹ, hệ số dẫn mực nước  $n10^3m^2/ng$ , độ dẫn nước 20-790  $m^2/ng$  (TB200-400). Do khai thác nước mãnh liệt tầng chứa nước bên dưới qp nên hiện nay, vị trí mực nước tính sâu thêm 6-7. Chiều sâu thế nằm mực nước từ 0.85m đến 3.15m, đa phần bị phủ bởi lớp sét trên, chiều dày lớp sét phủ thay đổi từ 2.5m đến 22.5m. Chiều dày lớp 7a, 7b thay đổi trong phạm vi nghiên cứu thay đổi từ 2m đến 22m. Tầng có quan hệ thủy lực khá chặt chẽ với nước mặt và các tầng bên dưới, nguồn cung cấp cho nước dưới đất chủ yếu là nước mưa, nước mặt, nước tưới ruộng, ngầm thoát ra sông hồ. Căn cứ vào kết quả các hố khoan và mặt cắt địa chất thủy văn vuông góc với sông Hồng cho thấy sông Hồng cắt trực tiếp vào tầng chứa nước qh phân bố trên toàn vùng nghiên cứu. Tại những khu vực này, tầng chứa nước Holocen được ngăn cách với tầng chứa nước Pleistocen bằng lớp sét Vĩnh Phúc, đồng thời tầng chứa nước Pleistocen nằm sâu nên sông Hồng chỉ có quan hệ trực tiếp với tầng chứa nước Holocen. Tầng chứa nước qh ở các khu vực này cũng tương đối dày sẽ là điều kiện phát sinh biến dạng thấm nền đê và hiện tượng mạch đùn, sủi nếu như tầng phủ chống thấm mỏng và tại các giếng khai thác nước phí trong đê.

Tầng chứa nước Pleistocen trên qp<sub>2</sub>: Tầng chứa nước qp<sub>2</sub> phân bố rộng rãi trên toàn bộ diện tích của đới động sông Hồng Hà Nội, hệ tầng Vĩnh Phúc thành phần chủ yếu cát hạt nhỏ, hạt trung lẫn sạn sỏi thuộc lớp 13a, 13b, phát triển liên tục không gián đoạn trên toàn bộ diện tích có trữ lượng lớn, có nhiệm vụ cấp nước sinh hoạt cho cả thành phố. Chiều sâu bắt gặp từ 12.2m đến 32m, chiều dày thay đổi từ 7m đến 35m. Nguồn nuôi của hệ tầng qp<sub>2</sub> là nước sông Hồng. Trầm tích của tầng có tính thấm cao đến rất cao, hệ số dẫn áp xác định được ở hố khoan tại Chương Dương là 2.14 $m^2/ngày$ , tại Chèm là 5,6.10<sup>5</sup> $m^2/ngày$ . Căn cứ vào kết quả các mặt cắt địa chất thủy văn vuông góc với sông Hồng cho thấy sông Hồng cắt trực tiếp vào tầng chứa nước qp<sub>2</sub> phân bố dọc 2 bên bờ sông Hồng từ xã Thái Hòa – Ba Vì đến thị xã Sơn Tây đến Phú Xuyên thành phố Hà Nội. Đặc trưng cấu trúc địa chất thủy văn khu vực này là tầng chứa nước

Pleistocen trên qp2 có quan hệ trực tiếp với nước sông Hồng. Tại những khu vực này, tầng chứa nước Holocen mỏng hoặc hoàn toàn biến mất, mặt khác đáy sông Hồng có độ sâu lớn nên cắt trực tiếp vào tầng chứa nước này. Khu vực này tầng phủ chống thấm mỏng là điều kiện thuận lợi cho tai biến biến dạng thấm nền đê phát sinh.

Tầng chứa nước Pleistocen dưới- trên qp<sub>1</sub>: Đây là cuội sỏi cát thuộc các trầm tích của tầng Hà Nội và tầng Lê chi, thuộc lớp 15, lớp 16 phân bố từ Phú Nhi - Sơn Tây và mở rộng theo hướng Nam, Đông Nam bao trùm hết đồng bằng. Tầng chứa nước này phủ phần lớn trên các trầm tích Neogen, bề dày của tầng thay đổi mạnh có xu hướng dày lên từ Tây Bắc xuống Đông Nam và từ rìa vào trung tâm đồng bằng. Chiều sâu nước tầng chứa nước 12-52 m và chiều sâu đáy tầng thấy là 32 - 95m. Mực nước hoặc mực thủy áp nằm khá nông nhưng đang bị hạ thấp dần do khai thác quá nhiều.

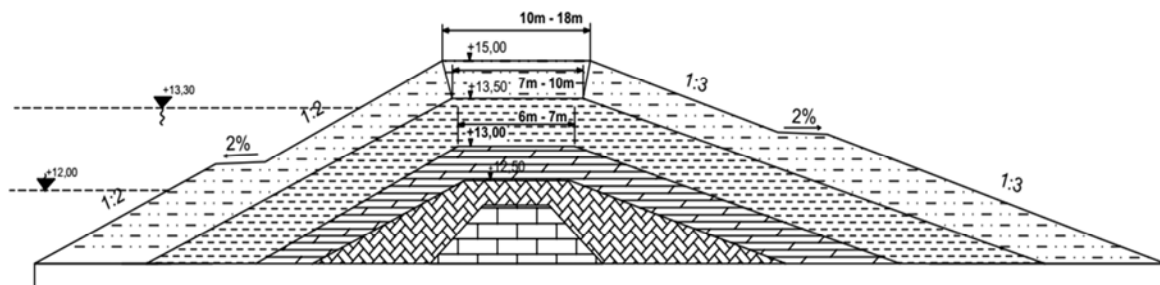
Quan trọng và có ảnh hưởng lớn nhất tới điều kiện ĐKTMT của Đới động sông Hồng là tầng chứa nước Holocen qh thuộc trầm tích Thái Bình. Tầng này nằm ngay trên mặt chịu các tác động của điều kiện thủy văn khí hậu và các tác động kỹ thuật. Thêm nữa chúng cũng có quan hệ chặt chẽ với các tầng chứa nước dưới nó mà quan trọng nhất là tầng chứa nước Pleistocen trên qp<sub>2</sub> và tầng chứa nước Pleistocen dưới - trên qp<sub>1</sub>. Chúng cũng quan hệ trực tiếp với nước sông Hồng và động thái của tầng qh này chịu ảnh hưởng của động thái nước sông.

### **2.3. Phụ hệ thống kỹ thuật**

#### **2.3.1. Hệ thống đê**

Qua trình hình thành và xây dựng hệ thống đê khu vực Hà Nội gắn liền với lịch sử phát triển của đất nước trong suốt 1000 năm từ thời kỳ phong kiến (Nhà Lý) đến thời pháp thuộc và cho đến nay. Trong suốt quá trình đó, hệ thống đê đã được tu sửa, đào đắp và xây dựng thêm đê mới nhằm phục vụ việc chống lũ. Lịch sử cho thấy đã xảy ra rất nhiều trận lũ lớn xảy ra và làm vỡ đê như lũ năm 1905 đến 1945 đã xảy ra vỡ đê trong 10 năm. Năm 1971 mực nước lũ lên đến +14.13m kéo dài trong 13 ngày và sau khi nước rút vài chục cm thì đoạn đê Cống Thôn (Gia Lâm) bị vỡ, sau vài ngày thì đoạn vỡ mở rộng lên tới 800m đã gây hậu quả vô cùng nghiêm trọng. Năm 1986 lũ lớn làm vỡ đê Vân cốc, năm 1996 lũ kéo dài 10 ngày, mực nước lũ lên đến +12.37m. Từ năm 2000 đến nay đê sông Hồng ngày càng được tôn cao và mở rộng ngoại việc

chống lũ còn giải quyết nhu cầu giao thông trên đỉnh đê và cơ đê. Tuy nhiên hệ thống đê Hà Nội vẫn đứng vững, các giai đoạn đắp nâng cao và mở rộng mặt cắt ngang đê Hà Nội được trình bày trong Hình 2.6.



Hình 2.6 Đê Hà Nội giai đoạn từ 1915 đến nay

Hiện trạng tuyến đê trong khu vực đối động được tính như sau: Tuyến đê hữu Hồng từ Km0+000 đến Km117+850 dài khoảng 117 Km với cao độ từ 11,00m (Quang Lãng) đến 20,70m (Trung Hà), chiều rộng mặt đê thường trong khoảng 4-6m, riêng đoạn Từ Liêm-Thanh Trì là 12-18m, mái đê có độ dốc đạt tiêu chuẩn với  $m=2-3$ , mặt đê đã được bê tông hóa và trải nhựa asphalt 101,250 km/117 km còn lại là đá cấp phối (12,050km tại Ba Vì). Tuyến đê tả Hồng bao gồm: Đê Tả Thao từ Km90 đến Km 105 (TP.Việt Trì - tỉnh Phú Thọ), từ K0 (xã Bò Sao huyện Vĩnh Tường) đến Km114 Văn Giang - Hưng Yên. Tuyến đê tả Hồng từ Km 0 đến Km 28+770 đang trong dự án thi công mở rộng với bề mặt rộng khoảng 10-23m, từ K28+50 đến K77+284 dài 48,781 Km với cao độ từ 12,24m (Gia Lâm) đến 17,84m (Mê Linh), chiều rộng mặt đê thường trong khoảng 6m, riêng đoạn Long Biên, Gia Lâm là 6-12m, mái đê có độ dốc đạt tiêu chuẩn với  $m=2-3$ , mặt đê đã được bê tông hóa và trải nhựa asphalt 101,250 km/113,700 km còn lại là đá cấp phối.

Hệ thống đê được đắp bằng vật liệu tại chỗ với thành phần chủ yếu là sét pha, chiều cao hiện tại của đê từ 4-6m, nhiều nơi tới 11m, thậm chí còn cao hơn nữa. Bề mặt của đê trung bình rộng từ 5-18m, chiều rộng của thân đê từ 30 - 50m, thậm chí có nơi xấp xỉ 80m (Thanh Trì - Hà Nội). Do đắp qua nhiều thời kỳ, công nghệ đầm chặt khác nhau nên thân đê, cơ đê có cấu trúc không đồng nhất. Mặt tiếp xúc giữa các lần đắp có thể xuất hiện các khe nứt co ngót và là các mặt yếu khi ngập nước làm xuất hiện các quá trình có ngót vật liệu đắp đê, các khe nứt và thấm trong thân đê phát triển

quyết định đến sự ổn định của tuyến đê. Bên cạnh đó, môi trường địa chất vùng ven đê cũng biến đổi vô cùng phức tạp theo không gian do sự đổi dòng liên tục của sông. Vì vậy, hệ thống đê cắt qua tất cả các loại địa hình cổ như: lòng sông cổ, bãi bồi sông, hồ, đầm lầy. Do đó, với cấu trúc nền đê như vậy rất nhạy cảm với các tác động tự nhiên và nhân sinh, đồng thời với địa hình vùng ven đê ngày càng trở nên mất cân bằng nghiêm trọng do sự tồn tại của hệ thống đê làm cho bãi bồi giữa hai con đê và đáy sông nâng cao dần theo thời gian kéo theo xu thế dâng cao dần đỉnh lũ hàng năm làm cho áp lực nước tác động vào thân đê ngày càng lớn như vậy tạo điều kiện thuận lợi cho các quá trình và tai biến phát sinh phát triển, cụ thể như:

Quá trình co ngót vật liệu và hình thành khe nứt ngót khô trong thân đê: Do nhiệt độ, độ ẩm và lượng mưa thay đổi kéo theo sự biến đổi về nhiệt độ, độ ẩm trong thân đê. Mức độ biến đổi độ ẩm của đất đắp đê phụ thuộc vào thành phần khoáng vật của đất, độ ẩm ban đầu, mức độ che phủ, độ dốc của mái đê và mực nước ngầm. Do co ngót vật liệu mà trong thân đê phát sinh ứng suất kéo, vì vậy các khe nứt co ngót xuất hiện chủ yếu ở mái đê (sườn dốc) khi gradient biến đổi độ ẩm còn rất nhỏ. Các khe nứt thường có hướng vuông góc với bề mặt mái đê, đến một khoảng độ sâu nào đó thì đổi hướng song song với mái đê, đó sẽ là các mặt trượt tương lai trong mùa lũ.

Lún nền đê do tải trọng thân đê và sự hình thành các khe nứt lún trong thân đê: Các số liệu khảo sát được trình bày phần trên cho thấy dưới nền đê tồn tại lớp đất yếu là bùn sét, bùn sét pha ở trạng thái chảy. Phân bố không gian của đất yếu thường không ổn định, chiều dày của chúng biến đổi mạnh tạo thành các túi bùn có kích cỡ khác nhau. Chiều dày lớn nhất của các túi bùn biến đổi trong khoảng rất rộng, trung bình từ 5-10m, thậm chí 20m ở khu vực Thanh Trì. Tải trọng của thân đê xuống nền đê trung bình từ 0,86 đến 0,92 kg/cm<sup>2</sup> tùy từng đoạn trong khu vực đơi động do đó sẽ dẫn đến tai biến lún nền đê (độ lún cụ thể sẽ được tính toán ở chương sau), điều này sẽ kéo theo sự xuất hiện của ứng suất cắt và phát sinh các khe nứt lún trong thân đê. Do có sự co ngót vật liệu mà các khe nứt lún mở rộng dần. Theo các số liệu đo đạc bằng các phương pháp địa vật lý mặt đất và khai đào trực tiếp trên các tuyến đê của Viện Địa chất, Viện Khoa học Công nghệ Việt Nam cho thấy các khe nứt lún thường mở rộng tới 1-3cm, thậm chí tới 5cm ở Gia Lương (Hà Bắc). Các khe nứt hầu hết cắt vuông góc

với đê từ thượng lưu xuống hạ lưu. Đây là những đường thông nước chủ yếu qua thân đê trong thời gian lũ.

Thấm qua thân đê, nền đê và các quá trình bực đất, xói ngầm, cát chảy: Mực nước sông dâng cao trong thời gian mưa lũ kéo theo quá trình thấm qua thân đê là không thể tránh khỏi. Như đã phân tích ở trên, trong rất nhiều trường hợp ở trong thân đê, cơ đê và mái đê tồn tại hệ thống các khe nứt co ngót, chúng phát triển chủ yếu ở mái đê, các khe nứt lún cắt ngang đê, trong trường hợp này thấm qua thân đê chủ yếu là thấm qua hệ thống khe nứt trong thân đê. Đồng thời khi mực nước dâng cao kéo theo áp lực của dòng thấm lên cao thì khả năng ổn định của hệ thống đê phụ thuộc hoàn toàn vào khả năng ứng xử của MTĐC, trong khi đó nền địa chất khu vực đới động tồn tại các lớp địa chất có tính thấm cao như lớp 7a, 7b, 13a, 13b phân bố gần mặt đất với chiều dày biến đổi phức tạp từ vài mét đến vài chục mét dẫn đến tạo áp lực ở hạ lưu đê trong thời gian mưa lũ là rất lớn khi đó dẫn đến tai biến biến dạng thấm nền đê, các hiện tượng xuất hiện khi xảy ra biến dạng thấm là bực đất, xói ngầm, cát chảy dưới ảnh hưởng của áp lực thủy động và áp lực thủy tĩnh.

Các hiện tượng nứt thân đê, thấm qua hệ thống khe nứt trong thân đê, sạt trượt mái đê hầu như đã được xử lý triệt để, tuy nhiên các tai biến tiềm tàng đe dọa ổn định hệ thống đê vẫn còn hiện hữu là biến dạng thấm nền đê và lún không đều nền đê do tải trọng tự thân của đê. Do vậy, luận án sẽ đi sâu đánh giá nguy cơ hai loại tai biến này ở chương sau.

### **2.3.2. Các công trình xây dựng và hạ tầng kỹ thuật**

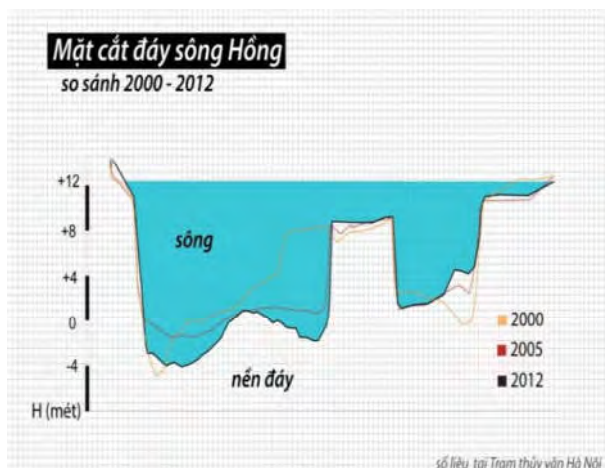
Các hoạt động xây dựng bao gồm các hoạt động xây dựng nhà ở tại các khu dân cư và các công trình cầu vượt sông. Các hoạt động này không chỉ ngăn cản đáng kể dòng chảy, nâng cao mực nước trong mùa mưa lũ, làm tăng nguy cơ ngập lụt mà còn gây lún và mất ổn định cho toàn vùng nghiên cứu do phụ tải của các công trình xây dựng. Theo các số liệu thống kê hàng năm, diện tích cư dân tăng chừng 20% trong 3 năm và số nhà kiên cố trên 2 tầng tăng chừng 40-50% hàng năm và làm mực nước cao hơn chừng 15-20 cm trong mùa lũ. Đối với 6 cầu qua sông Hồng (Thăng Long, Long Biên, Chương Dương, Thanh Trì, Vĩnh Tuy, Nhật Tân), đều có các tính toán dự báo sự thay đổi chế độ thủy văn và khả năng thoát lũ của dòng chảy khi có mặt của chúng. Ví

du, theo số liệu tính toán của Viện NC Thủy lợi, tại các vị trí thượng lưu cầu, mực nước đều dâng lên do mặt cắt thu hẹp: tại cầu Chương Dương mực nước dâng là 0.03m, cầu Thăng Long là 0.07m và tại các cầu khác là 0.01m với lũ dạng năm 1992, trận lũ 150 năm.

Hoạt động của giao thông đường thủy đối động sông Hồng rất quan trọng và tập nập. Hàng năm bình quân mật độ phương tiện tham gia giao thông trên tuyến sông Hồng của Hà Nội tăng 15 - 20%, giao thông thủy Hà Nội chủ yếu đảm bảo vận chuyển vật liệu xây dựng như xi măng, than chiếm 38% tổng khối lượng vận chuyển 8 triệu tấn/năm. Các đoàn tàu xà lan được sử dụng để vận chuyển các loại hàng hoá kể trên phổ biến là loại 200DWT, gần đây đã có thêm loại 300, 400, 500DWT. Năm 2020, 80% tàu thuyền sẽ có tải trọng từ 100 đến 300 DWT. Diễn biến luồng lạch phức tạp và thay đổi liên tục có thể gây mất an toàn, đặc biệt trong thời gian mưa lũ. Tuy nhiên, hiện tại các tác động này cũng chưa có nhiều số liệu nghiên cứu đánh giá, để có những đánh giá cụ thể về tác động này cần có những nghiên cứu sâu hơn, trong luận án này tác giả không đề cập đánh giá vấn đề này.

Hoạt động khai thác vật liệu xây dựng, chủ yếu là khai thác cát ven bờ và khai thác đất sét làm gạch tại các bãi bồi. Hoạt động này làm mất cân bằng dòng chảy của sông, làm thay đổi chế độ dòng, chế độ bồi lắng và tăng nguy cơ xói lở, mất ổn định tuyến bờ. Các hoạt động này thường xuyên xảy ra trên địa phận Ba Vì, Sơn Tây và Phúc Thọ. Tuyến bờ bị mất ổn định còn do các hoạt động tập kết các vật liệu khai thác được trên các đống bờ, dẫn tới quá trình trượt tuyến bờ dưới tải trọng đất tập kết mà điển hình là sự cố trượt bờ tại Phúc Thọ gây thiệt hại đáng kể về vật chất. Theo thống kê gần nhất (2018), tại sông Hồng Hà Nội có chừng 101 điểm khai thác cát và đến 2021 là 201 điểm khai thác cát, tập trung tại các huyện Phúc Thọ, Đông Anh, Long Biên, Hoàng Mai và Phú Xuyên, trong đó đa số các điểm khai thác này đều không được quy hoạch và kiểm soát chặt về khối lượng khai thác. Sự ảnh hưởng của việc khai thác cát mất kiểm soát làm xuất hiện các hiện tượng xói sâu bắt đầu từ những năm 2000 cho đến năm 2012, diện tích mặt cắt ngang dòng dẫn chính đã tăng 40% so với năm 2000, điều này khiến mực nước sông hạ xuống. Từ năm 2000 đến 2012, bình quân mỗi năm đáy sông bị hạ thấp 8 cm (theo PGS. Phạm Đình, Viện khoa học Thủy lợi Việt Nam).

Lòng dẫn chính của sông đã bị xói sâu khoảng 2 mét (Hình 2.7), khiến mực nước hạ theo. Từ 1997 đến 2012, gần 244 triệu mét khối cát đã bị lấy đi khỏi lòng sông Hồng. Cát bị lấy đi, cùng phù sa bị giữ lại các hồ chứa không đủ bù đắp làm đáy sông liên tục hạ thấp, hai bên bờ sông sạt lở nghiêm trọng, được thể hiện trên Hình 2.8.



Hình 2.7 Mặt cắt đáy sông [41]



Hình 2.8 Xói lở bờ do khai thác cát [41]

### 2.3.3. Các công trình chỉnh trị sông (kè lát mái, mở hàn, cống)

Các công trình chỉnh trị sông là các công trình sử dụng để điều chỉnh lòng dẫn của dòng chảy phục vụ khai thác bền vững diện tích khai thác, bao gồm các kè lát mái, kè mở hàn, các cống lấy nước hiện tại có 32 cái, nhằm mục đích hoặc là bảo vệ đoạn bờ có thể bị phá hoại do công năng của dòng chảy hoặc điều chỉnh hướng dòng chảy chủ lưu theo mong muốn phục vụ giao thông thủy. Hiện trạng các hệ thống này thuộc đời động như sau:

Các kè lát mái: tuyến đê hữu Hồng và Tả Hồng có 51 kè lát mái hộ bờ với tổng chiều dài là 94,621 km. Các kè đều làm việc có hiệu quả và đạt được các yêu cầu thiết kế. Một số khu vực bờ sông và kè đang có diễn biến sạt lở do diễn biến phức tạp của dòng chảy như: Kè Phong Vân (K2+400÷K3+200) luôn xử lý chống sạt lở từ năm 2004 đến năm 2010 tiếp tục sạt lở. Tuyến kè Khê Thượng, Kè Chu Minh tiếp tục sạt lở tháng 8/2020 với chiều dài khoảng 250m đến 600m, thuộc địa bàn xã Sơn Đà. Do diễn biến phức tạp của dòng chảy, tiếp tục gây sạt lở đoạn từ K26+600-K26+700 cung sạt ăn sâu vào bãi từ (1,0-2,0) m. Kè Phương Độ cũ (K34+700÷K36+200 hiện nay xu hướng dòng chủ lưu áp sát chân kè nên có hiện tượng xói chân xuất hiện vết nứt dọc



ơ kè dài 20 m, rộng (5÷10)cm. Khu vực đầu kè An Cảnh: từ K94+420÷K95+500 xuất hiện 03 vết nứt ăn sâu vào vờ kè 16m.

- Các kè mở hàn với số lượng 90 cái: Để bảo vệ bờ sông chống sạt lở và chỉnh trị dòng trong phạm vi Đới động hiện tại đang sử dụng cụm mở hàn gồm: Đó là cụm mở hàn Tâm Xá (xây dựng từ năm 1994-1997, cọc BTCT và cọc BTCT+đá đổ, gồm 15 mở dài 50-114 m), Nhật Tân-Tứ Liên (xây dựng từ năm 1993-1998, đá đổ và cọc BTCT+đá đổ, gồm 4 mở dài 255-510 m), Tứ Liên-Trung Hà (xây dựng từ năm 1986-1987, đá đổ và cọc BTCT, gồm 4 mở dài 112-538 m), Thạch Cầu (xây dựng từ năm 1988-1991, đá đổ và cọc BTCT, gồm 3 mở dài 186-590 m). Các cụm mở hàn Tứ Liên -Trung Hà, Thạch Cầu đều đã bị hư hỏng và xuống cấp.

Các công trình kè lát mái, kè mở hàn, cửa khẩu và cầu cống là những công trình làm thay đổi chế độ vận động của dòng chảy là nguyên nhân của các tai biến cục bộ như xói sâu, xói lở bờ. Tuy nhiên, các công trình này chưa tính hết đến vị trí (thế) lòng dẫn ổn định thì sẽ gây rất nhiều hậu quả cho khu vực khai thác. Hiệu quả sự làm việc của các công trình chỉnh trị được thể hiện thông qua các quan trắc đo đạc chế độ dòng chảy sau khi đưa chúng vào khai thác. Do vậy, việc quan trắc đo đạc chế độ dòng theo thời gian nhằm kiểm tra các dự báo của thiết kế các công trình chỉnh trị và cũng nhằm xem xét ứng xử lâu dài của chúng trong thời gian khai thác trong đoạn sông nằm trong phạm vi ảnh hưởng của các công trình chỉnh trị này là rất cần thiết.

## **2.4. Phụ hệ thống môi trường xung quanh**

### **2.4.1. Điều kiện dòng chảy**

Thống kê trong khoảng hơn 100 năm trở lại đây. Có các năm nước lớn là : 1969, 1971, 1996, 2008 và các năm nước nhỏ là : 2010, 1960, 1905, 1904. Mức nước lớn nhất tại Hà Nội vào năm 1971,  $H_{max} 1971 = 13.97m$  (Nếu hoàn nguyên không vỡ đê  $H = 14.43m$ ). Mức nước thấp nhất tại Hà Nội vào năm 2010  $H_{min} 2010 = 0.40 m$ . Một số các đặc trưng mực nước được thống kê ở (Bảng 2.1).

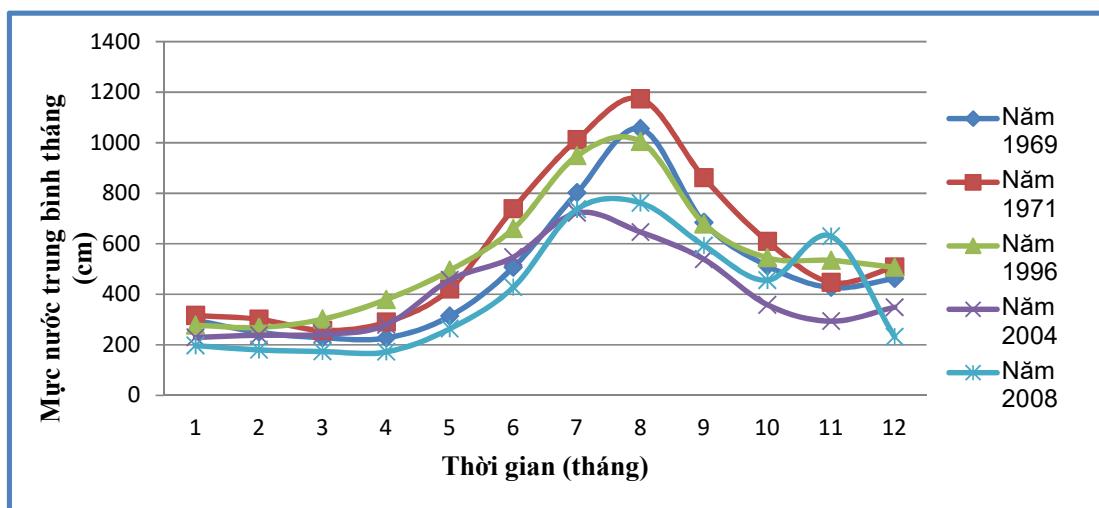
Bảng 2.1 Các đặc trưng thủy văn

<b>TT</b>	<b>Các đặc trưng mực nước Hà Nội</b>	<b>Trị số</b>
1	Mức nước cao nhất max 1971	+14.13

2	Mức nước trung bình cao nhất hàng năm	+10.96
3	Mức nước ứng với tần suất P 5%	+9.71
4	Mức nước trung bình mùa lũ từ tháng 5 tới tháng 10	+7.34
5	Mức nước trung bình năm	+5.04
6	Mức nước trung bình mùa kiệt từ tháng 11 tới tháng 04	+3.47
7	Mức nước ứng với tần suất P 95%	+2.70
8	Mức nước trung bình thấp nhất hàng năm	+2.20
9	Mức nước thấp nhất H min 2010	+0.40

Đường quá trình mực nước tại trạm Hà Nội vào các năm lũ lớn gần đây được thể hiện ở Hình 2.9, theo đó thời gian ngậm lũ trong khoảng 3-22 ngày, trung bình 6 ngày.

Mức nước sông lên cao kéo theo các quá trình thấm qua thân đê và dưới nền đê, các hiện tượng rò rỉ, thấm lậu, bùng nền, xói ngầm, cát chảy ở hạ lưu đê đe dọa ổn định của cả tuyến đê. Đỉnh lũ càng cao, thời gian ngậm lũ càng dài thì các hiện tượng càng trở nên nghiêm trọng. Trong phạm vi Hà nội cao độ mặt nước sông Hồng thay đổi đáng kể được thể hiện qua các cấp báo động mức lũ tại các trạm là khác nhau (Bảng 2.2), điều này cho thấy áp lực nước tác động tới từng khu vực là khác nhau dẫn đến cường độ và quy mô của các tai biến có sự biến động. Do đó, dao động mực nước là một trong những yếu tố quan trọng cần quan trắc để phục vụ cho mô hình dự báo.



Hình 2.9 Quá trình mực nước trung bình tháng ở Hà Nội những năm lũ lớn

Bảng 2.2 Các cấp báo động tại các trạm thủy văn  
(QĐ số 05/2020/QĐ-TTg- ngày 31/01/2020)

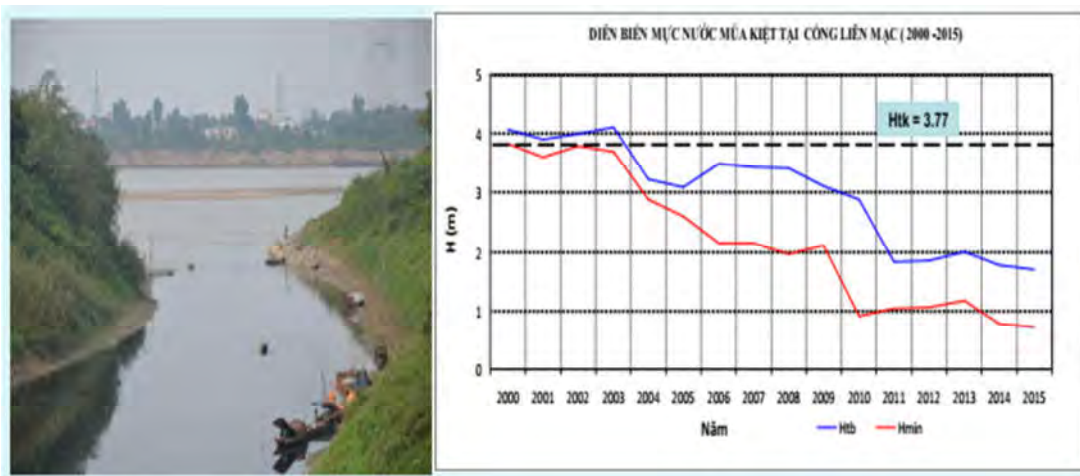
Mức lũ	Trung	Việt	Sơn	Hà	Thượng	Hung
	Hà	Trì	Tây	Nội	Cát	Yên
Báo Động (BĐ) (m)	12.59	11.71	10.50	7.50	7.57	4.50
Báo động cấp I (BĐI) (m)	15.00	13.70	12.40	9.50	9.00	5.50
Báo động cấp II (BĐII) (m)	16.00	14.90	13.40	10.50	10.00	6.30
Báo động cấp III (BĐIII) (m)	17.00	15.90	14.40	11.50	11.00	7.00

Trước khi chảy qua vùng đồng bằng, sông Hồng hợp lưu với một số con sông khác như sông Đà, sông Thao, sông Lô. Chế độ dòng chảy của vùng hợp lưu phụ thuộc rất chặt chẽ vào chế độ dòng chảy của 3 phụ lưu, nên chế độ thủy văn, thủy lực của sông Hồng ở đoạn này vô cùng phức tạp, lòng sông bị biến đổi thường xuyên. Do vậy, chế độ thủy văn của sông Hồng phụ thuộc rất nhiều vào quan hệ hợp lưu với các sông này. Lưu lượng sông Hồng biến đổi tùy theo năm có vụ lượng ít hay nhiều, từ 93.1 tỷ (năm 1963, năm ít mưa nhất) đến 159 tỷ m<sup>3</sup> nước (năm 1971, năm mưa nhất gây lụt 1971). Lưu lượng nước bình quân hàng năm 2,640 m<sup>3</sup>/s (tại cửa sông), tuy nhiên lưu lượng nước phân bố không đều. Chế độ thủy văn của sông Hồng có 2 mùa rõ rệt, mùa lũ kéo dài từ tháng 5 đến tháng 10, mùa kiệt kéo dài từ tháng 11 đến tháng 4 năm sau.

Các trạm trong khu vực nghiên cứu đều là các trạm khống chế nằm ở hạ lưu các sông lớn nên có lượng dòng chảy hàng năm khá lớn, tương đối ổn định, mức độ biến động hàng năm không lớn. Dòng chảy năm ở trạm Sơn Tây được hình thành bởi dòng chảy qua các trạm Yên Bái (sông Thao), Vụ Quang (sông Lô) và Hoà Bình (sông Đà). Lượng nước đóng góp cho mỗi sông như sau: Sông Đà khoảng 48,3 % lượng nước sông Hồng tại Sơn Tây; Sông Thao khoảng 21,9 % lượng nước sông Hồng tại Sơn Tây; Sông Lô khoảng 29,8 % lượng nước sông Hồng tại Sơn Tây.

Mùa kiệt, trước khi có đập thủy điện Hòa Bình thì dao động mực nước và lưu lượng luôn ổn định ở mức cao. Sau khi thủy điện Hòa Bình đi vào hoạt động, thì trong giai đoạn đầu sau khi có hồ Hòa Bình (từ năm 1989 đến năm 2000), mực nước tại các cửa lấy nước vẫn đảm bảo ở mức cao hơn cao trình mực nước thiết kế tại các cửa lấy nước. Vấn đề mực nước hạ thấp về mùa kiệt chỉ bắt đầu xuất hiện từ những năm 2001 đến nay với xu hướng biến đổi ngày càng tiêu cực hơn. Đặc biệt từ năm 2007 đến

2010 chứng kiến mực nước hạ thấp kỷ lục (mực nước xuống 0.4m tại trạm Hà Nội năm 2010). Diễn biến lưu lượng và mực nước trong mùa kiệt có sự khác nhau giữa các tháng đầu, giữa và cuối mùa kiệt. Mực nước và lưu lượng có xu hướng giảm mạnh vào các tháng đầu mùa kiệt. Các tháng giữa và cuối mùa kiệt mức độ suy giảm ít hơn, điều này được thể hiện qua biểu đồ (Hình 2.10).



Hình 2.10 Diễn biến mực nước mùa kiệt công Liên Mạc (2000-2015) [42]

Mùa lũ trên sông Hồng biến đổi mạnh theo thời gian và có tính chu kỳ rõ rệt, từ đầu đến cuối mùa lũ luôn hình thành một chu kỳ lớn, có đỉnh cao nhất thường vào tháng vào tháng 8. Các số liệu cho thấy lũ sông Hồng là tổ hợp lũ từ sông Thao, sông Lô, sông Đà, trong đó lũ sông Đà có ảnh hưởng lớn hơn cả đến lũ sông Hồng. Lũ sông Hồng là dạng lũ có nhiều ngọn, một trận lũ thường có từ 2 đến 3 đỉnh, đỉnh sau cao hơn đỉnh trước. Mực nước lũ lên xuống rất nhanh với biên độ dao động trong khoảng 5-6m; lưu lượng đỉnh lũ thường rất lớn, trung bình 16.000- 17.000m<sup>3</sup>/s, cao nhất đạt tới 37.800m<sup>3</sup>/s. Các số liệu thống kê cho thấy tần suất lũ sông Hồng gặp lũ sông Đà là 60,3%, gặp lũ sông Thao là 40,4% và lũ sông Lô là 24,5%. Lũ sông Đà chiếm 48,3% lưu lượng lũ sông Hồng. Do lũ sông Đà có ảnh hưởng lớn đến lũ sông Hồng, nên từ khi có công trình thủy điện Hoà Bình, sự điều tiết của hồ Hoà Bình đã có tác dụng hạn chế mực nước lũ sông Hồng ở mức độ nhất định. Theo tính toán của Viện Quy hoạch Thủy lợi, vào thời kỳ đỉnh lũ, hồ Hoà Bình đã tham gia cắt lũ hạ thấp mực nước lũ ở Hà Nội từ 0,65 – 0,7m và làm giảm tần suất xuất hiện các đỉnh lũ lớn ở hạ lưu một cách đáng kể, điều này được thể hiện qua số liệu trong (Bảng 2.3).

Bảng 2.3 Tần suất xuất hiện các đỉnh lũ tại Hà Nội (%) (Theo số liệu của Viện QHTL)

Mức nước lũ (m)		11,0	11,5	12,0	12,5	13,0	13,3
Tần suất	Trước khi có hồ Hoà Bình	36	26	14	8	5	3,5
	Sau khi có hồ Hoà Bình	9	6,5	4,5	2,5	1,5	0,4

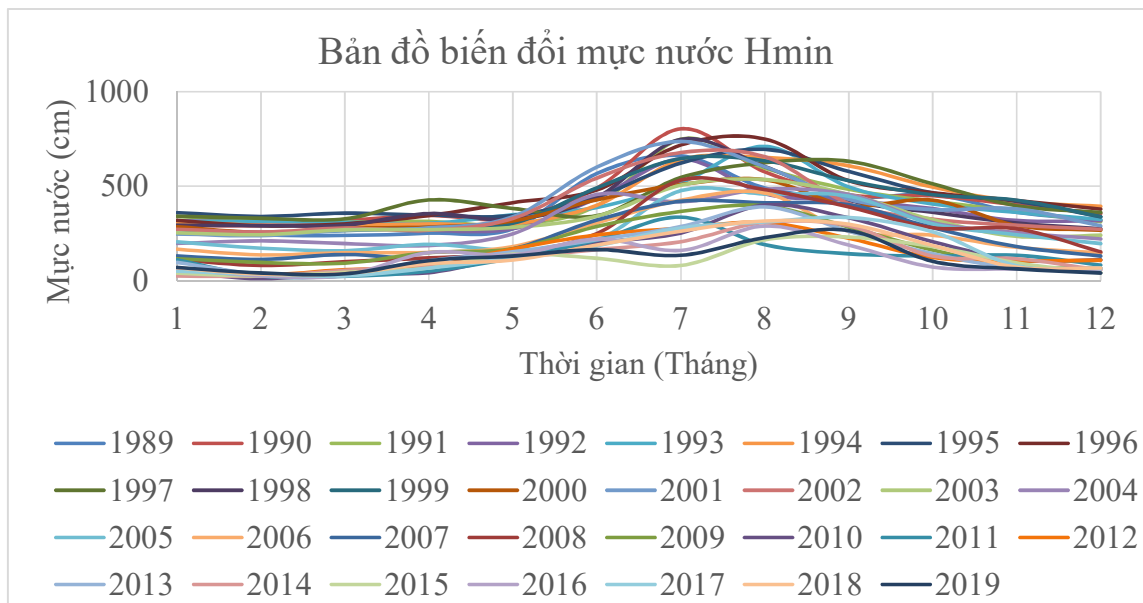
Các số liệu tại (Bảng 2.3) cho thấy mặc dù có sự điều tiết của hồ Hoà Bình nhưng lũ lớn (trên báo động cấp 3) vẫn xuất hiện ở Hà Nội, đe dọa nghiêm trọng đến ổn định hệ thống đê và sự phát triển bền vững của đới động. Đỉnh lũ lịch sử ở Hà Nội là 14,43m vào năm 1971, sau khi có hồ Hoà Bình đỉnh lũ tại Hà Nội cao nhất đã gặp là 12,37m vào năm 1996. Thời gian ngâm lũ, nếu tính từ báo động cấp 2 trở lên (10,5m tại trạm Long Biên - Hà Nội) có thể kéo dài tới 22 ngày (1971), 16 ngày (1970), 11 ngày (1986), 12 ngày (1979, 1996) (Bảng 2.4). Khi thời gian ngâm lũ kéo dài tới 12 ngày thì rất nhiều sự cố đê đồng loạt xuất hiện, đe dọa nghiêm trọng đến ổn định hệ thống đê. Ở đây cũng lưu ý rằng, hồ Hoà Bình tham gia cắt lũ, nhưng mặt khác lại kéo dài sườn lũ, làm tăng thời gian ngâm lũ, ảnh hưởng đến ổn định của đới động.

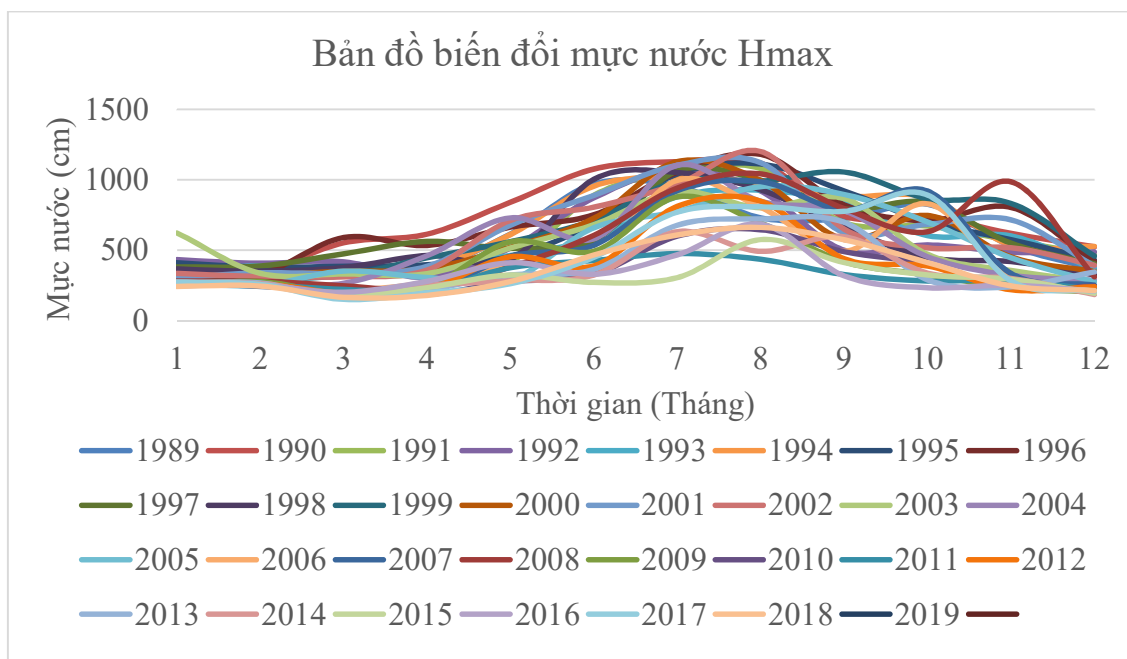
Bảng 2.4 Đỉnh lũ và thời gian ngâm lũ sông Hồng tại trạm Hà Nội.

Năm	Đỉnh lũ		Thời gian ngâm lũ
	H (m)	Thời gian	Số ngày
1969	13.22	18.8.1969	9
1970	12.05	28.7.1970	16
1971	14.13	22.8.1971	22
1972	9.97	29.7.1972	0
1973	11.16	5.9.1973	4
1974	9.93	8.8.1974	0
1975	10.22	19.6.1975	0
1976	10.89	18.8.1976	3
1977	11.23	2.8.1977	6
1978	11.42	12.9.1978	4.5
1979	11.69	13.9.1979	10
1980	11.81	25.7.1980	3
1981	11.06	1.8.1981	3

1982	11.22	23.8.1982	5
1983	12.07	6.8.1983	5.5
1984	10.48	16.7.1984	0
1985	11.96	13.9.1985	5
1986	12.35	29.7.1986	11
1996	12.37	22.8.1996	10
2000	9.90	9.8.2000	2
2001	10.41	3.8.2001	3
2002	10.78	13.8.2002	10
2004	10.36	23.7.2004	2
2008	10.28	11/08/2008	3

Ngoài ra, các hồ Sơn La trên sông Đà là 07 tỷ m<sup>3</sup>, hồ Tuyên Quang là 01 tỷ m<sup>3</sup>, hồ Thác Bà là 450 triệu m<sup>3</sup> đã góp phần vào việc điều tiết và khống chế lũ về hạ lưu. Điều này có thể thấy được qua giao động mực nước max và min ở Hà Nội trong (Hình 2.11).





Hình 2.11 Biểu đồ mực nước max và min sông Hồng khu vực Hà Nội qua các năm

Dòng chảy sông Hồng giữa hai con đê biến động rất mạnh, đặc biệt vào thời gian mưa lũ, khác hẳn với hệ thống các lưu vực sông khác không có đê. Mực nước lũ dâng cao, tốc độ, lưu lượng dòng chảy và hàm lượng vật chất mang theo ra tăng, nguyên nhân chủ yếu gây ra các tai biến xói lở bờ, ngập lụt và biến dạng thềm nền đê.

#### **2.4.2. Điều kiện hàm lượng bùn cát trong dòng chảy**

Chế độ bùn cát mà nước sông mang tải ảnh hưởng đến bồi lắng và xâm thực lòng dẫn. Bùn cát sông Hồng biến đổi rất phức tạp theo không gian và thời gian. Về mùa khô, lượng bùn cát trong sông ít thay đổi và nhỏ. Trong mùa lũ, cùng với sự thay đổi lớn của dòng chảy, lượng bùn cát ở trong sông thay đổi đột ngột và tăng lên rất nhiều so với mùa kiệt. Vì vậy, lòng sông mùa kiệt tương đối ổn định (chỉ xảy ra xói, bồi cục bộ), còn mùa lũ có những sự thay đổi lớn. Thường thì trong một năm các tháng mùa kiệt và các tháng cuối mùa lũ lòng sông bị xói, còn các tháng có lũ lớn lòng sông có xu thế được bồi.

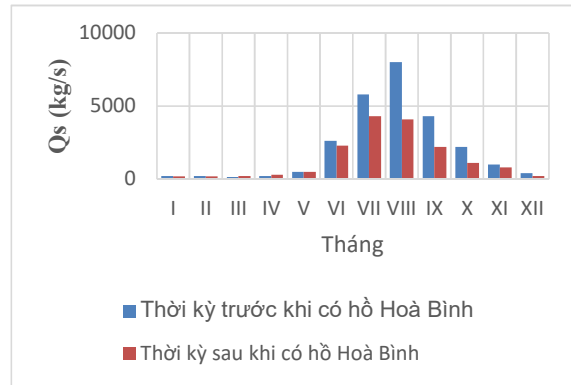
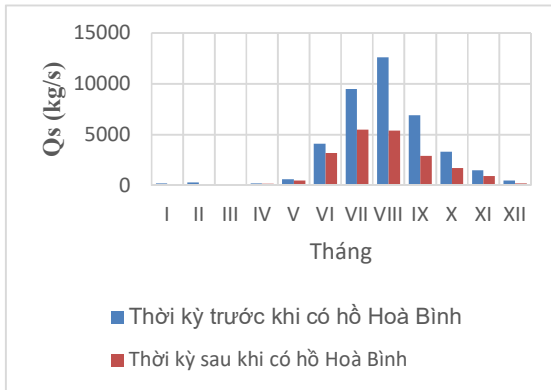
Khu vực hợp lưu 3 sông Đà - Thao - Lô, xói lở lòng sông, bờ sông đều xảy ra ở hầu hết các tháng mùa kiệt và bồi lắng với lưu lượng trung bình từ 130 - 720 kg/s trong các tháng mùa lũ (6, 7, 8). Ngược lại, ở đoạn Sơn Tây - Hà Nội thì hầu hết ở các

tháng trong năm xảy ra bồi lắng, lượng bồi lắng trong mùa lũ rất lớn, đạt cực đại vào tháng 8 là 2300kg/s. Lưu lượng bùn cát di đáy trong đoạn sông nghiên cứu có xu thế giảm dần về phía hạ lưu. Phân phối lưu lượng bùn cát theo tháng trong năm tại tất cả các trạm trong cả hai thời kỳ: trước và sau khi có hồ Hòa Bình đều rất không đều trong năm và đều có dạng một đỉnh (một năm có một cực đại và một cực tiểu). Cực đại thường xuất hiện vào tháng 7 hoặc tháng 7 còn cực tiểu thường xuất hiện vào tháng 2 hoặc tháng 3. Lưu lượng bùn cát 3 tháng lớn nhất cũng lớn hơn nhiều so với lưu lượng bùn cát 3 tháng nhỏ nhất, khoảng 45 đến 350 lần đối với thời kỳ trước khi có thủy điện Hòa Bình và 21 đến 70 lần đối với thời kỳ sau khi có hồ Hòa Bình.

Do sự điều tiết dòng chảy của hồ Hòa Bình, cả độ đục nước sông và lưu lượng nước ở hạ lưu trong các tháng mùa lũ đều giảm nên lưu lượng bùn cát trong các tháng mùa lũ cũng giảm mạnh. Tại trạm Hòa bình trên sông Đà, lưu lượng bùn cát của tháng lớn nhất giảm tới 8,1 lần và 3 tháng lớn nhất giảm 8,70 lần so với thời kỳ trước khi có hồ Hòa Bình. Ảnh hưởng này lan truyền tới các trạm Sơn Tây và Hà Nội trên sông Hồng nhưng yếu dần, tại trạm Sơn Tây giảm 2,2 lần và 2 lần; tại Hà nội giảm 1,70 và 1,60 lần (Hình 2.12).

Từ sau khi có công trình Thủy điện Hòa Bình, Sơn La trên sông Đà, hồ Tuyên Quang và hồ Thác Bà đến nay, lưu lượng bùn cát tại các trạm đo có sự thay đổi đáng kể theo các giai đoạn khác nhau từ năm 2000 đến 2015 (Hình 2.13). Qua biểu đồ biến đổi lượng bùn cát có thể thấy có sự giảm dần, trong khi đó dân số tăng, Hà Nội ngày càng phát triển, nhu cầu nhà ở ngày càng tăng dẫn đến nhu cầu cát càng lớn, lượng cát khai thác càng nhiều. Theo thống kê không đầy đủ của Bộ Nông nghiệp và phát triển Nông thôn thì lượng cát khai thác trong giai đoạn năm 2015 đến 2020 vào khoảng 37 triệu m<sup>3</sup>/năm trong khi đó lượng bùn cát bổ sung trong giai đoạn này khoảng 10 triệu m<sup>3</sup>/ năm, điều đó dẫn đến sự xói lòng và xói lở bờ khi kết hợp với việc khai thác cát không có quy hoạch.

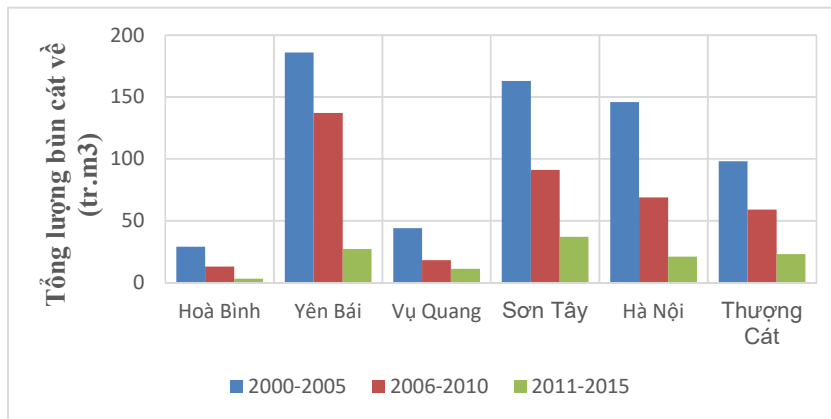




Trạm Sơn Tây

Trạm Hà Nội

Hình 2.12 Lượng bùn cát tại các trạm



Hình 2.13 Biểu đồ biến đổi lượng bùn cát về hạ du

### 2.4.3. Điều kiện lòng dẫn

Lòng dẫn sông Hồng khu vực đới động được tính từ KM 0 Cầu Trung Hà cho đến KM 117 thuộc xã Quang Lãng huyện Phúc Xuyên Hà Nội với chế độ lòng dẫn biến đổi phức tạp nhiều khúc uốn và dòng chảy thì bị sự chi phối bởi sông Đà, sông Thao, sông Lô. Do đó chế độ thủy văn của nó khác nhau trong từng đoạn. Kết quả khảo sát đo đạc, quan trắc địa hình được thể hiện trong bản đồ địa hình, bản đồ địa mạo (Hình 2.3, Hình 2.4) cho thấy lòng dẫn sông Hồng khu vực đới động uốn khúc khá mạnh chuyển hướng liên tục, hệ số uốn khúc từ 1.3 đến 1.5, bán kính cong thay đổi từ 2000m đến 6000m điển hình như khu vực ngã ba Thao - Đà, Tiến Thịnh, Tráng Việt, Liên Mạc, Tâm Xá, Bát Tràng, cầu Thăng Long, Liên Nghĩa, Tự Nhiên, Hồng Thái. Do lòng sông uốn khúc mạnh nên hướng chảy của sông cung luôn thay đổi, từ

Tây sang Đông và từ Bắc xuống Nam. Chiều rộng của lòng sông cũng luôn biến đổi, ứng với mực nước Hà Nội 7.0m thì chiều rộng lòng sông biến đổi từ 0.5 đến 1.35Km, tính từ chân đê thì từ 0.8 đến 4.0 km. Nơi hẹp nhất là nơi chuyển tiếp của các khúc cong (điểm uốn), nơi rộng nhất là đỉnh các khúc cong. Lòng sông phát triển mạnh các kiểu bãi bồi ven sông, bãi bồi giữa sông nằm xen kẽ giữa các đoạn sông uốn khúc dẫn đến hình dạng lòng sông cũng luôn bị biến đổi, điển hình như:

Đoạn Trung Hà - Cổ Đô - Tân Hồng, Châu Sơn: Bắt đầu từ Trung Hà, vị trí hợp lưu của sông Thao và Đà, đi theo phương á kinh tuyến đến Cổ Đô, uốn khúc tạo nên một khúc cong chảy theo phương á vĩ tuyến đến vị trí hợp lưu với sông Lô tại Tân Hồng, Châu Sơn. Dòng chảy ở đây còn chịu ảnh hưởng trực tiếp của tác động điều tiết của đập thủy điện Hoà Bình, Sơn La, sông chủ yếu hoạt động xâm thực ngang, mở rộng dòng, tạo nhiều bãi bồi điển hình là bãi bồi giữa sông phát triển mạnh như bãi Tân Đức, Xuân Tiến, áp sát bờ có bãi Vĩnh Lại.

Đoạn Tân Hồng – Phú Thịnh (Sơn Tây): Bắt đầu từ sau vị trí hợp lưu Lô - Hồng dòng chảy uốn khúc chuyển hướng xuống phía Nam theo phương á kinh tuyến, đến khu vực Đường Lâm (Sơn Tây) dòng chuyển hướng theo hướng á vĩ tuyến tới Phú Thịnh (Sơn Tây) qua trạm thủy văn Sơn Tây.

Dòng chảy chuyển hướng theo hướng á vĩ tuyến qua trạm thủy Văn Sơn Tây dòng chảy xuôi đến Cẩm Đình và sau đó biến đổi uốn khúc theo hình Sin, dòng lao lên phía Bắc tạo thành đỉnh cong Tiến Thịnh sau đó chuyển hướng xuống phía Nam tạo ra đỉnh cong Hồng Hà sau đó lại chuyển hướng lên phía Bắc tạo ra đỉnh cong Tráng Việt sau đó dòng chuyển hướng xuống phía Nam theo hướng á kinh tuyến tạo nên đỉnh cong Liên Mạc sau đó chuyển theo hướng á vĩ tuyến qua Thụy Phương (Từ Liêm) và chảy vào nội đô. Đoạn này thể sông không ổn định xu thế còn nhiều thay đổi, xói lở bờ là thường xuyên xảy ra, do có nhiều đỉnh cong nên gây khó khăn cho giao thông thủy.

Đoạn từ Thụy Phương (Từ Liêm) đến Cầu Vĩnh Tuy (Hoàng Mai): Đây là khu vực nội đô, dòng sau khi chuyển hướng xuống Liên Mạc theo hướng á vĩ tuyến xuống phía Nam tiến vào nội đô qua Phú Xá dòng chuyển hướng á kinh tuyến phân dòng vào sông Đuống làm cho khu vực cửa Đuống luôn xảy ra xói lở bờ và phải gia cố kè bờ

liên tục. Sau đó dòng chảy tiến tục chảy theo hướng á kinh tuyến xuống phía Nam chảy đến Cầu Vĩnh Tuy, phân đoạn này lòng thoải không uốn khúc thể sông ổn định.

Đoạn từ Cầu Vĩnh Tuy đến Duyên Hà (Km 85 Hữu Hồng) - An Cảnh - Quang Lãng: Phân đoạn này dòng biến đổi ngoằn ngoèo với nhiều khúc uốn với xâm thực bồi tụ ngang điển hình với nhiều khúc cong với độ cong lớn hình thành các đỉnh cong như: Bát Tràng – Duyên Hà – Phi Liệt – Xâm Dương – Hàm Tử (Xuân Đình) An Cảnh – Thành Công (Khoái Châu – Hưng Yên) – Quang Lãng. Tuy nhiên phân đoạn này thể sông tương đối ổn định nhưng do nhiều đỉnh cong nên khó khăn cho giao thông thủy.

Lòng sông khu vực đới động với các yếu tố hình thành riêng biệt của nó được tạo thành dưới tác dụng tổng hợp lâu dài (hàng trăm, hàng ngàn năm) của một qua trình dòng chảy do điều kiện địa lý, địa chất và tác động của con người quyết định. Từ những nhận định trên cho thấy lòng dẫn, bãi bồi và đường bờ sông Hồng đoạn Hà Nội theo các số liệu đo đạc và phân tích về quan hệ lưu lượng, độ dốc, hướng dòng chảy, góc uốn, cân bằng bùn cát cho thấy về tổng thể đang ở trong giai đoạn bồi - xói cục bộ, xen kẽ nhau trong phạm vi nhỏ, cơ chế và cường độ của các quá trình trên thay đổi theo thời gian trong năm.

#### ***2.4.4. Khí quyển, sinh quyển và phần sâu của thạch quyển***

Đối với tác động của khí quyển trong hệ chủ yếu làm thay đổi chế độ độ ẩm vật liệu của hệ thống kỹ thuật, thay đổi độ ẩm vật liệu đắp đê làm phát sinh các khe nứt co ngót trong thân đê, cơ đê và mái đê. Đối với sinh quyển thì sự tác động của vi sinh vật làm cho vật liệu các công trình nhà cửa, cầu cống sẽ bị ăn mòn theo năm tháng. Tuy nhiên, tác động của các quá trình này cũng không lớn và có thể có những biện pháp khắc phục được mà không gây ảnh hưởng lớn đến sự ổn định của hệ thống.

Ngoài ra còn kể đến sự tác động của phần sâu của thạch quyển, sự tác động này chủ yếu do sự giải phóng năng lượng bất ngờ ở lớp vỏ trái đất được gọi là động đất, vị trí chấn tiêu thường từ 30 - 70 đến 320 km so với mặt đất, khi xảy ra thì sức tàn phá rất nặng nề cho con người. Đới động nằm trong vùng hoạt động địa chấn khá cao, theo kết quả của Viện nghiên cứu Vật lý Địa cầu thì thành phố Hà Nội nằm trong vùng động đất cấp 8, có thể xảy ra động đất mạnh tới 6,1 - 6,5 độ Richter ở độ sâu 15 - 20 km liên quan với hoạt động của đứt gãy sâu sông Hồng, sông Chảy nhưng cũng ít khi xảy ra.

## **Kết luận chương 2**

- Theo quan điểm lý thuyết hệ thống kỹ thuật - tự nhiên, đới động sông Hồng Hà Nội có sự khác biệt được đặc trưng bởi 3 phụ hệ thống là môi trường địa chất, hệ thống kỹ thuật và môi trường xung quanh (với thủy quyền giữ vai trò chính)
- Phụ hệ thống môi trường địa chất: Phụ hệ tầng này có đặc trưng cơ bản là địa tầng và tính chất cơ lý của đất đá khá phức tạp được phân chia làm 23 lớp đất đá, trong đó các lớp cần đặc biệt chú ý gồm: Lớp chứa hữu cơ (lớp 5, lớp 9 lớp 11) là những lớp nhạy cảm với tải trọng tĩnh là điều kiện cho tai biến lún đối với các công trình có tải trọng lớn và dạng dải. Các lớp cát, cát pha (Lớp 1, 2b, 3b, 7a, 7b, lớp 13a, 13b) là các lớp nhạy cảm với tải trọng động và cũng là điều kiện cho sự phát sinh các quá trình đùn, xói, hóa lỏng và tai biến biến dạng thắm. Các lớp biến đổi phức tạp theo không gian. Đặc biệt sự phân bố lớp 1 liên tục biến đổi theo thời gian là môi trường cản trở khả năng thoát lũ vào mùa mưa điều này dẫn đến ngập lụt.
- Phụ hệ thống kỹ thuật: Phụ hệ tầng này có đặc trưng cơ bản là hệ thống đê được xây dựng hơn 1000 năm với kết cấu đê thay đổi theo tiến trình lịch sử và phát triển của con người là nguyên nhân gây ra sự mất cân bằng về địa hình trong và ngoài đê làm kéo theo xu thế dâng cao dần đỉnh lũ hàng năm. Bên cạnh đó là hoạt động khai thác cát bừa bãi không kiểm soát với gần 201 điểm khai thác đã gây nên tai biến xói lở bờ sông làm mất đất và nhà cửa của người dân. Các công trình kè bờ, kè mở hàn cũng chưa phát huy hết tính hiệu quả của nó dẫn đến hiện tượng bồi xói vẫn chưa được kiểm soát, các hoạt động xây dựng nhà cửa, cầu cống làm cản trở khả năng thoát lũ là điều kiện gây nên ngập lụt
- Phụ hệ thống môi trường xung quanh: phụ hệ thống này đặc trưng và giữ vai trò chính là dòng sông Hồng, hoạt động của sông Hồng khu vực đới động chịu sự điều tiết của các đập thủy điện, hồ chứa ở thượng nguồn đã làm cho chế độ thủy văn dòng chảy thay đổi hình thành các khúc uốn theo dạng hình Sin, tại các đỉnh cong của khúc uốn thường xảy ra các hiện tượng xói lở. Ngoài ra sự hình thành các bãi bồi giữa sông làm cản trở khả năng thoát lũ vào mùa mưa như bãi Tân Đức, Xuân Tiến, bãi Vĩnh Lại, Tân Hồng, bãi Đại Độ - xã Võng La, bãi Phú Xá, bãi Trung Hà...

## **CHƯƠNG 3. ĐÁNH GIÁ PHÂN VÙNG NGUY CƠ CÁC TAI BIẾN ĐỊA KỸ THUẬT MÔI TRƯỜNG**

### **3.1. Các tai biến địa kỹ thuật môi trường và phân vùng dự báo nguy cơ tai biến**

#### **3.1.1. Các tai biến địa kỹ thuật môi trường**

Theo quy định Luật phòng, chống thiên tai và đê điều: thiên tai là hiện tượng tự nhiên bất thường có thể gây thiệt hại về người, tài sản, môi trường, điều kiện sống và các hoạt động kinh tế – xã hội. Theo quy định đó tai biến môi trường là các thiên tai do quá trình tự nhiên gây ra hoặc là các sự cố do nhân tạo. Do đó, theo quan điểm lý thuyết hệ thống kỹ thuật - tự nhiên, tai biến địa kỹ thuật môi trường là các tai biến xảy ra do tương tác giữa các phụ hệ thống của hệ thống kỹ thuật - tự nhiên. Các tai biến phát triển theo các giai đoạn khác nhau: từ việc hình thành những điều kiện phát sinh, đến xuất hiện hiện tượng, rồi giải phóng năng lượng phát triển tai biến. Động lực của các tai biến cũng rất khác nhau, nguy hiểm nhất là thời điểm bùng phát phá hủy. Do vậy, xác định mức độ nguy hiểm (nguy cơ) của tai biến là dự báo sự phát triển về không gian và thời gian của chúng, độ tin cậy của những dự báo phụ thuộc vào mật độ, khối lượng và chất lượng của thông tin sử dụng. Đánh giá nguy cơ tai biến sẽ gặp phải những khó khăn về cơ chế của tai biến, các yếu tố ngẫu nhiên và không xác định, sai số quan trắc, mức độ đơn giản và độ chính xác của mô hình tính toán dự báo. Ngoài ra, một khó khăn nữa là đánh giá tác động của các hoạt động nhân sinh (từ các hệ thống kỹ thuật) đến tai biến.

Hoạt động tương tác của các phụ hệ thống trong hệ thống kỹ thuật - tự nhiên đối động làm phát sinh phát triển tai biến địa kỹ thuật môi trường theo hai nhóm: (1) Các tai biến sinh hóa: ô nhiễm nguồn nước, ô nhiễm không khí và ô nhiễm đất. (2) Các tai biến hình thành từ quá trình địa cơ và thủy địa cơ bao gồm: Tai biến biến dạng thềm nền đê; Tai biến xói lở bờ sông; ngập lụt ngoài bãi và lún nền đê. Trong khuôn khổ của Luận án, tác giả chỉ đi sâu đánh giá phân vùng dự báo nguy cơ nhóm tai biến hình thành từ các quá trình địa cơ và thủy địa cơ trong hệ thống kỹ thuật - tự nhiên đối động sông Hồng khu vực Hà Nội. Bởi chúng đã và đang là mối nguy hiểm tiềm ẩn làm ảnh hưởng đến hoạt động kinh tế - xây dựng của con người.

### **3.1.2. Phân vùng dự báo nguy cơ tai biến**

Phân vùng là tìm ranh giới không gian của một khu vực nào đó thoả mãn một hoặc nhiều mục tiêu xác định.

Phân vùng lãnh thổ là phân chia lãnh thổ nghiên cứu thành các đơn vị lãnh thổ nhỏ hơn ở các cấp bậc khác nhau với các đặc điểm đồng nhất chung về điều kiện tự nhiên, phục vụ đa mục tiêu.

Phân vùng nguy cơ tai biến là phân chia lãnh thổ thành các khu vực theo chỉ tiêu đồng nhất nào đó tương ứng với các mức độ nguy cơ tai biến (ổn định, không ổn định, rất không ổn định hay vùng có nguy cơ thấp, nguy cơ trung bình, nguy cơ cao) cho mục tiêu phòng chống tai biến phục vụ khai thác sử dụng bền vững lãnh thổ.

Phương pháp phân vùng tai biến là phương pháp vạch ranh giới phân chia lãnh thổ thành những khu vực nhỏ có các giá trị của chỉ số đánh giá tai biến tương đối đồng nhất. Ranh giới được hiểu là những dải quá độ mà trong đó những giá trị của chỉ số đánh giá tai biến cho một phức hợp này biến đổi tương đối nhanh qua các giá trị của chỉ số đánh giá tai biến đặc trưng cho một phức hợp khác, tuy chúng vẫn được thể hiện trên các bản đồ phân vùng bằng những đường nét đứt khoát. Trong thực tế sẽ không bao giờ có một sự đột biến giữa hai bên đường ranh giới, mà chỉ tìm thấy những giải quá độ rộng, hẹp tùy vào tốc độ biến đổi của những đặc trưng được xét.

Dự báo là nhận định trước có luận chứng khoa học những biến đổi theo không gian và thời gian vật lý về cấu trúc và tính chất của hệ thống. Để dự báo nguy cơ tai biến cần phải phân tích rất kỹ tất cả các yếu tố điều kiện và nguyên nhân tai biến, xác định trọng số của các yếu tố, có thể không sử dụng hết tất cả các thông số đó trong tính toán, những phải hiểu biết để đảm bảo độ tin cậy. Tất cả các thông số của tai biến sử dụng trực tiếp để tính toán bao gồm các thông số về cường độ, các đặc trưng về quy luật không gian và thời gian, việc lựa chọn các thông số đặc trưng phụ thuộc vào tỷ lệ nghiên cứu. Dự báo có thể phân ra một số loại như sau: (1) *Theo tính chất của dự báo*: Dự báo định tính; dự báo định lượng. (2) *Theo không gian*: Dự báo cục bộ (cho khối trượt hay một địa điểm cụ thể hoặc dự báo theo khu vực). (3) *Theo thời gian*: Dự báo dài hạn (chu kỳ 11, 22, 80 - 90 năm), dự báo ngắn hạn (chu kỳ theo mùa, theo tháng trong năm) và dự báo theo thời gian thực (theo tuần, theo ngày). Sau đây là kết quả

đánh giá về điều kiện nguyên nhân, cơ chế hình thành và phân vùng dự báo nguy cơ các tai biến theo các chỉ số đánh giá bằng các phương pháp định lượng của 4 tai biến.

### **3.2. Nguy cơ tai biến xói lở bờ sông**

#### **3.2.1. Đặc điểm tai biến**

Hoạt động của bất cứ con sông nào đều biến đổi theo thời gian, đó là quy luật tự nhiên của dòng chảy, sự biến đổi nhanh hay chậm, tích tụ hay tiêu cực phụ thuộc vào rất nhiều bởi các điều kiện môi trường địa chất (cấu trúc địa chất lòng sông, đặc điểm địa hình địa mạo, thành phần và tính chất cơ lý đất đá hai bên bờ và đáy sông), điều kiện hệ thống kỹ thuật (các hoạt động kinh tế - công trình của con người liên quan với dòng sông) và điều kiện dòng sông (chế độ thủy văn và động lực dòng chảy). Tai biến xói lở bờ là kết quả của sự vận động của các điều kiện, điều này được minh chứng bằng thực tế qua các giai đoạn như sau và được trình bày trên (Hình 3.1).

- Giai đoạn 1965 – 1987: Đây là giai đoạn trước khi có đập thủy điện Hòa Bình, chế độ dòng chảy ở dạng tự nhiên chưa có kiểm soát, thời gian này đã xảy ra nhiều trận lũ lớn vào các năm 1969, 1971 làm biến động mạnh lòng dẫn và bờ sông Hồng. Trong giai đoạn này chế độ dòng chảy hoàn toàn tự nhiên chưa có sự tác động nhiều của con người, duy chỉ có hệ thống đê bảo vệ hoạt động của con người phía trong đê, tai biến xói lở bờ xảy ra theo sự lên xuống của mực nước sông và theo quy luật bên lở bên bồi, điển hình như: địa phận xã Cổ Đô tới xã Châu Sơn (Ba Vì), bờ Tả chủ yếu ở Cao Xá (Lâm Thao - Phú Thọ) và xói lở các bãi cát bồi giữa sông Hồng; hiện tượng xói lở diễn ra bên bờ phải thuộc địa phận các xã Trung Hà, Vân Hà, Trung Châu, Thọ Xuân và Hồng Hà kéo dài từ 2 km đến 5 km. Năm 1986 đã xảy ra vỡ đê Vân Cốc; trên địa phận các xã Trung Châu - Chu Phan - Thọ Xuân, xã Đại Mạch, Võng La (huyện Đông Anh) với chiều dài 3 km; tiếp đến xói lở xuất hiện mạnh tại Tứ Liên - Phúc Xá - Xuân Canh - Ngọc Thụy - Càng Bạch Đằng; ở Bát Tràng – Lĩnh Nam – Kim Lan (bờ Tả) – Vân Đức (bờ Tả) – Yên Mỹ - Duyên Hà (bờ Hữu), Văn Đức – Dương Liệt (bờ Tả) – Xâm Dương (Ninh Sở bờ Hữu); dọc theo bờ Hữu từ Anh Cảnh đến Thượng Giáp – Thụy Phú (Phú Xuyên Km 105HH) – Duyệt Yên (bờ hữu) – Chí Tân (Khoái Châu, Hưng Yên, bờ tả), xói lở mạnh từ Hồng Thái – Quang Lăng (Phú Xuyên).

- Giai đoạn 1987 – 1995: Đây là giai đoạn đầu khi nước sông Đà được điều tiết qua đập và là thời kỳ hoàn thành việc xây dựng nhà máy thủy điện Hòa Bình. Dao động mực nước diễn ra theo chu trình phát điện ngày - đêm và biến động mực nước do quá trình xả lũ - cắt lũ làm ảnh hưởng trực tiếp tới diễn biến lòng dẫn vùng hạ lưu. Giai đoạn này chế độ dòng chảy khu vực đới động sông Hồng Hà Nội đã có sự thay đổi, lưu lượng nước và lượng bùn cát xuống giảm làm mất cân bằng bên cạnh đó việc khai thác cát phía hạ lưu có sự ra tăng và mất kiểm soát, chính điều này góp phần cho hiện tượng xói lở bờ phát sinh phát triển gây thiệt hại lớn cho con người, điển hình như: xói lở mạnh xã Hồng Đà; xói lở xã Phong Vân, xã Tân Đức, Thụy Vân; tại xã Phú Cường; xã Tân Đức, Minh Nông (Việt Trì) và xã Phú Cường – Châu Sơn – Minh Châu (Ba Vì, bờ Hữu), Bồ Sao, Cao Đại (Vĩnh Tường), Lý Nhân, Minh Châu; xói mạnh ở xã Liên Châu - Trung Hà - Chu Phan - xã Thạch Đà - xã Văn Khê với chiều dài từng đoạn từ 2.8km đến 4.5km, xói lở bờ khu vực xã Hồng Hà (Km43-Km45HH); ở Thượng Cát, xã Võng La - Hải Bối - Tầm Xá; xói lở mạnh Bắc Cầu 1-2-3 - Bắc Biên; xói mạnh các đỉnh cong Hồng Hà – Duyên Hà - Văn Đức, Anh Cảnh - Thượng Giáp - Thụy Phú (Phú Xuyên Km 105HH) – Duyệt Yên (bờ hữu) – Chí Tân - bờ tả), xói lở mạnh từ Hồng Thái – Quang Lăng (Phú Xuyên).

- Giai đoạn 1995 – 2005: So với giai đoạn trước, giai đoạn này hoạt động của nhà máy Thủy điện Hòa Bình đã đi vào hoạt động ổn định, lượng phù sa suy giảm về phía hạ du, vùng xói lở dường như đang chuyển dịch dần về phía Đông do hiện tượng dòng sông tiếp tục phát triển trong giai đoạn uốn cong. Vùng xói lở mạnh điển hình như: khu vực Vĩnh Lại - Cao Xá - Tân Đức - Minh Nông (Phú Thọ) - Bồ Sao, Cao Đại (Vĩnh Tường), Lý Nhân, Minh Châu, Phong Vân - Phú Châu - Chu Minh; bờ tả xã Vĩnh Ninh - xã Trung Hà - Chu Phan - Văn Khê; xã Võng La - Hải Bối - Bắc Cầu 2 - 3; bờ ở khu vực Phú Xá - Tứ Liên; khu vực Lĩnh Nam - Yên Mỹ - Duyên Hà - Vạn Phúc (Thanh Trì) - xã Tự Nhiên (Thường Tín) - Thụy Phú (Phú Xuyên Km 105HH) - Kim Động (Hưng Yên) - Quang Lăng (Phú Xuyên). Khu vực bờ Tả có Năm Mẫu - Tứ Dần (Hưng Yên) - Thành Công (Khoái Châu, Hưng Yên).

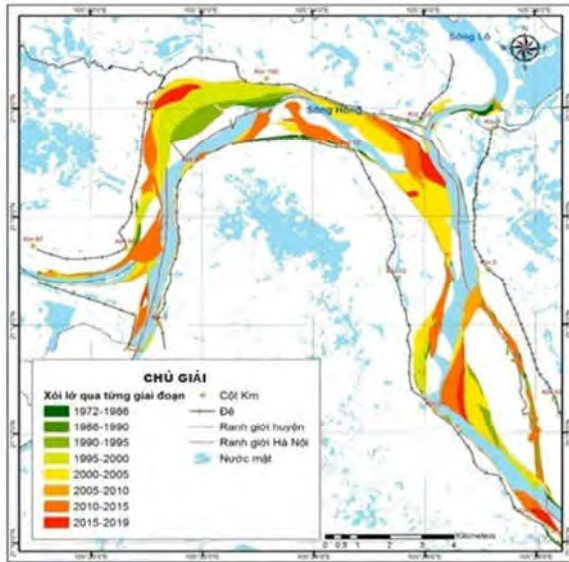
- Giai đoạn 2005 đến nay: Giai đoạn này bắt đầu của sự khởi công và đưa vào hoạt động của một loại các nhà máy thủy điện như: Thủy điện Tuyên Quang trên sông Gâm



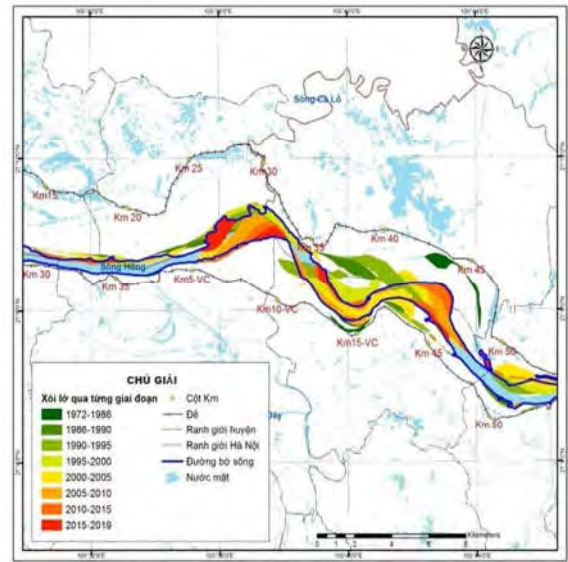
thuộc hệ thống sông Hồng (đưa vào sử dụng tháng 12/2008), thủy điện Sơn La trên sông Đà (đưa vào sử dụng tháng 12/2012), thủy điện Lai Châu trên sông Đà (đưa vào sử dụng tháng 12/2016). Các nhà máy thủy điện này đã góp phần vào việc điều tiết lũ trên sông Hồng đảm bảo an toàn cho vùng hạ du, tuy nhiên nó cũng làm giảm lượng phù sa về phía hạ du làm mất cân bằng lượng bùn cát, đồng thời việc khai thác cát tràn lan không có kiểm soát cũng là nguyên nhân gây ra hiện tượng xói lở bờ trên khu vực đới động điển hình như: ở Vĩnh Lại - Tân Đức - Minh Nông (Phú Thọ) - Bồ Sao, Cao Đại (Vĩnh Tường) - Trung Châu (Ba Vì) - Đông Quang - Ba Vì, xã Phong Vân, Minh Quang - Ba Vì, Chu Minh, Cam Thượng (Km20 đến Km 21) - Cam Thượng (Km20 đến Km 21); tại các đỉnh cong Tiên Thịnh - Hồng Hà - Tráng Việt, xảy ra ở Thượng Cát - Liên Ngạc - Võng La - Hải Bôi - Tầm Xá, Cự Khối (Long Biên); tập trung ở Duyên Hà - Vạn Phúc (Thanh Trì) - xã Tự Nhiên (Thường Tín) - Thụy Phú (Phú Xuyên Km 105HH) - Kim Động (Hưng Yên) - Quang Lãng (Phú Xuyên); Năm Mẫu - Tứ Dàn (Hưng Yên) - Thành Công (Khoái Châu, Hưng Yên). Các khu vực xói lở bờ đới động theo các giai đoạn từ năm 1965 đến nay được trình bày trong Hình 3.2, Hình 3.3, Hình 3.4, Hình 3.5.



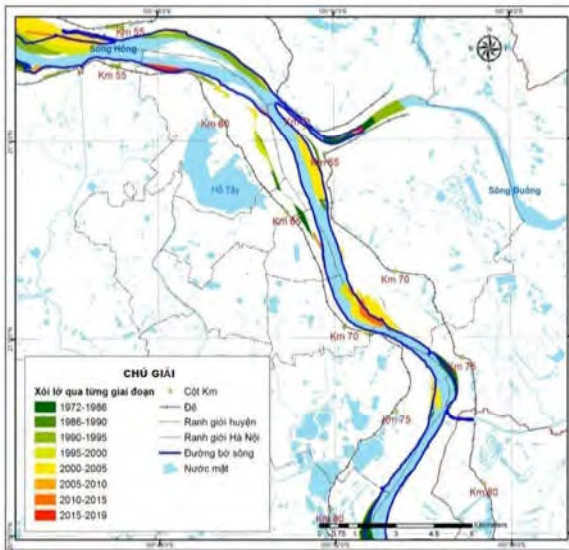
Hình 3.1 Hình ảnh xói lở trên sông Hồng khu vực Hà Nội



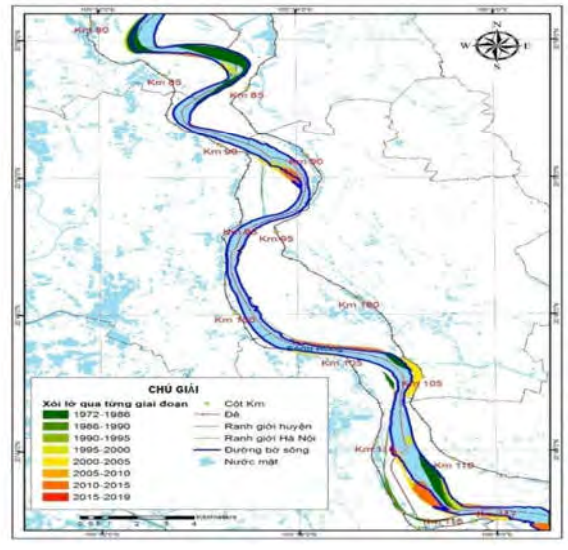
Hình 3.2 Vị trí xói lở đoạn Ngã 3 Thao - Đà - Lô đến trạm thủy văn Sơn Tây



Hình 3.3 Vị trí xói lở đoạn từ trạm thủy Văn Sơn Tây đến Thủy Phương (Tứ Liêm)



Hình 3.4 Vị trí xói lở đoạn Thủy Phương (Tứ Liêm) đến Cầu Vĩnh Tuy



Hình 3.5 Vị trí xói lở đoạn Cầu Vĩnh Tuy đến Quang Lãng

### 3.2.2. Điều kiện, nguyên nhân và cơ chế tai biến

Tại các khu vực xói lở mạnh, cơ chế của quá trình phá hủy bờ phụ thuộc chủ yếu vào cấu trúc địa chất và tính chất địa chất công trình của các lớp đất. Nếu bờ sông nằm trong vùng có cấu trúc nhiều lớp khác nhau hoặc có lớp cát dày, cơ chế phá hủy bờ chủ yếu là sập, sạt hoặc giạt cấp (Bãi Đại Độ, xã Hải Bối, Duyên Hà, Liên Mạc, Bát Tràng

Ngọc Thụy – bờ sông phía sông Đuống) tạo thành các vách dựng đứng (Hình 3.1).

Nguyên nhân xói lở đó là tổ hợp các yếu tố điều kiện và yếu tố tác động, trong đó yếu tố điều kiện là tồn tại các lớp cát, cát pha có khả năng thấm nước lớn, dễ bị vận chuyển và sự biến đổi địa hình của các bãi bồi thấp, bãi bồi tương đối ổn định giữa sông, bãi bồi di động và sự tác động của các nhà máy thủy điện làm mất cân bằng lượng bùn cát đồng thời việc khai thác cát tràn lan mất kiểm soát ở khu vực đới động là nguyên nhân chính gây ra xói lở làm mất ổn định tuyến bờ.

Số liệu từ thực tế và các kết quả phân tích cho thấy các yếu tố làm phát sinh phát triển tai biến xói lở bờ bao gồm: sự bất đồng nhất của các lớp địa chất (thể hiện ở sự đan xen các lớp sét pha, cát, cát pha), thành phần và tính chất cơ lý của các lớp địa chất thay đổi ở các chiều sâu khác nhau; ảnh hưởng của các đứt gãy; độ chênh cao giữa các bãi bồi với nhau tạo ra sự phân cắt địa hình; góc dốc của địa hình, góc uốn của sông; độ dốc thủy lực dòng sông, sự biến đổi mực nước sông trong mùa lũ và mùa kiệt, đó là mật độ điểm tập kết và mật độ khai thác cát hai bên bờ sông. Đây là các yếu tố giữ vai trò thúc đẩy tai biến xói lở bờ làm mất ổn định tuyến bờ.

### **3.2.3. Phân vùng dự báo nguy cơ xói lở bờ sông**

Để đánh giá phân vùng dự báo nguy cơ tai biến xói lở bờ đới động, luận án sử dụng phương pháp tích hợp đã biến với chỉ số tích hợp ( $I_{\Sigma}$ ) làm cơ sở phân chia khu vực nghiên cứu thành các vùng có nguy cơ xói lở khác nhau [27, 28].

#### **3.2.3.1 Công thức chỉ số tích hợp ( $I_{\Sigma}$ ) (3.1).**

$$I_{\Sigma} = \sum_{i=1}^n g_i R_i^H \quad 3.1$$

Trong đó  $g_i$  là tỷ trọng của yếu tố thứ  $i$ ,

$R_i^H$  là tham số điều kiện địa kỹ thuật của yếu tố thứ  $i$

$n$ : số lượng yếu tố thứ  $i$  xem xét

Việc xác định tỷ trọng của yếu tố điều kiện địa kỹ thuật  $i$  ( $g_i$ ) được tiến hành như sau.

- Tiến hành kiểm tra các giả thuyết về sự phù hợp của sự phân bố của các đại lượng được xem xét với luật phân phối chuẩn và xây dựng biểu đồ tương quan điểm.

- Tính toán hệ số tương quan cặp đôi giữa tất cả các tham số được xem xét ( $r_i$ ) và xây

dựng ma trận của chúng.

- Tính các hệ số tiêu chuẩn hoá của tập lồi vô hạn ( $\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_p$ )

Với  $\beta_i$  là nghiệm được xác định bởi hệ phương trình (3.2)

$$\begin{cases} r_{1y} = \beta_1 + \beta_2 r_{21} + \dots + \beta_p r_{p1} \\ r_{2y} = \beta_1 r_{12} + \beta_2 + \dots + \beta_p r_{p2} \\ \dots\dots\dots \\ r_{py} = \beta_1 r_{1p} + \beta_2 r_{2p} + \dots + \beta_p \end{cases} \quad 3.2$$

Để giải phương trình trên sử dụng phương pháp ma trận nghịch đảo,  $\beta_i$  được xác định với công thức

$$\beta_i = \Delta^{-1} \cdot \Delta_i \quad 3.3$$

Trong đó:  $\Delta$  được xác định như sau:

$$\Delta = \begin{vmatrix} 1 & r_{21} & r_{31} & \dots & r_{p1} \\ r_{12} & 1 & r_{32} & \dots & r_{p2} \\ r_{13} & r_{23} & 1 & \dots & r_{p3} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ r_{1p} & r_{2p} & \dots & \dots & 1 \end{vmatrix} \quad 3.4$$

$r_{ij}$  là hệ số tương quan giữa các yếu tố  $i$  và  $j$  của yếu tố điều kiện ĐKTMT.

Hệ số  $\Delta_i$

$$\Delta_i = \begin{vmatrix} r_{1y} \\ r_{2y} \\ r_{3y} \\ \dots \\ r_{py} \end{vmatrix} \quad 3.5$$

Và  $r_{iy}$  là hệ số tương quan đôi giữa hệ số diện tích xói lở và chỉ số định lượng của các yếu tố điều kiện địa kỹ thuật môi trường.

d. Xác định hệ số tương quan nhiều chiều (R).

$$R^2 = r_{1y}\beta_1 + r_{2y}\beta_2 + \dots + r_{py}\beta_p \quad 3.6$$

e. Xác định tỷ trọng ( $g_i$ ) của các biến số của phương trình lồi theo công thức sau.

$$g_i = \frac{|\beta_i r_{iy}|}{\sum_{i=1}^p |\beta_i r_{iy}|} \quad 3.7$$

Tổng của tất cả các tỷ trọng  $g_i = 1$ .

### 3.2.3.2. Các bước thực hiện

#### - Luận chứng hàm mục tiêu và mô hình nguyên tắc

Với mục tiêu nghiên cứu đánh giá dự báo nguy cơ xói lở bờ sông, hàm mục tiêu tương ứng có thể lựa chọn là diện tích xói lở bờ sông  $S$  ( $m^2/năm$ ). Mô hình nguyên tắc được lựa chọn trên cơ sở phân tích nguyên nhân và điều kiện của quá trình xói lở bờ sông. Tập hợp các yếu tố điều kiện ĐKTMT được lựa chọn với mục tiêu nghiên cứu xói lở bờ sông được gọi là *mô hình nguyên tắc*. Tính hợp lý của mô hình nguyên tắc được không chế bởi hệ số tương quan nhiều chiều  $R$ . Nếu  $R > 0.75$  thì mô hình nguyên tắc chấp nhận được, nếu  $R < 0.75$  thì mô hình nguyên tắc lựa chọn chưa hợp lý do các yếu tố quan trọng gây ra hiện tượng hay quá trình đó đã bị bỏ sót chưa tính đến. Các yếu tố trong mô hình nguyên tắc có các mối quan hệ với mục tiêu nghiên cứu, giữa các yếu tố cũng tồn tại các quan hệ cặp đôi. Trên cơ sở của các hệ số liên hệ đó có thể xác định được vai trò (tỷ trọng) của từng yếu tố trong mô hình nguyên tắc và trạng thái của hệ thống được đánh giá theo chỉ tiêu tích hợp các yếu tố điều kiện ĐKTMT khu vực đối động ( $I_Y$ ) (công thức 3.1).

#### - Định lượng hoá các yếu tố điều kiện ĐKTMT đưa vào tính toán

Các thông số được lựa chọn cho vào mô hình toán được cho là các yếu tố gây nên tai biến xói lở bờ, chúng được thu thập trên cơ sở các số liệu đo đạc thực tế, số liệu các hồ khoan, các mặt cắt ngang sông và các số liệu xử lý từ ảnh vệ tinh và được cho là phù hợp với mô hình thông qua chỉ số tương quan  $R$ . Các thông số này được lượng hóa không có thứ nguyên.

+ Độ bất đồng nhất của cấu trúc địa chất được lượng hoá bằng entropy ( $E_{đc}$ ) theo công thức 3.8.

$$E_{dc} = \frac{n}{N_{max}} \quad 3.8$$

Trong đó: n: số lớp địa chất tại điểm tính

$N_{max}$ : số lớp nhiều nhất tại 1 điểm tính ở khu vực nghiên cứu

- Thành phần vật chất của đất đá được tính bằng hệ số phân tán ( $C_d$ ) theo công thức 3.9 và được lượng hóa thành ( $C_d^*$ ) theo công thức 3.10.

$$C_d = \frac{\sum_{i=1}^n d_i \gamma_i'}{\sum_{i=1}^n d_i} \quad 3.9$$

Trong đó:

$d_i$  - chiều dày của lớp i trong cột địa tầng tính toán

n – số lớp đến độ sâu tính ổn định trượt.

$\gamma_i$  - khối lượng riêng của lớp đất thứ i được lượng hóa thành  $\gamma_i'$  (GS. PenDin. V.V)

Tên đất	$\gamma_i$	$\gamma_i'$
Sét	2.71	11
Sét pha	2.68	8
Cát pha	2.67	7
Cát	2.65	5

$$C_d^* = \frac{C_d}{C_{dmax}} \quad 3.10$$

+ Chiều cao phân cắt địa hình được tính bằng khoảng chênh cao giữa mặt đất bờ sông và đáy sông ( $\Delta H^*$ ) được lượng hóa theo công thức 3.11.

$$\Delta H^* = \frac{H}{H_{max}} \quad 3.11$$

Trong đó: H: chiều cao từ mặt đất đến đáy sông

$H_{max}$ : chiều cao từ mặt đất đến đáy sông ở vị trí sâu nhất

+ Góc dốc bờ sông ( $\alpha$ ) được lượng hoá thành ( $\alpha^*$ ) theo công thức 3.12.

$$\alpha^* = \frac{\alpha}{90^\circ} \quad 3.12$$

+ Giá trị chênh cao mực nước cao nhất tại điểm tính so với mực nước thấp nhất năm 2010 ( $\Delta h^*$ ) được lượng hóa theo công thức 3.13.

$$\Delta h^* = \frac{h - h_{2010}}{(h - h_{2010})_{\max}} \quad 3.13$$

Trong đó: h: mực nước cao nhất tại điểm tính

$h_{2010}$ : mực nước thấp nhất trong lịch sử hơn 100 năm (năm 2010)

+ Hướng dòng chảy tác dụng vào bờ được đánh giá thông qua góc tạo bởi hướng đường dòng và tiếp tuyến đường bờ ( $\Psi$ ). Nếu  $0 < \Psi < 180$  bờ bị phá huỷ bởi dòng nước, nếu  $180 < \Psi < 360$  bờ được bảo vệ bởi dòng chảy. Để đơn giản có thể thay hướng dòng chảy tác dụng vào bờ bằng góc uốn đường bờ  $\Psi$  được lượng hóa thành  $\Psi^*$  theo công thức 3.14.

$$\Psi^* = 1 - \frac{\Psi}{180^\circ} \quad 3.14$$

+ Độ dốc đáy sông I được lượng hóa thành  $I^*$  theo công thức 3.15.

$$I^* = \frac{|I|}{|I_{\max}|} \quad 3.15$$

$$I = \left( \frac{h_2 - h_1}{L} \right) \times 100$$

Trong đó:  $h_1, h_2$  là cao độ của điểm đầu và điểm cuối

L: Khoảng cách giữa 2 điểm

+ Khoảng cách điểm xói lở bờ đến đút gãy gần nhất F được lượng hóa thành  $F^*$  theo công thức 3.16.

$$F^* = 1 - \frac{F}{F_{\max}} \quad 3.16$$

Trong đó: F là khoảng cách từ điểm tính đến đút gãy gần nhất

$F_{\max}$  là khoảng cách lớn nhất từ điểm tính đến đút gãy gần nhất

Tác giả sử dụng hai đút gãy để đưa vào tính toán đó là: Đút gãy sông Cháy phát triển theo phương Tây Bắc - Đông Nam, đoạn chạy qua khu vực nghiên cứu dài hơn 44 Km (kéo dài từ xã Tiến Thắng, H. Mê Linh đến xã Vạn Phúc, H. Thanh Trì). Đút gãy Cao Xá, H Lâm Thao chạy theo hướng Tây Bắc - Đông Nam kéo dài cắt qua xã Tây Đằng

chạy dọc sông từ Km 18HH đến Km 28HH chạy đến Kiều Ky, Gia Lâm dài hơn 50 Km, được thể hiện trên [46].

+ Thông số mật độ các điểm khai thác cát và bãi tập kết cát. Trên cơ sở thu thập tài liệu tác giả xác định được 201 điểm khai thác và tập kết cát trên khu vực nghiên cứu, sau đó tác giả chia thành các vùng với khoảng cách 2km chiều dài chạy dọc hai bên sông Hồng từ đó chia được các vùng với số điểm khai thác và tập kết cát ( $S_d$ ) khác nhau. Từ kết quả đó tác giả xác định các điểm tính nằm ở vùng nào và lượng hóa thành thông số  $S_d^*$  để đưa vào tính toán tích hợp. Thông số  $S_d^*$  được tính theo công thức 3.17.

$$S_d^* = \frac{S_d}{S_{dmax}} \quad 3.17$$

Trong đó:  $S_d^*$ : là thông số ảnh hưởng của yếu tố khai thác và bãi tập kết cát

$S_d$ : số điểm khai thác và tập kết cát có trong điểm tính

$S_{dmax}$ : số điểm khai thác và tập kết cát lớn nhất có trong điểm tính

Như vậy diện tích xói lở bờ hàng năm  $S$  ( $m^2/năm$ ) là hàm của các yếu tố điều kiện địa kỹ thuật môi trường.

$$S = f(E_{dc}, C_d^*, \Delta H^*, \alpha^*, \Delta h^*, \Psi^*, I^*, F^*, S_d^*) \quad 3.18$$

- *Xây dựng mô hình trường biến đổi các tham số điều kiện ĐKTMT*

Xây dựng mạng lưới tính toán cơ sở dọc theo bờ sông với khoảng cách 500 m một nút tính toán. Tại các nút tính toán đưa lên các tham số định lượng điều kiện ĐKTMT sẽ nhận được mô hình trường biến đổi các tham số điều kiện ĐKTMT.

- *Xác định tỷ trọng các tham số điều kiện ĐKTMT*

Trên cơ sở các số liệu quan trắc tại một số trạm điển hình trên tuyến bờ sông nghiên cứu, tỷ trọng của các tham số điều kiện ĐKTMT được xác định.

- *Chuẩn hóa lại các tham số điều kiện ĐKTMT*

Việc chuẩn hóa lại các tham số điều kiện ĐKTMT được hiểu là đưa các tham số đó về cùng thứ nguyên, về vấn đề này có thể tiến hành bằng cách chia cho giá trị lớn nhất của tham số điều kiện ĐKTMT, sau khi chuẩn hóa lại thì các tham số điều kiện ĐKTMT có khoảng giá trị thay đổi từ 0 đến 1.



#### *- Tính toán chỉ tiêu tích hợp điều kiện ĐKTMT*

Chỉ tiêu tích hợp  $I_{\Sigma}$  được tính theo công thức (3.1) cho từng nút tính toán trên mạng lưới tính cơ sở. Tập hợp không gian các giá trị tính toán chỉ tiêu tích hợp  $I_{\Sigma}$  được gọi là mô hình trường biến đổi chỉ tiêu tích hợp các yếu tố điều kiện ĐKTMT về xói lở bờ sông.

#### *- Phân vùng định lượng đánh giá dự báo nguy cơ xói lở bờ sông*

Theo giá trị tính toán được của chỉ tiêu tích hợp các yếu tố điều kiện ĐKTMT về xói lở bờ sông và hàm mục tiêu tương ứng, bờ sông khu vực nghiên cứu có thể phân chia thành các khu vực nguy cơ xói lở khác nhau (nguy cơ xói lở yếu, xói lở trung bình, xói lở mạnh, xói lở rất mạnh)

#### *3.2.3.3 Cơ sở dữ liệu tính toán*

- Tính chất cơ lý của các lớp đất đá, mặt cắt địa chất công trình dọc, ngang sông;
- Bản đồ địa hình, địa mạo, địa chất công trình tỷ lệ 1:50.000 khu vực Hà Nội;
- Mặt cắt ướt ngang sông của các năm 2006, 2010, 2015, 2019;
- Dữ liệu phân tích ảnh vệ tinh các năm 1972 đến 2019 của Cục Khảo sát Địa chất Hoa Kỳ (USGS) ([www.glovis.usgs.gov](http://www.glovis.usgs.gov));
- Dữ liệu dao động mực nước sông qua các năm tại các trạm thủy văn trong khu vực nghiên cứu;

#### *3.2.3.4 Kết quả tính toán*

Từ các số liệu thu thập đo đạc và quan trắc, tác giả đã lựa chọn 76 điểm xói lở đưa vào tính toán thống kê, các kết quả tính toán các thông số lựa chọn cho 76 điểm được trình bày trong (phụ lục Bảng 2). Kết quả tính các hệ số tương quan cặp đôi giữa các tham số điều kiện ĐKTMT được trình bày trong (phụ lục Bảng 3).

- Các hệ số chuẩn hoá  $\beta_1, \beta_2, \beta_3, \beta_4, \beta_5, \beta_6, \beta_7, \beta_8, \beta_9$  được tính theo hệ 9 phương trình 9 ẩn số (công thức 3.2), kết quả như sau:

$$\beta_1 = 0.24, \beta_2 = -0.23, \beta_3 = 0.29, \beta_4 = 0.27, \beta_5 = 0.11, \beta_6 = 0.07, \beta_7 = 0.12, \beta_8 = 0.09, \beta_9 = 0.10$$

- Hệ số tương quan nhiều chiều cũng được tính toán theo công thức (3.6) và kết quả tính toán:  $R^2 = 0.74$  vậy  $R = 0.86$ . Như vậy chứng tỏ 9 tham số được chọn trong mô hình là tương đối phù hợp cho việc đánh giá dự báo xói lở bờ khu vực Đới động sông Hồng Hà Nội và mô hình nguyên tắc là hợp lý.

- Tỷ trọng của các tham số cũng được tính toán theo các công thức đã trình bày ở trên và kết quả trong Bảng 3.1.

Bảng 3.1 Giá trị trọng số của các yếu tố

Tên các yếu tố	Giá trị trọng số (g)	
	Góc dốc đường bờ ( $\alpha^*$ )	<b>0.21</b>
Góc uốn dòng sông ( $\psi^*$ )	<b>0.12</b>	$g_2$
Chênh cao bờ so với đáy sông ( $\Delta H^*$ )	<b>0.13</b>	$g_3$
TP đất đá ( $C_d$ )	<b>0.18</b>	$g_4$
Khoảng cách tới đứt gãy ( $F^*$ )	<b>0.08</b>	$g_5$
Mật độ khai thác cát ( $S_d^*$ )	<b>0.06</b>	$g_6$
Giá trị chênh cao mực nước ( $\Delta h^*$ )	<b>0.10</b>	$g_7$
Entropy cấu trúc địa chất ( $E_{dc}$ )	<b>0.06</b>	$g_8$
Độ dốc thủy lực ( $I^*$ )	<b>0.06</b>	$g_9$

- Chỉ tiêu tích hợp các yếu tố điều kiện ĐKTMT đánh giá khả năng xói lở bờ khu vực

Đới động sông Hồng Hà Nội được xác định theo công thức sau:

$$I_{\Sigma} = 0.21 * (\alpha^*) + 0.12 * (\psi^*) + 0.13 * (\Delta H^*) + 0.18 * (C_d) + 0.08 * (F^*) + 0.06 * (S_d^*) + 0.10 * (\Delta h^*) + 0.06 * (E_{dc}) + 0.06 * (I^*)$$

Trong đó  $\alpha^*$ ,  $\psi^*$ ,  $\Delta H^*$ ,  $C_d$ ,  $F^*$ ,  $S_d^*$ ,  $\Delta h^*$ ,  $E_{dc}$ ,  $I^*$  là các tham số đã chuẩn hoá của các yếu tố điều kiện ĐKTMT đã được lựa chọn tương ứng ở trên. Kết quả tính  $I_{\Sigma}$  trình bày

Bảng 3.2 Kết quả tính toán

TT	Góc dốc đường bờ ( $\alpha^*$ )	Góc uốn dòng sông ( $\psi^*$ )	Chênh cao bờ so với đáy sông ( $\Delta H$ )	TP đất đá ( $C_d$ )	Khoảng cách tới đứt gãy ( $F^*$ )	Mật độ khai thác cát ( $S_d^*$ )	Giá trị chênh cao mực nước ( $\Delta h$ )	Entropy ( $E_{dc}$ )	Độ dốc thủy lực ( $I^*$ )	$I_{\Sigma}$
1	0.44	0.29	0.25	0.53	0.19	0.00	0.22	0.33	0.50	0.35
2	0.79	0.84	0.81	0.98	0.84	0.00	0.34	0.33	0.51	0.72
3	0.33	0.91	0.30	0.51	0.37	0.00	0.30	0.17	0.50	0.42
4	0.94	0.73	0.72	0.57	0.90	0.67	0.46	0.33	0.50	0.71
5	0.16	0.28	0.21	0.51	0.38	0.33	0.21	0.50	0.50	0.32
6	0.42	0.86	0.77	0.89	0.84	0.67	0.60	1.00	0.50	0.73
7	0.64	0.58	0.33	0.91	0.35	0.33	0.60	0.33	0.50	0.59
8	0.53	0.57	0.34	0.56	0.21	0.67	0.78	1.00	0.51	0.58
9	0.46	0.71	0.62	0.97	0.90	1.00	0.23	0.67	0.51	0.67
10	0.36	0.43	0.34	0.52	0.53	0.00	0.25	0.50	0.50	0.40
11	0.96	0.92	0.65	0.90	0.44	0.67	0.67	1.00	0.51	0.82
12	0.11	0.14	0.24	0.51	0.67	0.33	0.20	0.17	0.50	0.30

13	0.78	0.69	0.99	0.99	0.53	1.00	0.63	0.83	0.50	0.82
14	0.32	0.13	0.54	0.75	0.45	0.00	0.34	0.67	0.50	0.44
15	0.99	0.37	0.26	0.97	0.43	1.00	0.29	0.33	0.51	0.64
16	0.64	0.02	0.55	0.51	0.16	1.00	0.29	0.33	0.50	0.46
17	0.54	0.72	0.94	0.60	0.35	0.33	0.48	0.67	0.50	0.62
18	0.50	0.43	0.92	0.91	0.58	1.00	0.76	0.33	0.29	0.69
19	0.77	0.47	0.33	0.64	0.93	1.00	0.84	0.33	0.29	0.66
20	0.61	0.86	0.42	0.67	0.42	0.67	0.66	0.67	0.29	0.63
21	0.94	0.76	0.60	0.77	0.92	1.00	0.39	0.17	0.29	0.72
22	0.67	0.94	0.98	0.89	0.31	0.67	0.36	0.83	0.29	0.73
23	0.69	0.95	0.99	0.80	0.93	0.67	0.63	0.83	0.29	0.80
24	0.68	0.94	1.00	0.97	0.63	0.33	0.75	0.83	0.30	0.80
25	0.99	0.64	0.81	0.84	0.93	0.00	0.55	0.83	0.29	0.76
26	0.39	0.81	0.18	0.52	0.00	0.00	0.16	0.33	0.29	0.36
27	0.34	0.92	0.21	0.51	0.09	0.00	0.40	0.33	0.29	0.40
28	0.97	0.97	0.85	0.96	0.93	0.67	0.54	0.83	0.30	0.86
29	0.92	0.98	0.80	0.97	0.85	0.67	0.74	0.83	0.39	0.87
30	0.91	0.92	0.48	0.86	0.82	0.67	0.58	0.83	0.39	0.78
31	0.99	0.33	1.00	0.50	0.69	1.00	0.82	0.83	0.38	0.76
32	0.96	0.67	0.94	0.58	0.57	0.00	0.28	0.33	0.39	0.64
33	0.61	0.57	0.27	0.69	0.57	0.00	0.46	0.50	0.39	0.52
34	0.67	0.46	0.71	0.73	0.95	1.00	0.61	0.83	0.39	0.71
35	0.94	0.56	0.50	0.97	0.94	0.33	0.38	0.33	0.39	0.70
36	0.94	0.17	0.86	0.81	0.45	0.67	0.73	1.00	0.38	0.73
37	0.23	0.96	0.18	0.51	0.37	0.00	0.26	0.17	0.39	0.38
38	0.53	0.61	0.88	0.72	0.63	0.33	0.24	0.33	0.38	0.58
39	0.36	0.22	0.59	0.53	0.24	0.00	0.32	0.33	0.39	0.38
40	0.41	0.88	0.21	0.51	0.42	0.00	0.26	0.33	0.39	0.43

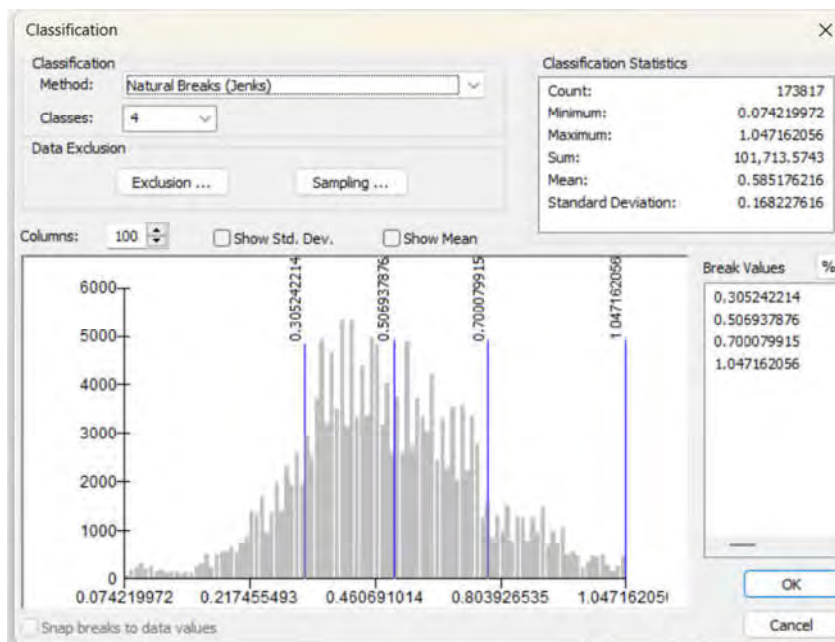
### 3.2.3.5 Bản đồ phân vùng dự báo nguy cơ xói lở bờ

Nguyên tắc phân vùng: Với lưới tính toán 500m một điểm tính dọc hai bên bờ sông, các kết quả tính toán của chỉ số tích hợp  $I_{\Sigma}$  được đưa lên bản đồ nền (tỷ lệ 1: 50 000). Các số liệu được chuyển thành dạng Vector để tiến hành phân vùng bằng phương pháp phân loại trong ArcGIS, các phương pháp phân loại gồm: Phương pháp phân loại “Manual” (thủ công); Phương pháp phân loại “Equal Interval” (phân khoảng đều); Phương pháp phân loại “quantile” (không đều); Phương pháp “Defined Interval” (định lượng); Phương pháp phân loại “Natural Break” (ngắt tự nhiên).

Trong các phương pháp phân loại này, phương pháp phân loại Natural Break (ngắt tự nhiên) ưu điểm hơn bởi phương pháp này dựa trên nguyên tắc là tối ưu hóa sự khác biệt giữa các giá trị trong cùng một nhóm và sự khác biệt giữa các nhóm. Tìm ra

các giá trị phân chia dữ liệu thành các nhóm sao cho sự khác biệt giữa các nhóm là lớn nhất có thể, trong khi sự khác biệt trong mỗi nhóm là nhỏ nhất có thể.

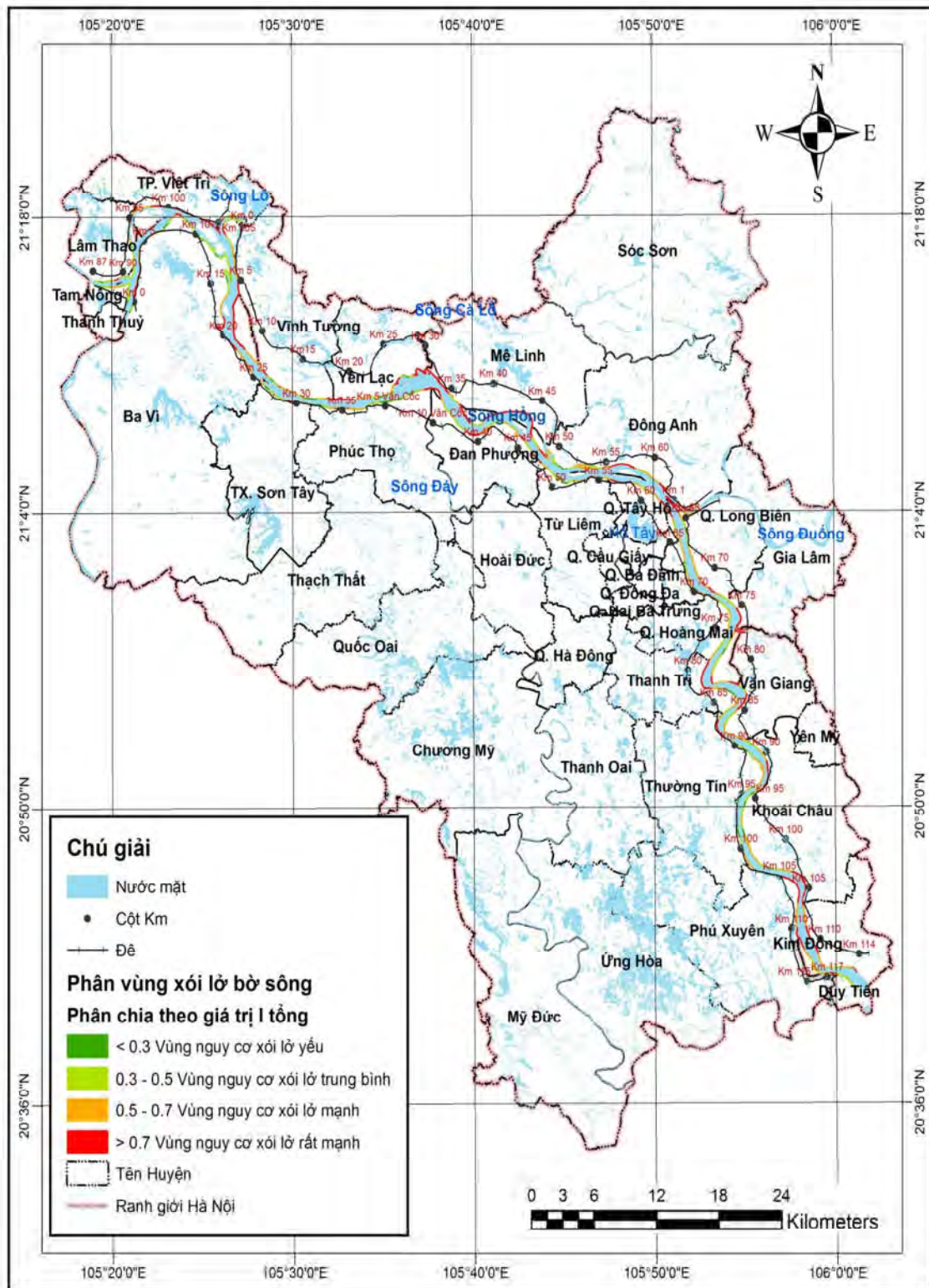
Dựa vào các phân tích trên, tác giả lựa chọn phương pháp Natural Break phân thành 4 khoảng giá trị ( $I_{\Sigma} < 0.3$ ;  $0.3 < I_{\Sigma} < 0.5$ ;  $0.5 < I_{\Sigma} < 0.7$ ;  $I_{\Sigma} > 0.7$ ) được trình bày trong Hình 3.7, tương ứng với 4 cấp nguy cơ xói lở: yếu, trung bình, mạnh và rất mạnh (Bảng 3.3). Từ 4 cấp này bản đồ phân vùng dự báo nguy cơ xói lở bờ theo mô hình chỉ số thống kê tích hợp đa biến được thiết cho phép đánh giá tổng thể nguy cơ xói lở bờ trên toàn khu vực đối động sông Hồng Hà Nội, được thể hiện trên bản đồ tỷ lệ 1: 50 000 (Hình 3.7). Bản đồ phân vùng đánh giá dự báo nguy cơ xói lở bờ là cơ sở để thiết lập hệ thống quan trắc khu vực nghiên cứu.



Hình 3.6 Các khoảng phân chia của chỉ số  $I_{\Sigma}$

Bảng 3.3 Vùng nguy cơ xói lở bờ khu vực nghiên cứu

Nguy cơ xói lở bờ sông Hồng	Diện tích xói lở (m <sup>2</sup> /năm)	Chỉ tiêu tích hợp ( $I_{\Sigma}$ )
Vùng nguy cơ xói lở yếu	< 500	< 0.3
Vùng nguy cơ xói lở trung bình	500 - 1000	0.3 - 0.5
Vùng nguy cơ xói lở mạnh	1000 - 1500	0.5 - 0.7
Vùng nguy cơ xói lở rất mạnh	> 1500	> 0.7



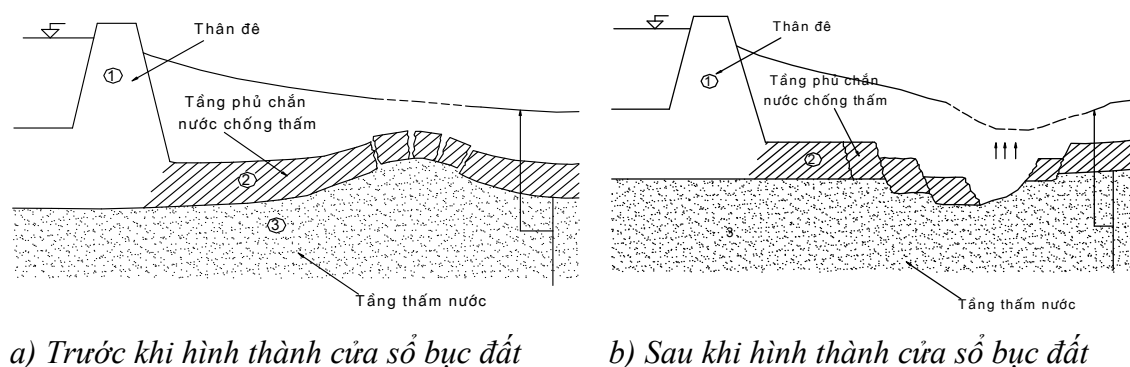
Hình 3.7 Bản đồ phân vùng đánh giá nguy cơ xói lở bờ (Tỷ lệ 1: 50 000)

### 3.3. Nguy cơ biến dạng thấm nền đê

#### 3.3.1. Cơ chế biến dạng thấm nền đê trong thời gian mưa lũ

Biến dạng thấm nền đê là tổ hợp các quá trình cơ sở (bục đất, đùn đất, xói ngầm, cát chảy) phát triển dọc theo hệ thống đê trong thời gian mưa lũ. Quá trình phá huỷ nền đê bắt đầu thực sự từ khi xuất hiện hiện tượng bục đất do chiều dày và độ bền của lớp phủ bảo vệ không đủ lớn và hình thành miền thoát tích cực qua cửa sổ bục đất.

Quá trình phá huỷ hệ thống đê do biến dạng thấm từ nền đê có thể sắp xếp thứ tự như sau: Gia tăng áp lực dòng thấm phía hạ lưu đê → thấm lậu nền đê → bục đất → tập trung và phát triển dòng thấm qua cửa sổ bục đất → đùn, đẩy cát qua cửa sổ bục đất → tập trung và phát triển dòng bùn cát qua cửa sổ bục đất → lún sập tầng phủ chống thấm phát triển từ cửa sổ bục đất tới chân đê → sập đê - vỡ đê, được thể hiện trong (Hình 3.8), điều này đã được minh chứng bởi vỡ đê Vân Cốc (Sơn Tây) năm 1986 (Hình 3.9) [21, 22].



Hình 3. 8 Sơ họa quá trình phá huỷ thấm nền đê [21, 22]



Hình 3.9 Hình ảnh phá huỷ thấm nền đê Vân Cốc - Hà Tây năm 1986 [21, 22]

### 3.3.2. Cơ sở phân vùng đánh giá dự báo nguy cơ biến dạng thấm nền đê

Biến dạng thấm nền đê bắt đầu từ quá trình gia tăng áp lực dòng thấm phía hạ lưu đê đến bực đất, tập trung dòng thấm qua cửa sổ bực đất - cát chảy - đùn đẩy và tập trung dòng bùn cát thoát qua cửa sổ bực đất, phá sập lớp phủ chắn nước dưới nền đê dẫn đến sập vỡ đê. Như vậy, việc đánh giá nguy cơ tai biến biến dạng thấm nền đê tập trung chủ yếu vào các chỉ số: áp lực dòng thấm, khả năng chống bực đất của tầng phủ chắn nước và khả năng đùn đẩy cát của tầng thấm nước qua cửa thoát. Do đó, để xây dựng bản đồ phân vùng đánh giá khả năng ổn định hệ thống đê do tác động của quá trình biến dạng (phá hủy) thấm nền đê cần phải xây dựng các bản đồ với các chỉ số trên, các bản đồ này được chồng ghép hình thành bản đồ phân vùng đánh giá khả năng ổn định của hệ thống đê đối động do tác động của quá trình biến dạng thấm nền đê.

#### 3.3.2.2. Chỉ số áp lực của dòng thấm ở nền đê ( $\Delta H(x, t)$ )

Trong các phương pháp giải theo bài toán phẳng thì phương pháp giải tích của V.A. Mironenko và V.M. Sextakov cho phép xác định áp lực của dòng thấm trong trường hợp thấm không ổn định, dòng thấm được coi là phẳng ngang, một hướng theo sơ đồ nửa giới hạn (sơ đồ có một biên mực nước biến đổi, còn biên kia ở xa vô cùng) bằng cách tuyến tính hóa phương trình vận động nước dưới đất theo thời gian (phương trình Butxinet). Đây là một trong những phương pháp có sơ đồ tính toán khá phù hợp với điều kiện của bài toán thấm dưới nền đê trong mùa lũ nên đã được áp dụng rất phổ biến. Ưu điểm lớn nhất của phương pháp này là tính toán đơn giản, không đòi hỏi nhiều số liệu về môi trường địa chất và môi trường xung quanh.

Phương trình tổng quát (phương trình Buxinet) đối với dòng thấm không ổn định của nước dưới đất biến đổi theo thời gian có dạng:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left( h \frac{\partial H}{\partial x} \right) + \frac{W}{k} = \frac{\mu}{k} \cdot \frac{\partial H}{\partial t} \quad 3.19$$

Khi điều kiện ban đầu của dòng chảy tự nhiên có mực nước là  $H^0$ , biến đổi mực nước là  $\Delta H(x,t)$ , cao trình cột nước hợp thành là  $H(x,t)$ .

$$H(x,t) = H^0 + \Delta H(x,t) \quad 3.20$$

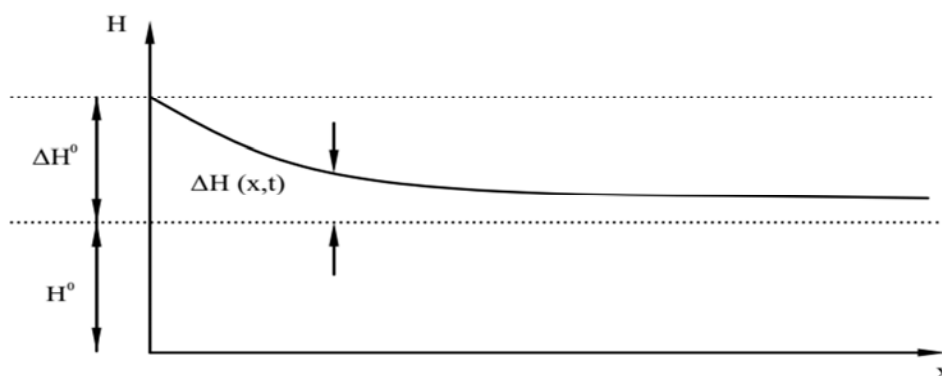
Theo V.A. Mironenko và V.M. Sextakov, cách thuận tiện hơn cả là tính toán theo biến đổi mực nước  $\Delta H(x,t)$  so với cột nước ban đầu  $H^0$  (Hình 3.10).

Khi đó phương trình Buxinet (3.19) viết cho mực nước biến đổi đối với dòng chảy phẳng ngang một hướng có dạng:

$$\frac{\partial \Delta H}{\partial t} = a \cdot \frac{\partial^2 \Delta H}{\partial x^2} \quad 3.21$$

Phương trình (3.21) là phương trình cơ bản để nghiên cứu sự vận động của nước dưới đất biến đổi theo thời gian.

Tại biên thấm có:  $\Delta H(x,0) = 0$ ;  $\Delta H(0,t) = \Delta H^0$



Hình 3.10 Sơ đồ xác định áp lực dòng thấm gia tăng

Giải phương trình (3.21) với các điều kiện biên như trên xác định được áp lực gia tăng tại điểm x sau thời gian t theo biểu thức:

$$\Delta H(x,t) = \Delta H^0 \operatorname{erfc}(\lambda) \quad (3.22)$$

Với:  $\lambda = \frac{x}{2\sqrt{a^*t}}$

Trong đó:

- Hàm  $\operatorname{erfc}(\lambda)$  xác định theo  $\lambda$  qua bảng tính sẵn (V.A.Mironenko và V.M.Sextakov);
- $a^*$  là hệ số dẫn truyền mực nước áp lực của lớp chứa nước;

Khi mực nước sông biến đổi, xét gần đúng theo sơ đồ dâng nước bậc thang, bằng phương pháp cộng dòng, áp lực gia tăng của dòng thấm được xác định như sau:

Đối với cấp đầu tiên ( $\Delta H^0 = \Delta H^0_0$ ), nghiệm của bài toán có dạng phương trình (3.22).

Với cấp bổ sung thứ nhất ( $t_1 < t \leq t_2$ ), nghiệm có được bằng cách cộng các nghiệm do hai cấp biến đổi mực nước tại biên: cấp đầu tiên  $\Delta H^0_0$  tác dụng từ thời điểm  $t = 0$ , và cấp bổ sung  $\Delta H^0_1$  tác dụng từ thời điểm dịch đi một đại lượng  $t_1$ , tương ứng với cấp thứ n (với  $t_n < t < t_{n+1}$ ), ta có biểu thức tổng quát:

$$\Delta H(x,t) = \sum_{t=0}^n \Delta H^0_i \cdot \operatorname{erfc}(\lambda_i) \quad 3.23$$



$$\text{Với: } \lambda_i = \frac{x}{2\sqrt{a^*(t-t_i)}}$$

Trong trường hợp bồn chứa nước không hoàn chỉnh về thủy động lực, nghiệm của bài toán có dạng:

$$\Delta H(x,t) = \Delta H^0 F(\lambda, \theta) \quad 3.24$$

$$\text{Với } \theta = \frac{\sqrt{at}}{\Delta L}, \Delta L = \sqrt{\frac{m_1 \cdot m_2 \cdot k_2}{k_1}}$$

$$F(\lambda, \theta) = \operatorname{erfe}(\lambda) - e^{\theta^2 + 2\lambda\theta} \cdot \operatorname{erfe}(\lambda + \theta) \quad 3.25$$

Trong đó:

$m_1, k_1$ : Bề dày và hệ số thấm của lớp phủ phía sông;

$m_2, k_2$ : Bề dày và hệ số thấm của lớp thấm và dẫn nước;

Khi xét gần đúng sức cản thấm do tính không hoàn chỉnh về mặt thủy động lực bằng cách kéo dài dòng thấm ra đoạn  $\Delta L_t$  tùy thuộc thời gian, nghiệm của bài toán có dạng:

$$\Delta H(x,t) = \Delta H^0 \operatorname{erfe}\left(\frac{x + \Delta L_t}{2\sqrt{at}}\right) \quad 3.26$$

$$\Delta L_t = \overline{\Delta L}_t \cdot \Delta L$$

Trong đó:  $\Delta L_t$ : Chi số chảy xuyên tầng;

$$\overline{\Delta L}_t: \text{tra theo bảng, phụ thuộc vào } \theta, \theta = \frac{\sqrt{at}}{\Delta L}$$

Sử dụng số liệu quan trắc thủy văn tại 6 trạm thủy văn: Trung Hà, Việt Trì, Sơn Tây, Hà Nội, Thượng Cát và Hưng Yên để nội suy điều kiện biên và điều kiện ban đầu cho 261 mặt cắt tính toán. Số liệu của 6 trạm thủy văn bao gồm: mặt cắt địa chất công trình (Hình 3.11); Thông số địa chất thủy văn tại mặt cắt các trạm thủy văn (Bảng 3.4); Thông số địa chất của các lớp tại các mặt cắt tính toán (Bảng 3.5).

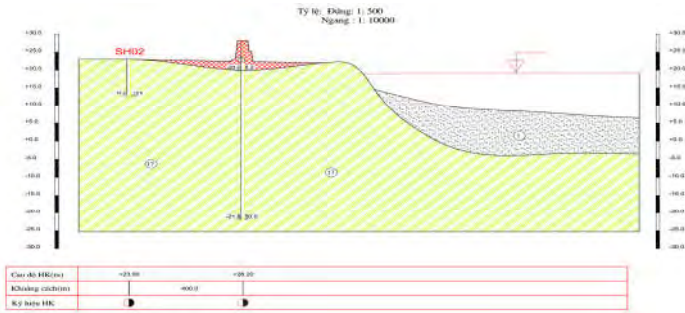
Số liệu đo đạc mực nước lũ tháng 8 năm 1996 với các trạm quan trắc Trung Hà, Việt Trì, Sơn Tây, Hà Nội, Thượng Cát và Hưng Yên, thời gian dâng tới đỉnh lũ 12 ngày (Hình 3.12 và Bảng 3.6). Đây là đợt lũ có thời gian dâng lũ tương đối dài, đỉnh lũ cao nhất kể từ khi có công trình thủy điện Hòa Bình, thủy điện Thác Bà, thủy điện Sơn La trên sông Đà và thủy điện Na Hang (Tuyên Quang) đến nay. Do đó, kết quả tính toán áp lực gia tăng của dòng thấm dưới nền đê theo số liệu đợt lũ này có thể sử dụng để dự báo biến dạng thấm và phân vùng ổn định nền đê Tả Hồng và Hữu Hồng thuộc khu vực nghiên cứu.

Bảng 3.4 Thông số địa chất thủy văn tại mặt cắt các trạm thủy văn

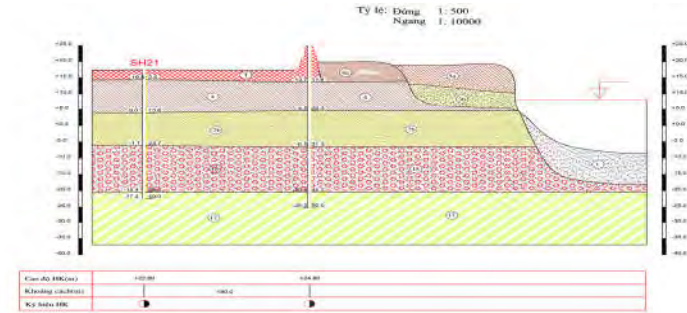
Trạm TV	Chiều dày trung bình tầng thấm nước (m)	Hệ số thấm trung bình K (cm/s)	Hệ số truyền áp lực a (m <sup>2</sup> /ngđ)	Cao độ mực nước sông trước khi dâng lũ (m)
TV Trung Hà	0	0.1	100	12.59
TV Việt Trì	5.4	11.16	11164	11.71
TV Sơn Tây	4.9	11.26	11268	10.5
TV Hà Nội	11.4	9.92	9923	7.5
TV Thượng Cát	9.3	6.51	6505	7.57
TV Hưng Yên	10.4	10.44	10440	4.59

Bảng 3.5 Thông số địa chất của các lớp tại các mặt cắt tính toán

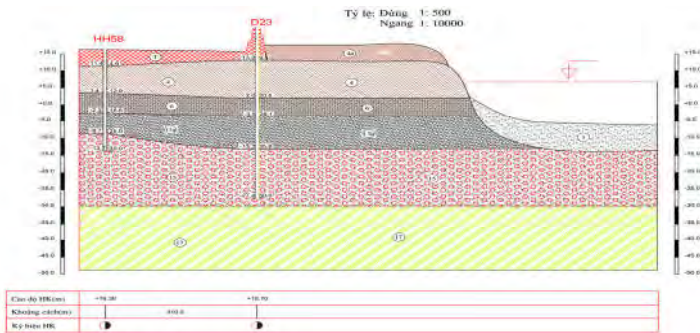
Lớp	C (T/m <sup>2</sup> )	$\gamma_d$ (T/m <sup>3</sup> )	$\phi$ (độ)	Hệ số thấm (m/ngđ)
Ta	0.220	1.670	2°51'	-
4	0.287	1.875	11°42'	-
5	0.210	1.730	2°30'	-
6	0.125	1.830	12°28'	-
7a	-	-	-	0.308
7b	-	-	-	4.078
8	0.265	1.820	10°30'	-
9	0.170	1.641	1°10'	-
10	0.320	1.912	13°41'	-
11	0.160	1.750	2°16'	-
12	0.157	1.860	15°27'	0.228
13a	-	-	-	6.506
13b	-	-	-	19.267
15	-	-	-	279.936



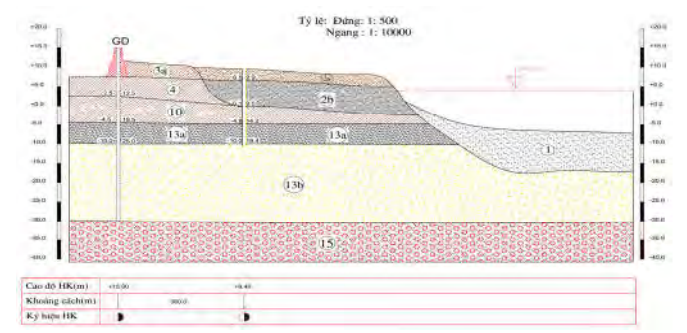
Mặt cắt ĐCCT Trạm thủy văn Trung Hà



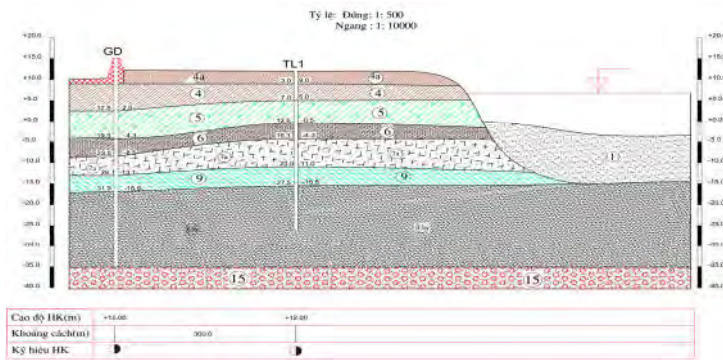
Mặt cắt ĐCCT Trạm thủy văn Việt Trì



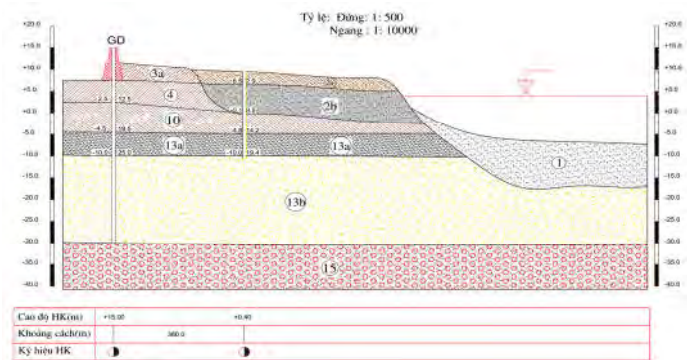
Mặt cắt ĐCCT Trạm thủy văn Sơn Tây



Mặt cắt ĐCCT Trạm thủy văn Thượng cát

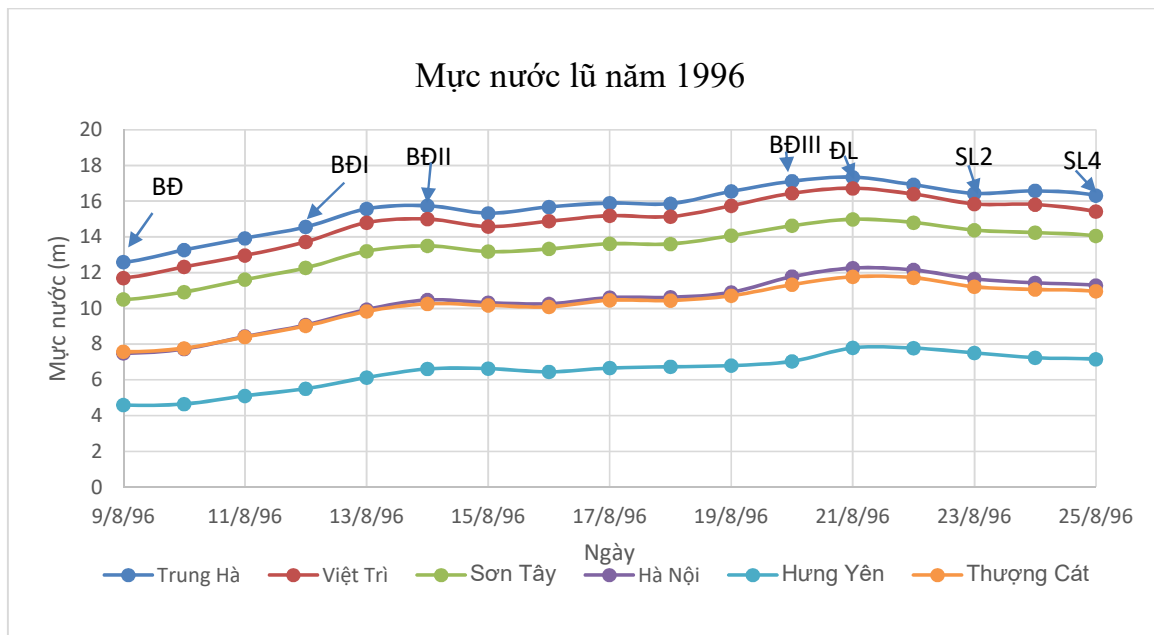


Mặt cắt ĐCCT Trạm thủy văn Hà Nội



Mặt cắt ĐCCT Trạm thủy văn Hưng Yên

Hình 3.11 Mặt cắt địa chất công trình của 6 trạm thủy văn



Hình 3.12 Biểu đồ diễn biến mực nước lũ năm 1996 tại các trạm thủy văn

Bảng 3.6 Số liệu đo mực nước tại các trạm thủy văn lũ 1996

Mức lũ	Ngày	Trung Hà	Việt Trì	Sơn Tây	Hà Nội	Thượng Cát	Hưng Yên
Báo động (BĐ)	5/8/96	14.48	13.59	12.2	9.21	9.11	5.81
	6/8/96	14.08	13.16	11.88	9.03	8.94	5.59
	7/8/96	13.22	12.38	11.21	8.45	8.41	5.26
	8/8/96	12.68	11.79	10.63	7.79	7.8	4.86
	9/8/96	12.59	11.71	10.5	7.5	7.57	4.59
	10/8/96	13.27	12.33	10.92	7.73	7.77	4.65
	11/8/96	13.93	12.97	11.62	8.43	8.4	5.11
Báo động cấp I (BĐI)	12/8/96	14.56	13.73	12.27	9.07	9.02	5.51
	13/8/96	15.57	14.8	13.2	9.94	9.83	6.13
Báo động cấp II (BĐII)	14/8/96	15.75	15	13.5	10.47	10.26	6.61
	15/8/96	15.33	14.58	13.18	10.32	10.17	6.63
	16/8/96	15.68	14.88	13.33	10.26	10.09	6.45
	17/8/96	15.9	15.19	13.62	10.61	10.46	6.66
	18/8/96	15.87	15.14	13.61	10.62	10.44	6.73
19/8/96	16.55	15.75	14.07	10.9	10.71	6.8	
Báo động cấp III (BĐIII)	20/8/96	17.12	16.45	14.63	11.78	11.33	7.04
Đỉnh lũ (ĐL)	21/8/96	17.35	16.73	14.99	12.26	11.77	7.79
	22/8/96	16.92	16.4	14.81	12.15	11.72	7.78

Sau lũ 2 ngày (SL2)	23/8/96	16.44	15.85	14.38	11.65	11.21	7.51
	24/8/96	16.58	15.82	14.24	11.43	11.06	7.24
Sau lũ 4 ngày (SL4)	25/8/96	16.32	15.43	14.06	11.28	10.96	7.16
	26/8/96	15.23	14.67	13.37	10.67	10.44	6.83
	27/8/96	14.62	14.03	12.79	10.12	9.87	6.28
	28/8/96	14.12	13.24	12.19	9.37	9.35	5.87
	29/8/96	13.61	12.77	11.65	8.84	8.85	5.5
	30/8/96	13.04	12.23	11.14	8.42	8.39	5.26
	31/8/96	12.92	12.2	11.09	8.21	8.24	5.04
	1/9/96	12.56	12.05	10.87	8.06	8.13	4.98

Kết quả tính áp lực gia tăng của dòng thấm theo công thức (3.22) được trình bày trong Bảng 3.7 và tương tự cho các mặt cắt còn lại.

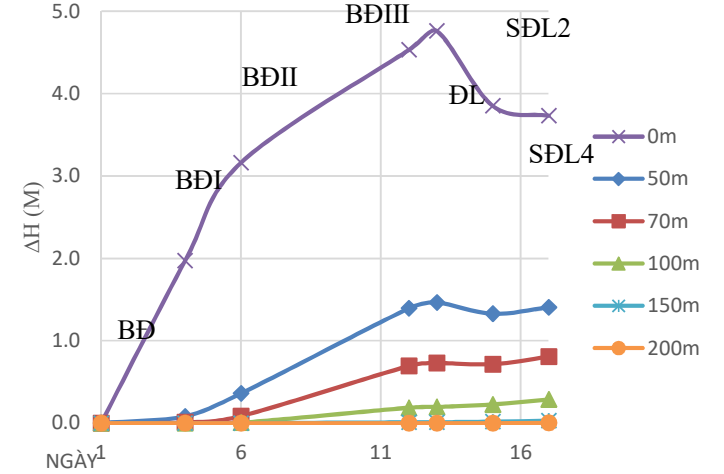
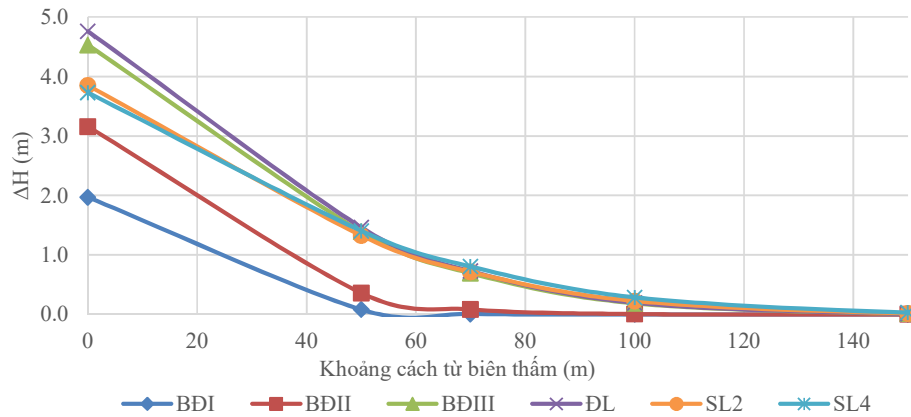
Bảng 3.7 Kết quả biến đổi áp lực gia tăng dòng thấm  $\Delta H$

Trạm TV	Mức lũ	Khoảng cách từ biên thấm (m)										
		0	50	70	100	150	200	300	500	1000	1500	2000
Thủy văn Trung Hà	BĐI	1.97	0.08	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	BĐII	3.16	0.36	0.08	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	BĐIII	4.53	1.39	0.69	0.19	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	ĐL	4.76	1.46	0.73	0.20	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	SL2	3.85	1.33	0.72	0.23	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	SL4	3.73	1.41	0.81	0.29	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Thủy văn Việt Trì	BĐI	2.02	1.78	1.69	1.55	1.33	1.12	0.76	0.29	0.01	0.00	0.00
	BĐII	3.29	2.99	2.87	2.70	2.41	2.13	1.63	0.84	0.07	0.00	0.00
	BĐIII	4.74	4.46	4.35	4.19	3.91	3.64	3.12	2.19	0.67	0.13	0.02
	ĐL	5.02	4.73	4.61	4.43	4.14	3.86	3.31	2.32	0.71	0.14	0.02
	SL2	4.14	3.92	3.83	3.69	3.47	3.25	2.83	2.05	0.72	0.17	0.03
	SL4	3.72	3.53	3.46	3.34	3.16	2.97	2.61	1.95	0.75	0.21	0.04
Thủy văn Sơn Tây	BĐI	1.75	1.51	1.42	1.28	1.07	0.87	0.54	0.16	0.00	0.00	0.00
	BĐII	3.00	2.69	2.56	2.38	2.08	1.79	1.29	0.56	0.03	0.00	0.00
	BĐIII	4.13	3.85	3.74	3.57	3.30	3.03	2.52	1.63	0.37	0.04	0.00
	ĐL	4.44	4.14	4.02	3.84	3.55	3.26	2.71	1.75	0.40	0.05	0.00
	SL2	3.84	3.60	3.50	3.36	3.12	2.89	2.44	1.66	0.44	0.07	0.01
	SL4	3.57	3.36	3.28	3.15	2.95	2.74	2.35	1.65	0.50	0.10	0.01
Thủy văn Hà Nội	BĐI	1.52	1.27	1.18	1.04	0.82	0.63	0.33	0.06	0.00	0.00	0.00
	BĐII	2.84	2.48	2.34	2.13	1.80	1.49	0.97	0.32	0.00	0.00	0.00
	BĐIII	3.94	3.62	3.49	3.30	2.99	2.69	2.12	1.20	0.16	0.01	0.00
	ĐL	4.52	4.15	4.00	3.79	3.43	3.08	2.44	1.38	0.18	0.01	0.00
	SL2	3.90	3.61	3.49	3.31	3.03	2.75	2.22	1.34	0.23	0.02	0.00
	SL4	3.53	3.28	3.18	3.03	2.79	2.55	2.10	1.32	0.27	0.03	0.00
Thủy	BĐI	1.72	1.49	1.40	1.27	1.06	0.87	0.55	0.17	0.00	0.00	0.00

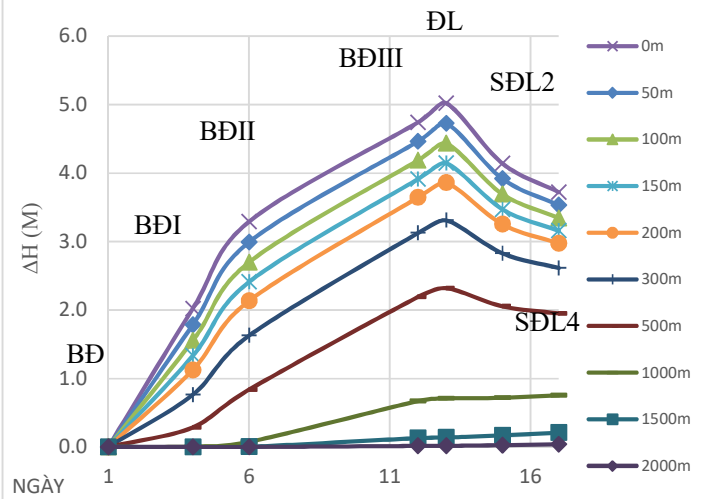
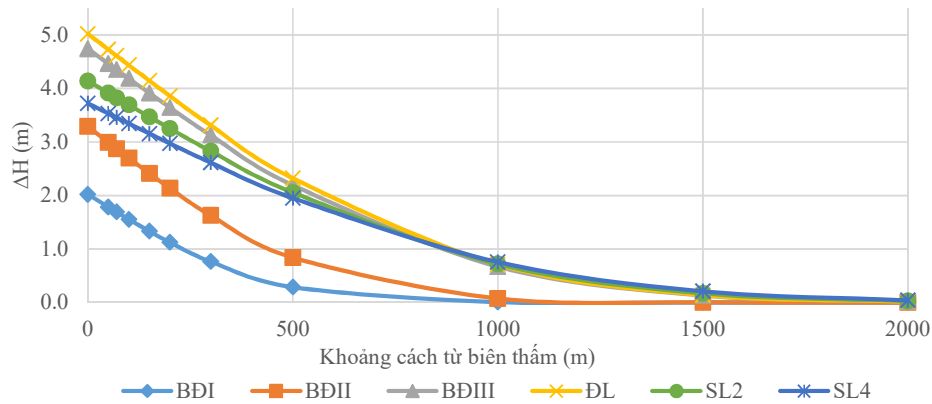
<b>văn Thượng Cát</b>	BĐII	3.01	2.70	2.58	2.40	2.11	1.83	1.33	0.60	0.03	0.00	0.00
	BĐIII	4.09	3.82	3.71	3.55	3.29	3.03	2.53	1.66	0.40	0.05	0.00
	ĐL	4.43	4.14	4.02	3.85	3.56	3.28	2.74	1.80	0.43	0.06	0.00
	SL2	3.89	3.65	3.56	3.42	3.18	2.95	2.51	1.72	0.48	0.08	0.01
	SL4	3.48	3.28	3.20	3.08	2.89	2.69	2.32	1.64	0.52	0.11	0.01
<b>Thủy văn Hưng Yên</b>	BĐI	0.92	0.80	0.75	0.68	0.57	0.46	0.29	0.09	0.00	0.00	0.00
	BĐII	2.02	1.81	1.73	1.61	1.41	1.22	0.88	0.39	0.02	0.00	0.00
	BĐIII	2.45	2.29	2.22	2.12	1.96	1.81	1.51	0.99	0.23	0.03	0.00
	ĐL	3.20	2.99	2.90	2.77	2.57	2.36	1.97	1.29	0.30	0.04	0.00
	SL2	2.92	2.74	2.67	2.56	2.38	2.21	1.87	1.28	0.35	0.06	0.01
	SL4	2.57	2.42	2.36	2.27	2.13	1.98	1.71	1.20	0.38	0.08	0.01

Từ các số liệu tính toán trên, lập đồ thị biểu diễn quan hệ giữa áp lực gia tăng của dòng thấm với khoảng cách từ biên thấm (x) tại các vị trí khác nhau ở phía trong đê và thời gian ứng với các mức lũ (Hình 3.13) cho thấy rất rõ đặc trưng biến đổi áp lực thấm tại các mặt cắt tính toán. Những biến đổi này phụ thuộc vào chiều dài đường thấm vào độ thấm nước của các lớp đất đá, chiều dày tầng chứa nước, quan hệ cung cấp nước sông cho tầng chứa nước cũng như mực nước lũ và thời dâng lũ.

**Biểu đồ biến đổi giá trị áp lực thấm  $\Delta H$  ở các vị trí khác nhau tại trạm TV Trung Hà**

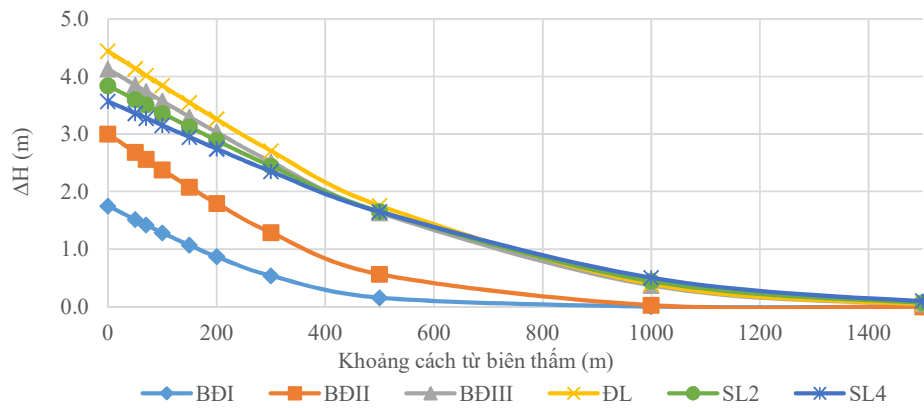


**Biểu đồ quan hệ tại trạm TV Việt Trì**

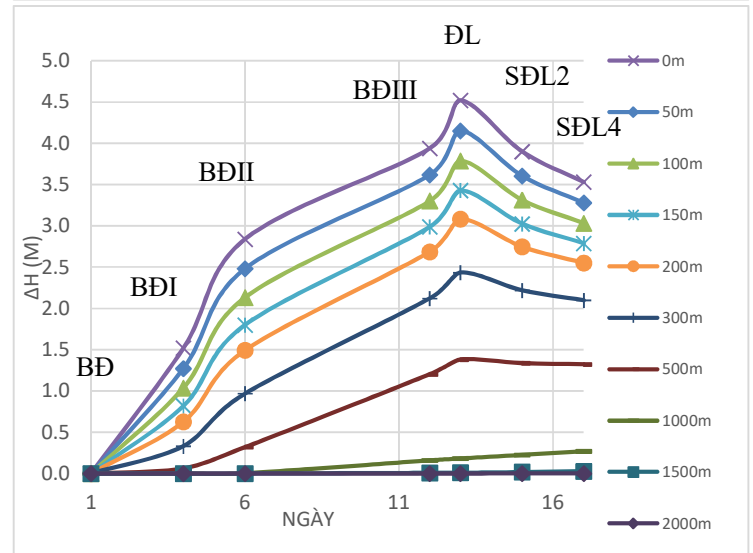
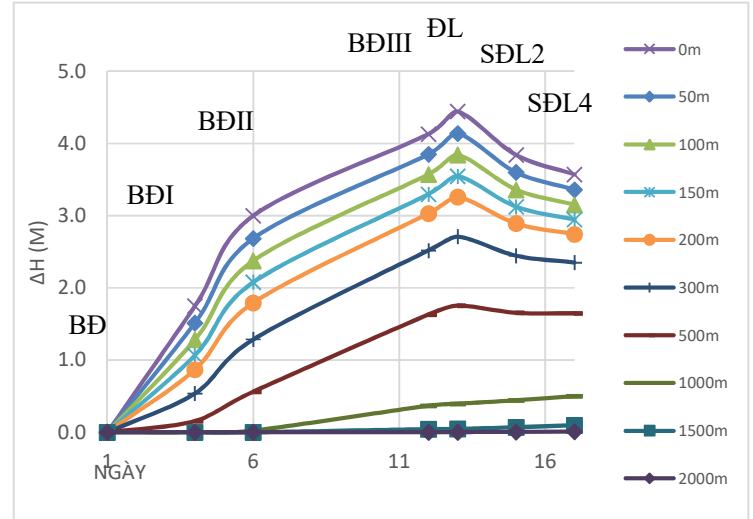
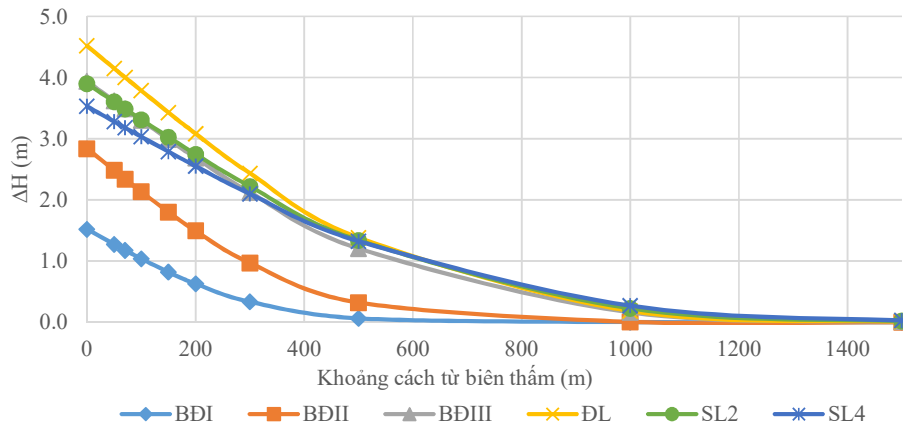


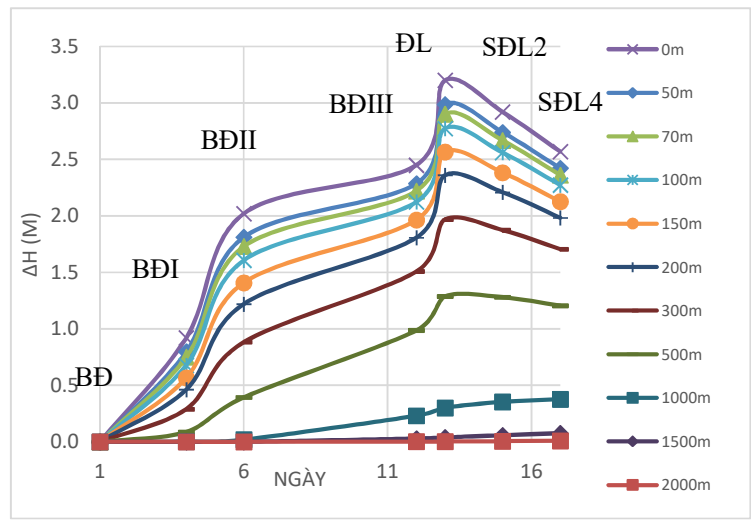
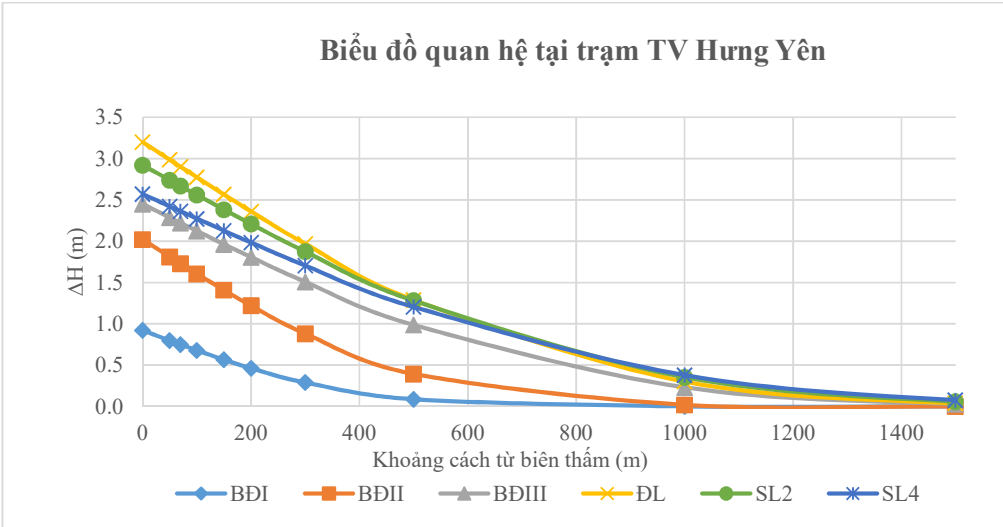
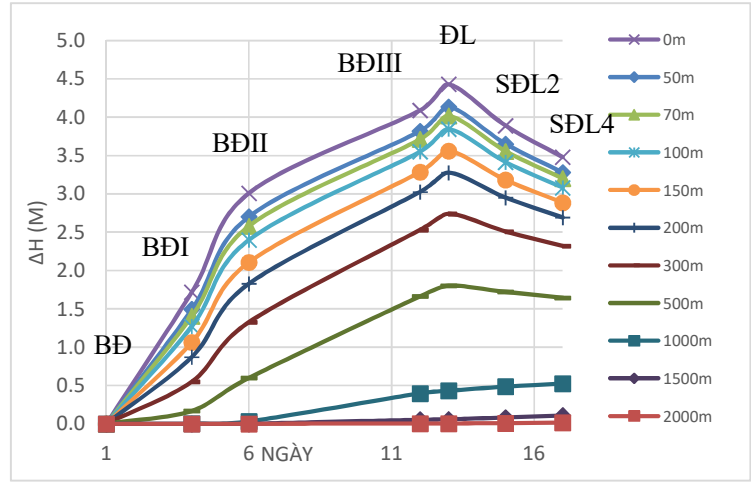
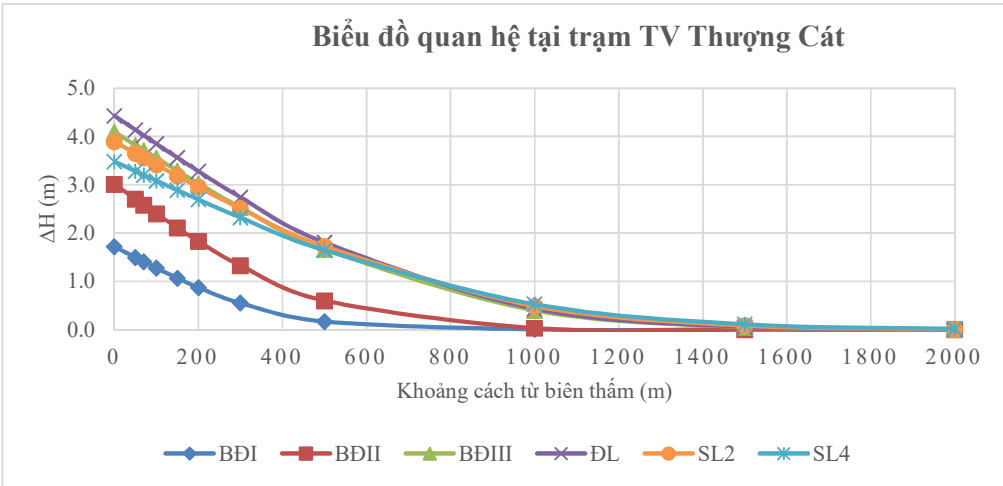


Biểu đồ quan hệ tại trạm TV Sơn Tây



Biểu đồ quan hệ tại trạm TV Hà Nội





Hình 3.13 Biểu đồ diễn biến áp lực thấm  $\Delta H$  (x,t) của dòng thấm

Từ kết quả tính toán cho 261 mặt cắt, bản đồ biến đổi áp lực thấm  $\Delta H$  của dòng thấm ở thời điểm đỉnh lũ được thành lập (tỷ lệ 1:50.000) (phụ lục Hình 3), có thể thấy áp lực gia tăng dòng thấm phía trong đê luôn có giá trị lớn nhất ở vị trí sát chân đê (cách biên thấm 50m) và giảm dần theo chiều dài đường thấm. Tuy nhiên, mức độ giảm không đều, càng xa biên thấm mức độ giảm càng ít hơn. Áp lực gia tăng của dòng thấm ở những vị trí khác nhau phía trong đê có giá trị lớn nhất thường không phải tại thời điểm đỉnh lũ mà là sau đỉnh lũ một vài ngày, điều này được thể hiện qua biểu đồ (Hình 3.13). Thời gian duy trì áp lực dòng thấm cao (gần giá trị lớn nhất) ở phía trong đê phụ thuộc vào thời gian dâng lũ, đặc biệt là thời gian dâng nước gần đỉnh lũ, nếu thời gian này càng kéo dài thì thời gian duy trì càng lâu và ngược lại. Áp lực gia tăng dòng thấm phía trong đê không chỉ phụ thuộc vào chế độ lũ của sông mà còn phụ thuộc vào cấu trúc nền đê.

### 3.3.2.2. Hệ số chống bực đất của tầng phủ (K)

Bực đất là hiện tượng phá thủng tầng chắn nước bề mặt ở phía hạ lưu đê (nằm trên tầng cát thông nước) khi áp lực của tầng chứa nước trong thời gian ngâm lũ vượt quá khả năng chống đỡ của lớp phủ. Đây là hiện tượng vô cùng nguy hiểm cho đê, bực đất sẽ kéo theo hiện tượng lôi kéo - đùn đẩy vật liệu (chủ yếu là cát) cùng dòng thấm đi qua lỗ thủng, làm sập lớp đất chắn nước phía trên, gia tăng gradien thủy lực và vận tốc dòng thấm dẫn đến phá huỷ nền và thân đê. Khả năng chống bực đất của tầng phủ được đánh giá thông qua hệ số chống bực đất K theo sơ đồ phá huỷ cắt (công thức 3.27) [22].

$$K = \frac{2\lambda tg\varphi m^2 + m\left(\frac{4C}{\gamma_d}\right) + 1}{H} \quad (3.27)$$

Trong đó:

K: hệ số chống bực đất;

m: chiều dày lớp phủ chống thấm (m);

$\lambda = \frac{\nu}{1-\nu}$ ;  $\nu$ : hệ số Poisson ( $\nu = 0.3 - 0.45$  đất sét,  $\nu = 0.2 - 0.45$  đất cát);

C,  $\varphi$ ,  $\gamma_d$ : lực dính, góc ma sát trong và dung trọng của đất tầng phủ chống thấm;

H: áp lực tầng thấm nước ở hạ lưu kể từ đáy của tầng phủ chống thấm;

K= 1 tầng phủ chống thấm ở trạng thái giới hạn chống bực đất;

K<1 tầng phủ chống thấm không bền vững chống bực đất;

K >1 tầng phủ chống thấm bền vững chống bực đất;

### 3.3.2.3. Khả năng đùn đẩy cát (xác định bằng giá trị gradien đẩy nổi $I_{dn}$ )

Khả năng đùn đẩy cát của tầng thấm nước được đánh giá theo giá trị gradien đẩy nổi ( $I_{dn}$ ) và gradien áp lực thấm giới hạn ( $I_{gh}$ ) của cát khi chịu tác dụng của dòng thấm đi lên được xác định theo K. Terzaghi, N.N. Maxlov;

$$I_{dn} = \frac{\Delta H}{L} \quad (3.28)$$

$$I_{gh} = (\rho - 1) (1 - n) \quad (3.29)$$

Trong đó:

$I_{dn}$  - gradien đẩy nổi của dòng thấm theo chiều thẳng đứng;

$\Delta H$  - giá trị áp lực tầng thấm nước tính từ bề mặt đất;

L - chiều dày của tầng thấm nước tồn tại dòng thấm đi lên (chiều dày vùng biến dạng của lưới thấm);

$\rho$  - Khối lượng riêng của cát;

n - hệ số rỗng của cát;

Nếu  $I_{dn} = I_{gh}$ : cát của tầng thấm nước ở trạng thái cân bằng giới hạn.

Nếu  $I_{dn} < I_{gh}$ : cát của tầng thấm nước không bị đùn đẩy qua cửa thoát.

Nếu  $I_{dn} > I_{gh}$ : cát của tầng thấm nước bị đùn đẩy qua cửa thoát và quá trình biến dạng thấm nền sẽ bắt đầu phát triển.

Giá trị gradient giới hạn  $I_{gh} = 0.4$  (theo tác giả Trần Mạnh Liễu).

Từ các công thức trên tác giả tính toán giá trị ( $K, I_{dn}, \Delta H_{DL}$ ) với các khoảng cách 0m, 50m, 100m, 200m, 500m, 1000m tính từ biên thấm về phía trong để cho 261 điểm tính trên toàn khu vực nghiên cứu, kết quả tính toán được trình bày trong (phụ lục Bảng 4). Từ các kết quả đó các bản đồ phân bố hệ số chống bực đất (K) (phụ lục Hình 5), bản đồ phân bố hệ số  $I_{dn}$  (phụ lục Hình 6) được xây dựng trên bản đồ nền tỷ lệ 1: 50000.

### 3.3.2.4. Bản đồ đẳng chiều dày tầng phủ chống thấm

Trên cơ sở tài liệu khoan khảo sát địa chất công trình thu thập khu vực, các thông số chiều dày của từng lớp được nhập vào phần mềm ArcGIS, bằng công cụ chạy nội suy các đường đẳng giá trị chiều dày tầng phủ các lớp sét, sét pha có khả năng cách nước (lớp 3a 4a, 4, 5, 6, 8, 9, 10, 11) đã được thiết lập với tỷ lệ 1:50 000, kết quả được thể hiện trên bản đồ (phụ lục Hình 4).

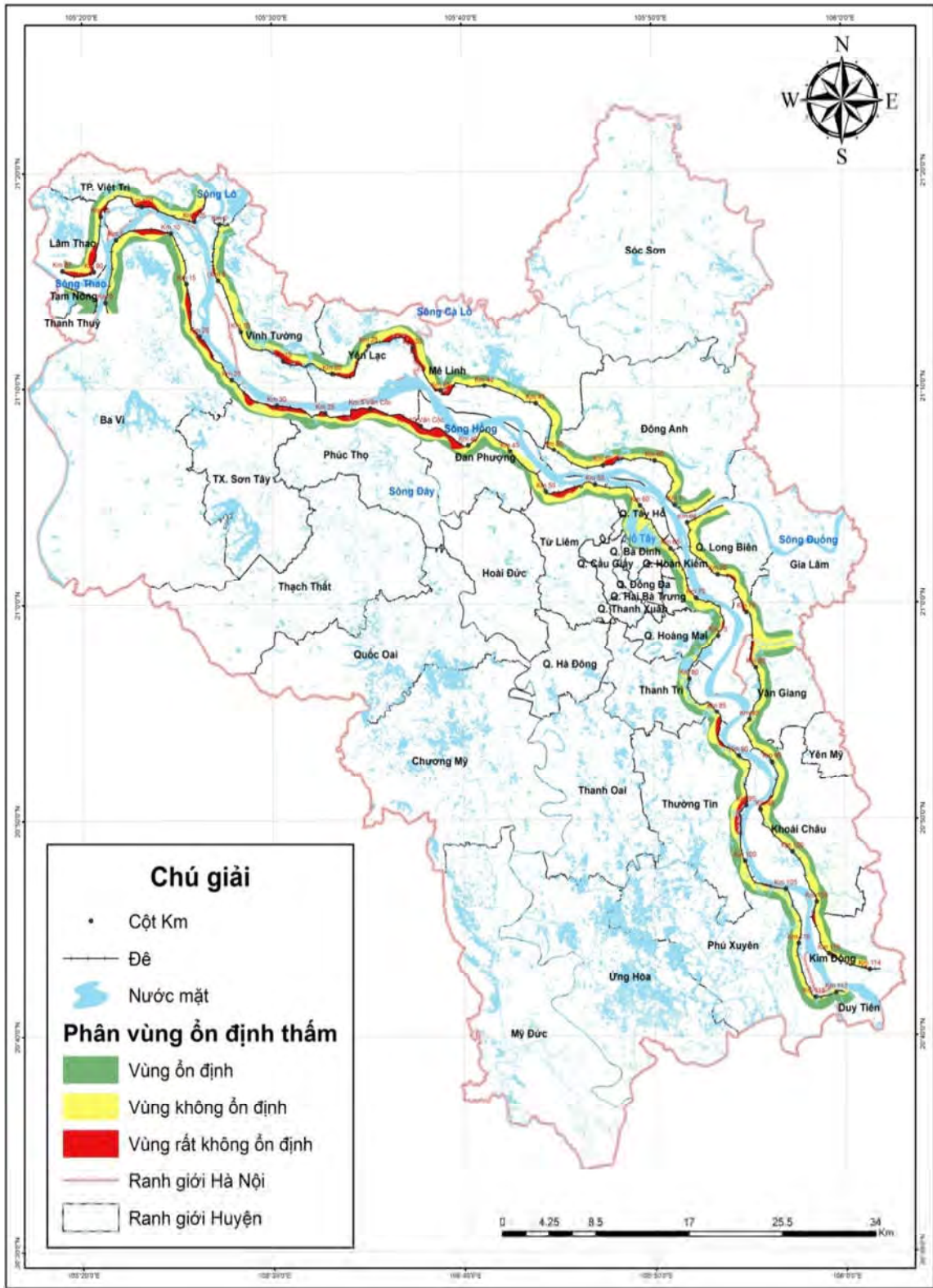
### 3.3.3. Phân vùng đánh giá dự báo ổn định thấm nền đê

Bản đồ phân vùng đánh giá dự báo ổn định thấm nền đê được thiết lập trên cơ sở chồng chập các bản đồ: (1) Bản đồ đẳng chiều dày tầng phủ chống thấm; (2) Bản đồ đẳng hệ số chống bực đất bực đất (K), (3) Bản đồ đẳng gradient đẩy nổi ( $I_{dn}$ ), (4) Giá trị gradient giới hạn ( $I_{gh} = 0.4$ ); (5) Bản đồ biến đổi áp lực thấm  $\Delta H(x,t)$ , với nguyên tắc phân chia theo Bảng 3.8.

Bảng 3.8 Nguyên tắc phân vùng ổn định thấm nền đê

Vùng	Chỉ tiêu phân vùng	Đặc điểm
Rất không ổn định	$I_{dn} > I_{gh}$ $K < 1$	Tầng phủ chống thấm phía hạ lưu đê không có khả năng chống bực đất, cát của tầng thấm nước bị đùn đẩy qua cửa thoát. Ranh giới của vùng rất không ổn định trùng với ranh giới của vùng giới hạn bực đất
Không ổn định	$I_{dn} > I_{gh}$ $K > 1$	Trong vùng này không có khả năng xảy ra bực đất nhưng có khả năng đùn đẩy, mang vác vật liệu cát từ tầng thấm nước qua các lỗ hồng sẵn có của tầng phủ chắn nước. Ranh giới ngoài của vùng này trùng với ranh giới của vùng giới hạn đùn đất. Ranh giới trong là chân đê hoặc ranh giới của vùng giới hạn bực đất
Ổn định	$I_{dn} < I_{gh}$ $K > 1$	Trong vùng này không có bực đất và cũng không có đùn đẩy đất. Đây là vùng cách xa chân đê tính từ ranh giới vùng giới hạn đùn đẩy.

Với nguyên tắc trên bản đồ phân vùng ổn định thấm nền đê đới động sông Hồng khu vực Hà Nội trong thời gian mưa lũ được lập với tỷ lệ bản đồ 1: 50 000, tương ứng với 3 mức độ: Vùng ổn định, Vùng không ổn định và vùng rất không ổn định (Hình 3.14). Bản đồ này là cơ sở để thiết lập hệ thống quan trắc phòng chống tai biến biến dạng thấm và phát triển bền vững đới động.



Hình 3.14 Bản đồ phân vùng ổn định thấm nền đê (Tỷ lệ 1: 50 000)

### **3.4. Nguy cơ tai biến ngập lụt ngoài bãi sông**

Ngập lụt là hiện tượng nước sông dâng cao trong mùa mưa lũ (trong thời gian các tháng 6-9 hàng năm) gây ngập, lụt một số khu vực bãi bồi giữa 2 đê trong đới động. Hiện tượng này xảy ra thường xuyên với quy mô (diện và độ sâu ngập) phụ thuộc vào điều kiện thủy văn khí tượng của toàn vùng và sự điều tiết lưu lượng dòng chảy của các thủy điện, hồ chứa phía thượng nguồn. Tác động ngập lụt do nước sông dâng cao không chỉ gây các bất ổn trong đời sống sinh hoạt tại các khu dân cư mà còn là nguồn của các hiện tượng địa kỹ thuật bất lợi như bồi lắng nâng cao địa hình khu vực, gia tăng áp lực thấm lên đê làm mất ổn định cho tuyến đê. Tai biến ngập lụt cho tới nay có thể được điều khiển bằng các thao tác điều tiết cơ chế dòng chảy của sông tại các khu vực thượng lưu và ngay tại đoạn đang nghiên cứu. Điều tiết dòng chảy thượng lưu đang được thực hiện hiệu quả qua hồ chứa như Thủy điện Hòa Bình, thủy điện Sơn La trên sông Đà, hồ Tuyên Quang và hồ Thác Bà, còn điều tiết dòng chảy tại chỗ liên quan đến việc ổn định lòng dẫn và hành lang thoát lũ bằng các công trình chỉnh trị (kè bảo vệ bờ, trạm bơm, mương thoát nước, các mỏ hàn,..). Mục tiêu cần đạt được là thu hẹp phạm vi ngập lụt tới mức tối đa, để làm được điều này cần phải có một mạng quan trắc nhằm kiểm soát các yếu tố gây ra hiện tượng này. Muốn vậy, cần phải xây dựng các bản đồ yếu tố gây cản trở qua trình thoát lũ và bản đồ dự báo ngập lụt làm cơ sở thiết lập hệ thống quan trắc.

#### **3.4.1. Đặc điểm khả năng thoát lũ**

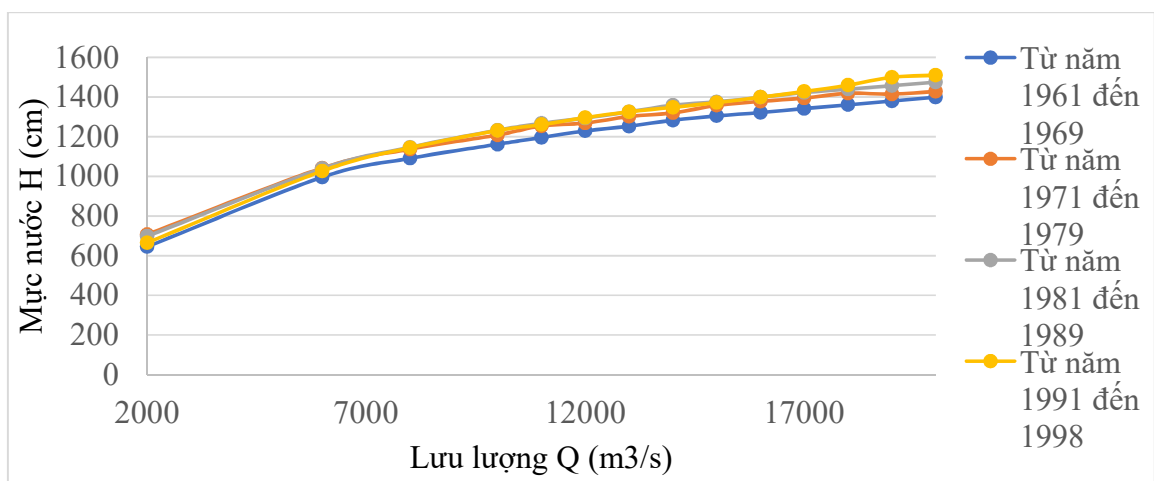
Theo kết quả nghiên cứu của các tác giả (Vũ Tất Uyên, Nguyễn Văn Cư, Trần Xuân Thái) và các số liệu thủy văn thực đo (mức nước, lưu lượng, bùn cát) trong tổng thể chung của các trạm Sơn Tây, Thượng Cát, Hà Nội và Hưng Yên và các trạm thủy văn chuyên dùng trên đoạn sông nghiên cứu để đánh giá khả năng thoát lũ tại các vị trí qua 4 thời kỳ điển hình tiêu biểu sau: Thời kỳ 1: Từ năm 1960 - 1969 là thời kỳ tiến hành đắp các bãi lớn là trên sông Hồng. Thời kỳ 2: Từ năm 1970 - 1979 là thời kỳ sau cơn lũ lịch sử năm 1971, các bãi đã được đắp xong và gia cố một phần. Thời kỳ 3: Từ năm 1980 - 1988 là thời kỳ trước khi Hồ Hoà bình hoạt động. Thời kỳ 4: Từ năm 1990 - 1999 là thời kỳ sau khi Hồ Hoà bình hoạt động [60].

+ Tại trạm thủy văn Sơn Tây: Các số liệu đo đạc qua 4 thời kỳ tại trạm Sơn Tây (Bảng 3.9, Hình 3.15) cho thấy sự thay đổi mực nước tương ứng với các cấp lưu lượng qua các thời kỳ như sau:

Khi mực nước ngập bãi, do sự phát triển dân cư trên bãi sông mỗi ngày mỗi tăng cùng với việc nâng cao đê bồi bó hẹp dòng chảy vào lòng chính làm mực nước sông mỗi năm một dâng cao. Ở cấp  $Q > 12000 \text{ m}^3/\text{s}$  mực nước ở thời kỳ sau luôn luôn cao hơn mực nước ở thời kỳ trước. Thời kỳ 1991 - 1998 so với thời kỳ 1961 - 1969 mực nước đã dâng cao hơn từ 64cm, đối với cấp  $Q = 13.000 \text{ m}^3/\text{s}$  và 120cm với cấp  $Q = 20.000 \text{ m}^3/\text{s}$ . Bình quân thì cứ một năm mực nước dâng cao khoảng 1.8cm - 3.2cm/năm với các cấp lũ lớn. Như vậy, sự suy giảm khả năng thoát tại trạm Sơn Tây thể hiện rõ ở sự lệch sang trái của đường quan hệ H - Q với cùng một cấp lưu lượng, mực nước tại Sơn Tây đã tăng cao đáng kể từ 64cm tới 120cm.

Bảng 3.9 Mực nước H ứng với cấp lưu lượng Q tại trạm Sơn Tây [60]

Thời kỳ	Các cấp Q(m <sup>3</sup> /s) tại Sơn Tây													
	2000	6000	8000	10000	11000	12000	13000	14000	15000	16000	17000	18000	19000	20000
Từ năm 1961 đến 1969	645	996	1091	1162	1196	1229	1253	1283	1305	1322	1342	1361	1380	1399
Từ năm 1971 đến 1979	707	1042	1137	1209	1254	1269	1302	1320	1358	1378	1395	1419	1415	1428
Từ năm 1981 đến 1989	698	1040	1147	1233	1267	1294	1326	1359	1376	1399	1423	1440	1457	1475
Từ năm 1991 đến 1998	665	1027	1144	1231	1261	1296	1326	1348	1372	1399	1428	1460	1500	1510
Chênh lệch mực nước thời kỳ (1991 - 1998) so với (1961 - 1969)	20	31	53	69	65	67	73	65	67	77	86	99	120	111



Hình 3.15 Đường quan hệ mực nước H và lưu lượng Q trạm Sơn Tây [60]



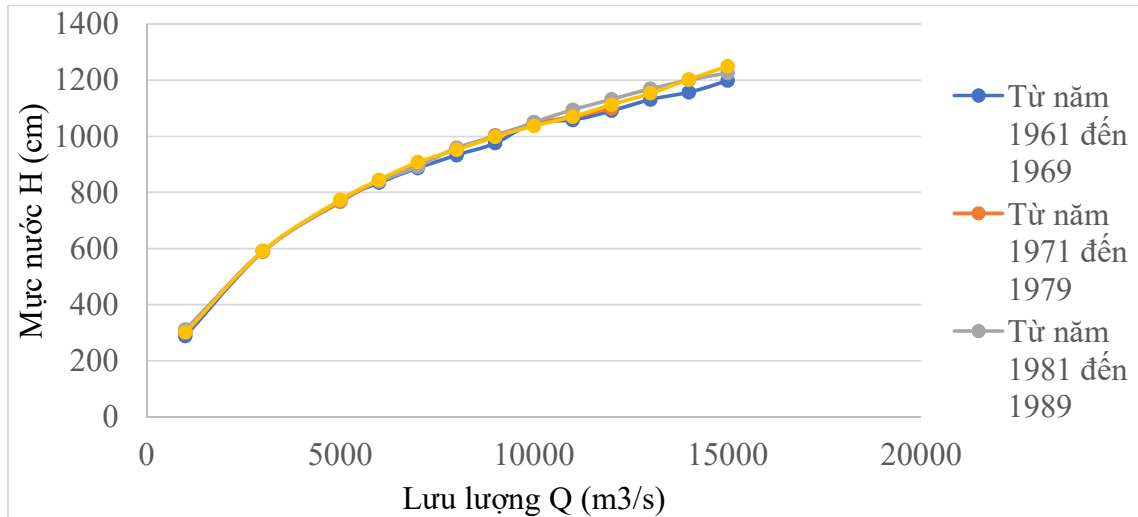
+ Tại trạm thủy văn Hà Nội: Các số liệu đo đạc qua 4 thời kỳ tại trạm thủy văn Hà Nội (Bảng 3.10, hình 3.16) cho thấy sự thay đổi mực nước tương ứng với các cấp lưu lượng lũ tại trạm Hà Nội.

Với cấp lưu lượng  $Q < 9000 \text{ m}^3/\text{s}$  là cấp dưới lưu lượng tạo lòng, tương ứng khi mực nước từ cao trình  $9 \div 10\text{m}$  trở xuống, qua các thời kỳ mực nước không có sự biến đổi rõ rệt, các đường  $H - Q$  gần như trùng nhau. Khi mực nước dâng cao xấp xỉ mặt bãi các giá trị mực nước mới có những biến động nhỏ. Cụ thể thời kỳ 1971 - 1979 với cùng một cấp  $Q$  mực nước cao hơn thời kỳ 1961 - 1969 khoảng hơn 20 cm. Cũng với cấp  $Q$  mực nước mực nước thời kỳ 1981 - 1989 và 1991 - 1998 không có sự thay đổi rõ nét. Đường quan hệ  $H - Q$  tương đối ổn định. Khi mực nước vượt bãi sự thay đổi  $H - Q$  qua các thời kỳ đã thể hiện rõ rệt. Lũ càng lớn sự chênh lệch càng rõ và đường  $H - Q$  lệch sang trái với cùng một cấp  $Q = 10000 \text{ m}^3/\text{s}$  tại Hà Nội mực nước thời kỳ 1981 - 1989 đã cao hơn thời kỳ 1961 - 1969 là 30 cm.

Với  $Q = 14000 \text{ m}^3/\text{s}$  mực nước thời kỳ 1981 - 1989 tăng hơn thời kỳ 1961 - 1969 gần 45 cm. Với  $Q = 15.000 \text{ m}^3/\text{s}$  mực nước thời kỳ 1981-1989 đã cao hơn thời kỳ 1961-1969 đến 27 cm và thời kỳ 1991 - 1998 đã cao hơn thời kỳ 1981 - 1989 là 25 cm. Như vậy, trung bình từ năm 60 đến năm 1998 mực nước tại Hà Nội đã dâng trên 56 cm ứng với cấp lưu lượng lũ. Nguyên nhân chính là do sự phát triển các khu dân cư nhà cửa trên bãi sông, tôn cao đê bồi, tôn cao đường trên bãi cản trở đến thoát lũ.

Bảng 3.10 Mực nước H ứng với cấp lưu lượng Q tại trạm Hà Nội [60]

Thời kỳ	Các cấp Q(m <sup>3</sup> /s) tại Hà Nội												
	1000	3000	5000	6000	7000	8000	9000	10000	11000	12000	13000	14000	15000
Từ năm 1961 đến 1969	289	589	771	835	887	933	976	1049	1058	1091	1131	1157	1198
Từ năm 1971 đến 1979	302	592	766	843	902	955	1003	1046	1070	1100			
Từ năm 1981 đến 1989	312	589	771	840	892	959	999	1050	1095	1132	1169	1201	1225
Từ năm 1991 đến 1998	301	591	774	845	908	952	998	1037	1070	1113	1153	1203	1250
Chênh lệch mực nước thời kỳ (1991 - 1998) so với (1961 - 1969)	12	2	3	10	21	19	22	-12	12	22	22	46	52

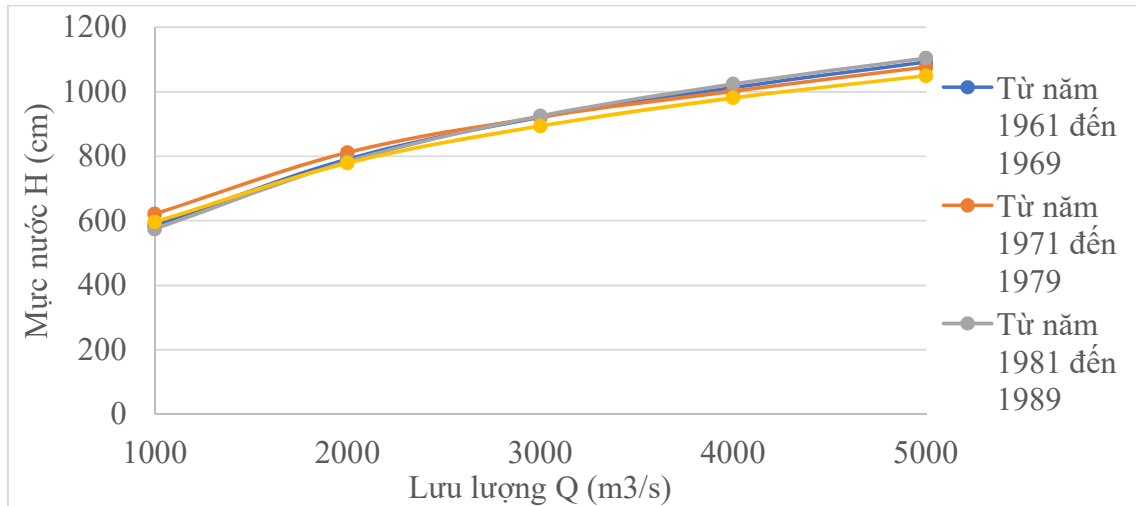


Hình 3.16 Đường quan hệ mực nước H và lưu lượng Q trạm Hà Nội [60]

+ Tại trạm thủy văn Thượng Cát: Các số liệu đo đạc qua 4 thời kỳ tại trạm thủy văn Hà Nội (Bảng 3.11, Hình 3.17) cho thấy sự biến động của đường quan hệ Q~H của trạm Thượng Cát qua các thời kỳ rất phức tạp. Đường như có xu thế ngược lại với những biến động trên đoạn sông Hồng. Các đường quan hệ H - Q của các thời kỳ có xu thế lệch phải. Có nghĩa là ứng với cùng một cấp lưu lượng Q mực nước H tại trạm Thượng Cát đã hạ thấp hoặc với cùng một mực nước lũ sau 40 năm có thể thoát qua Thượng Cát một lưu lượng lớn hơn. Cụ thể như sau: Với cấp  $Q = 2.000\text{m}^3/\text{s}$  thời kỳ 60 - 69 là 7,91 thì tới thời kỳ 90 - 99 mực nước hạ xuống còn 7.62. Hạ thấp tổng cộng là 29 cm. Với cấp  $Q = 6.000\text{m}^3/\text{s}$  cũng so sánh như trên ở hai thời kỳ mực nước đã giảm đi 57cm.

Bảng 3.11 Mực nước H ứng với các cấp lưu lượng Q tại Thượng Cát [60]

Thời kỳ	Các cấp Q(m <sup>3</sup> /s) tại Thượng Cát				
	1000	2000	3000	4000	5000
Từ năm 1961 đến 1969	586	791	921	1013	1093
Từ năm 1971 đến 1979	621	812	922	1002	1077
Từ năm 1981 đến 1989	574	784	925	1024	1105
Từ năm 1991 đến 1998	596	779	894	981	1050



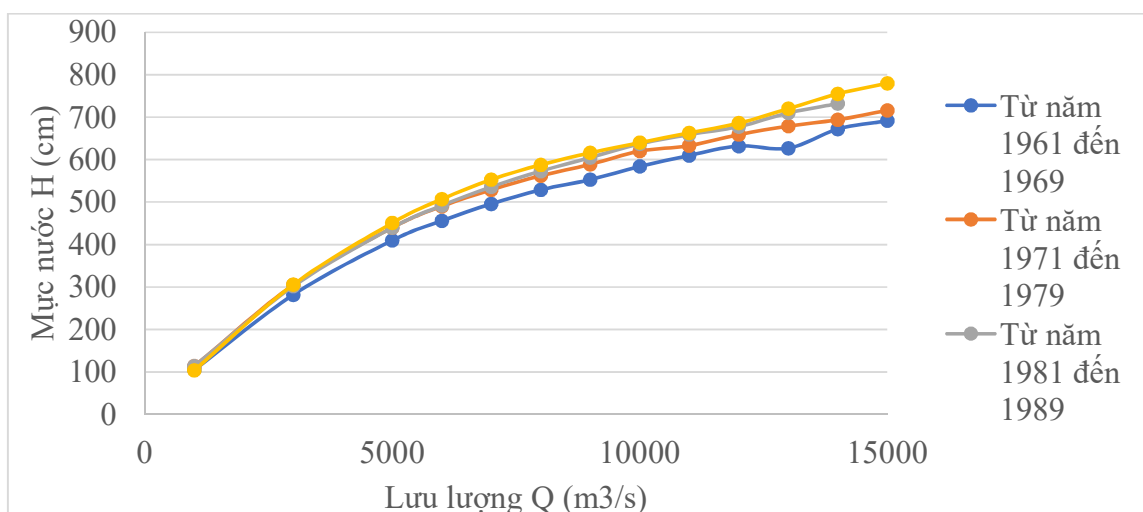
Hình 3.17 Đường quan hệ mực nước H và lưu lượng Q trạm Thượng Cát [60]

+ Tại trạm thủy văn Hưng Yên: Các số liệu đo đạc qua 4 thời kỳ tại trạm thủy văn Hưng Yên thông qua số liệu lưu lượng Q ở trạm Hà Nội và số liệu mực nước ở Hưng Yên để đánh giá khả năng thoát lũ có đoạn từ trạm Hà Nội đến trạm Hưng Yên (Bảng 3.12, hình 3.27) cho thấy sự biến động của đường quan hệ Q~H như sau: Với cấp Q < 6.000 m<sup>3</sup>/s tại Hà Nội các thời kỳ sau so với thời kỳ 1960 -1969 đường H - Q có sự biến đổi không nhiều. Sự thay đổi chỉ xuất hiện khi mực nước lũ lên cao vượt bãi. Với cấp Q = 14.000 m<sup>3</sup>/s tại Hà Nội mực nước tại Hưng Yên đã tăng khoảng 78 cm so với 1960 đường H<sub>HN</sub> - Q<sub>HN</sub> cùng lệch sang trái qua các thời kỳ. Với cấp Q = 15.000 m<sup>3</sup>/s của Hà Nội mực nước tại Hưng Yên đã dâng cao 90 cm.

Như vậy, đoạn sông Hà Nội - Hưng Yên từ những năm 1960 đến năm 1998 khả năng thoát nước ở lòng sông con tương đối ổn định, nhưng khi mực nước cao trên bãi thì khả năng thoát lũ đã giảm rất nhiều. Trước hết là do bãi sông bị lấn chiếm thành khu dân cư: Bãi Tự Nhiên, bãi Phú Hùng, bãi Cường, bãi Lam Sơn .v.v... Khả năng thoát lũ của đoạn hạ lưu Hà Nội - Hưng Yên sẽ ảnh hưởng trực tiếp tới khả năng thoát lũ của đoạn Hà Nội điều này dẫn đến cả đoạn dài sông bị suy yếu.

Bảng 3.12 Mức nước H (cm) tại Hưng Yên với cấp Q tại Hà Nội qua 4 thời kỳ [60]

Thời kỳ	Các cấp Q(m <sup>3</sup> /s) tại Hưng Yên													
	1000	3000	5000	6000	7000	8000	9000	10000	11000	12000	13000	14000	15000	
Từ năm 1961 đến 1969	105	282	410	456	496	529	553	584	610	632	627	672	692	
Từ năm 1971 đến 1979	114	305	440	490	529	562	589	620	633	659	679	694	716	
Từ năm 1981 đến 1989	114	302	440	492	536	573	605	637	659	678	710	732		
Từ năm 1991 đến 1998	104	306	451	507	553	588	616	640	663	686	720	755	780	
Chênh lệch mức nước thời kì (1991 - 1998) so với (1961 - 1969)	-1	24	41	51	57	59	63	56	53	54	93	83	88	



Hình 3.18 Đường quan hệ Q tại Hà Nội với H (cm) tại Hưng Yên [60]

Các kết quả trên cho thấy mật độ các công trình (đặc biệt là công trình nhà cửa) trên các bãi sông và sự nâng cao độ địa hình bãi giữa sông là nguyên nhân làm giảm khả năng thoát lũ cho khu vực đới động. Với sự phát triển kinh tế và dân số ngày càng tăng của thủ đô Hà Nội làm cho nhu cầu đất ở ngày càng tăng dẫn đến mật độ dân cư giữa hai con đê ngày càng tăng (dự kiến dân số khoảng 500.000 đến 640.000 người) thì khả năng thoát lũ của đới động ngày càng giảm và khả năng ngập lụt ngày càng cao mặc dù đã có sự điều tiết của các công trình phía thượng nguồn (Thủy điện Hòa Bình, thủy điện Sơn La trên sông Đà, hồ Tuyên Quang và hồ Thác Bà). Do đó để đánh giá khả năng ngập lụt khu vực đới động thì cần phải xây dựng bản đồ phân vùng ngập lụt theo các cấp báo động (cấp I, II, III), bản đồ mật độ xây dựng. Các bản đồ này được sử dụng làm cơ sở cho việc thiết lập hệ thống quan trắc nhằm phòng chống tái biến ngập lụt.

### 3.4.2. Bản đồ phân vùng đánh giá nguy cơ ngập lụt

#### 3.4.2.1. Dữ liệu đầu vào

Trên cơ sở phân tích chế độ thủy văn và các số liệu địa hình, tác giả xây dựng bản đồ phân vùng ngập lụt xác định được mức độ ngập bãi sông khu vực đới động (cụ thể là phần đất giữa hai con đê) ứng với các cao độ mực nước khác nhau. Trước hết thống kê các cấp mực nước tương ứng với các cấp báo động mực nước mùa lũ (Bảng 3.13).

Bảng 3.13 Các cấp báo động mực nước lũ

Mức lũ	Trung Hà	Việt Trì	Sơn Tây	Hà Nội	Thượng Cát	Hưng Yên
Báo Động (BĐ) (m)	12.59	11.71	10.50	7.50	7.57	14.59
Báo động cấp I (BĐI) (m)	15.57	13.73	13.20	9.94	9.02	5.51
Báo động cấp II (BĐII) (m)	16.55	15.00	13.50	10.47	10.26	6.61
Báo động cấp III (BĐIII) (m)	17.12	16.45	14.63	11.78	11.33	7.04

Để xây dựng bản đồ phân vùng ngập lụt khu vực nghiên cứu, tác giả sử dụng ba loại dữ liệu chính: (1) Dữ liệu bản đồ số GIS (bản đồ địa hình tỷ lệ 1:25000, 1:10000), (2) dữ liệu mực nước sông, (3) Dữ liệu hơn 100 mặt cắt ướt khu vực nghiên cứu. Bộ dữ liệu độ cao địa hình này được các tác giả xử lý và chuyển thành một bộ dữ liệu điểm độ cao thống nhất với định dạng shapefile. Bộ dữ liệu điểm độ cao này là dữ liệu đầu vào cho quá trình nội suy dữ liệu tạo thành mô hình DEM tại khu vực nghiên cứu bằng phần mềm ArcGIS. Ngoài dữ liệu độ cao địa hình, các tác giả còn sử dụng dữ liệu ranh giới hành chính và hệ thống thủy hệ của khu vực đới động để xác định phạm vi của khu vực xác lập ngập lụt, xử lý mô hình DEM cũng như lập các bản đồ phân vùng ngập lụt đới động.

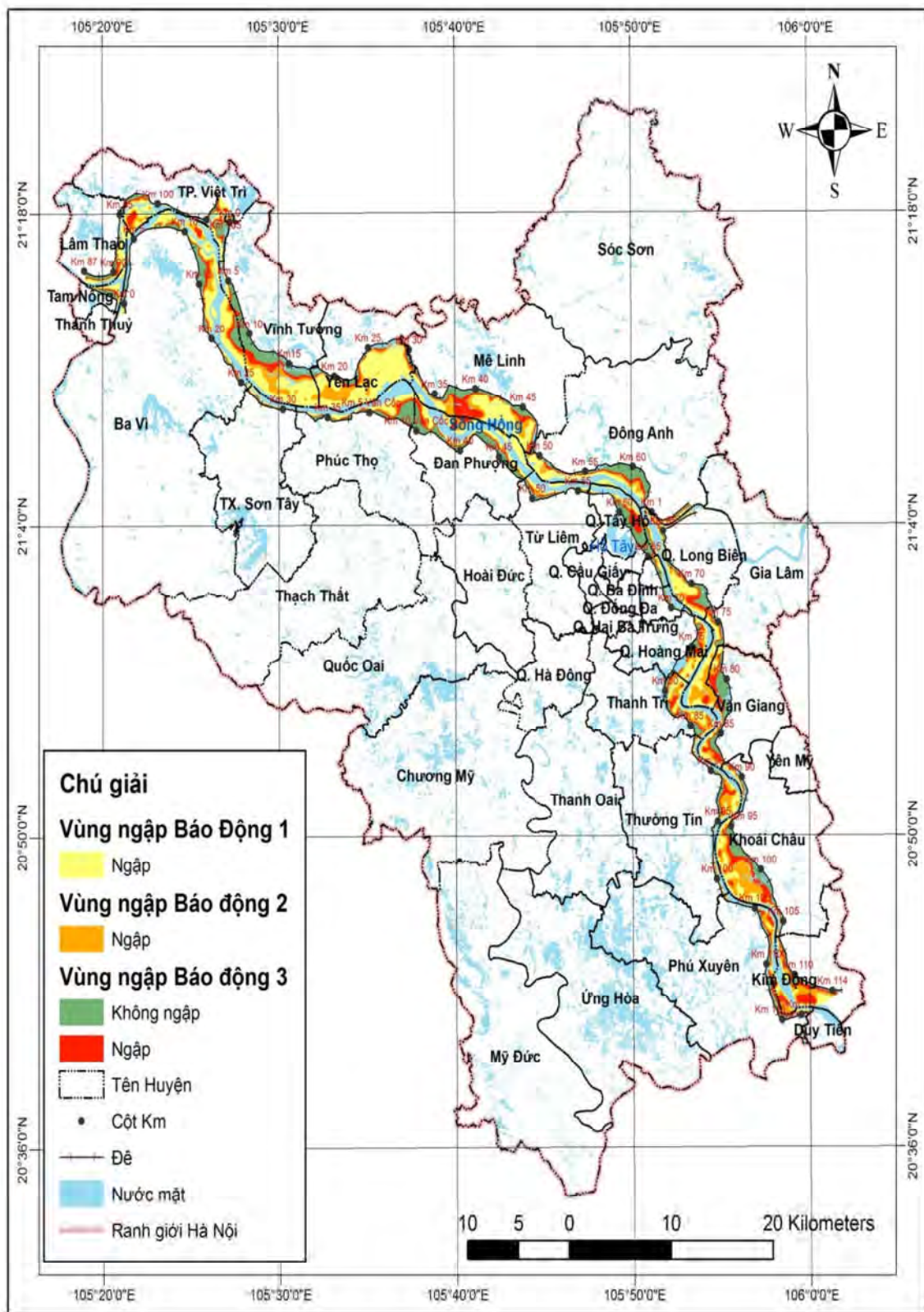
Bản đồ phân vùng ngập lụt được thực hiện trên ứng dụng công nghệ GIS và mô hình số độ cao (DEM). Toàn bộ quá trình thực hiện được chia thành 7 bước chính: (1) thu thập các dữ liệu có liên quan, (2) tiền xử lý dữ liệu bản đồ số GIS, (3) nội suy dữ liệu tạo mô hình DEM, (4) xác định các vùng bị ngập lụt, (5) thành lập các bản đồ phân vùng ngập lụt đới động, (6) tính diện tích các vùng bị ngập lụt, (7) đánh giá kết

quả và rút ra kết luận. Trong các bước thực hiện trên, ba bước nội suy dữ liệu tạo mô hình DEM, xác định các vùng bị ngập lụt và thành lập các bản đồ phân vùng ngập lụt đối động được xem là quan trọng nhất vì các công việc thực hiện trong ba bước này tạo cơ sở cho việc tính diện tích các vùng bị ngập lụt cũng như đánh giá mức độ ảnh hưởng của hiện tượng này đến khu vực nghiên cứu.

#### 3.4.2.2 Kết quả phân tích

Để xây dựng dữ liệu đầu vào cho quá trình nội suy dữ liệu, các tác giả tiến hành thu thập dữ liệu độ cao địa hình của KVNC từ nhiều nguồn với nhiều tỉ lệ và định dạng khác nhau (bản đồ địa hình tỷ lệ 1:25000, 1:10000, số liệu mặt ngang, số liệu thủy hệ). Bộ dữ liệu độ cao địa hình này được tiền xử lý và chuyển thành một bộ dữ liệu điểm độ cao thống nhất với định dạng shapefile dùng cho phần mềm ArcGIS. Đây chính là dữ liệu đầu vào cho quá trình nội suy dữ liệu để tạo ra mô hình DEM. Để tiến hành nội suy dữ liệu, các tác giả sử dụng bộ công cụ trong phần mềm ArcGIS. Sau bước nội suy dữ liệu, các tác giả sử dụng dữ liệu ranh giới hành chính của khu vực nghiên cứu để cắt mô hình DEM nhằm loại bỏ những dữ liệu thừa nằm bên ngoài phạm vi. Lớp dữ liệu hệ thống thủy hệ được định dạng raster bằng công cụ Rasterize trong phần mềm sau đó được xử lý tích hợp vào mô hình DEM bằng công cụ Raster Calculator. Mô hình DEM được tạo thành được thể hiện trong Hình 3.38.

Sau khi xây dựng được mô hình DEM tại KVNC từ bộ dữ liệu độ cao địa hình, tác giả tiến hành xác định các vùng bị ngập lụt từ mô hình DEM này bằng cách sử dụng một công cụ tính toán trên dữ liệu raster có tên Raster Calculator hoạt động trên nền tảng phần mềm ArcGIS. Dữ liệu đầu vào của quá trình này bao gồm mô hình DEM tại khu vực nghiên cứu và bộ số liệu mực nước sông theo các cấp báo động tại các trạm thủy văn trong khu vực nghiên cứu (Bảng 3.14). Toàn bộ quá trình tính toán này tạo ra một bộ dữ liệu các vùng bị ngập lụt ứng với mực nước báo động từ I đến III và mực nước sông đối động. Bản đồ phân vùng ngập lụt đối động theo mực nước báo động từ I đến III (Hình 3.18).



Hình 3.19 Bản đồ phân vùng ngập lụt theo 3 cấp báo động (tỷ lệ 1: 50 000)

### **3.5. Nguy cơ lún nền đê**

Hệ thống đê đới động có lịch sử phát triển khoảng 1000 năm qua các thời kỳ Phong Kiến, thời kỳ Pháp thuộc và cho đến nay đã được tu bổ, sửa chữa mở rộng với các vật liệu khác nhau chủ yếu là sét pha đồng thời nền đê có cấu trúc địa chất phức tạp không đồng nhất. Các lớp đất yếu (lớp 5, lớp 9) thuộc hệ tầng Thái Bình trên và hệ tầng Hải Hưng với chiều dài biến đổi từ 2.4m đến 10m tồn tại dưới nền đê điển hình là khu vực đê Vân Cốc, Thanh Trì, Hưng Yên (Km79 - Km 82 T.Hồng). Đồng thời hiện tại đê lại được sử dụng làm đường giao thông theo quy định phương tiện giao thông vượt quá từ 10T đến 12T, tuy nhiên thực tế quy định này không được thực hiện một cách nghiêm túc. Do đó với điều kiện tải trọng bản thân đê cùng với hoạt động giao thông kết hợp với nền đất yếu đã dẫn đến phát sinh phát triển các hiện tượng lún nền, nứt bề mặt đê. Các khu vực đã từng xuất hiện lún như: Đê Hữu Hồng Km5 +800 - Km7+500; Km16 - Km16+300 (địa phân Ba Vì), khu vực đê Vân Cốc, Km85 - Km89, Km91- Km99 (Thanh Trì - Thường Tín), Km103 - Km106 (Phú Xuyên). Đê Tả Km9, Km16, Km27 (Vĩnh Tường - Vĩnh Phúc); Km29, Km34, Km37 (Mê Linh); Km 58- Km59 (Hải Bối - Đông Anh); Km79 đến Km114 (Văn Giang- Khoái Châu- Kim Động) đặc biệt khu vực Km 81+700 đến Km 82+050 huyện Văn Giang tỉnh Hưng Yên. Năm 2001, tại Km 81+927 ÷ Km 82+548 xảy ra nứt và tụt mái phía sông; tháng 5/2002 tại Km 82+170 ÷ Km 82+200 lại xuất hiện khe nứt dọc đê tại đỉnh mái đê phía sông, từ Km 82+200 ÷ Km 82+280 tháng 11 năm 2016 tiếp tục xảy ra sự cố.

Trong luận án này, tác giả không đi sâu đánh giá nguyên nhân cụ thể các vị trí lún trên hệ thống đê mà đánh giá tổng thể tìm ra sự biến đổi theo tính quy luật nhằm dự báo vấn đề lún nền đê dưới tác dụng trọng lực bản thân từ đó bố trí hệ thống quan trắc kiểm soát và khắc phục sự cố khi tai biến lún nền đê xảy ra.

#### **3.3.1. Cơ sở phương pháp**

Có rất nhiều phương pháp tính lún dưới nền công trình và các phần mềm khác nhau như: phần mềm Geoslope, phần mềm Midas và phần mềm Plaxis. Trong luận án này, tác giả sử dụng phương pháp tính lún của tác giả Roy Whitlow nhằm mục đích kiểm tra độ lún tối đa dưới tải trọng bản thân đê với kích thước thực tế. Để tính toán dự báo lún nền đê dưới tải trọng bản thân áp dụng công thức (3.30).



Độ lún tối đa S:

$$S = S_i + S_c \quad 3.30$$

Trong đó:

$S_i$ : Độ lún tức thời do biến dạng ngang không thoát nước.

$S_c$ : Độ lún cố kết thấm do gia tăng ứng suất hữu hiệu

$$S_i = (m - 1) S_c \quad 3.31$$

Với m là hệ số điều kiện làm việc, m = 1.1 đến 1.4

$$S_c = \sum_{i=1}^n \frac{H_i}{1 + e_o^i} \left[ C_r^i \log \left( \frac{\sigma_{pz}^i}{\sigma_{vz}^i} \right) + C_c^i \log \left( \frac{\sigma_z^i + \sigma_{pz}^i}{\sigma_{pz}^i} \right) \right] \quad 3.32$$

Trong đó:

-  $H_i$  là bề dày lớp đất tính lún thứ i (phân thành n lớp có các đặc trưng biến dạng khác nhau), i từ 1 đến n lớp;  $H_i \leq 2,0$  m;

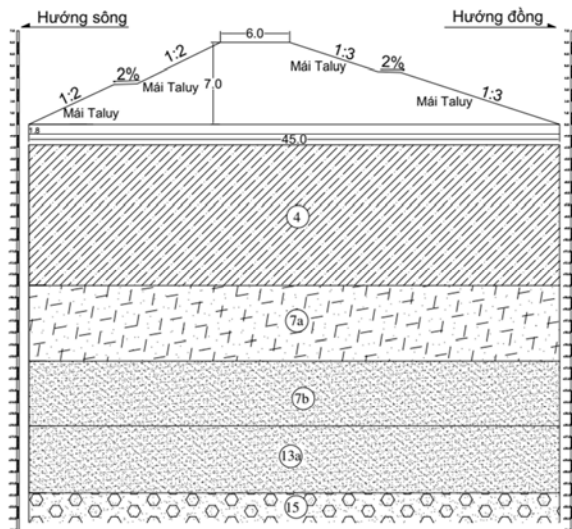
-  $e_o^i$  là hệ số rỗng của lớp đất i ở trạng thái tự nhiên ban đầu (chưa đắp nền bên trên).

-  $C_c^i$  chỉ số nén lún hay độ dốc của đoạn đường cong nén lún (biểu diễn dưới dạng  $e \sim \log \sigma$ ) trong phạm vi  $\sigma_i > \sigma_{pz}^i$  của lớp đất i.

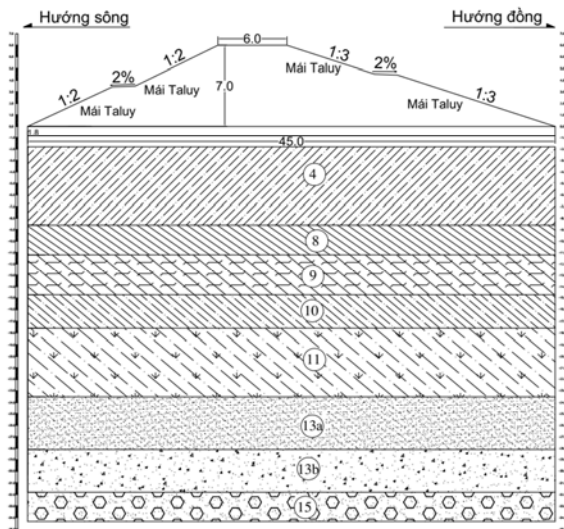
-  $C_r^i$  là chỉ số nén lún hay độ dốc của đoạn đường cong nén lún nói trên trong phạm vi  $\sigma_i < \sigma_{pz}^i$  (còn gọi là chỉ số nén lún hồi phục ứng với quá trình dỡ tải như ở hình 1 Phụ lục 1). -  $\sigma_{vz}^i, \sigma_{pz}^i, \sigma_z^i$  là áp lực (ứng suất nén thẳng đứng) do trọng lượng bản thân các lớp đất tự nhiên nằm trên lớp i, áp lực tiền cố kết ở lớp i và áp lực do tải trọng đắp gây ra ở lớp i (xác định các trị số áp lực này tương ứng với độ sâu z ở chính giữa lớp đất yếu i).

Để tính toán lún không đều nền đê dưới tại trọng bản thân tác giả căn cứ vào cơ sở dữ liệu sau: Bản đồ cấu trúc nền của Thành phố Hà Nội; Các bản đồ địa chất công trình Đới động sông Hồng; Các mặt cắt địa chất công trình dọc đê, ngang đê; Các chỉ tiêu cơ lý của vật liệu đê và nền đê. Mạng lưới tính toán lún 500m một mặt cắt ngang tính dọc hai đê Tả Hồng và Hữu Hồng với kích thước hệ thống đê thực tế. Trong khu vực nghiên cứu kích thước đê có sự thay đổi, bề rộng mặt đê thay đổi từ 6m đến 15m, chiều cao đê trung bình 7 m và chiều rộng chân đê thay đổi từ 45m đến 55m. Do đó,

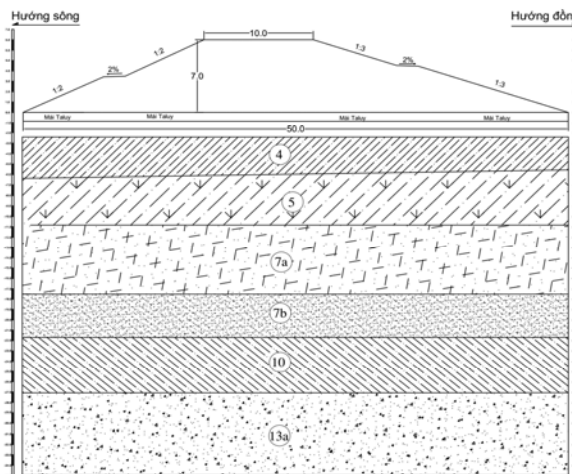
để có kết quả tính gần chính xác nhất, tác giả đã chia thành từng đoạn với kích thước bề mặt đê theo thực tế với cấu trúc nền đê điển hình, được thể hiện trên (Hình 3.21) để tính toán lún nền đê.



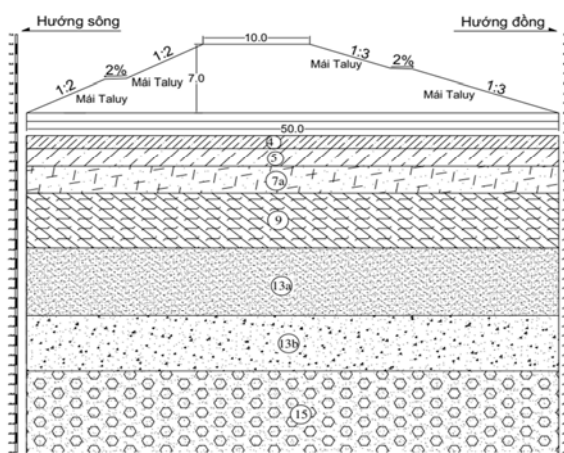
(1) Kích thước mặt đê 6m (Km90-Km105TT)  
(Km0-Km35HH, Km0 - Km11 Vân Cốc, Km48 - Km50HH), (Km82- Km117HH)



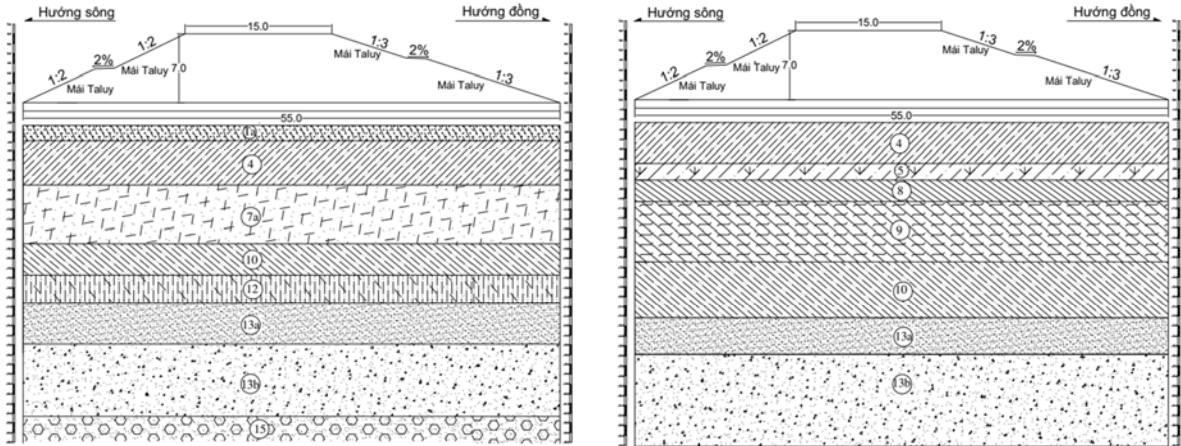
(2) Kích thước mặt đê 6m (Km23- Km115TH)



(3) Kích thước mặt đê 10m (Km49 - Km52HH)



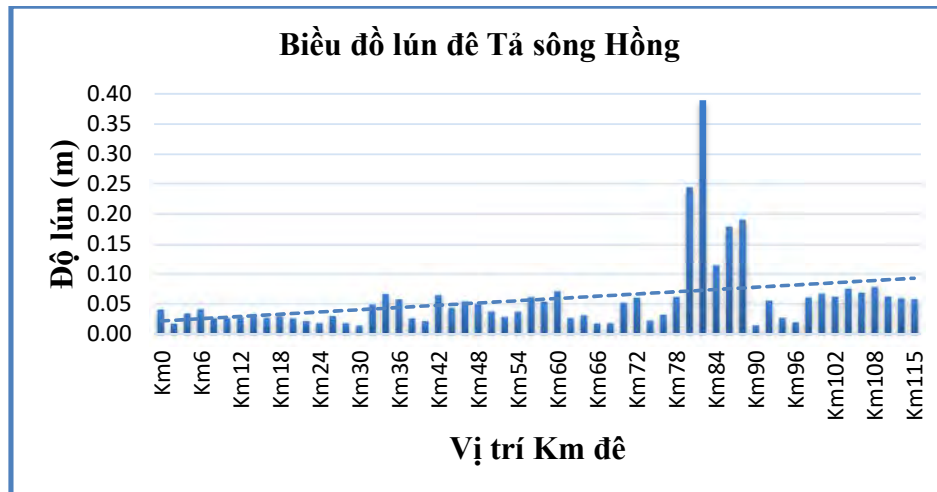
(4) Kích thước mặt đê 10m (Km12- Km15 Vân Cốc, Km40-Km43HH)

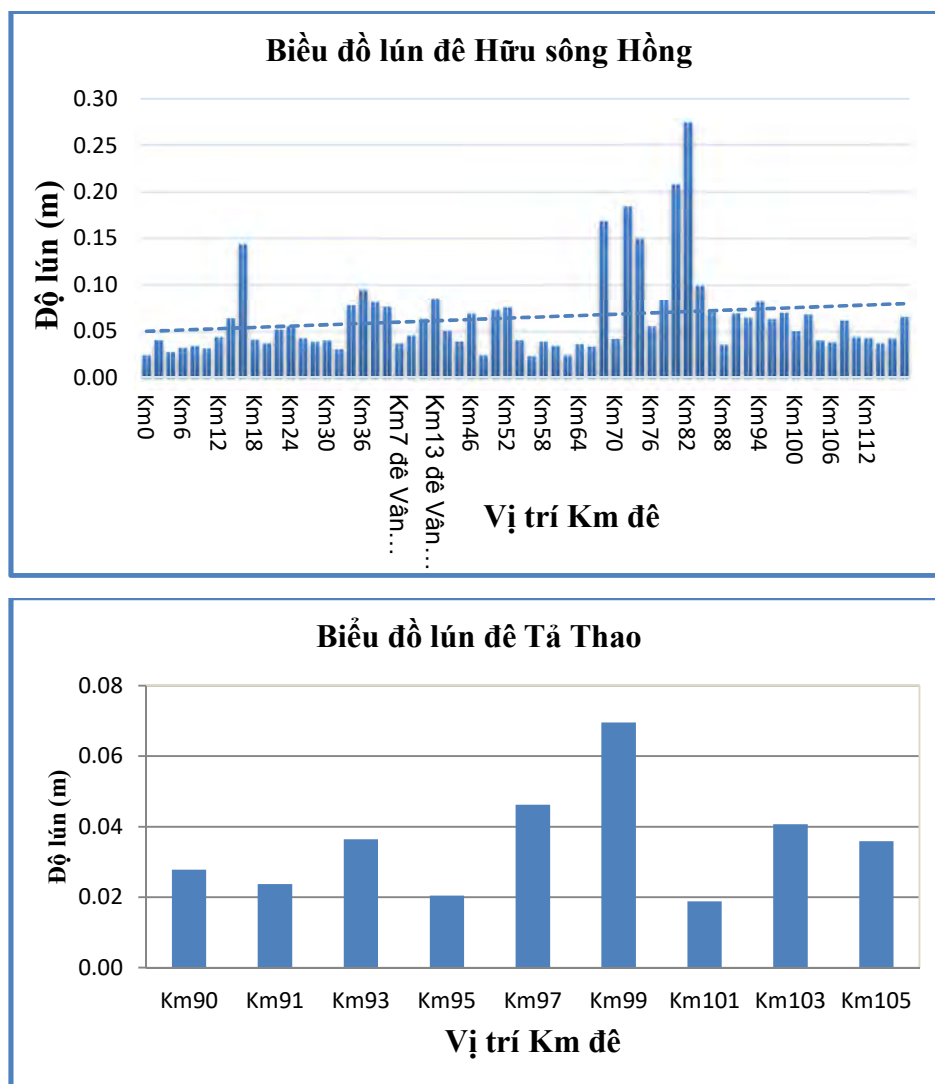


(5) Kích thước mặt đê 15m (Km0-Km23TH)      (6) Kích thước mặt đê 15m(Km54-Km82 HH)

Hình 3.20 Kích thước mặt đê thực tế

Kết quả tính: sau khi tính toán cho 261 mặt cắt tính toán dọc 2 bên đê với khoảng cách 500m một mặt cắt, kết quả cho thấy độ lún tối đa dọc 2 tuyến đê là không lớn chủ yếu lún từ 2cm đến 8cm tùy từng tải trọng thân đê và cấu trúc nền đê. Tuy nhiên có những vị trí độ lún S từ 10cm - 15cm và những nơi đặc biệt độ lún S >20cm nguyên nhân là do xuất hiện lớp 5, lớp 9 có chiều dày lớn, cụ thể: Km16, Km68, Km72, Km74, Km80, Km82 khu vực đê Hữu Hồng, từ Km80 đến Km 86 đê Tả Hồng. Số liệu được lập thành các biểu đồ lún dọc tuyến đê Tả Thao, Tả Hồng và Hữu Hồng trong khu vực nghiên cứu được trình bày trong (Hình 3.21).

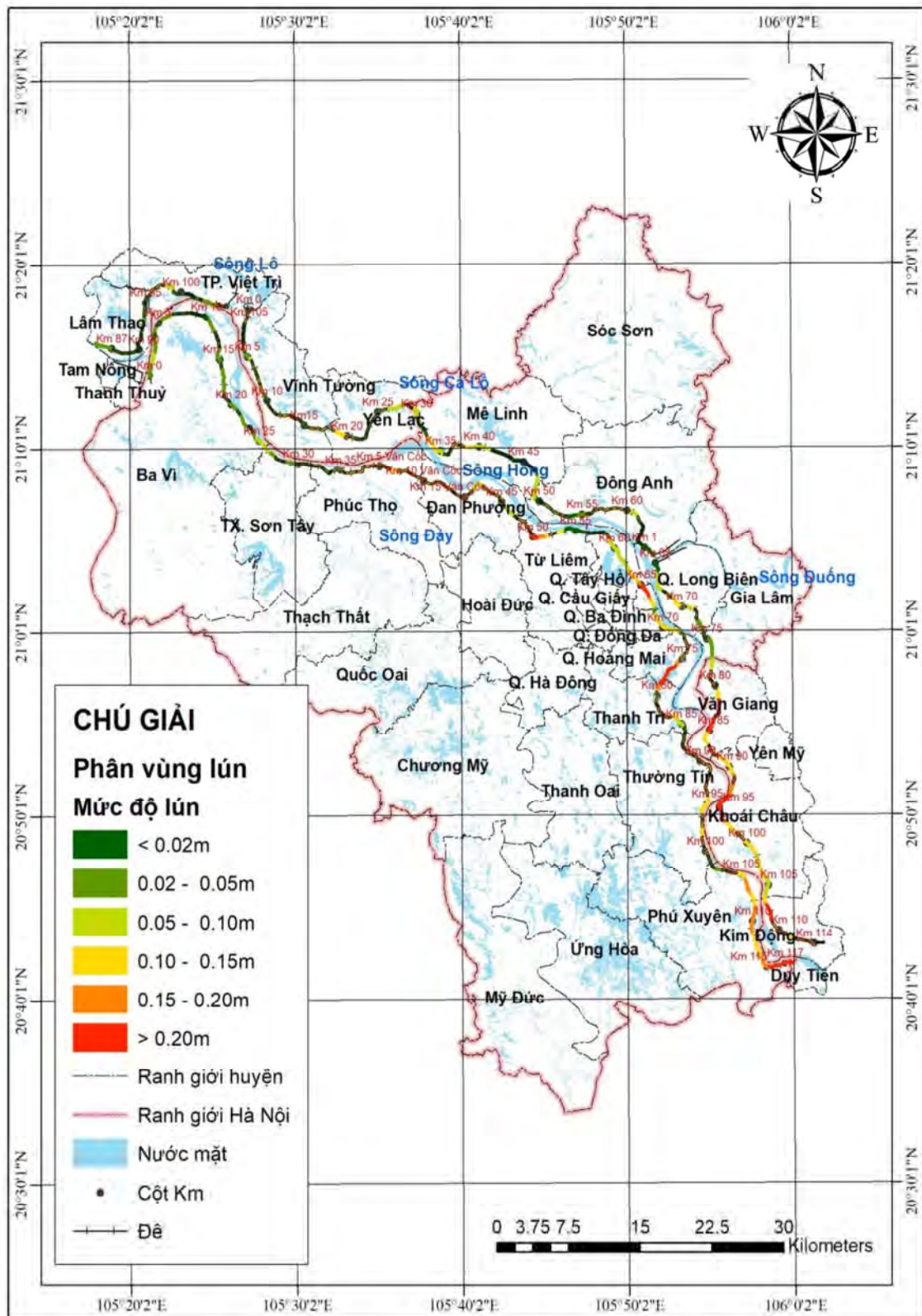




Hình 3.21 Biểu đồ lún trên 2 tuyến đê Tả và Hữu

### 3.3.2. Bản đồ phân vùng nguy cơ lún nền đê

Nguyên tắc phân chia: Áp dụng phương pháp Natural Break (mục 3.2.3) để phân thành 6 khoảng giá trị lún khác nhau bao gồm: Vùng 1 có  $S < 0.02\text{m}$ , Vùng 2 có  $S$  từ  $0.02 - 0.05\text{m}$ , Vùng 3 có  $S$  từ  $0.05 - 0.10\text{m}$ , Vùng 4 có  $S$  từ  $0.10 - 0.15\text{m}$ , Vùng 5 có  $S$  từ  $0.15 - 0.20\text{m}$  và Vùng 6 có  $S > 0.20\text{m}$ , tương ứng với 6 kích thước đê thực tế và cấu trúc nền điển hình với sự biến đổi chiều dày cũng như số lượng lớp đất yếu. Các vùng với các giá trị độ lún được thể hiện trên bản đồ tỷ lệ 1: 50 000 (Hình 2.23). Đây là cơ sở để thiết lập hệ thống quan trắc lún nền đê khu vực nghiên cứu.



Hình 3.22 Bản đồ phân vùng lũ tối đa nền đê (tỷ lệ 1: 50 000)

### **Kết luận chương 3**

- Khu vực đới động sông Hồng Hà Nội dưới tác dụng của dòng chảy đã làm phát sinh các tai biến ĐKTMT, trong đó đáng chú ý là các tai biến đã, đang và sẽ tiềm ẩn nguy cơ gây ra các thiên tai như: biến dạng thềm nền đê, xói lở bờ sông, ngập lụt và mất ổn định thân đê.

- Tai biến ở khu vực đới động Sông Hồng rất đa dạng. Các bản đồ phân vùng đánh giá dự báo nguy cơ tai biến và các bản đồ thành phần tương ứng được xây dựng trên cơ sở của các yếu tố: cao độ địa hình, kiến tạo, tính chất cơ lý và chiều dày các lớp đất đá, hình thái dòng sông, yếu tố tác động của con người và chế độ thủy văn của dòng sông đã được phân chia thành các vùng khác nhau về tai biến.

- Tai biến ở khu vực đới động Sông Hồng đã từng biến thành thiên tai như biến dạng thềm nền đê, ngập lụt và mất ổn định thân đê đang có xu hướng giảm về tần suất xuất hiện do sự thay đổi của chế độ dòng chảy thay vào đó các tai biến bồi lắng dòng chảy và xói lở bờ diễn ra ngày càng mạnh mẽ.

- Một cấu tạo thân đê hợp lý để đê được bền vững trước sự phá hủy của nhiệt độ, nước, của sinh vật và đặc biệt áp lực cột nước vào mùa lũ cùng với sự hợp lý của vị trí hệ thống đê, hệ thống hạ tầng qua đê (cống, trạm bơm và hệ thống đường giao cắt qua đê) để đảm bảo thoát lũ thì khu vực đới động sông Hồng Hà Nội sẽ không có thiên tai do các tai biến đó gây ra.

## **CHƯƠNG 4. LUẬN CHỨNG CƠ SỞ VÀ THIẾT LẬP HỆ THỐNG QUAN TRẮC ĐKTMT PHỤC VỤ PHÒNG CHỐNG TAI BIẾN VÀ PHÁT TRIỂN BỀN VỮNG ĐỐI ĐỘNG SÔNG HỒNG KHU VỰC HÀ NỘI.**

### **4.1. Cơ sở thiết lập hệ thống quan trắc Địa kỹ thuật môi trường**

#### ***4.1.1 Quan trắc phục vụ phòng chống tai biến và phát triển bền vững***

Theo quan điểm lý thuyết hệ thống kỹ thuật - tự nhiên, trạng thái của hệ thống luôn biến động. Mức độ và tính chất biến đổi trạng thái của hệ tùy thuộc vào mối quan hệ tương tác giữa các phụ hệ thống và các thành phần trong các phụ hệ thống. Những tương tác này vô cùng đa dạng, bao gồm tất cả các dạng cơ, hóa, lý, sinh trong đó luôn có sự chuyển hóa năng lượng cùng với biến đổi thành phần vật chất theo nguyên lý bảo toàn vật chất được diễn ra với chu trình thế năng thành động năng rồi động năng lại thành thế năng. Sự chuyển hóa năng lượng rất đa dạng của hệ phụ thuộc vào vô số các yếu tố đã làm phức tạp hóa việc đánh giá trạng thái của hệ nếu không có những thông tin biến đổi theo thời gian của các thành phần cấu tạo nên hệ. Do đó, để đánh giá trạng thái của hệ qua đó kiểm soát và điều khiển hoạt động của hệ cần có các trạm quan trắc. Theo đó, thông tin quan trắc ở các trạm có thể chia thành hai nhóm đáp ứng hai yêu cầu.

- Nhóm thông số quan trắc địa kỹ thuật môi trường có mục đích cho việc phân vùng đánh giá dự báo nguy cơ tai biến phục vụ phòng chống tai biến. Các thông số quan trắc thuộc nhóm này gồm các thông tin của yếu tố điều kiện và yếu tố tác động biến đổi theo chu kỳ thời gian.

- Nhóm thông số quan trắc địa kỹ thuật môi trường phục vụ phát triển bền vững đối động sông Hồng, nhóm thông tin này có mục đích thu thập số liệu cho việc đánh giá trạng thái của hệ qua đó điều khiển sự biến đổi môi trường theo hướng có lợi nhất. Các thông tin thu thập gồm các thông số nền của phụ hệ thống môi trường địa chất, phụ hệ thống kỹ thuật, môi trường xung quanh (sinh, khí, thủy và phần sâu của thạch quyển).

Tuy nhiên cách phân chia này chỉ mang tính tương đối, vì thực chất đều phục vụ cho sự phát triển bền vững khu vực đối động sông Hồng Hà Nội. Theo đó hệ thống quan trắc địa kỹ thuật môi trường phục vụ phòng chống tai biến ĐKT môi trường và hệ

thống quan trắc tổng hợp khu vực đới động sông Hồng Hà Nội sẽ gồm hai nhóm thông số này.

Các bước trên được tiến hành theo một chu trình khép kín, các số liệu sẽ được điều chỉnh cho đến khi các thông số ổn định, kiểm soát được và tiến đến một sự bền vững phục vụ cho việc khai thác sử dụng hệ thống một cách có hiệu quả. Để thực hiện được sơ đồ này ta cần phải thiết lập cơ sở và xây dựng hệ thống quan trắc địa kỹ thuật môi trường khu vực nghiên cứu, đây là bước rất quan trọng trong việc đánh giá, dự báo và điều khiển hệ thống của khu vực nghiên cứu.

#### **4.1.2. Mục tiêu quan trắc**

Thu thập một cách toàn diện, hệ thống và đồng bộ các thông số đặc trưng cho điều kiện ĐKTMT và sự biến đổi của chúng theo thời gian dài hạn phục vụ khai thác hiệu quả và bền vững lãnh thổ.

#### **4.1.3. Yêu cầu của hệ thống quan trắc**

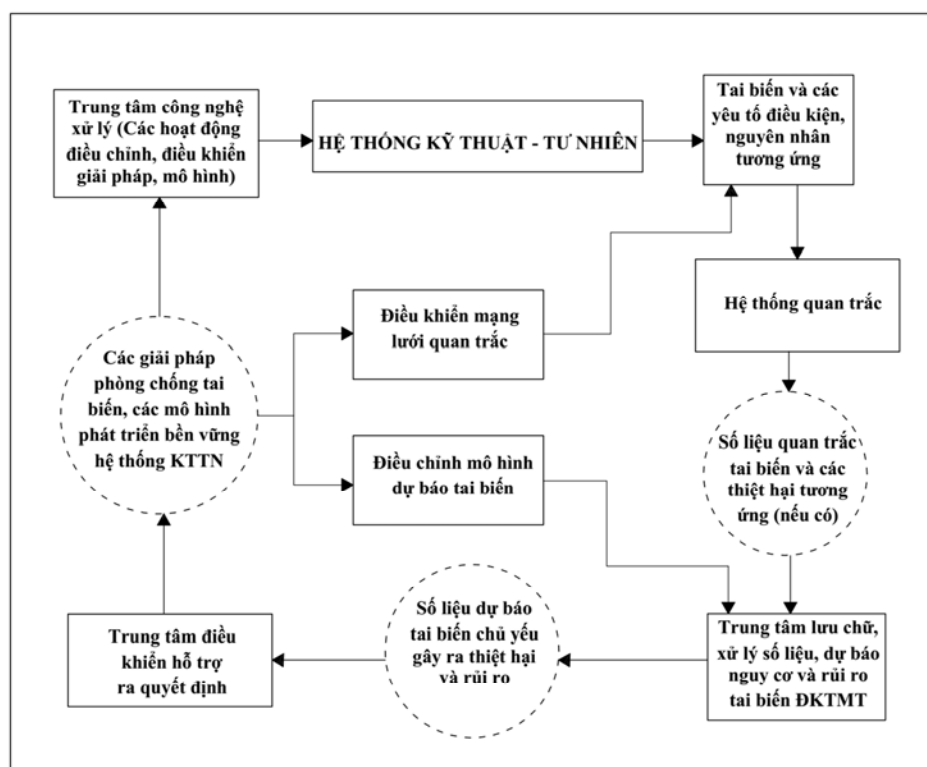
Qua kết quả đánh giá điều kiện địa kỹ thuật môi trường và đánh giá nguy cơ tai biến địa kỹ thuật môi trường đã cho thấy các yêu cầu cơ bản của công tác quan trắc địa kỹ thuật môi trường phục vụ phòng chống tai biến địa kỹ thuật môi trường và phát triển bền vững là:

- Hệ thống quan trắc ĐKTMT phải bao gồm tất cả các phép đo những thông số quan trọng nhất của điều kiện ĐKTMT của khu vực nghiên cứu, trên tất cả ba yếu tố của hệ thống KTTN đới động như phụ hệ thống kỹ thuật, phụ hệ thống môi trường địa chất và phụ hệ thống môi trường xung quanh (thủy quyển là chủ yếu). Thông số quan trắc đo được phải đủ, tương thích và phù hợp với các mô hình tính toán dự báo và các phần mềm phục vụ tính toán dự báo.
- Hệ thống quan trắc ĐKTMT phải được xây dựng để có thể quan trắc được toàn vùng, cho phép theo dõi và phát hiện được những đặc điểm riêng biệt theo không gian của toàn Hệ.
- Hệ thống quan trắc ĐKTMT phải thực hiện được các phép đo theo các thời gian định sẵn, thu được các số liệu tin cậy, cùng độ chuẩn xác trong những thời gian dài và cùng thời điểm có thể đo được nhiều thông số (tính đồng bộ) ở những điểm đo khác nhau trên không gian đới động.



- Hệ thống quan trắc ĐKTMT được thiết lập phải kế thừa, phải kết hợp sử dụng khai thác được các phép đo riêng lẻ hiện có và bổ sung hợp lý để trở thành một hệ thống thống nhất, hoạt động hiệu quả.

Từ các yêu cầu cho thấy đặc trưng có bản của quan trắc này là tự động hóa từ việc đo đếm, truyền dẫn, lưu trữ đến tự động hóa khai thác thông tin cho việc đánh giá trạng thái hệ thống kỹ thuật - Tự nhiên trong đó có dự báo nguy cơ tai biến. Đặc trưng đó được thể hiện theo một chu trình khép kín (Hình 4.1), các số liệu sẽ được điều chỉnh cho đến khi các thông số ổn định, kiểm soát được và tiến đến một sự bền vững phục vụ cho việc khai thác sử dụng hệ thống một cách có hiệu quả.



Hình 4.1 Sơ đồ đảm bảo phát triển bền vững hệ thống kỹ thuật - tự nhiên

#### 4.1.4. Nguyên tắc thiết kế

Hệ thống quan trắc được thiết lập dựa trên các bản đồ dự báo nguy cơ tai biến và các bản đồ phân tích tương ứng. Tuyến quan trắc được thiết kế theo hướng biến đổi chính của các yếu tố điều kiện, yếu tố tác động và tập trung ở các khu vực có nguy cơ cao xảy ra tai biến.

#### 4.1.5. Quy trình xây dựng hệ thống quan trắc

Để xây dựng một hệ thống quan trắc cần phải có các bước xây dựng một cách cụ thể gồm: (1) Xác định các tai biến địa kỹ thuật môi trường và các tai biến ĐKTMT chủ yếu làm ảnh hưởng đến sự ổn định của hệ thống KTTN khu vực nghiên cứu cần quan trắc. (2) Phân vùng đánh giá mức độ nhạy cảm của các phụ hệ thống trong hệ tương ứng với các tai biến ĐKTMT chủ yếu cần quan trắc. (3) Đánh giá và dự báo nguy cơ và cường độ các tai biến ĐKTMT chủ yếu. (4) Phân vùng đánh giá tổng hợp (theo tổ hợp và cường độ) các tai biến ĐKTMT. (5) Thiết kế hệ thống quan trắc tổng hợp và các hệ thống quan trắc thành phần các tai biến ĐKTMT.

#### 4.1.6. Tính toán số điểm và khoảng cách các điểm quan trắc

Số lượng điểm quan trắc được tính toán theo quy luật biến đổi của các thông số cần quan trắc nếu sự biến đổi thông số quan trắc được mô tả bằng các hàm số (bậc 1, 2, 3...), thì số lượng các điểm quan trắc bằng số lượng các hệ số của đa thức biểu diễn thông số đó và điều này đã được GS.G.K Bondarik đưa ra (bảng 4.1) sau:

Bảng 4.1 Bậc của đa thức K và số lượng hệ số

Hàm đa thức bậc (K)	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX
Số lượng hệ số	3	6	10	15	21	28	36	45	55

Ví dụ: Đường biến đổi áp lực nước ngầm theo đường bậc 2 thì cần 6 điểm quan trắc. Đường lún nền đê theo đường bậc 1 thì theo các số liệu quan trắc là cần 3 điểm quan trắc.

\* Nếu sự biến đổi của các thông số quan trắc là ổn định theo tuyến quan trắc  $\xi$  (Hình 4.2), thì số lượng các điểm quan trắc trên tuyến đó được tính toán trên cơ sở giả thuyết rằng, hàm của thông số quan trắc E (theo các kết quả nghiên cứu) có thể sai khác với kỳ vọng toán học của chúng một đại lượng không lớn hơn một giá trị cho trước  $E_0$  tức là  $E < E_0$  [29].

$$E = M[R(\xi)] - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n R_i \quad 4.1$$

Trong đó:  $M[R(\xi)]$  là kỳ vọng toán học của hàm nghiên cứu theo hướng biến đổi  $\xi$  (hướng tuyến quan trắc)

$\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n R_i$  là giá trị trung bình của n giá trị quan trắc  $R_i$

+ Để tính khoảng cách giữa các điểm quan trắc  $\Delta\xi$ , sử dụng công thức sau:

$$\Delta\xi = \frac{E_0}{\text{Max}|\dot{R}(\xi_0)|} \quad 4.2$$

Trong đó:  $\text{Max}|\dot{R}(\xi_0)|$  giá trị gradient lớn nhất của thông số quan trắc theo hướng  $\xi$

$$\dot{R}(\xi_0) = \frac{R_{i+1} - R_i}{\xi_{i+1} - \xi_i} \quad 4.3$$

Giá trị  $E_0$  không thể nhỏ hơn độ chính xác tuyệt đối của thiết bị và phương pháp đo  $E_M$ ;  $E_0 > E_M$ . Tuy nhiên  $E_0$  không thể lớn hơn một giá trị giới hạn  $\Delta E_{gh}$ .

$$\Delta E_{gh} = R_n - \bar{R} = S \cdot t_\alpha \quad 4.4$$

Trong đó:

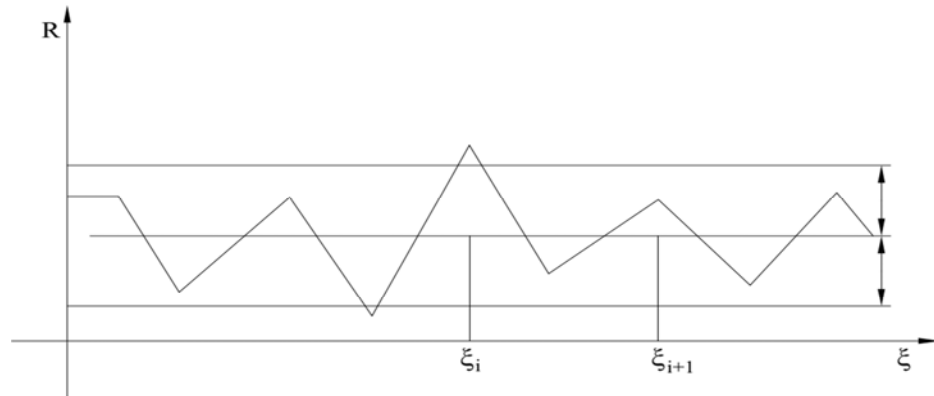
$R_n$  - Giá trị giới hạn của dãy các giá trị đã nghiên cứu của thông số quan trắc

$\bar{R}$  - Giá trị trung bình của các giá trị đã lựa chọn để tính toán

S - Độ lệch bình phương trung bình đã lựa chọn

$t_\alpha$  - giá trị tra bảng, phụ thuộc vào độ tin cậy lựa chọn và khối lượng mẫu (số lượng các giá trị đã lựa chọn để tính toán)

$$E_M < E_0 < \Delta E_{gh}$$



Hình 4.2 Tính khoảng cách giữa các điểm quan trắc số liệu ổn định

\* Nếu sự biến động các thông số quan trắc không ổn định theo tuyến quan trắc  $\xi$  (Hình 4.3). Thì việc tính toán số lượng điểm quan trắc dựa trên cách tính sau [29]:

$$R_i - R_{i-1} \leq \sigma_{gh} \quad 4.5$$

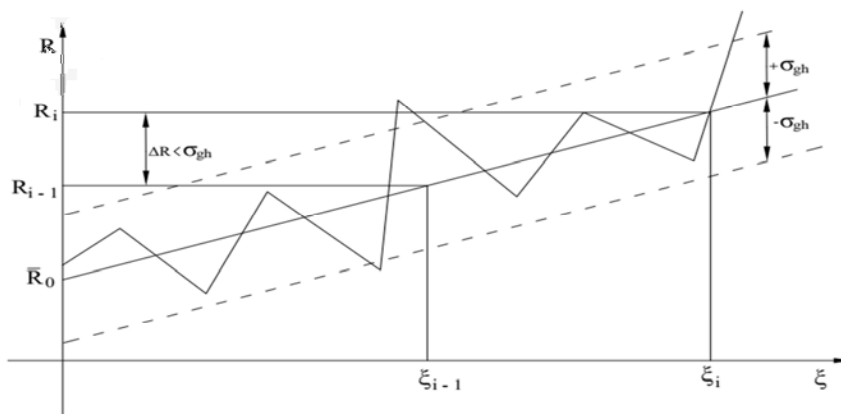
$$\sigma_{gh} = (2 \div 3) \sigma_R$$

Trong đó:  $R_i$  và  $R_{i-1}$  là giá trị trung bình của thông số quan trắc tương ứng với ranh giới của vùng tựa đồng nhất

$\sigma_R$  - độ lệch bình phương trung bình của các giá trị đo được của thông số quan trắc

$\sigma_{gh}$  - Sai số cho phép

Thực chất của cách tính này là thông số quan trắc theo hướng  $\xi$  được chia thành các vùng tựa đồng nhất có chiều rộng là  $\Delta L_\xi$ . Trong phạm vi của vùng đó chế độ biến đổi của các thông số đó có thể được coi là ổn định.



Hình 4.3 Xác định khoảng cách giữa các điểm quan trắc số liệu không ổn định

Xác định  $\Delta L_\xi$  như sau:

$$grad\bar{R} = \frac{\Delta R}{\Delta L_\xi} = \frac{\bar{R}_i - \bar{R}_{i-1}}{\Delta L_\xi} \quad 4.6$$

$$\Delta L_\xi = \frac{\bar{R}_i - \bar{R}_{i-1}}{grad\bar{R}}$$

Thay  $\bar{R}_i - \bar{R}_{i-1}$  bằng  $\sigma_{gh}$  và biến số  $grad\bar{R} = \frac{\bar{R}_n - \bar{R}_0}{L_\xi}$  (Trường hợp quy luật biến đổi tuyến tính), như vậy ta có công thức sau:

$$\Delta L_\xi = \frac{L_\xi * \sigma_{gh}}{\bar{R}_n - \bar{R}_0} \quad 4.7$$

Hoặc

$$\Delta L_\xi = \frac{L_\xi * (2 \div 3)\sigma_R}{\bar{R}_n - \bar{R}_0}$$

#### 4.1.7. Tính toán chu kỳ quan trắc

Tần số (hay chu kỳ) quan trắc được xác định bằng cơ chế biến động của quá trình tai biến và cơ chế tác động của các yếu tố nguyên nhân. Tần số quan trắc này được xác định như xác định khoảng cách giữa các điểm quan trắc theo một tuyến [29].

- Nếu cơ chế của tai biến và các tác động là ổn định thì độ chính xác  $E_0$  của chuỗi kết quả quan trắc phải thỏa mãn  $E_0 < E$ .

$$E = M[R(t)] - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n R_i \quad 4.8$$

Trong đó:  $M[R(t)]$  là kỳ vọng toán học của chuỗi kết quả quan trắc

$\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n R_i$  là giá trị trung bình của thông số  $R_i$  theo  $n$  giá trị đo

+ Để tính khoảng thời gian giữa các lần quan trắc  $\Delta t$ , sử dụng công thức sau:

$$\Delta t = \frac{E_0}{\text{Max}|\dot{R}(t)|} \quad 4.9$$

Trong đó:  $\text{Max}|\dot{R}(t)|$  giá trị lớn nhất của tỷ số

$$\frac{R_{i+1} - R_i}{t_{i+1} - t_i} \quad 4.10$$

Giá trị  $E_0$  không thể nhỏ hơn độ chính xác tuyệt đối của thiết bị và phương pháp đo  $E_M$ ;  $E_0 > E_M$ . Tuy nhiên  $E_0$  không thể lớn hơn một giá trị giới hạn  $\Delta R_{gh}$ .

$$E_M < E_0 < \Delta R_{gh} = S. t_\alpha \quad 4.11$$

$$S. t_\alpha = R_n - \bar{R}$$

Trong đó:

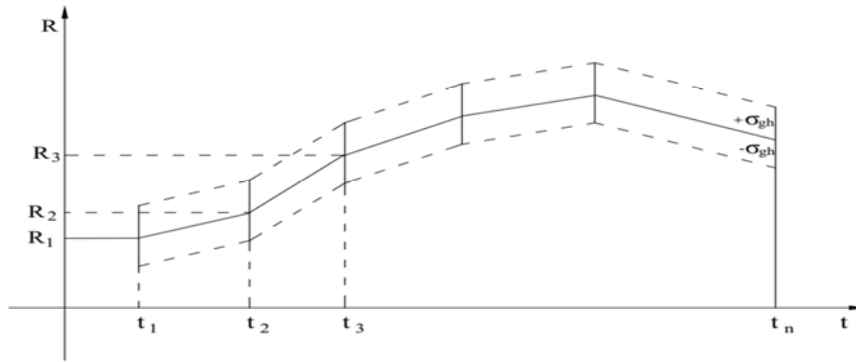
$R_n$  - Giá trị giới hạn của chuỗi quan trắc

$\bar{R}$  - Giá trị trung bình

$S$  - Độ lệch bình phương trung bình

$t_\alpha$  - giá trị tra bảng.

- Nếu cơ chế của tai biến là không ổn định. Các tác động luôn thể hiện được bằng đồ thị biến động của yếu tố cần quan trắc theo thời gian với các vùng có quy luật biến đổi tuyến tính (Hình 4.4) [29].



Hình 4.4 Xác định tần số quan trắc trong điều kiện cơ chế của tai biến không ổn định  
Khi đó

$$\Delta t_i = \frac{(t_{i+1} - t_i) * \sigma_{gh}}{R_{i+1} - R_i} \quad 4.15$$

Trong đó:  $R_{i+1}$ ,  $R_i$  - là giá trị giới hạn, tương ứng với ranh giới của vùng có cơ chế biến đổi tuyến tính.

#### 4.1.8. Yêu cầu về các thiết bị đo

- Các thiết bị quan trắc đo đạc trong hệ thống quan trắc phải cập nhật hiện đại, tự động hóa ở mức cao nhất có thể nhằm tăng độ chính xác và tiết kiệm thời gian. Các thiết bị quan trắc bao gồm:

- + Thiết bị quan trắc một số thông số của môi trường địa chất;
- + Thiết bị quan trắc các thông số của hệ kỹ thuật;
- + Thiết bị quan trắc các thông số của thủy quyển.

- Các thiết bị, dụng cụ này được lắp đặt hoặc được thực hiện các phép đo tại các trạm đo. Một tập hợp các phần mềm điều khiển thiết bị đo, lưu giữ, phân tích, tài liệu hóa các số đo, xử lý số liệu đo theo các hướng định sẵn. Các phần mềm này được cài đặt trên một hệ thống máy tính tại trạm đo trung tâm.

- Các thiết bị đo chuyên dụng (Máy đo Valdai, máy SGEAS, máy ULM20, thiết bị APCP và ADCP, máy đo hàm lượng phù sa lơ lửng LISST-25X của hãng Sequoia (USA)).

#### 4.1.9. Phương pháp quan trắc

- Phương pháp UAV.

- Phương pháp giải đoán ảnh hàng không, ảnh vệ tinh kết hợp công nghệ GIS chồng ghép ảnh ở những thời gian chụp khác nhau, sử dụng GPS xác định tọa độ và cao độ của các đối tượng.
- Phương pháp đo vẽ, thị sát hiện trường.
- Phương pháp trắc địa.
- Phương pháp Pizometer đo áp lực nước lỗ rỗng.

#### **4.1.10. Yêu cầu về quản lý vận hành**

Hệ thống quan trắc ĐKTMT là một tập hợp các phép đo với các thiết bị phù hợp được lắp đặt hoặc vận hành tại các địa điểm đại diện cho các điều kiện ĐKTMT của toàn khu vực nghiên cứu, nhưng phải được vận hành thống nhất, tương thích, tập trung nhằm thu được các thông số đặc trưng nhất phục vụ đánh giá và dự báo các tai biến có thể xảy ra ở khu vực nghiên cứu. Trong điều hành phải đảm bảo bởi tính tương thích, tính liên kết cao và sử dụng các thành tựu mới nhất của công nghệ thông tin. Cụ thể là:

- Thu thập tự động các số liệu từ các trạm được truyền tin qua mạng 3G, 4G và 5G.
- Máy tính phải được trang bị các phần mềm xử lý các số liệu đo từ các thiết bị đo riêng biệt và phần mềm xử lý ảnh hàng không, ảnh vệ tinh, phần mềm quản lý dữ liệu thông tin địa lý GIS, phần mềm hiển thị bản đồ Google với độ phân giải cao.
- Các thiết bị, dụng cụ đo tại các trạm quan trắc phải dễ dàng lắp đặt và tương thích với hệ điều khiển của toàn hệ, được chuyển đổi để có thể chuyển các tín hiệu đo thành tín hiệu truyền tin.

### **4.2. Hệ thống quan trắc biến dạng thềm nền đê**

**4.2.1. Cơ sở thiết lập:** Hệ thống quan trắc được thiết kế trên cơ sở bản đồ phân vùng ổn định thềm nền đê và bản đồ biến đổi áp lực thấm  $\Delta H$ .

**4.2.2. Nguyên tắc:** Hệ thống quan trắc biến dạng thềm nền đê được thiết lập theo hướng vuông góc với vùng rất không ổn định thềm và theo hướng giảm dần của áp lực thấm  $\Delta H$  (vuông góc với đê và sông) với số điểm quan trắc trên mỗi tuyến là 6 điểm.

- Vị trí các điểm: Điểm 1 cách chân đê 50m; Điểm 2 cách điểm 1 là 50m; Điểm 3 cách điểm 2 là 100m; Điểm 4 cách điểm 3 là 200m, Điểm 5 cách điểm 4 là 300m; Điểm 6 cách điểm 5 là 300m.

- Vị trí 30 tuyến: Tuyến 1: Km 91 T.Thao; Tuyến 2: Km 8 H.Hồng; Tuyến 3: Km 95+200 T.Thao; Tuyến 4: Km 100 T.Thao; Tuyến 5: Km 105 T.Thao; Tuyến 6: Km 4 T.Hồng; Tuyến 7: Km 17+300 H.Hồng; Tuyến 8: Km 20 H.Hồng; Tuyến 9: Km 15 T.Hồng; Tuyến 10: Km 27+500 H.Hồng; Tuyến 11: Km 30 H.Hồng; Tuyến 12: Km 34 +500 H.Hồng; Tuyến 13: Km 21 T.Hồng; Tuyến 14: Km 3+300 Vân Cốc; Tuyến 15: Km 32+100 T.Hồng; Tuyến 16: Km 34+500 T.Hồng; Tuyến 17: Km 10 Vân Cốc; Tuyến 18: Km 13 Vân Cốc; Tuyến 19: Km 51 H.Hồng; Tuyến 20: Km 56 T.Hồng; Tuyến 21: Km 71+300 T.Hồng; Tuyến 22: Km 74+600 T.Hồng; Tuyến 23: Km 74 H.Hồng; Tuyến 24: Km 78 T.Hồng; Tuyến 25: Km 87 H.Hồng; Tuyến 26: Km 93+400 T.Hồng; Tuyến 27: Km 97 H.Hồng; Tuyến 28: Km 103 H.Hồng; Tuyến 29: Km 106+500 T.Hồng; Tuyến 30: Km 110 T.Hồng, cụ thể trong Hình 4.5.

#### **4.2.3. Đề xuất thông số và chu kỳ quan trắc**

- Thông số quan trắc: Bao gồm các thông số gây nên quá trình biến dạng thấm nền đê, các thông số này là số liệu đầu vào cho mô hình tính toán dự báo nguy cơ tai biến bao gồm:

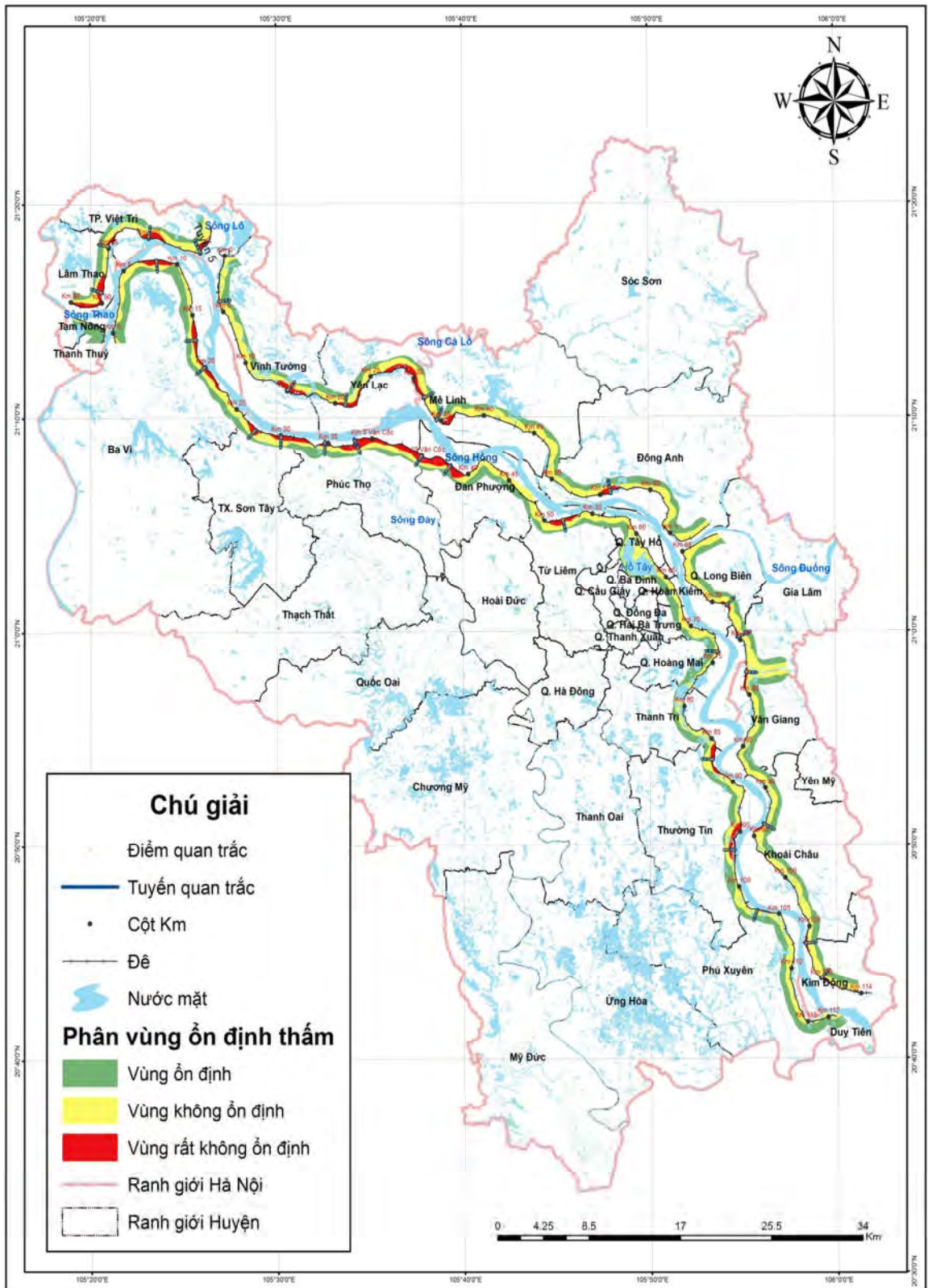
+ Thông số dao động mực nước sông: Chu kỳ đo: 3 lần/ngày (7h, 12h và 19h) trong mùa lũ từ báo động I và mùa kiệt 1 lần/ngày.

+ Thông số mực nước ngầm trong khu vực ảnh hưởng: Chu kỳ đo: 2 lần/ năm (1 lần vào mùa lũ và 1 lần vào mùa kiệt)

+ Áp lực nước lỗ rỗng trong khu vực ảnh hưởng biến dạng thấm: Chu kỳ đo: mùa lũ 1 lần/ngày và mùa kiệt 1 lần/ngày.

+ Mẫu nước xác định hàm lượng vật liệu trong nước xuất lộ: Chu kỳ đo: Lấy mẫu 2 lần/ngày vào mùa lũ.





Hình 4.5 Bản đồ vị trí tuyến quan trắc biến dạng thấm nền đê (Tỷ lệ 1:50 000)

### **4.3. Hệ thống quan trắc xói lở bờ sông**

**4.3.1. Cơ sở thiết lập:** Hệ thống quan trắc được thiết kế trên cơ sở bản đồ phân vùng nguy cơ xói lở theo chỉ tiêu tích hợp đa biến  $I_{\Sigma}$ .

**4.3.2. Nguyên tắc:** Hệ thống quan trắc xói lở bờ được thiết lập theo hướng vuông góc với vùng nguy cơ xói lở rất mạnh với số điểm quan trắc trên mỗi tuyến là 6 điểm.

- Vị trí các điểm: điểm 1 nằm giữa sông, điểm 2 ở mép bờ sông, điểm 3 ở cột báo động 1, điểm 4 ở cột báo động 2, điểm 5 ở cột báo động 3, điểm 6 cách sát chân đê.

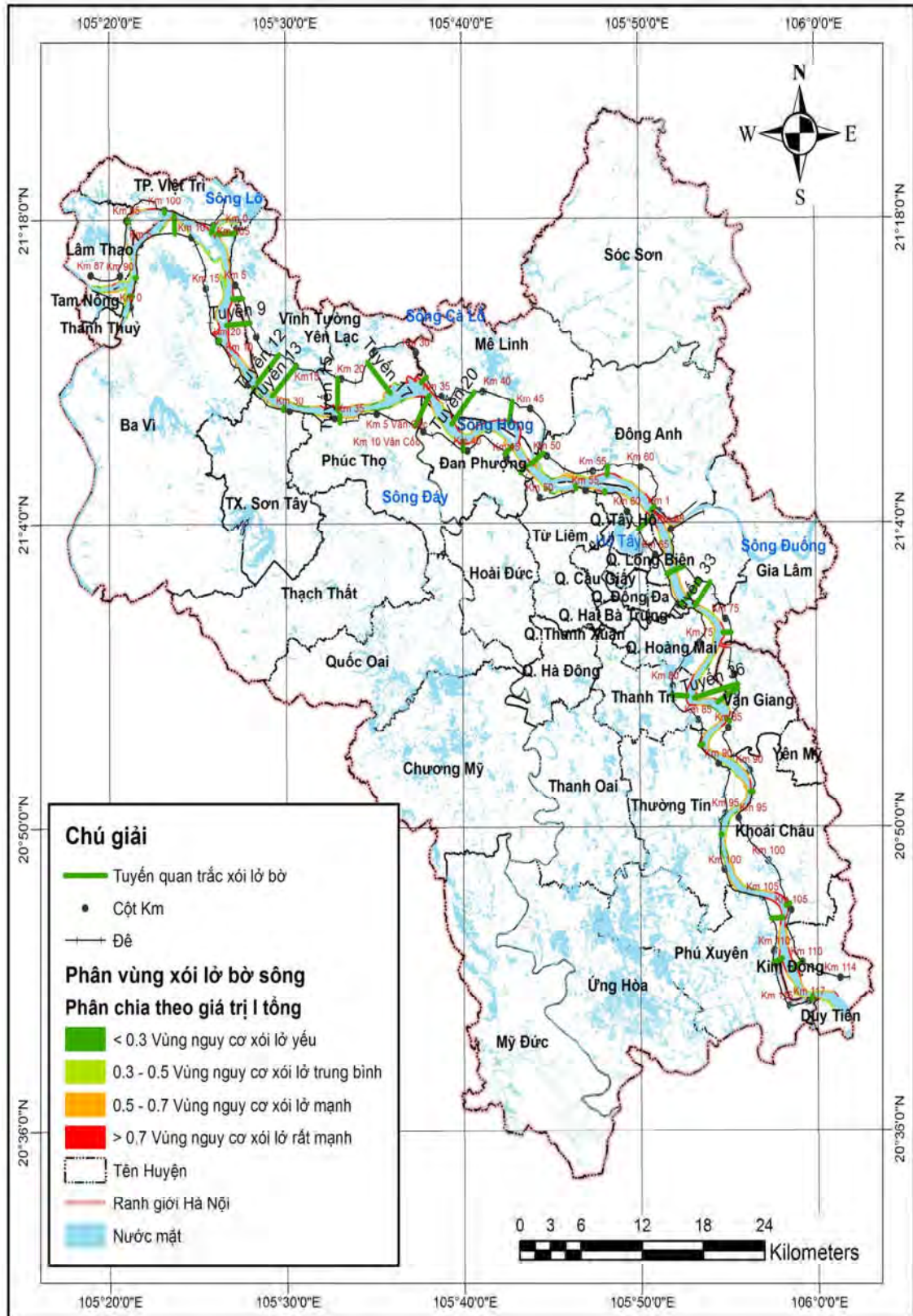
- Vị trí 46 tuyến: Tuyến 1: Km 1 H.Hồng; Tuyến 2: Km 2+500 H.Hồng; Tuyến 3: Km 95 T.Thao; Tuyến 4: Km 100 T.Thao; Tuyến 5: Km 8+250 H.Hồng; Tuyến 6: Km 105 T.Thao; Tuyến 7: Km 0+400 T.Hồng; Tuyến 8: Km 6+400 T.Hồng; Tuyến 9: Km 8+500 T.Hồng; Tuyến 10: Km 20 H.Hồng; Tuyến 11: Km 25+600 H.Hồng; Tuyến 12: Km 13+200 T.Hồng; Tuyến 13: Km 15 T.Hồng; Tuyến 14: Km 29+400 H.Hồng; Tuyến 15: Km 19+500 T.Hồng; Tuyến 16: Km 35+600 H.Hồng; Tuyến 17: Km 23 T.Hồng; Tuyến 18: Km 32 T.Hồng; Tuyến 19: Km 9 Vân Cốc ; Tuyến 20: Km 39+200 T.Hồng; Tuyến 21: Km 14+500 Vân Cốc; Tuyến 22: Km 43+500 T.Hồng; Tuyến 23: Km 44+600 H.Hồng; Tuyến 24: Km 47 H.Hồng; Tuyến 25: Km 49+500 T.Hồng; Tuyến 26: Km 54+300 H.Hồng; Tuyến 27: Km 56+600 T.Hồng; Tuyến 28: Km 57 H.Hồng; Tuyến 29: Km 62 H.Hồng; Tuyến 30: Km 64+500 T.Hồng; Tuyến 31: Km 70+200 H.Hồng; Tuyến 32: Km 70 T.Hồng; Tuyến 33: Km 71+200 T.Hồng; Tuyến 34: Km 76+400 T.Hồng; Tuyến 35: Km 81 H.Hồng; Tuyến 36: Km 81 T.Hồng; Tuyến 37: Km 81+400 T.Hồng; Tuyến 38: Km 84+500 T.Hồng; Tuyến 39: Km 87+500 H.Hồng; Tuyến 40: Km 92+500 T.Hồng; Tuyến 41: Km 97+100 H.Hồng; Tuyến 42: Km 104+500 T.Hồng; Tuyến 43: Km 107 H.Hồng; Tuyến 44: Km 111 H.Hồng; Tuyến 45: Km 110 T.Hồng; Tuyến 46: Km 117+500 H.Hồng; được thể hiện trên Hình 4.6.

### **4.3.3. Đề xuất thông số và chu kỳ quan trắc**

- Thông số quan trắc: Bao gồm các thông số gây nên quá trình xói lở bờ sông, các thông số này là số liệu đầu vào cho mô hình tính toán dự báo nguy cơ tai biến.

+ Cao độ địa hình lòng sông và bãi sông: Chu kỳ đo: 2 lần/ năm (1 lần vào mùa lũ và 1 lần vào mùa kiệt).

- + Thông số mực nước sông: Chu kỳ đo: 2 lần/ năm (1 lần vào mùa lũ và 1 lần vào mùa kiệt).
- + Kích thước hình học điểm xói lở (dài, rộng, sâu và góc dốc bờ): 1 lần/năm vào mùa kiệt.
- + Thông số dòng chảy: Vận tốc dòng chảy, lưu lượng dòng chảy, hướng dòng chảy, lượng bùn cát lơ lửng và lượng bùn cát đáy: Chu kỳ đo: 2 lần/ năm (1 lần vào mùa lũ và 1 lần vào mùa kiệt).



Hình 4.6 Bản đồ vị trí tuyến quan trắc xói lở bờ (Tỷ lệ 1: 50 000)

#### **4.4. Hệ thống quan trắc ngập lụt ngoài bãi sông**

**4.4.1. Cơ sở thiết lập:** Hệ thống quan trắc được thiết kế trên cơ sở bản đồ mật độ xây dựng và bản đồ ngập lụt ở các mức báo động 1, báo động 2, báo động 3 và bản đồ thành phần tương ứng.

**4.4.2. Nguyên tắc:** Hệ thống quan trắc ngập lụt được thiết lập theo hướng vuông góc với các khu vực có mật độ xây dựng cao từ 70% đến 90% về phía sông và bản đồ ngập lụt theo 3 cấp báo động (I, II, III).

- Vị trí điểm quan trắc: điểm 1 nằm ở ngoài sông, điểm 2 trên bãi giữa sông, điểm 3 ở cốt ngập báo động 1, điểm 4 ở cốt ngập báo động 2, điểm 5 ở cốt ngập báo động 3, điểm 6 sát chân đê.

- Vị trí 20 tuyến: Tuyến 1: Km 90+600 T.Thao; Tuyến 2: Km 98 T.Thao; Tuyến 3: Km 12 +300 H.Hồng; Tuyến 4: Km 1 +300 Vân Cốc; Tuyến 5: Km 7 Vân Cốc; Tuyến 6: Km 10 +200 Vân Cốc; Tuyến 7: Km 38+300 T.Hồng; Tuyến 8: Km 42 +400 T.Hồng; Tuyến 9: Km 45 T.Hồng; Tuyến 10: Km 46+500 H.Hồng; Tuyến 11: Km 55+300 T.Hồng; Tuyến 12: Km 60+300 H.Hồng; Tuyến 13: Km 63+400 H.Hồng; Tuyến 14: Km 67+500 THồng; Tuyến 15: Km 68+300 H.Hồng; Tuyến 16: Km 73 H.Hồng; Tuyến 17: Km 76+800 T.Hồng; Tuyến 18: Km 78+900 T.Hồng; Tuyến 19: Km 87 +300 H.Hồng; Tuyến 20: Km 92 +900 H.Hồng, được thể hiện trên Hình 4.7.

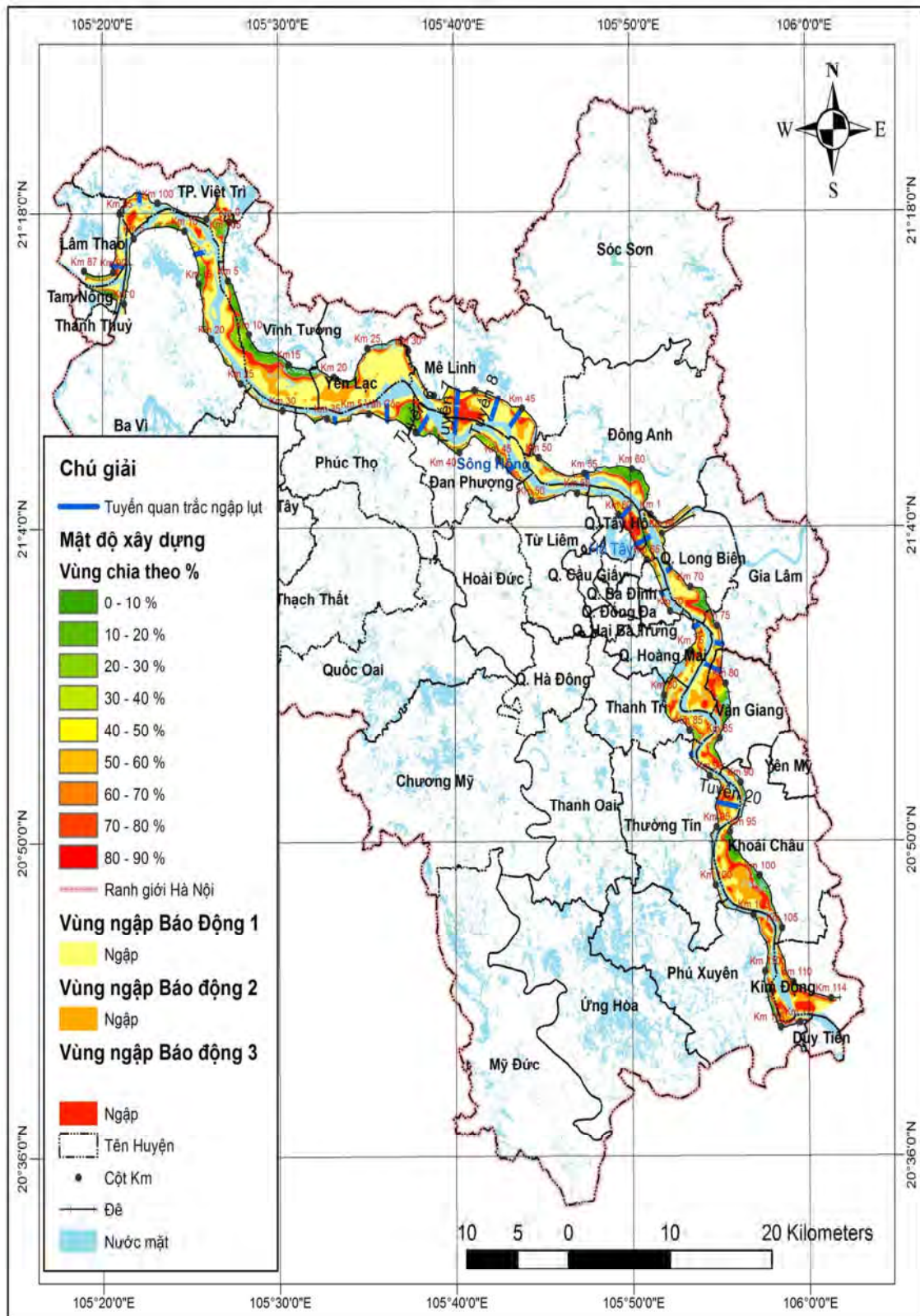
#### **4.4.3. Đề xuất thông số và chu kỳ quan trắc**

- Thông số quan trắc: Bao gồm các thông số gây nên quá trình ngập lụt trong thời gian mưa lũ, các thông số này là số liệu đầu vào cho mô hình tích hợp các yếu tố điều kiện ĐKTMT.

+ Cao độ địa hình bãi, lòng sông và diện tích tiết diện mặt cắt ngang sông: Chu kỳ đo: 2 lần/ năm (1 lần vào mùa lũ và 1 lần vào mùa kiệt).

+ Thông số mực nước sông: Chu kỳ đo: 2 lần/ năm (1 lần vào mùa lũ và 1 lần vào mùa kiệt).

+ Thông số dòng chảy: Vận tốc dòng chảy, lưu lượng dòng chảy, hướng dòng chảy, lượng bùn cát lơ lửng và lượng bùn cát đáy: Chu kỳ đo: 2 lần/ năm (1 lần vào mùa lũ và 1 lần vào mùa kiệt).



Hình 4.7 Bản đồ vị trí tuyến quan trắc ngập lụt (Tỷ lệ 1: 50 000)

#### **4.5. Hệ thống quan trắc lún nền đê khu vực đới động**

**4.5.1. Cơ sở thiết lập:** Hệ thống quan trắc được thiết kế trên cơ sở bản đồ biến đổi độ lún không đều nền đê dưới tải trọng tự thân đê và bản đồ phân bố lớp đất yếu (lớp Ta, lớp 5, lớp 9 và lớp 11).

**4.5.2. Nguyên tắc:** Hệ thống quan trắc lún không đều nền đê được thiết lập dọc theo hướng biến đổi độ lún theo đê tại các vị trí có độ  $S > 0.20m$ .

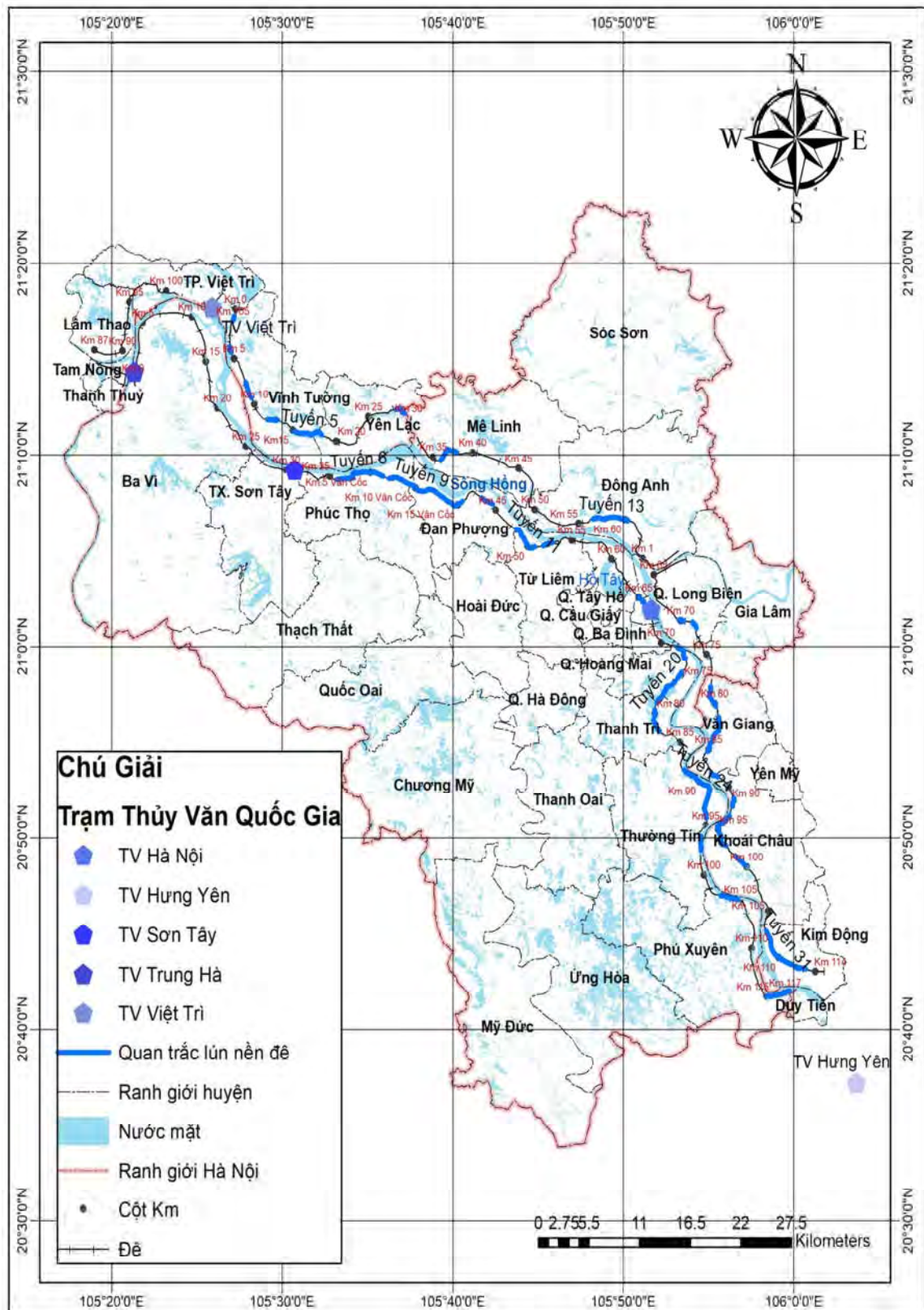
- Vị trí các điểm: Được bố trí dọc theo tuyến đê với khoảng cách các điểm quan trắc từ 100m đến 500m và tối thiểu là 3 điểm.

- Vị trí 33 tuyến: Tuyến 1: Km0+800 đến Km1+200 T.Hồng; Tuyến 2: Km3+700 đến Km4+300 T.Hồng; Tuyến 3: Km7+700 đến Km9+300 T.Hồng; Tuyến 4: Km12+100 đến Km13+100 T.Hồng; Tuyến 5: Km15+400 đến 18+300 T.Hồng; Tuyến 6: Km1+100 đến Km6+100 Vân cộc; Tuyến 7: Km 28 đến Km29+100 T.Hồng; Tuyến 8: Km36+600 đến Km38+300 T.Hồng; Tuyến 9: Km7 đến Km15+500 Vân Cộc; Tuyến 10: Km43 đến Km44+100 H.Hồng; Tuyến 11: Km47+900 đến Km50+900 H.Hồng; Tuyến 12: Km51+900 đến Km52+700 H.Hồng; Tuyến 13: Km56+600 đến Km60+300 T.Hồng; Tuyến 14: Km65 đến Km66+800 H.Hồng; Tuyến 15: Km69+900 đến Km70+100 T.Hồng; Tuyến 16: Km71+900 đến Km73+100 H.Hồng; Tuyến 17: Km71+200 đến Km71+900 T.Hồng; Tuyến 18: Km74+900 đến Km75+500 H.Hồng; Tuyến 19: Km78+300 đến Km80+200 T.Hồng; Tuyến 20: Km76 đến Km79 H.Hồng; Tuyến 21: Km79+800 đến Km80+100 H.Hồng; Tuyến 22: Km80+700 đến Km82+300 H.Hồng; Tuyến 23: Km 81+400 đến Km85+200 T.Hồng; Tuyến 24: Km 88 đến Km94+300 H.Hồng; Tuyến 25: Km87+800 đến Km88+400 T.Hồng; Tuyến 26: Km91+150 đến Km 92T.Hồng; Tuyến 27: Km93 đến Km 97 T.Hồng; Tuyến 28: Km96+500 đến Km97+900 H.Hồng; Tuyến 29: Km98+400 đến Km99+700 T.Hồng; Tuyến 30: Km103 đến Km104+700 H.Hồng; Tuyến 31: Km107 đến Km111+300 T.Hồng; Tuyến 32: Km115 đến Km117+500 H.Hồng; Tuyến 33: Km111+900 đến Km113 T.Hồng, được thể hiện trên Hình 4.8.

#### ***4.5.3. Đề xuất thông số và chu kỳ quan trắc***

- Thông số quan trắc: Bao gồm các thông số gây nên quá trình lún nền đê, các thông số này là số liệu đầu vào cho mô hình tính toán dự báo nguy cơ tai biến.
- + Thông số mực nước ngầm trong khu vực ảnh hưởng: Chu kỳ đo: 2 lần/ năm (1 lần vào mùa lũ và 1 lần vào mùa kiệt).
- + Áp lực nước lỗ rỗng: Chu kỳ đo: 2 lần/ năm (1 lần vào mùa lũ và 1 lần vào mùa kiệt).
- + Tốc độ lún mặt đê và cơ đê: Chu kỳ đo: 4 lần/ năm (3 tháng/1 lần) và nhiều hơn khi xuất hiện lún.





Hình 4.8 Bản đồ vị trí tuyến quan trắc lũ nền đê (Tỷ lệ 1: 50 000)

#### 4.6. Hệ thống quan trắc tổng hợp đối động sông Hồng khu vực Hà Nội

Trên cơ sở mục tiêu và các nguyên tắc trên, hệ thống quan trắc tổng hợp đối động được thiết lập trên cơ sở tích hợp của 4 hệ thống quan trắc tại biến chính bao gồm: hệ thống quan trắc biến dạng thềm nền đê, tai biến xói lở bờ sông, tai biến ngập lụt ngoài bãi sông và lún không đều nền đê do tải trọng bản thân.

**4.6.1. Cơ sở thiết lập:** Hệ thống quan trắc tổng hợp đối động sông Hồng khu vực Hà Nội được thiết kế trên cơ sở 4 hệ thống quan trắc của 4 tai biến và các bản đồ thành phần tương ứng.

**4.6.2. Nguyên tắc:** Tuyến quan trắc tổng hợp được thiết lập tại các vị trí giao thoa của các tai biến bao gồm: Vị trí giao thoa của 4 tai biến, giao thoa của 3 tai biến, giao thoa của 2 tai biến và vị trí 1 tai biến. Bên Tả Hồng (TH), Tả Thao (TT) đánh số lẻ (Tuyến 1,3,5,7...), bên Hữu Hồng (HH) đánh số chẵn (Tuyến 2,4,6,8...). Ví dụ: Tuyến 1 (T+NL)(Km90+500TT) (Tuyến 1 giao thoa của 2 tai biến: biến dạng thềm (T) và ngập lụt (NL) tại Km90+500 đê Tả Thao); Tuyến 24 (T+X+L+NL) (Km10 Vân Cốc) (Tuyến 24 giao thoa của 4 tai biến: biến dạng thềm (T), xói lở bờ (X), ngập lụt (NL) và lún nền đê (L), tại Km 10 đê Vân cốc).

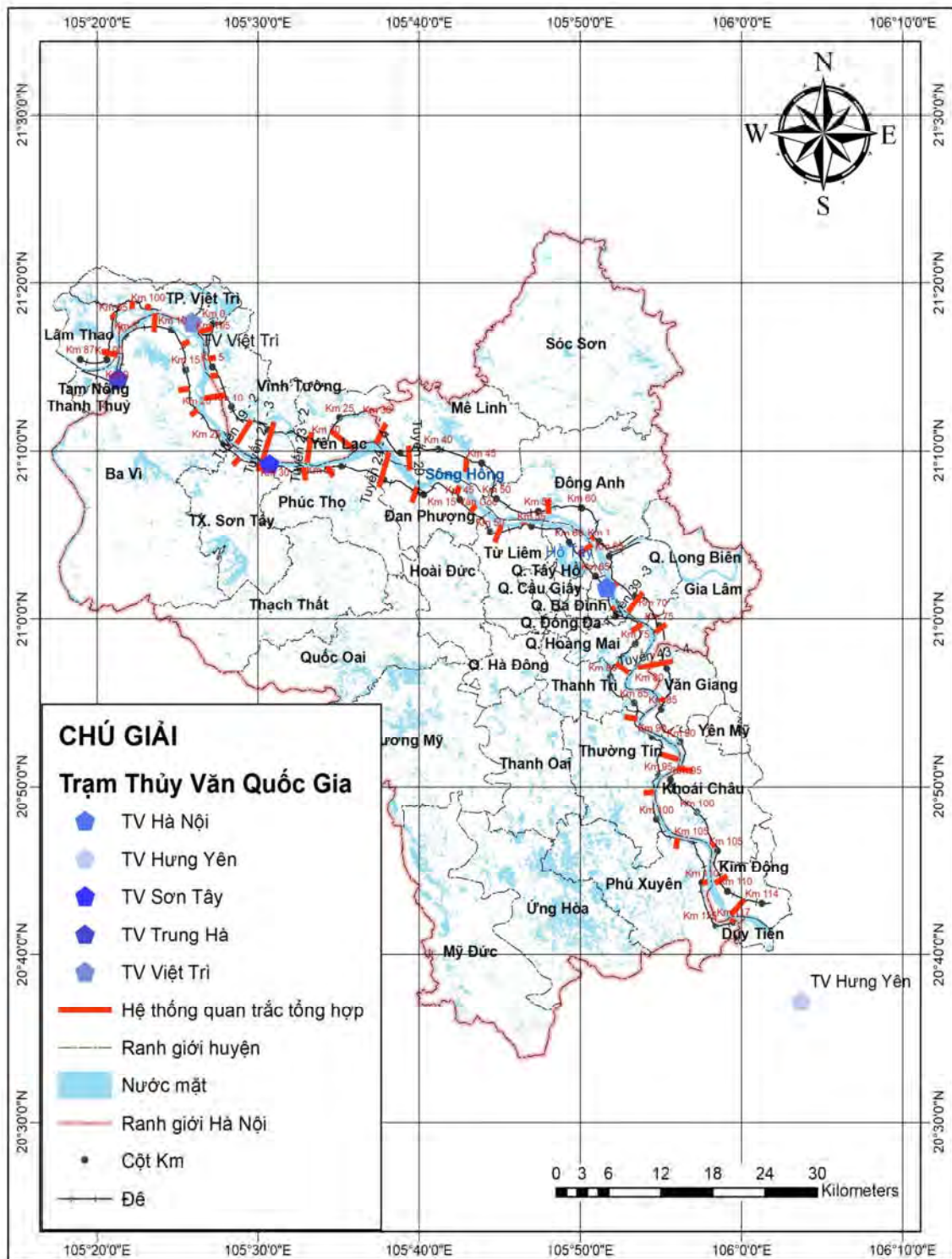
- Vị trí các điểm quan trắc: Được bố trí theo nguyên tắc của từng tai biến (được trình bày ở các mục trên)

- Tuyến quan trắc: 54 tuyến được trình bày trên Bảng 4.2 và Hình 4.9:

Bảng 4.2 Tên và vị trí các tuyến quan trắc tổng hợp

Tả Hồng		Hữu Hồng	
TT	Vị trí và tên tuyến quan trắc	TT	Vị trí và tên tuyến quan trắc
1	Tuyến 1 (T+NL)(Km90+500TT)	2	Tuyến 2 (X)(Km0+400HH)
3	Tuyến 3 (T+X)(Km95+300TT)	4	Tuyến 4 (X)(Km2+500HH)
5	Tuyến 5 (NL)(Km97+500TT)	6	Tuyến 6 (T+X)(Km8+200HH)
7	Tuyến 7 (T+X)(Km100TT)	8	Tuyến 8 (NL)(Km11+600HH)
9	Tuyến 9 (T+X)(Km105TT)	10	Tuyến 10 (T)(Km17+500HH)
11	Tuyến 11 (X+L)(Km0+500TH)	12	Tuyến 12 (T+X)(Km20HH)
13	Tuyến 13 (T+L)(Km4TH)	14	Tuyến 14 (X)(Km25+600HH)

15	Tuyến 15 (X)(Km6+100TH)	16	Tuyến 16 (T)(Km27HH)
17	Tuyến 17 (L+X)(Km9TH)	18	Tuyến 18 (T+X)(Km29+800HH)
19	Tuyến 19 (L+X)(Km12+200TH)	20	Tuyến 20 (T+X+NL+L) (Km25+300HH)
21	Tuyến 21 (L+T+X) (Km15+500TH)	22	Tuyến 22 (T+L)(Km3 Vân Cốc)
23	Tuyến 23 (T+X)(Km20TH)	24	Tuyến 24(T+X+NL+L) (Km10 Vân Cốc)
25	Tuyến 25 (X)(Km24+300TH)	26	Tuyến 26(T+X+L) (Km14+200 Vân Cốc)
27	Tuyến 27 (T+X+L)(Km31TH)	28	Tuyến 28 (X+L)(Km44+700HH)
29	Tuyến 29 (T+X+NL+L) (Km35+500TH)	30	Tuyến 30 (X+NL) (Km46+300HH)
31	Tuyến 31 (X+L)(Km44TH)	32	Tuyến 32 (T+X+L)(Km 52HH)
33	Tuyến 33 (T+X+NL+L)(Km56+200)	34	Tuyến 34 (X)(Km54+200HH)
35	Tuyến 35 (X)(Km64TH)	36	Tuyến 36 (X+NL)(Km61HH)
37	Tuyến 37 (NL)(Km67+200TH)	38	Tuyến 38 (X+NL) (Km69+300HH)
39	Tuyến 39 (T+X+L) (Km70+500TH)	40	Tuyến 40 (T+NL+L)(Km73HH)
41	Tuyến 41(T+X+NL) (Km75+300TH)	42	Tuyến 42 (X+L)(Km78HH)
43	Tuyến 43 (T+X+NL+L) (Km78+500TH)	44	Tuyến 44 (T+X+NL) (Km86+200)
45	Tuyến 45 (L+X)(Km84+700TH)	46	Tuyến 46 (T+L)(Km104HH)
47	Tuyến 47 (T+X+L)(Km94TH)	48	Tuyến 48 (T+L)(Km96HH)
49	Tuyến 49 (X)(Km104+500TH)	50	Tuyến 50 (T+L)(Km104HH)
51	Tuyến 51 (T+X+L)(Km108TH)	52	Tuyến 52 (X)(Km110HH)
53	Tuyến 53 (X+L)(Km112TH)	54	Tuyến 54 (X+L)(Km116HH)



Hình 4.9 Bản đồ hệ thống quan trắc tổng hợp (Tỷ lệ 1: 50 000)

Hệ thống quan trắc ĐKTMT tổng hợp được thiết lập với 54 tuyến trên toàn bộ phạm vi đới động sông Hồng Hà Nội, đảm bảo thu thập một cách toàn diện và đồng bộ các thông số đầu vào cho các mô hình tính toán dự báo nguy cơ tai biến và đảm bảo hoạt động ổn định của hệ thống kỹ thuật - tự nhiên đới động. Tuy nhiên, để thích ứng với nguồn lực kinh tế phục vụ phát triển thủ đô theo từng giai đoạn, hệ thống quan trắc sẽ chia thành những cấp sử dụng theo mức độ ưu tiên để đảm bảo tính khả thi khi áp dụng thực tế. Trên cơ sở đánh giá điều kiện ĐKTMT và phân vùng nguy cơ của 4 tai biến, đã cho thấy tai biến biến dạng thâm nền đê có mức độ rủi ro cao nhất khi xảy ra, điều này đã được minh chứng trong lịch sử (vỡ đê năm 1971 và 1986). Do vậy, các cấp phân chia đó được thực hiện theo nguyên tắc sau:

- + Cấp 1: Các tuyến quan trắc tại các vị trí giao thoa của 3 tai biến và 4 tai biến có xuất hiện tai biến thâm nền đê được đề xuất triển khai ở mức ưu tiên số 1.
- + Cấp 2: Các tuyến quan trắc tại các vị trí giao thoa của 2 tai biến, 3 tai biến và 4 tai biến có xuất hiện tai biến thâm nền đê được đề xuất triển khai ở mức ưu tiên số 2.
- + Cấp 3: Các tuyến quan trắc được đề xuất toàn bộ 54 tuyến của hệ thống tổng hợp ở mức ưu tiên số 3.

Trên cơ sở nguyên tắc phân chia trên, các vị trí tuyến quan trắc địa kỹ thuật môi trường đới động sông Hồng Hà Nội được trình bày trong Bảng 4.3

Bảng 4.3 Tuyến quan trắc theo từng cấp ưu tiên triển khai

TT	Cấp 1	TT	Cấp 2	Cấp 3
1	Tuyến 20 (T+X+NL+L) (Km25+300HH)	1	Tuyến 1 (T+NL) (Km90+500TT)	Toàn bộ 54 tuyến
2	Tuyến 21 (L+T+X) (Km15+500TH)	2	Tuyến 3 (T+X) (Km95+300TT)	
3	Tuyến 29 (T+X+NL+L) (Km35+500TH)	3	Tuyến 6 (T+X) (Km8+200HH)	
4	Tuyến 32 (T+X+L)(Km 52HH)	4	Tuyến 7 (T+X) (Km100TT)	
5	Tuyến 33 (T+X+NL+L)(Km56+200)	5	Tuyến 9 (T+X) (Km105TT)	
6	Tuyến 39 (T+X+L) (Km70+500TH)	6	Tuyến 12 (T+X) (Km20HH)	
7	Tuyến 40 (T+NL+L) (Km73HH)	7	Tuyến 13 (T+L) (Km4TH)	
8	Tuyến 41(T+X+NL) (Km75+300TH)	8	Tuyến 18 (T+X) (Km29+800HH)	

9	Tuyến 43 (T+X+NL+L) (Km78+500TH)	9	Tuyến 22 (T+L) (Km3 Vân Cốc)
10	Tuyến 44 (T+X+NL) (Km86+200)	10	Tuyến 23 (T+X) (Km20TH)
11	Tuyến 47 (T+X+L)(Km94TH)	11	Tuyến 46 (T+L) (Km104HH)
12	Tuyến 51 (T+X+L)(Km108TH)	12	Tuyến 48 (T+L) (Km96HH)
		13	Tuyến 50 (T+L) (Km104HH)
		14	Tuyến 20 (T+X+NL+L) (Km25+300HH)
		15	Tuyến 21 (L+T+X) (Km15+500TH)
		16	Tuyến 29 (T+X+NL+L) (Km35+500TH)
		17	Tuyến 32 (T+X+L)(Km 52HH)
		18	Tuyến 33 (T+X+NL+L)(Km56+200)
		19	Tuyến 39 (T+X+L) (Km70+500TH)
		20	Tuyến 40 (T+NL+L) (Km73HH)
		21	Tuyến 41(T+X+NL) (Km75+300TH)
		22	Tuyến 43 (T+X+NL+L) (Km78+500TH)
		23	Tuyến 44 (T+X+NL) (Km86+200)
		24	Tuyến 47 (T+X+L)(Km94TH)
		25	Tuyến 51 (T+X+L)(Km108TH)

#### **4.6.3. Thống số và chu kỳ quan trắc**

Các thông số quan trắc của hệ thống quan trắc tổng hợp đới động sông Hồng Hà Nội bao gồm 2 nhóm thông số:

- Thông số nền: các dữ liệu được tiến hành thu thập, giải đoán ảnh (vệ tinh, hàng không) và thị sát hiện trường hàng năm với tần suất 2 lần/ năm (1 lần vào mùa lũ và 1 lần vào mùa kiệt) trên toàn khu vực đới động trên bản đồ nền tỷ lệ 1: 50 000 bao gồm:
- + Thông số vị trí mới xuất hiện các tai biến.

+ Thông số biến động của của hệ thống kỹ thuật và các hoạt động khai thác kinh tế - xã hội của con người bao gồm: mật độ nhà cửa, cầu, cống, các công trình chỉnh trị dòng sông, kè bờ sông; nâng cấp hệ thống đê; khai thác cát; khoan giếng; đào bới tầng phủ chống thấm; các nguồn gây ô nhiễm (nếu có).

+ Thông số tác động từ môi trường xung quanh: lượng mưa, bão lũ, nhiệt độ và hạn hán.

- Thông số quan trắc địa kỹ thuật môi trường của yếu tố điều kiện và yếu tố tác động gây ra các tai biến, biến đổi theo chu kỳ thời gian được tiến hành đo trên các tuyến quan trắc tổng hợp, được trình bày cụ thể trong phụ lục Bảng 7.

#### **Kết luận chương 4**

- Cơ sở thiết lập hệ thống quan trắc đới động sông Hồng được đưa ra với đầy đủ cơ sở khoa học bao gồm: Mục tiêu, nguyên tắc, quy trình, tính toán điểm quan trắc, tính toán chu kỳ quan trắc, các thông số quan trắc, yêu cầu của hệ thống quan trắc, yêu cầu của thiết bị, các phương pháp quan trắc và yêu cầu về quản lý hệ thống quan trắc.

- Hệ thống quan trắc ĐKTMT phục vụ phòng chống tai biến và phát triển bền vững đới động sông Hồng khu vực Hà Nội là một phần trong Hệ thống quan trắc Quốc gia, trong đó có bổ sung một số tuyến quan trắc địa kỹ thuật và quan trắc thủy văn.

- Đề xuất mục đích nội dung quan trắc địa kỹ thuật môi trường theo quan điểm lý thuyết hệ thống kỹ thuật - Tự nhiên làm cơ sở cho việc hoàn thiện đánh giá điều kiện địa kỹ thuật môi trường.

- Lần đầu tiên đã thiết lập hệ thống quan trắc tổng hợp phòng chống tai biến và phát triển bền vững đới động sông Hồng Hà Nội trên cơ sở tích hợp 4 hệ thống quan trắc tai biến với nguyên tắc, tuyến quan trắc tổng hợp được thiết lập tại các vị trí giao thoa của các tai biến bao gồm: Vị trí giao thoa của 4 tai biến, giao thoa của 3 tai biến, giao thoa của 2 tai biến và vị trí 1 tai biến, bao gồm: 54 tuyến quan trắc tổng hợp. Hệ thống quan trắc được chia thành những cấp sử dụng theo mức độ ưu tiên để đảm bảo tính khả thi khi áp dụng thực tế gồm 3 cấp: Cấp 1 (12 tuyến) triển khai ở mức ưu tiên số 1; Cấp 2 (25 tuyến) triển khai ở mức ưu tiên số 2; Cấp 3 (54 tuyến) triển khai ở mức ưu tiên số 3.

## KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

### 1. Các kết quả đạt được của Luận án:

- Một hướng nghiên cứu mới địa kỹ thuật môi trường và đánh giá điều kiện địa kỹ thuật môi trường theo quan điểm lý thuyết hệ thống kỹ thuật - Tự nhiên có nền tảng là lý thuyết hệ thống đã được luận án tiếp cận nghiên cứu trên một phạm vi có diện tích rộng, toàn diện và lâu dài các nguy cơ tai biến, qua đó kiểm soát sự biến đổi bảo đảm cho sự phát triển bền vững lãnh thổ. Đây là quan điểm khác biệt với các quan điểm truyền thống về địa kỹ thuật môi trường.

- Nghiên cứu điều kiện tự nhiên khu vực đới động Sông Hồng cho mục đích khai thác sử dụng hiệu quả và bảo đảm phát triển bền vững thì đánh giá điều kiện Địa kỹ thuật môi trường đới động sông Hồng theo quan điểm lý thuyết hệ thống kỹ thuật - Tự nhiên sẽ cho kết quả toàn diện, đầy đủ nhất đáp ứng các yêu cầu của đánh giá khai thác bền vững lãnh thổ.

- Điều kiện địa kỹ thuật môi trường đới động sông Hồng theo quan điểm lý thuyết hệ thống kỹ thuật - Tự nhiên có những đặc trưng cơ bản sau:

+ Phụ hệ thống môi trường địa chất có và sự phân bố phổ biến các thành tạo cát pha Holocen trên, chúng liên tục biến đổi theo các chu kỳ dòng chảy sông Hồng.

+ Phụ hệ thống kỹ thuật với đặc trưng cơ bản là sự tồn tại không đổi của hệ thống đê.

+ Phụ hệ thống môi trường xung quanh có đặc trưng là dòng chảy theo thời gian biến đổi theo chu kỳ mùa (mùa lũ và mùa kiệt).

- Các tai biến ĐKTMT rất đa dạng. Trong đó, đáng chú ý nhất tới 4 tai biến quan trọng nhất, quyết định đến sự phát triển bền vững của hệ thống KTTN đới động đó là: (1) Biến dạng thấm nền đê, (2) Xói lở bờ sông, (3) Ngập lụt ngoài bãi sông và (4) Lún nền đê do tải trọng tự thân. Nguy cơ các tai biến này khác nhau trên các diện tích khác nhau, tất cả được chỉ ra trên các bản đồ phân vùng đánh giá dự báo nguy cơ tai biến.

- Cơ sở để đánh giá các tương tác trong hệ thống kỹ thuật tự nhiên để xem xét tai biến là các số liệu quan trắc có được từ hệ thống quan trắc địa kỹ thuật môi trường. Mỗi một hệ thống kỹ thuật - Tự nhiên có một hệ thống quan trắc xác định.



- Hệ thống quan trắc địa kỹ thuật môi trường đới động sông Hồng theo quan điểm lý thuyết hệ thống kỹ thuật - Tự nhiên là tập hợp các quan trắc dòng chảy, chuyển vị biến dạng phụ hệ thống kỹ thuật và xói lở bồi lắng thay đổi mặt cắt dòng chảy.

- Hệ thống quan trắc địa kỹ thuật môi trường đới động sông Hồng được thiết lập gồm 54 tuyến với đầy đủ cơ sở (Mục tiêu, nguyên tắc, quy trình, tính toán điểm quan trắc, tính toán chu kỳ quan trắc, các thông số quan trắc, yêu cầu của hệ thống quan trắc, yêu cầu của thiết bị, các phương pháp quan trắc và yêu cầu về quản lý hệ thống quan trắc) cùng với các bản đồ đánh giá dự báo nguy cơ tai biến, các bản đồ phân tích thành phần tương ứng.

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

- Điều kiện địa kỹ thuật môi trường đới động sông Hồng khu vực Hà Nội biến đổi theo không gian và thời gian được phân tích đánh giá hoàn chỉnh trên cơ sở của lý thuyết hệ thống kỹ thuật - tự nhiên.

- Hệ thống các bản đồ phân vùng đánh giá nguy cơ tai biến đới động sông Hồng được xây dựng trên cơ sở phân tích đầy đủ các yếu tố điều kiện, nguyên nhân gây tai biến và được phân chia theo các mức độ nguy cơ khác nhau.

- Hệ thống quan trắc địa kỹ thuật môi trường tổng hợp được thiết lập trên cơ sở tích hợp 4 bản đồ phân vùng nguy cơ tai biến và các bản đồ thành phần tương ứng với đầy đủ cơ sở khoa học, thực tiễn phục vụ dự báo, phòng chống tai biến và phát triển bền vững đới động sông Hồng khu vực Hà Nội.

## **3. Những tồn tại và hướng nghiên cứu tiếp theo**

Kết quả đánh giá điều kiện địa kỹ thuật môi trường đới động đới động chưa đề cập sâu đến sự thay đổi của phụ hệ thống kỹ thuật thay đổi như sự thay đổi kết cấu hệ thống đê, các dự án vây dựng khu dân cư, hệ thống giao thông thủy, đặc biệt chưa có sơ liệu quan trắc của hệ thống quan trắc địa kỹ thuật môi trường. Do đó, trên cơ sở các kết quả nghiên cứu của luận án sẽ có những hướng nghiên cứu tiếp theo là Đánh giá điều kiện địa kỹ thuật môi trường đới động sông Hồng khi thay đổi vị trí tuyến và kết cấu hệ thống đê dựa trên các số liệu quan trắc địa kỹ thuật môi trường cho mục đích khai thác và sử dụng dòng chảy trong giao thông thủy, khai thác cát và các công trình dân dụng.

#### **4. Kiến nghị:**

- Kết quả nghiên cứu của luận án là nguồn tài liệu tham khảo tốt và là cơ sở khoa học cho việc quy hoạch và khai thác sử dụng hợp lý đới động sông Hồng Hà Nội.
- Hệ thống quan trắc tổng hợp tai biến ĐKTMT đới động sông Hồng khu vực Hà Nội được Luận án đề xuất có đầy đủ cơ sở khoa học và thực tiễn sớm được triển khai cho Hà Nội theo từng cấp ưu tiên triển khai.
- Thay đổi kết cấu, cấu tạo thân đê và vị trí tuyến đê hệ thống đê sẽ giảm thiểu nguy cơ tai biến, tăng quỹ đất phục vụ xây dựng công trình, nâng cao hiệu quả sử dụng nguồn nước cho tưới tiêu sinh hoạt, ổn định dòng chảy cho giao thông thủy.

#### **DANH MỤC CÔNG TRÌNH ĐÃ CÔNG BỐ**

1. Nguyễn Công Kiên, "Scientific basis for setting up a monitoring network for geotechnical environment for disaster prevention and sustainable development of Red River Dynamic zone in Hanoi", Proceeding of the 4<sup>th</sup> International Conference VietGeo 2018, Quảng Bình, 21-22 September, 2018 (ISBN: 978-604-67-1141-4).
2. Nguyễn Công Kiên, "Đặc điểm, trạng thái hệ thống Địa kỹ thuật Đới động sông Hồng khu vực Hà Nội," Tạp chí Khoa học công nghệ Xây dựng, vol. 1, 2019.
3. Nguyễn Công Kiên, "Đánh giá nguy cơ biến dạng thấm ở nền đê khu vực Đới động sông Hồng Hà Nội," Tạp chí Khoa học công nghệ Xây dựng, vol. 4, 2020.
4. Nguyễn Công Kiên, Đinh Quốc Dân, "Cơ sở khoa học xây dựng hệ thống quan trắc, giám sát các tai biến địa kỹ thuật môi trường đới động sông Hồng khu vực Hà Nội", Tạp chí Khoa học công nghệ Xây dựng, vol 4, năm 2021.

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Đặng Văn Bát, “Địa chất đệ tứ - Tân kiến tạo chuyển động kiến tạo hiện đại Việt Nam”. Bài giảng cao học - Trường ĐH Mỏ Địa Chất, 1998.
- [2] Báo cáo Quy hoạch chung xây dựng Thủ đô Hà Nội đến 2030 tầm nhìn 2050, Viện Quy hoạch Đô thị và Nông thôn quốc gia.
- [3] Nguyễn Văn Đản, “Báo cáo kết quả nghiên cứu ĐCTV vùng Hà Nội”, năm 2004.
- [4] Nguyễn Văn Đản, Nguyễn Minh Luân “Nghiên cứu mối quan hệ giữa nước sông và nước dưới đất, đề xuất hệ phương pháp xác định trữ lượng khai thác nước dưới đất vùng ven sông Hồng từ thị xã Sơn Tây đến Hưng Yên”, Bộ Tài nguyên và Môi trường, 2014.
- [5] Phan Kiều Diễm, "Đánh giá tình hình sạt lở, bồi tụ khu vực ven biển tỉnh Cà Mau và Bạc Liêu từ 1995-2010 sử dụng viễn thám và công nghệ GIS," Tạp chí Khoa học Trường Đại học Cần Thơ, vol. 26, pp. 35-43, 2013.
- [6] Đỗ Minh Đức, Phạm Văn Ty, Đỗ Minh Toàn, Bài giảng: Cơ sở Địa chất công trình, Trường Đại học Khoa học Tự nhiên- Đại học Quốc Gia Hà Nội, 2017.
- [7] Nguyễn Đăng Giáp, "Tác động của hệ thống hồ chứa thượng nguồn đến sự biến đổi chế độ thủy văn, thủy lực và lòng dẫn hạ du," Tạp chí Khoa học và Công nghệ Thủy lợi, vol. 36, 2016.
- [8] Nguyễn Đăng Giáp, “Tác động của hệ thống hồ chứa thượng nguồn đến sự biến đổi chế độ thủy văn và lòng dẫn hạ du”, Tạp chí khoa học và công nghệ Thủy Lợi số 32 - 2016.
- [9] Hà Quang Hà; Nguyễn Ngọc Tuyền, "Xói Mòn Bờ Biển Cần Giờ, Thành Phố Hồ Chí Minh Trong Điều Kiện Biến Đổi Khí Hậu Toàn Cầu," Tạp chí Phát triển KH&CN, Vols. 14, no. M4, pp. 17-28, 2011.
- [10] Nguyễn Thị Vĩnh Hà, “Đánh giá rủi ro tai biến trượt lở về người và tài sản tại thị xã Bắc Kạn”, Tạp chí Khoa học ĐHQGHN, Kinh tế và Kinh doanh, Tập 30, Số 1 (2014) 26-35.

- [11] Đoàn Huy Hiên, Trần Mạnh Liễu, “Sử dụng khái niệm Entropy đánh giá tính bất đồng nhất của hệ địa kỹ thuật”, Tạp chí Khoa học Công nghệ xây dựng, số 3/2004.
- [12] Nguyễn Đình Hòe; Vũ Văn Hiếu, “Tiếp cận hệ thống trong môi trường và phát triển,” Đại học Quốc Gia Hà Nội, 2007.
- [13] Nguyễn Hữu Hùng, Bài giảng về lý thuyết hệ thống và ứng dụng trong thông tin, Hà Nội: Đại học Quốc Gia, 2012.
- [14] Diêm Công Huy, “Giáo trình quan trắc công trình xây dựng bằng phương pháp phi trắc địa”, Viện KHCN Xây dựng, 2013.
- [15] Nguyễn Thị Vĩnh Hà, “Đánh giá rủi ro tai biến trượt lở về người và tài sản tại thị xã Bắc Cạn”, Tạp chí Khoa học ĐHQGHN, Kinh tế và Kinh doanh, tập 30, số 1, 2014, trg 26-35.
- [16] Nguyễn Công Kiên, “Đặc điểm, trạng thái hệ thống Địa kỹ thuật Đới động sông Hồng khu vực Hà Nội”, Tạp chí Khoa học công nghệ Xây dựng, vol. 1, 2019.
- [17] Nguyễn Công Kiên, "Đánh giá nguy cơ biến dạng thắm ở nền đê khu vực Đới động sông Hồng Hà Nội," Tạp chí Khoa học công nghệ Xây dựng, vol. 4, 2020.
- [18] Nguyễn Công Kiên, Đinh Quốc Dân, “Cơ sở khoa học xây dựng hệ thống quan trắc, giám sát các tai biến địa kỹ thuật môi trường đới động sông Hồng khu vực Hà Nội”, Tạp chí Khoa học công nghệ Xây dựng, vol 4, năm 2021.
- [19] Hoàng Ngọc Kỳ và những khác, “Báo cáo địa chất và khoáng sản Từ Hà Nội tỷ lệ 1: 200.000” (Lưu trữ địa chất, Viện TTLT và BT Địa chất), 1973 Hà Nội.
- [20] Hoàng Ngọc Kỳ và nnk, “Báo cáo địa chất và khoáng sản từ Hà Nội tỷ lệ 1:200.000, Lưu trữ địa chất, Viện TTLT và BT Địa chất, Hà Nội 1973.
- [21] Trần Mạnh Liễu, "Một số cơ sở nghiên cứu đánh giá các quá trình địa cơ và thủy địa cơ phát triển trong hệ thống địa kỹ thuật đê sông (HĐKTĐS) đồng bằng Bắc bộ," Tạp chí Khoa học Công nghệ Xây dựng số 4, 2005.
- [22] Trần Mạnh Liễu, "Sơ đồ thủy địa cơ học vùng ven đê Vân Cốc ngoài và đánh giá ổn định của tuyến đê," Viện Địa Chất, Viện Khoa học Công nghệ Việt Nam, Hà Nội, 1987.

- [23] Trần Mạnh Liễu, “Báo cáo về nút đê Nghi Tàm K62+680 – K62+880”, Viện Địa chất - Viện KHVN, 1995.
- [24] Trần Mạnh Liễu, Đoàn Thế Tường, “Địa Kỹ thuật môi trường (đối tượng, mục tiêu, nội dung và phương pháp nghiên cứu)”, *tạp chí Địa kỹ thuật* (1), 2000.
- [25] Trần Mạnh Liễu, “Đặc điểm thông tin địa chất và khả năng sử dụng các mô hình sắc xuất trong nghiên cứu địa chất”, *Tạp chí khoa học công nghệ xây dựng*, số 2 năm 2007.
- [26] Trần Mạnh Liễu, “Một vài phương pháp đánh giá định tính và định lượng vai trò của các yếu tố hình thành và phát triển tai biến địa chất”, *Trung tâm Nghiên cứu đô thị - ĐHQGHN*, 2013.
- [27] Trần Mạnh Liễu, “Nghiên cứu định hướng quy hoạch và khai thác sử dụng không gian ngầm đô thị Hà Nội”, *Sở Khoa học và công nghệ Hà Nội*, 2013.
- [28] Trần Mạnh Liễu, “Phương pháp phân vùng dự báo khả năng phát triển tai biến địa chất theo chỉ tiêu tích hợp các yếu tố phát triển tai biến”, *Tạp chí xây dựng* số 9 năm 2007.
- [29] Trần Mạnh Liễu, “Cơ sở lý thuyết và phương pháp luận monitoring hệ thống địa kỹ thuật đô thị”, *Luận án TSKH, Matxcova*, 1998.
- [30] Trần Mạnh Liễu, Nguyễn Công Kiên, “Chuẩn hóa các kết quả nghiên cứu về Địa kỹ thuật - Môi trường thành phố Hà Nội phục vụ công tác quản lý tài nguyên, quy hoạch, xây dựng và sử dụng đất hiệu quả, bền vững”, *Sở Khoa học và công nghệ Hà Nội*, 2017.
- [31] Trần Mạnh Liễu, Nguyễn Thị Khang, Hoàng Đình Thiện, Bùi Bảo Trung, Lê Thị Thủy, “Nghiên cứu đánh giá rủi ro và dự báo nguy cơ trượt lở tại thị xã Bắc Kạn”, *Báo cáo cho Chương trình tăng cường năng lực giảm thiểu và thích ứng với địa tai biến liên quan tới môi trường và phát triển năng lượng ở Việt Nam*, 2011.
- [32] V.Đ Lômтаdze, *Thạch luận công trình- Tập I; Địa chất công trình- tập II*, Hà Nội: Nhà xuất bản đại học và trung học chuyên nghiệp (Bản dịch tiếng Việt), 1979.

- [33] Vũ Cao Minh và nnk, “Các đánh giá bước đầu về nguyên nhân gây sự cố vỡ đê Vân Cốc. Lưu trữ Viện các khoa học về Trái đất, Hà Nội 1986.
- [34] V.A. Mironenko và V.M Sextakov, “*Cơ sở thủy địa cơ (bản dịch)*”, Nhà xuất bản khoa học kỹ thuật, Hà Nội, 1982.
- [35] Trần Nghi, Ngô Quang Toàn, “Đặc điểm các chu kỳ trầm tích và lịch sử tiến hoá địa chất đệ tứ đồng bằng Sông Hồng”. Lưu trữ Cục Địa chất, số 206-207, Hà Nội 1991.
- [36] Lê Thị Nghinh, Nguyễn Trọng Yên, “Các thời kỳ trầm tích Kainozoi đời Sông Hồng”, Tạp chí Địa chất, 202 - 203: 42-43. Hà Nội 1991.
- [37] Vũ Văn Phái, Đào Đình Bắc và Ngô Quang Toàn, “Địa chất, địa mạo và tài nguyên liên quan”, Nhà xuất bản Hà Nội, 2011.
- [38] Nguyễn Huy Phương, "Thu thập kiểm chứng các tài liệu đã có, nghiên cứu bổ sung lập bản đồ phân vùng đất yếu Hà Nội phục vụ phát triển bền vững thủ đô," Sở khoa học và công nghệ Hà Nội, 2006.
- [39] Nguyễn Huy Phương, Nghiên cứu cơ sở khoa học đánh giá và dự báo các quá trình địa chất động lực (các ẩn họa và sự cố) tiềm ẩn trên những vùng xung yếu trọng điểm của Hà Nội và định hướng phòng ngừa, đối phó và xử lý chúng, Báo cáo đề tài nghiên cứu khoa học mã số: BS-ĐL/05-2004-2, Hà Nội 2005.
- [40] Quy chuẩn kỹ thuật Quốc gia về lập bản đồ địa chất khoáng sản tỷ lệ 1: 50.000 phần đất liền”, mã số QCVN 49: 2012/BTNMT do Bộ TN&MT ban hành theo Thông tư 23/2012/TT-BTNMT ngày 28 tháng 12 năm 2012 (Có hiệu lực từ ngày 05 tháng 3 năm 2013).
- [41] Nguyễn Ngọc Quỳnh; Đặng Hoàng Thanh, "Vấn đề dự báo diễn biến lòng dẫn sông Hồng khi xét đến khai thác cát trên lòng sông," Tạp chí Khoa học và công nghệ Thủy lợi, vol. 39, 2017.
- [42] Nguyễn Ngọc Quỳnh, “Báo cáo các vấn đề khoa học về nghiên cứu tác động/giảm thiểu tác động của thiên tai - Nhân tai - BĐKH trên lưu vực sông Hồng, Thái Bình”, Viện Khoa học thủy lợi Việt Nam, 2018.

- [43] Chu Đình Sơn, "Nghiên cứu xu thế biến đổi lòng dẫn sông Hồng giai đoạn 2020-2050 và đề xuất các giải pháp ổn định lòng dẫn," in Luận văn thạc sỹ, Hà Nội, Đại học Thủy Lợi, chuyên ngành: Xây dựng công trình thủy, 2014.
- [44] Nguyễn Thanh Sơn, Đào Quý Phương, "Đo đạc và chỉnh lý số liệu thủy văn", Nhà xuất bản Giáo dục Hà Nội, 2003.
- [45] Tạ Đức Thịnh, Nguyễn Huy Phương, "Cơ học đất", Nhà xuất bản Xây dựng. Hà Nội 2002.
- [46] Đào Văn Thịnh và nnk, "Báo cáo tổng kết đề tài Điều tra, nghiên cứu một số dạng tai biến địa chất trên địa bàn Thành phố Hà Nội". Lưu trữ Sở Khoa học công nghệ TP. Hà Nội 2011.
- [47] Đào Văn Thịnh, "Nghiên cứu bổ sung hoàn thiện bản đồ địa chất - khoáng sản tỷ lệ 1:50.000 Thành phố Hà Nội phục vụ quy hoạch đô thị và phát triển bền vững," Sở khoa học và công nghệ Hà Nội, 2015.
- [48] Ngô Quang Toàn (Chủ biên), "Vỏ phong hoá và trầm tích Đệ tứ Việt Nam", Cục Địa chất và Khoáng sản Việt Nam, Hà Nội 2000.
- [49] Ngô Quang Toàn, "Sự biến đổi địa chất giai đoạn Pleistocen đầu Holocen qua nghiên cứu trầm tích Đệ Tứ vùng Hà Nội", Tạp chí Khảo cổ học. Hà Nội 1992.
- [50] Ngô Quang Toàn, Vỏ phong hóa và trầm tích đệ tứ Việt Nam, Liên đoàn bản đồ địa chất miền Bắc, 2000.
- [51] Tạ Đức Thịnh, Nguyễn Huy Phương, *Cơ học đất*, Nhà xuất bản Xây dựng. Hà Nội, (2002).
- [52] Trần Tư; Trần Mạnh Liễu, "Độ bền vững của lớp đất tầng phủ hạ lưu đê chống bực đất ở đê Hà Nội," Tạp chí Thủy lợi, 1988.
- [53] Trần Văn Tư và ngk, "Đánh giá biến dạng bề mặt đất và công trình do hoạt động tự nhiên và kinh tế khu vực Tp Hà Đông và lân cận". Sở Khoa học công nghệ Hà Nội 2009.
- [54] Trần Văn Tư, "Nghiên cứu đánh giá điều kiện địa chất công trình và dự báo khả năng xuất hiện các sự cố dọc tuyến đê sông Hồng thuộc địa phận Hà Nội," Sở khoa học và Công nghệ Hà Nội, 2011.

- [55] Trần Văn Tư, “Nghiên cứu dự báo khả năng sụt lún mặt đất các đô thị vệ tinh thành phố Hà”, Sở Khoa học và công nghệ Hà Nội, 2016.
- [56] Trần Văn Tư, Trần Mạnh Liễu, Đặng Quang Tính, “Độ bền vững của lớp đất tầng phủ hạ lưu đê chống lại sự bực đất ở đê Hà Nội”. Tập san Thủy lợi, No 9, 40, Hà Nội 1988.
- [57] Đặng Quốc Tuấn, Phạm Quang Tú, “Nguy cơ tràn đê sông Hồng trong bối cảnh biến đổi khí hậu”, Tạp chí Thủy Lợi Môi trường. Nhà xuất bản xây dựng, Hà Nội 2017.
- [58] Đoàn Thế Tường, “Phân vùng ĐCCT phục vụ xây dựng công trình ngầm Tp. Hà Nội. Tạp chí Khoa học Công nghệ Xây dựng”, số 2/1999.
- [59] Đoàn Thế Tường; Trần Mạnh Liễu; Nguyễn Công Kiên, "Luận chứng cơ sở khoa học và thiết lập hệ thống quan trắc địa kỹ thuật môi trường cho khu vực đới động ven sông Hồng trên địa bàn Hà Nội," Sở khoa học và công nghệ Hà Nội, Hà Nội, 2009.
- [60] Đoàn Thế Tường; Trần Mạnh Liễu; Nguyễn Công Kiên, "Nghiên cứu đánh giá điều kiện địa kỹ thuật môi trường và kiến nghị phương hướng quy hoạch sử dụng đất hợp lý cho khu vực đới sông ven sông Hồng trong phạm vi Hà Nội," Sở khoa học và công nghệ Hà Nội, Hà Nội, 2006.
- [61] Phạm Văn Ty, “Cơ sở lý thuyết phương pháp hệ nghiên cứu địa chất ngành công trình”, Bài giảng cho sinh viên cao học, Trường Đại học Mỏ - Địa chất, Hà Nội, 2004.
- [62] Nguyễn Ngọc Thủy, “Nghiên cứu bổ sung và hoàn chỉnh bản đồ phân vùng nhỏ động đất thành phố Hà Nội mở rộng tỷ lệ 1:25.000, lập cơ sở dữ liệu về đặc trưng dao động nền đất ở Hà Nội ứng với bản đồ trên”, Báo cáo đề tài nghiên cứu khoa học, Viện Vật lý địa cầu - Viện KH CN Việt Nam, Hà Nội, (2005).
- [63] Vũ Tất Uyên và nnk, “Nghiên cứu bảo vệ đê điều và quá trình biến đổi lòng dẫn và các biện pháp chỉnh trị sông khi có công trình thủy điện Hoà Bình. Viện Nghiên cứu KH Thủy lợi, Hà Nội 1990.



- [64] Tô Xuân Vu, "Nghiên cứu đánh giá ảnh hưởng đặc tính biến dạng thấm của một số trầm tích đến ổn định nền đê (Lấy ví dụ một đoạn đê sông Hồng)," Luận án tiến sĩ địa chất, Hà Nội, Trường Đại học Mỏ địa chất, 2002.
- [65] Nguyễn Văn Vũ, "Nghiên cứu đánh giá và dự báo tai biến địa chất - Địa kỹ thuật môi trường đô thị, áp dụng cho thành phố Hà Nội," in Luận án tiến sĩ địa chất học, Hà Nội, Đại học Khoa học Tự nhiên, 2021.
- [66] R. Whitlow, "Cơ học đất", Nhà xuất bản giáo dục, Hà Nội, 1996.
- [67] Xoigu S. K. Osipova V. I, "Những tai biến thiên nhiên ở Nga", (Tập 1, 2, 3, 4, 5, 6), Nxb firma "KPYK", Moskva 2003.
- [68] Phạm Tích Xuân, "Tai biến sạt lở bờ sông khu vực hợp lưu các sông Thao-Đà-Lô," Tạp chí Các khoa học về trái đất, vol. 3, pp. 18-24, 2012.
- [69] Nguyễn Đình Xuyên và nnk, *Hoàn chỉnh bản đồ phân vùng động đất Hà Nội tỷ lệ 1:25.000*, Báo cáo đề tài nghiên cứu khoa học, Chương trình 01-36, Hà Nội, (1996).
- [70] Nguyễn Trọng Yên, "Nghiên cứu thành lập bản đồ tai biến thiên nhiên trên lãnh thổ Việt Nam tỷ lệ 1:50.000", Viện Địa chất, Viện Hàn lâm KH&CN Việt Nam, 2006.

#### **Tài liệu tiếng Anh**

- [71] Burton and Smith K, et al, "Environmental Hazards: Assessing Risk and Reducing Disaster". London, United Kingdom. Routledge 1996.
- [72] Charles D. Shackelford Colorado State University "Environmental issues in geotechnical engineering", September 2005.
- [73] Commission on Geo-Science Environment & Resources of the US National Research Council, *Reducing Disaster Losses Through Better Information*. Washington DC, USA, National Academy Press, (1999).
- [74] Dodman D. et al (2013), *Understanding the Nature and Scale of Urban Risk in Low- and Middle-income Countries and Its Implications for Humanitarian Preparedness, Planning and Response*, London: IIED, 2013.
- [75] Jefferson PhD, D. V. L. Hunt PhD, C. A. Birchall MSc and C. D. F. Rogers PhD, CEng, MICE, MIHT, "Sustainability indicators for environmental

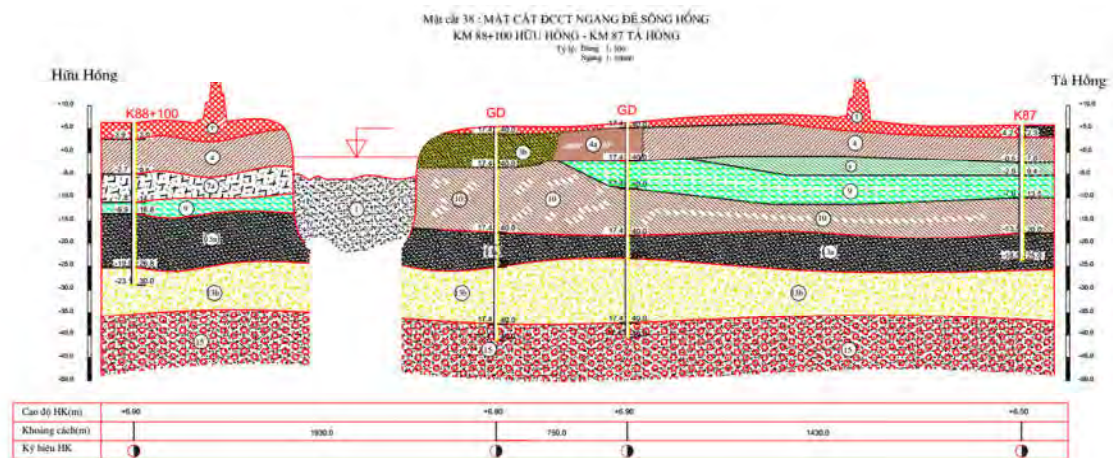
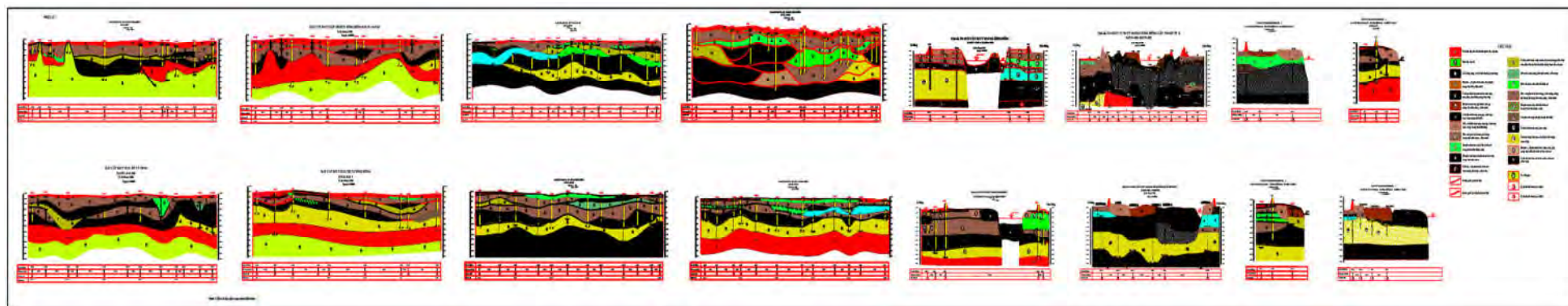
geotechnics”, Proceedings of the Institution of Civil Engineers Engineering Sustainability 160, June 2007, Issue ES2, Pages 57–78.

- [76] Koichi Izumi, Masaki Matsudaira, Tsutomu Nagashige, “River Monitoring System”, October 2014/Issue 224 Vol.81 No.2.
- [77] L. Bertalanffy, General system theory: Foundations, development applications, New York: Geroge Braziller, 1968.
- [78] Nguyen Cong Kien, "Scientific basis for setting up a monitoring network for geotechnical environment for disaster prevention and sustainable development of Red River Dynamic zone in Hanoi," Proceeding of the 4th International Conference VietGeo 2018, Quảng Bình, 21-22 September, 2018.
- [79] Paul M. Johnston, Brendan C.O’Kenly, “Importance of environmental geotechnics”, Journal of Environmental Geotechnics, January 2014.

#### **Tài liệu tiếng Nga**

- [80] Бондарих Г. К (1981), *Общая теория инженерной геологии*, М. Недра.
- [81] Бондарик Г. К. (1993), *Социально экологическая проблема и инженерная геология*. Геоэкология.
- [82] Бондарик Г. К. (2004), *Экологическая проблема и природно технические системы*. Москва.

## PHỤ LỤC



Hình 1 Mặt cắt ngang sông điển hình



Bảng 1 Cột địa tầng Đới động sông Hồng Hà Nội

Hệ tầng	Tuổi	Phụ hệ tầng	Nguồn gốc	Phân vị địa tầng	Thành phần vật chất	Lớp ĐCCT-ĐKT	Mô tả
Đất lấp và bùn đáy ao hồ hiện đại	Hiện đại				Vật liệu đất, đá, mùn hữu cơ lẫn lộn	T	Đất lấp thành phần hỗn tạp, dày phổ biến 1 - 5,8m
						Ta	Bùn đáy ao hồ, dày 1-3m
Thái Bình	Holocen trên	Phụ hệ tầng trên (phần giữa hai con đê)	Trầm tích sông	$aQ_2^3tb_2$	Cát, Sét	1	Cát lòng sông, bãi bồi di động ven sông, trạng thái rời xốp, dày 10 - 15m, có chỗ dày 20m (Cầu Nhật Tân)
						2a	Sét pha, cát pha màu nâu hồng trạng thái dẻo, dẻo mềm, chiều dày từ 2 - 4m,, cá biệt có chỗ dày đến 10m tại (Km 49 + 250)
						2b	Cát hạt nhỏ, hạt mịn màu xám nâu, nâu gụ nâu hồng trạng thái xốp, dày từ 3,5 - 17m, bãi bồi thấp (Bãi bồi M3)
						3a	Sét pha, màu nâu gụ, nâu xám, trạng thái dẻo cứng, dẻo mềm, dày từ 3 - 5m, cá biệt lên đến 12m tại Km 69 +200 Tả Hồng. Phân bố ở bãi bồi trung (Bãi bồi M4)
						3b	Cát pha màu nâu, xám nâu, xám vàng, trạng thái xốp, chặt vừa, dày từ 1 - 7m biến đổi phức tạp, phân bố ở bãi bồi trung (Bãi bồi M4)

						4a	Sét, sét pha màu nâu gụ, nâu xám, nâu vàng, trạng thái dẻo cứng, dày từ 5 - 7m, phân bố bãi bồi cao (Bãi bồi M5)
		Phụ hệ tầng dưới	Trầm tích sông	$aQ_2^3tb_1$	Cát, Sét	4	Sét, sét pha màu nâu vàng, trạng thái dẻo cứng, dẻo mềm, dày 5 - 20m phân bố rộng rãi phía trong đồng và dưới nền đê, đóng vai trò như sân phủ chống thấm phía hạ lưu đê.
			Trầm tích hồ đầm lầy	$lbQ_2^3tb_1$		5	Sét pha màu nâu xám, trạng thái dẻo chảy lẫn ít hữu cơ, dày 6 - 12m
			Trầm tích sông	$aQ_2^3tb_1$	Cát, Sét pha	6	Sét pha xen kẹp cát pha màu nâu xám, trạng thái dẻo mềm, dày 0,2 - 26m
						7a	Cát bụi, cát mịn, màu xám, xám nâu, trạng thái xốp, chặt vừa, dày từ 4 - 7m
						7b	Cát hạt nhỏ, hạt mịn, màu xám xanh, trạng thái chặt vừa, dày 0,6 - 32,5m
Hệ tầng Hải Hưng	Holocen dưới - giữa	Phụ hệ tầng giữa	Trầm tích biển	$mQ_2^1-^2hh_2$	Sét, sét pha, bùn sét	8	Sét màu xám xanh, trạng thái dẻo mềm - dẻo cứng, dày 0.5 - 4m
		Phụ hệ tầng dưới	Trầm tích hồ đầm lầy	$lbQ_2^1-^2hh_1$		9	Bùn sét màu xám đen lẫn hữu cơ, dày 2 - 20m
Hệ tầng Vĩnh Phúc	Pleistocen trên	Phụ hệ tầng trên	Trầm tích sông	$aQ_1^3vp_3$		10	Sét, sét pha màu nâu vàng, xám trắng, loang lổ, có lẫn kết von, trạng thái nửa cứng, dẻo cứng, dày 8 - 18m
		Phụ hệ tầng	Trầm tích	$lbQ_1^3vp_2$	11	Sét pha màu xám đen lẫn hữu cơ,	

		giữa	hồ, đầm lầy				trạng thái dẻo chảy, chảy, dày 1,6 - 8m
		Phụ hệ tầng dưới	Trầm tích sông	$aQ_1^{3vp_1}$	Cát, cát pha	12	Cát pha xen kẹp sét pha, màu xám vàng, trạng thái dẻo, dày 3,4 - 7,3m
	13a					Cát hạt nhỏ màu nâu vàng, dày 3,3 - 10,3m	
	13b					Cát hạt trung lẫn sạn, sỏi màu xám vàng, xám trắng, dày 8 - 15 m	
Hệ tầng Hà Nội	Pleistocen giữa - trên	Không phân chia	Trầm tích sông, lũ	$apQ_1^{2-3hn}$	Cát pha, cuội sỏi	14	Sét pha - cát pha màu nâu xám, xám ghi, trạng thái dẻo mềm, đôi chỗ lẫn hữu cơ, sạn sỏi, dày 5,5 - 12m
						15	Cuội sỏi lẫn cát sét màu xám, xám vàng, dày 15 - 35m
Hệ tầng Lê Chi	Pleistocen dưới	Không phân chia	Trầm tích sông	$amQ_1^{1lc}$	Cuội sỏi, cát, cát pha, sét	16	Cuội sỏi lẫn cát, cát pha, sét màu xám ghi, xám nâu đôi chỗ lẫn sạn sỏi, dày 14 - 24m





Bảng 3 Giá trị tính toán các yếu tố tại các điểm xói lở

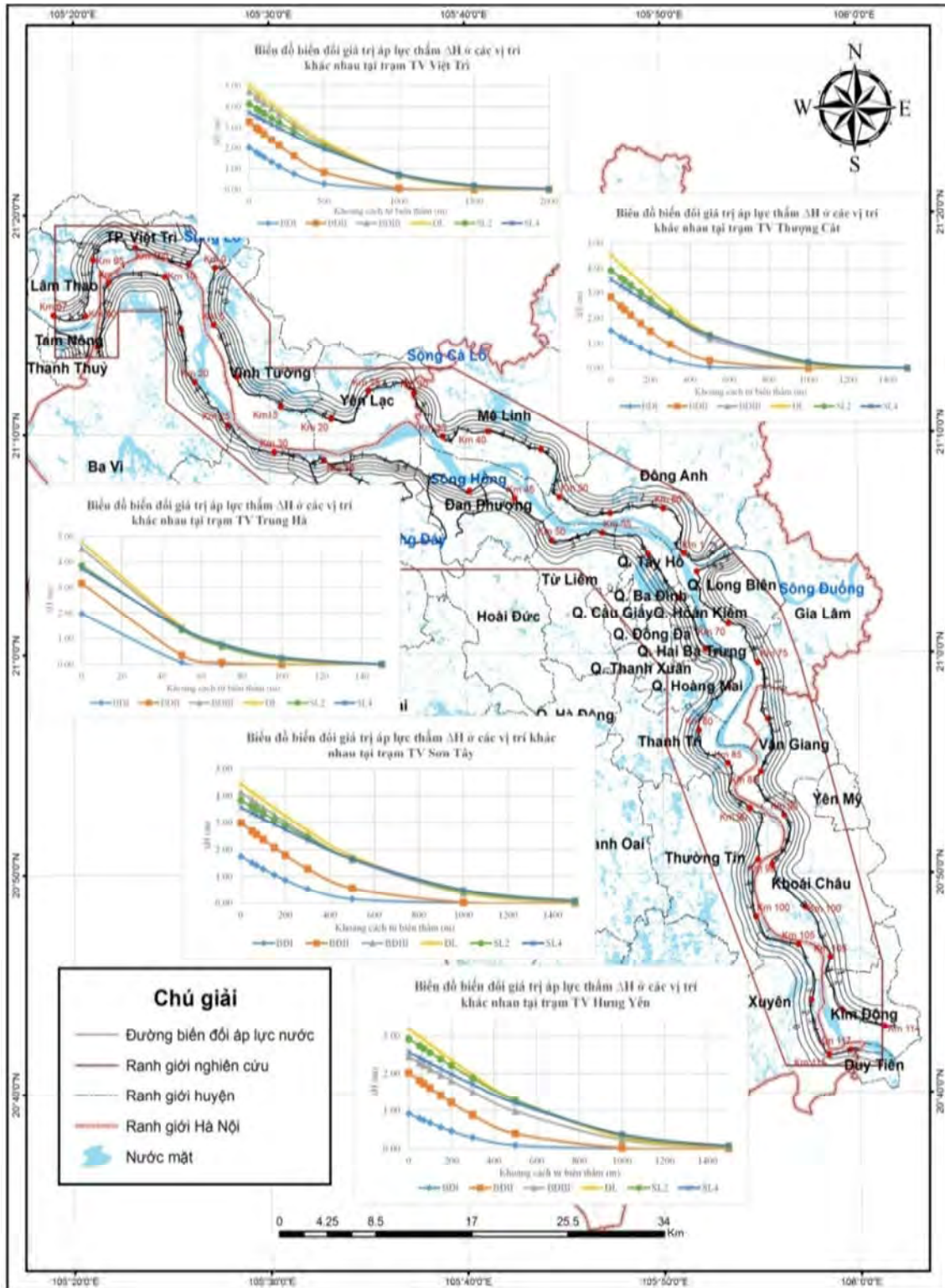
Tên điểm tính	Diện tích xói lở thực tế (S m <sup>2</sup> )	Diện tích xói lở (S*)	Góc dốc đường bờ (α*)	Góc uốn dòng sông (Ψ*)	Chênh cao bờ so với đáy sông (ΔH*)	TP đất đá (C <sub>d</sub> *)	Khoảng cách tới đứt gãy (F*)	Mật độ khai thác cát (S <sub>d</sub> *)	Giá trị chênh cao mực nước (Δh*)	Entropy (E <sub>dc</sub> )	Độ dốc thủy lực (I*)
XL.01	1450	0,58	0,86	0,94	0,88	0,87	0,00	0,33	0,54	0,67	0.59
XL.02	1064	0,42	0,86	0,96	0,86	0,80	0,06	0,33	0,49	0,50	0.61
XL.03	1497	0,60	0,86	0,94	0,76	0,87	0,10	0,33	0,37	0,50	0.62
XL.04	1164	0,44	0,89	0,93	0,81	0,84	0,07	0,35	0,47	0,47	0.63
XL.05	1423	0,57	0,82	0,91	0,79	0,82	0,09	0,43	0,42	0,54	0.57
XL.06	1264	0,47	0,83	0,92	0,81	0,79	0,06	0,33	0,49	0,50	0.48
XL.07	1397	0,63	0,80	0,90	0,79	0,82	0,12	0,39	0,39	0,56	0.52
XL.08	1164	0,43	0,90	0,86	0,89	0,90	0,09	0,37	0,45	0,60	0.38
XL.09	1567	0,62	0,87	0,91	0,92	0,87	0,32	0,67	0,60	0,50	0.32
XL.10	1485	0,59	0,97	0,92	0,94	0,88	0,90	0,67	0,64	0,50	0.50
XL.11	989	0,39	0,66	0,96	0,92	0,77	0,69	0,67	0,44	0,33	0.41
XL.14	1422	0,57	0,94	0,94	0,92	0,85	0,94	0,33	0,44	0,67	0.45
XL.15	945	0,38	0,84	0,99	0,83	0,83	0,84	0,33	0,43	0,67	0.39
XL.16	1046	0,36	0,88	0,92	0,86	0,86	0,89	0,42	0,47	0,68	0.43
XL.17	1651	0,66	0,89	0,93	0,67	0,92	0,91	0,67	0,63	0,67	0.38
XL.18	1755	0,68	0,79	0,96	0,77	0,88	0,86	0,74	0,66	0,68	0.37
XL.19	1339	0,53	0,98	0,90	0,89	0,81	0,91	0,67	0,68	0,67	1.00
XL.20	2513	1,00	0,99	0,87	1,00	1,00	0,95	1,00	0,87	0,67	0.49
XL.21	2513	1,00	0,99	0,87	0,93	0,85	0,84	1,00	0,88	0,67	0.47
XL.22	778	0,31	0,82	0,84	0,72	0,68	0,67	0,33	0,63	0,50	0.94
XL.23	1171	0,47	0,96	0,92	0,92	0,76	0,86	0,67	0,65	0,83	0.90
XL.24	1375	0,49	0,90	0,90	0,89	0,78	0,79	0,64	0,70	0,87	0.37
XL.25	2028	0,81	0,92	0,76	0,75	0,87	0,45	0,67	0,71	0,83	0.10
XL.26	1115	0,44	0,91	0,86	0,69	0,66	0,60	0,67	0,64	1,00	0.08
XL.27	142	0,06	0,60	0,93	0,74	0,66	0,02	0,33	0,54	0,50	0.05
XL.28	1215	0,47	0,89	0,82	0,65	0,62	0,67	0,64	0,62	1,00	0.30

XL.29	1015	0,53	0,92	0,85	0,69	0,65	0,64	0,68	0,63	0,92	0,26
XL.30	2170	0,86	0,97	0,87	0,95	0,81	0,94	0,33	1,00	0,83	0,32
XL.31	2170	0,86	0,97	0,88	0,86	0,99	0,93	0,33	0,89	0,83	0,48
XL.32	596	0,24	0,84	0,93	0,78	0,89	0,55	0,00	0,62	0,67	0,44
XL.33	1140	0,46	0,77	0,96	0,71	0,85	0,84	0,43	0,75	0,67	0,25
XL.34	753	0,35	0,86	0,86	0,70	0,77	0,70	0,37	0,56	0,50	0,22
XL.35	1240	0,49	0,87	0,96	0,71	0,81	0,82	0,33	0,75	0,67	0,28
XL.36	753	0,30	0,86	0,96	0,72	0,79	0,70	0,33	0,56	0,50	0,26
XL.37	1980	0,34	0,91	0,85	0,69	0,52	0,59	0,69	0,61	0,67	0,22
XL.38	1389	0,42	0,89	0,88	0,73	0,60	0,72	0,77	0,67	0,59	0,39
XL.39	989	0,39	0,96	0,80	0,65	0,50	0,49	0,67	0,71	0,69	0,37
XL.40	1440	0,49	0,87	0,91	0,76	0,87	0,80	0,38	0,70	0,62	0,32
XL.41	1753	0,37	0,82	0,87	0,82	0,77	0,74	0,43	0,53	0,58	0,10
XL.42	989	0,39	0,96	0,80	0,65	0,50	0,49	0,67	0,74	0,69	0,25
XL.43	1440	0,49	0,87	0,88	0,76	0,87	0,80	0,38	0,68	0,62	0,30
XL.44	989	0,39	0,96	0,83	0,65	0,50	0,49	0,57	0,71	0,69	0,34
XL.45	945	0,38	0,86	0,90	0,75	0,89	0,57	0,67	0,68	0,50	0,27
XL.46	1045	0,42	0,79	0,84	0,72	0,82	0,56	0,69	0,58	0,60	0,26
XL.47	989	0,39	0,92	0,80	0,65	0,50	0,49	0,57	0,71	0,69	0,30
XL.48	945	0,38	0,90	0,94	0,72	0,89	0,46	0,67	0,58	0,50	0,36
XL.49	1124	0,45	0,94	0,84	0,73	0,73	0,72	0,67	0,55	0,67	0,22
XL.50	1158	0,40	0,84	0,94	0,76	0,71	0,67	0,38	0,60	0,55	0,15
XL.51	1280	0,38	0,92	0,79	0,66	0,52	0,59	0,69	0,61	0,67	0,52
XL.52	1089	0,42	0,89	0,88	0,73	0,60	0,72	0,77	0,67	0,59	0,37
XL.53	358	0,14	0,91	0,94	0,77	0,72	0,26	0,33	0,46	0,50	0,36
XL.54	1289	0,49	0,86	0,83	0,65	0,50	0,49	0,57	0,71	0,69	0,29
XL.55	1045	0,54	0,96	0,93	0,75	0,89	0,59	0,65	0,65	0,50	0,27
XL.56	1149	0,42	0,79	0,85	0,75	0,82	0,52	0,62	0,58	0,64	0,31
XL.57	989	0,42	0,90	0,80	0,65	0,50	0,55	0,57	0,71	0,69	0,32
XL.58	945	0,39	0,90	0,94	0,82	0,89	0,46	0,67	0,58	0,60	0,28
XL.59	200	0,08	0,83	0,97	0,87	0,82	0,55	0,33	0,66	0,62	0,42
XL.60	374	0,15	0,88	0,86	0,67	0,95	0,22	0,00	0,53	0,55	0,37
XL.61	1543	0,61	0,97	0,96	0,64	0,79	0,86	0,67	0,51	0,67	0,25
XL.62	1654	0,66	0,93	0,91	0,67	0,79	0,69	0,33	0,69	0,67	0,07

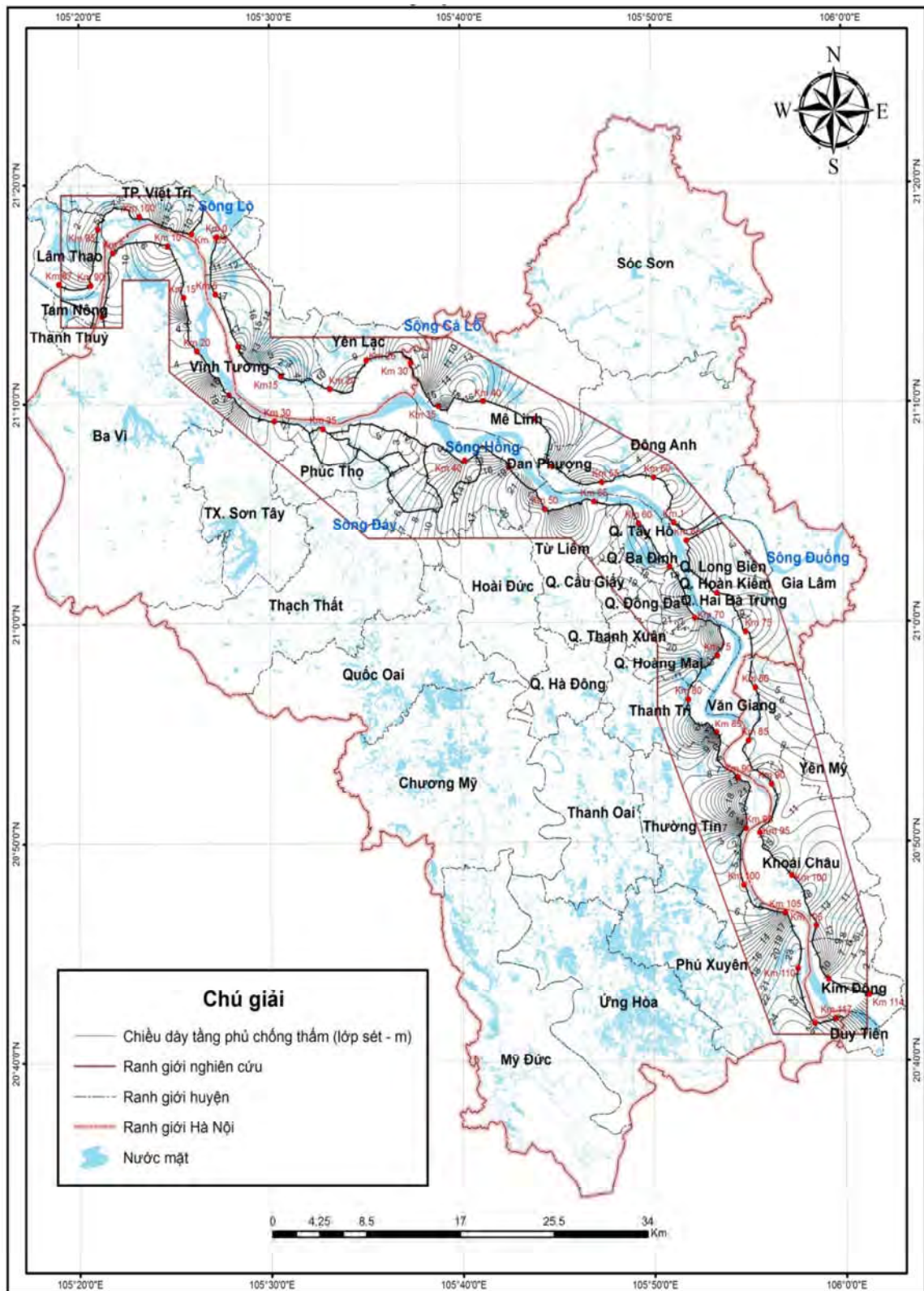
XL.63	374	0,15	0,88	0,86	0,67	0,95	0,22	0,00	0,53	0,55	0,39
XL.64	275	0,11	0,87	0,95	0,75	0,75	0,43	0,67	0,50	0,67	0,10
XL.65	1374	0,13	0,84	0,86	0,67	0,92	0,22	0,03	0,53	0,57	0,18
XL.66	2317	0,92	0,99	0,85	0,92	0,83	0,97	0,33	0,54	0,67	0,12
XL.67	264	0,11	0,86	0,97	0,80	0,67	0,42	0,33	0,50	0,50	0,20
XL.68	1343	0,61	0,96	0,92	0,64	0,69	0,86	0,67	0,51	0,67	0,15
XL.69	1454	0,66	0,93	0,91	0,68	0,79	0,69	0,33	0,69	0,67	0,07
XL.70	974	0,15	0,78	0,86	0,67	0,90	0,28	0,55	0,53	0,58	0,09
XL.71	1289	0,59	0,89	0,64	0,67	0,70	0,70	0,33	0,62	0,68	0,25
XL.72	1154	0,66	0,83	0,91	0,63	0,74	0,65	0,34	0,62	0,77	0,32
XL.73	1024	0,39	0,80	0,81	0,67	0,90	0,28	0,55	0,53	0,57	0,34
XL.74	1659	0,60	0,94	0,93	0,99	0,59	0,55	0,67	0,69	0,67	0,29
XL.75	1078	0,43	0,89	0,91	0,58	0,69	0,52	0,67	0,55	0,83	0,31
XL.76	758	0,30	0,79	0,86	0,58	0,75	0,53	0,33	0,42	0,83	0,07

Bảng 4 Giá trị hệ số tương quan cặp đôi giữa các tham số điều kiện ĐKTMT

		Diện tích sạt trượt $S^*$	Góc dốc đường bờ ( $\alpha^*$ )	Góc uốn dòng sông ( $\psi^*$ )	Chênh cao bờ so với đáy sông ( $\Delta H^*$ )	TP đất đá ( $C_d$ )	Khoảng cách tới đứt gãy ( $F^*$ )	Mật độ khai thác cát ( $S_d^*$ )	Giá trị chênh cao mực nước ( $\Delta h^*$ )	Entropy ( $E_{ac}$ )	Độ dốc thủy lực ( $I^*$ )
		0.00	1.00	2.00	3.00	4.00	5.00	6.00	7.00	8.00	9.00
Diện tích sạt trượt $S^*$	0.00	1	0.65	-0.39	0.34	0.50	0.51	0.57	0.59	0.50	0.40
Góc dốc đường bờ ( $\alpha^*$ )	1.00	0.65	1	-0.52	0.06	0.29	0.47	0.33	0.55	0.50	0.09
Góc uốn dòng sông ( $\psi^*$ )	2.00	-0.39	-0.52	1	0.27	0.09	-0.22	-0.27	-0.46	-0.48	0.01
Chênh cao bờ so với đáy sông ( $\Delta H^*$ )	3.00	0.34	0.06	0.27	1	0.09	0.17	0.33	-0.02	0.13	0.26
TP đất đá ( $C_d$ )	4.00	0.50	0.29	0.09	0.09	1	0.26	0.41	0.39	0.04	0.46
Khoảng cách tới đứt gãy ( $F^*$ )	5.00	0.51	0.47	-0.22	0.17	0.26	1	0.10	0.46	0.39	0.20
Mật độ khai thác cát ( $S_d^*$ )	6.00	0.57	0.33	-0.27	0.33	0.41	0.10	1	0.37	0.43	0.54
Giá trị chênh cao mực nước ( $\Delta h^*$ )	7.00	0.59	0.55	-0.46	-0.02	0.39	0.46	0.37	1	0.41	0.13
Entropy ( $E_{ac}$ )	8.00	0.50	0.50	-0.48	0.13	0.04	0.39	0.43	0.41	1	0.07
Độ dốc thủy lực ( $I^*$ )	9.00	0.40	0.09	0.01	0.26	0.46	0.20	0.54	0.13	0.07	1



Hình 3 Bản đồ biến đổi  $\Delta H$  của dòng thấm thời điểm đỉnh lũ (Tỷ lệ 1:50.000)



Hình 4 Bản đồ đẳng chiều dày tầng phủ chống thấm (tỷ lệ 1:50.000)

Bảng 5 Kết quả tính toán các giá trị (K, I<sub>dn</sub>, ΔH<sub>DL</sub>)

TT	K	K	K	K	K	K	I <sub>dn</sub>	I <sub>dn</sub>	I <sub>dn</sub>	I <sub>dn</sub>	I <sub>dn</sub>	I <sub>dn</sub>	ΔH <sub>DL</sub>	ΔH <sub>DL</sub>	ΔH <sub>DL</sub>	ΔH <sub>DL</sub>	ΔH <sub>DL</sub>	ΔH <sub>DL</sub>
	0	50	100	200	500	1000	0	50	100	200	500	1000	0	50	100	200	500	1000
1	1,03	1,28	1,40	1,53	1,75	2,43	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	4,76	1,46	0,20	0,00	0,00	0,00
2	1,51	1,56	1,61	1,72	1,97	2,07	0,60	0,53	0,51	0,33	0,08	0,00	4,82	4,24	3,68	2,63	0,63	0,01
3	1,20	1,23	1,27	1,36	1,56	1,67	0,92	0,83	0,81	0,46	0,14	0,01	4,86	4,33	3,81	2,83	0,82	0,03
4	1,51	1,55	1,60	1,69	1,93	2,06	0,40	0,36	0,32	0,27	0,08	0,00	4,79	4,28	3,78	2,84	0,86	0,04
5	0,55	0,57	0,59	0,63	0,73	0,78	0,46	0,39	0,34	0,29	0,09	0,00	4,74	4,23	3,73	2,79	0,83	0,03
6	1,05	1,10	1,14	1,23	1,43	1,50	0,49	0,40	0,37	0,27	0,06	0,00	4,98	4,35	3,73	2,60	0,55	0,01
7	1,18	1,23	1,27	1,37	1,61	1,72	0,65	0,52	0,47	0,40	0,11	0,00	5,15	4,57	4,00	2,94	0,80	0,02
8	1,81	1,89	1,97	2,14	2,53	2,65	0,78	0,69	0,66	0,43	0,08	0,00	5,23	4,55	3,89	2,68	0,53	0,01
9	3,12	3,23	3,34	3,58	4,22	4,56	0,53	0,51	0,44	0,35	0,10	0,00	5,04	4,50	3,97	2,98	0,90	0,04
10	0,11	0,12	0,12	0,14	0,16	0,17	0,68	0,59	0,65	0,40	0,08	0,00	5,03	4,40	4,70	2,74	0,60	0,00
11	0,67	0,70	0,74	0,82	0,96	0,98	0,78	0,63	0,49	0,34	0,03	0,00	5,02	4,20	3,41	2,05	0,20	0,00
12	0,33	0,34	0,35	0,38	0,45	0,47	0,60	0,51	0,44	0,38	0,08	0,00	4,82	4,23	3,65	2,59	0,60	0,01
13	0,68	0,71	0,74	0,81	0,97	1,01	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	5,06	4,38	3,72	2,53	0,46	0,00
14	8,21	10,42	11,62	11,83	11,83	11,83	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	4,65	1,43	0,19	0,00	0,00	0,00
15	4,86	6,24	7,01	7,15	7,15	7,15	0,51	0,18	0,03	0,00	0,00	0,00	4,73	1,45	0,20	0,00	0,00	0,00
16	0,50	0,58	0,66	0,73	0,73	0,73	1,06	0,70	0,25	0,02	0,00	0,00	4,77	2,68	1,17	0,10	0,00	0,00
17	0,69	0,71	0,73	0,77	0,88	1,00	1,01	1,09	0,92	0,84	0,36	0,06	4,96	4,59	4,23	3,52	1,74	0,31
18	0,95	0,97	1,00	1,05	1,19	1,33	0,92	0,71	0,72	0,48	0,26	0,04	4,49	4,15	3,81	3,15	1,51	0,24
19	0,74	0,75	0,77	0,80	0,90	1,00	0,37	0,33	0,30	0,27	0,14	0,03	4,44	4,14	3,84	3,26	1,75	0,40
20	0,85	0,87	0,89	0,94	1,07	1,19	0,27	0,25	0,23	0,21	0,09	0,01	4,41	4,06	3,72	3,06	1,43	0,21

21	0,53	0,56	0,58	0,64	0,75	0,78	0,71	0,63	0,51	0,31	0,05	0,00	4,41	3,77	3,15	2,05	0,30	0,00
22	3,26	3,34	3,42	3,60	4,14	4,75	0,66	0,71	0,63	0,50	0,24	0,05	4,42	4,10	3,79	3,18	1,63	0,32
23	1,94	2,01	2,08	2,23	2,64	2,89	0,41	0,36	0,34	0,30	0,09	0,01	4,38	3,94	3,50	2,68	0,90	0,05
24	4,09	4,19	4,29	4,50	5,12	5,74	0,46	0,42	0,41	0,35	0,16	0,03	4,09	3,78	3,47	2,88	1,40	0,24
25	11,14	11,66	12,22	13,38	16,14	17,01	0,42	0,34	0,31	0,22	0,04	0,00	4,45	3,87	3,31	2,29	0,46	0,01
26	4,54	4,69	4,85	5,19	6,13	6,70	0,30	0,28	0,26	0,19	0,06	0,00	4,07	3,66	3,26	2,49	0,84	0,05
27	5,84	6,06	6,30	6,79	8,19	9,08	0,80	0,63	0,52	0,46	0,16	0,01	4,38	3,94	3,50	2,68	0,90	0,05
28	0,41	0,42	0,44	0,46	0,54	0,62	0,40	0,37	0,35	0,29	0,13	0,02	4,43	4,09	3,75	3,09	1,47	0,23
29	3,68	3,75	3,83	3,98	4,46	5,09	0,38	0,34	0,31	0,30	0,17	0,05	4,44	4,17	3,90	3,38	1,99	0,57
30	3,97	4,06	4,16	4,36	4,98	5,71	0,46	0,42	0,37	0,32	0,17	0,04	4,45	4,14	3,84	3,25	1,72	0,37
31	6,21	6,35	6,49	6,78	7,69	8,84	0,39	0,35	0,34	0,27	0,16	0,04	4,39	4,11	3,83	3,29	1,86	0,48
32	3,18	3,33	3,49	3,82	4,62	4,89	0,26	0,24	0,20	0,14	0,03	0,00	4,37	3,82	3,27	2,28	0,48	0,01
33	3,74	3,92	4,11	4,51	5,48	5,81	0,34	0,31	0,29	0,17	0,04	0,00	4,20	3,67	3,15	2,20	0,46	0,01
34	3,04	3,14	3,24	3,45	4,11	4,75	0,67	0,69	0,69	0,41	0,19	0,03	4,52	4,15	3,79	3,08	1,38	0,18
35	9,54	9,89	10,26	11,06	13,46	15,38	0,68	0,59	0,60	0,36	0,15	0,01	4,76	4,32	3,89	3,07	1,19	0,10
36	1,98	2,04	2,10	2,24	2,68	3,15	0,29	0,28	0,25	0,22	0,10	0,02	4,75	4,38	4,02	3,31	1,57	0,25
37	8,73	9,10	9,49	10,34	12,83	14,49	0,98	0,77	0,66	0,40	0,16	0,01	4,81	4,33	3,85	2,95	0,99	0,05
38	2,15	2,25	2,36	2,58	3,21	3,54	0,26	0,24	0,21	0,17	0,05	0,00	4,63	4,12	3,63	2,69	0,78	0,03
39	1,59	1,66	1,75	1,92	2,41	2,65	0,83	0,66	0,55	0,32	0,10	0,00	4,75	4,21	3,68	2,69	0,72	0,02
40	13,82	14,46	15,15	16,64	20,74	22,85	0,32	0,28	0,24	0,16	0,05	0,00	4,74	4,21	3,69	2,72	0,76	0,02
41	4,56	5,62	6,72	7,68	7,76	7,76	0,26	0,15	0,06	0,00	0,00	0,00	4,80	2,60	1,07	0,07	0,00	0,00
42	3,66	3,81	3,97	4,32	5,37	6,19	0,46	0,44	0,40	0,27	0,10	0,01	4,81	4,36	3,91	3,05	1,13	0,08
43	5,86	6,18	6,54	7,31	9,18	9,75	0,35	0,29	0,24	0,17	0,03	0,00	4,72	4,09	3,48	2,38	0,45	0,00

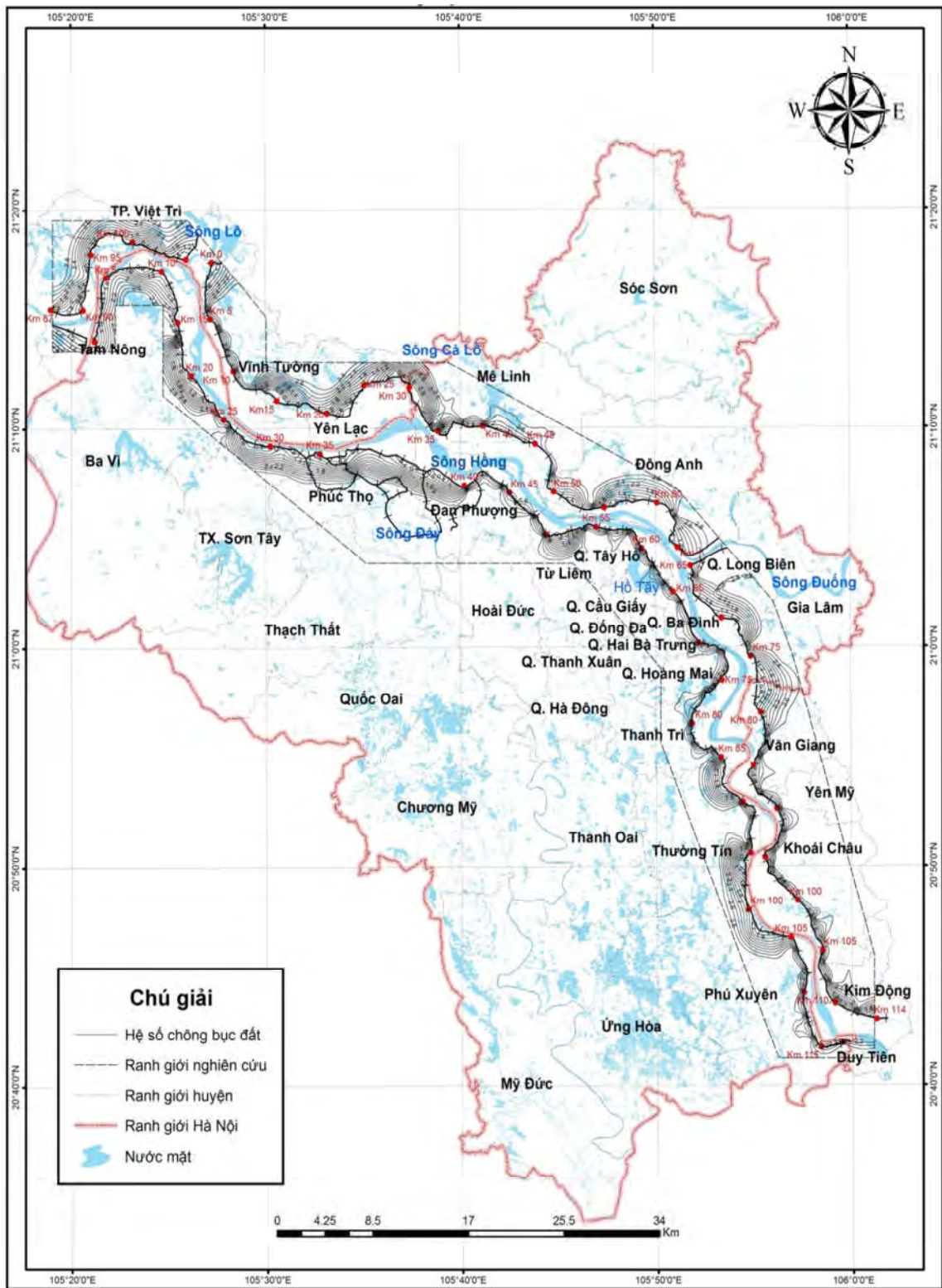


44	18,52	19,32	20,18	22,03	27,53	31,25	1,36	0,97	0,81	0,49	0,20	0,01	4,76	4,28	3,81	2,92	0,98	0,05
45	0,59	0,62	0,65	0,72	0,90	0,99	0,85	0,85	0,81	0,36	0,11	0,00	4,70	4,18	3,66	2,70	0,76	0,02
46	0,79	0,82	0,85	0,91	1,10	1,32	0,25	0,23	0,21	0,17	0,08	0,01	4,82	4,45	4,09	3,38	1,62	0,26
47	2,26	2,32	2,39	2,54	3,03	3,69	0,45	0,40	0,36	0,03	0,03	0,01	4,77	4,46	4,14	3,53	1,94	0,47
48	12,45	12,84	13,25	14,12	17,02	20,87	0,62	0,56	0,56	0,34	0,20	0,05	4,78	4,45	4,13	3,50	1,88	0,42
49	11,20	11,53	11,89	12,65	15,21	18,84	0,25	0,23	0,22	0,19	0,11	0,03	4,82	4,51	4,20	3,60	2,02	0,51
50	0,18	0,18	0,19	0,20	0,23	0,29	0,45	0,41	0,39	0,30	0,19	0,06	4,93	4,64	4,35	3,79	2,28	0,70
51	1,00	1,04	1,09	1,19	1,50	1,79	0,35	0,33	0,31	0,22	0,09	0,01	4,64	4,23	3,82	3,03	1,22	0,12
52	1,44	1,49	1,53	1,63	1,94	2,25	0,24	0,24	0,22	0,17	0,08	0,01	3,25	2,99	2,73	2,24	1,02	0,14
53	1,04	1,06	1,09	1,14	1,30	1,52	0,66	0,56	0,63	0,37	0,26	0,08	3,12	2,94	2,76	2,40	1,44	0,44
54	1,30	1,34	1,38	1,45	1,70	2,01	0,40	0,40	0,40	0,27	0,15	0,03	3,17	2,95	2,74	2,32	1,24	0,27
55	12,82	13,15	13,49	14,22	16,57	19,73	0,26	0,23	0,21	0,20	0,11	0,03	3,23	3,02	2,82	2,42	1,37	0,36
56	13,76	14,12	14,49	15,27	17,82	21,33	0,49	0,45	0,39	0,33	0,20	0,05	3,18	2,98	2,78	2,40	1,38	0,37
57	12,57	12,90	13,24	13,96	16,32	19,60	0,72	0,61	0,54	0,52	0,30	0,08	3,26	3,06	2,86	2,46	1,42	0,39
58	12,07	12,41	12,77	13,53	15,98	19,16	0,42	0,43	0,39	0,30	0,16	0,04	3,16	2,95	2,74	2,33	1,27	0,29
59	12,85	13,19	13,54	14,30	16,75	20,11	0,24	0,21	0,20	0,18	0,10	0,03	3,23	3,03	2,82	2,43	1,38	0,37
60	12,39	12,74	13,11	13,89	16,42	19,73	0,19	0,19	0,18	0,14	0,08	0,02	3,20	2,99	2,77	2,36	1,29	0,30
61	0,95	0,98	1,01	1,07	1,25	1,35	0,27	0,23	0,20	0,17	0,06	0,00	5,02	4,51	4,02	3,08	1,03	0,06
62	1,34	1,27	1,31	1,39	1,62	1,75	0,35	0,32	0,30	0,20	0,07	0,00	5,05	4,54	4,04	3,09	1,04	0,06
63	6,28	5,01	5,19	5,55	6,49	6,96	0,32	0,30	0,26	0,18	0,05	0,00	5,07	4,52	3,98	2,96	0,87	0,03
64	6,27	5,01	5,18	5,52	6,44	6,99	0,44	0,38	0,37	0,25	0,09	0,00	4,95	4,45	3,96	3,03	1,02	0,06
65	4,24	3,47	3,58	3,80	4,40	4,76	0,40	0,34	0,29	0,23	0,08	0,00	4,71	4,24	3,77	2,89	0,97	0,05
66	5,66	6,21	6,42	6,84	7,98	8,68	0,49	0,44	0,36	0,26	0,09	0,00	4,87	4,38	3,90	2,98	1,00	0,06

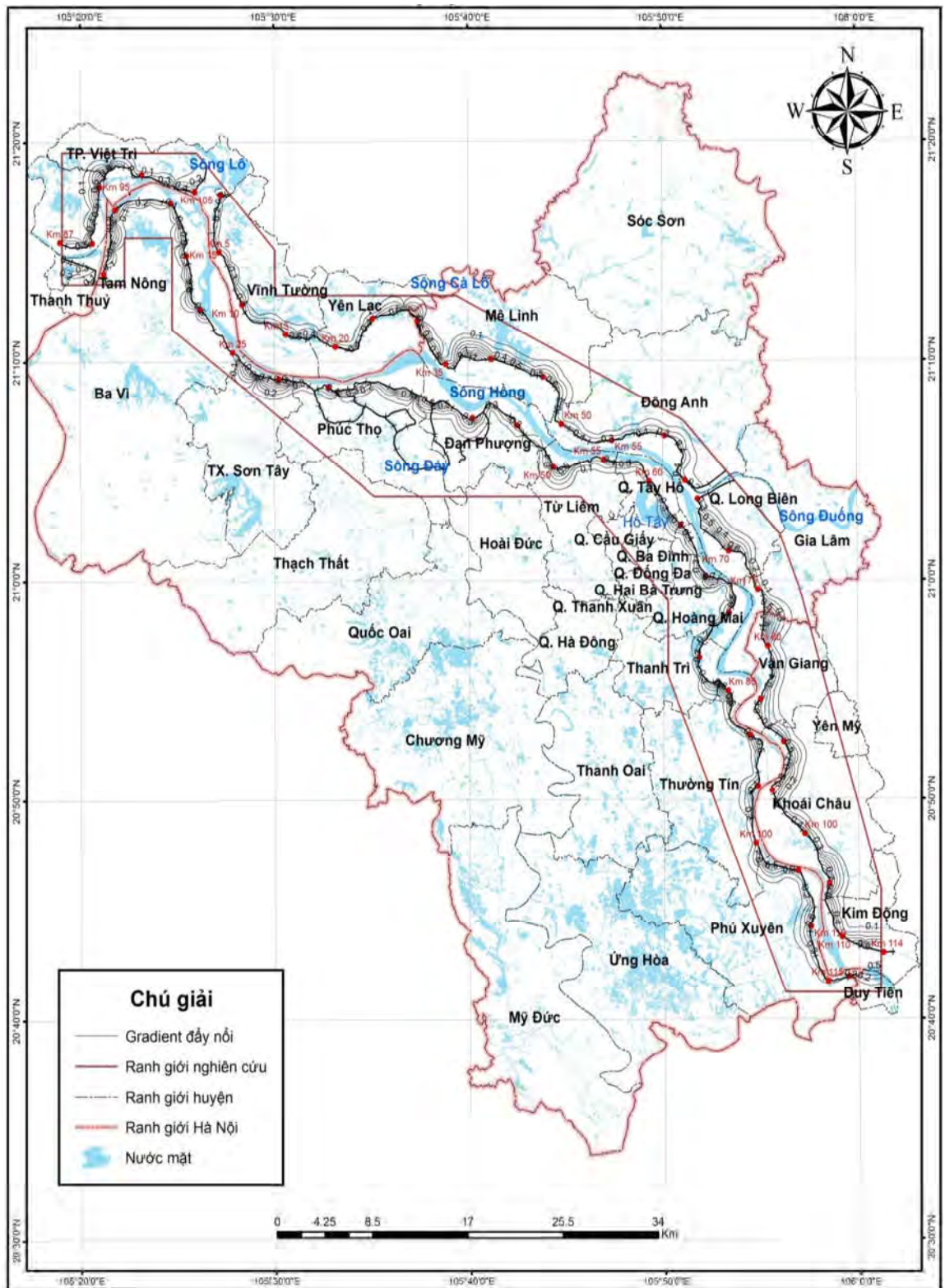
67	2,37	2,43	2,49	2,61	2,98	3,37	0,38	0,35	0,30	0,26	0,13	0,02	4,78	4,42	4,07	3,39	1,67	0,30
68	0,12	0,12	0,13	0,13	0,15	0,17	0,42	0,38	0,33	0,29	0,14	0,02	4,55	4,20	3,84	3,16	1,49	0,23
69	0,30	0,31	0,32	0,34	0,38	0,43	0,66	0,55	0,51	0,41	0,19	0,03	4,49	4,14	3,79	3,11	1,45	0,22
70	1,74	1,79	1,83	1,93	2,22	2,44	0,48	0,42	0,40	0,31	0,13	0,01	4,51	4,12	3,73	2,98	1,23	0,13
71	1,21	1,25	1,29	1,38	1,61	1,70	0,41	0,34	0,30	0,23	0,06	0,00	4,38	3,87	3,37	2,44	0,62	0,01
72	0,29	0,29	0,30	0,32	0,36	0,40	0,54	0,45	0,42	0,34	0,15	0,02	4,41	4,05	3,69	3,00	1,33	0,17
73	1,06	1,08	1,11	1,17	1,35	1,50	0,44	0,41	0,39	0,30	0,13	0,02	4,57	4,19	3,82	3,11	1,38	0,18
74	1,13	1,16	1,19	1,24	1,42	1,60	0,45	0,39	0,35	0,31	0,15	0,03	4,48	4,14	3,81	3,16	1,54	0,26
75	0,22	0,22	0,23	0,25	0,30	0,31	0,73	0,68	0,63	0,39	0,09	0,00	4,43	3,89	3,36	2,39	0,55	0,01
76	0,13	0,15	0,17	0,19	0,19	0,19	0,71	0,42	0,20	0,01	0,00	0,00	4,54	2,55	1,11	0,09	0,00	0,00
77	0,18	0,19	0,19	0,20	0,23	0,27	0,51	0,48	0,46	0,39	0,18	0,03	4,42	4,09	3,77	3,14	1,55	0,28
78	6,59	7,73	8,83	9,83	9,93	9,93	0,71	0,42	0,19	0,01	0,00	0,00	4,57	2,56	1,12	0,09	0,00	0,00
79	0,32	0,33	0,33	0,35	0,41	0,47	0,54	0,45	0,45	0,46	0,20	0,03	4,45	4,12	3,79	3,15	1,56	0,28
80	5,64	5,76	5,88	6,15	6,98	8,12	1,14	1,10	0,96	1,00	0,52	0,14	4,55	4,28	4,02	3,50	2,10	0,64
81	4,01	4,10	4,19	4,38	5,00	5,86	0,61	0,55	0,53	0,53	0,29	0,09	4,59	4,32	4,05	3,53	2,12	0,65
82	1,86	1,91	1,95	2,05	2,34	2,71	0,64	0,63	0,52	0,50	0,26	0,07	4,44	4,15	3,85	3,28	1,80	0,43
83	1,93	1,98	2,03	2,14	2,49	2,90	0,61	0,54	0,46	0,47	0,23	0,05	4,54	4,23	3,92	3,32	1,78	0,39
84	2,62	2,69	2,76	2,92	3,39	3,96	0,68	0,64	0,68	0,50	0,25	0,06	4,49	4,18	3,87	3,27	1,73	0,37
85	3,96	4,06	4,17	4,39	5,11	6,04	0,39	0,38	0,38	0,30	0,16	0,04	4,62	4,32	4,02	3,44	1,91	0,47
86	1,82	1,87	1,91	2,00	2,30	2,71	0,37	0,33	0,30	0,28	0,16	0,05	4,43	4,16	3,89	3,36	1,96	0,55
87	1,23	1,26	1,29	1,36	1,57	1,84	0,44	0,44	0,45	0,32	0,18	0,05	4,50	4,21	3,93	3,38	1,92	0,50
88	2,29	2,35	2,42	2,56	3,00	3,48	0,35	0,31	0,28	0,25	0,12	0,02	4,46	4,13	3,81	3,18	1,59	0,29
89	0,76	0,78	0,80	0,84	0,98	1,15	0,37	0,33	0,33	0,27	0,15	0,03	4,44	4,14	3,84	3,27	1,77	0,41

90	1,08	1,11	1,14	1,20	1,40	1,63	0,44	0,43	0,38	0,32	0,16	0,04	4,55	4,23	3,92	3,31	1,74	0,37
91	1,36	1,39	1,43	1,50	1,73	2,02	0,36	0,33	0,33	0,27	0,14	0,04	4,44	4,15	3,86	3,29	1,81	0,44
92	2,60	2,66	2,73	2,86	3,27	3,82	0,48	0,42	0,38	0,37	0,21	0,05	4,44	4,16	3,89	3,35	1,92	0,52
93	1,16	1,19	1,22	1,28	1,49	1,76	0,45	0,42	0,42	0,36	0,19	0,04	4,43	4,14	3,85	3,28	1,80	0,43
94	2,60	2,67	2,73	2,87	3,32	3,90	0,44	0,43	0,37	0,35	0,19	0,05	4,52	4,23	3,94	3,37	1,89	0,48
95	1,43	1,46	1,50	1,57	1,81	2,15	0,95	1,09	0,91	0,74	0,43	0,12	4,76	4,48	4,19	3,64	2,16	0,64
96	1,07	1,10	1,13	1,19	1,39	1,66	0,96	1,04	1,07	0,75	0,41	0,10	4,78	4,48	4,18	3,60	2,06	0,55
97	0,95	0,98	1,01	1,07	1,27	1,51	0,42	0,40	0,39	0,30	0,16	0,04	4,68	4,36	4,04	3,41	1,81	0,39
98	2,28	2,34	2,40	2,54	2,97	3,54	0,35	0,33	0,32	0,26	0,14	0,04	4,71	4,41	4,11	3,52	1,98	0,50
99	1,18	1,21	1,24	1,31	1,51	1,77	0,32	0,32	0,30	0,25	0,13	0,03	4,60	4,30	3,99	3,40	1,87	0,44
100	0,68	0,69	0,71	0,74	0,84	0,98	1,22	1,42	1,47	0,91	0,52	0,12	4,52	4,25	3,98	3,45	2,03	0,59
101	1,34	1,37	1,41	1,49	1,74	2,05	0,45	0,42	0,35	0,39	0,19	0,04	4,54	4,23	3,92	3,32	1,77	0,39
102	4,18	2,98	3,07	3,26	3,87	4,63	0,58	0,59	0,50	0,44	0,22	0,05	4,58	4,26	3,94	3,33	1,75	0,37
103	3,69	2,77	2,85	3,02	3,59	4,33	0,60	0,50	0,52	0,52	0,25	0,06	4,47	4,17	3,88	3,30	1,81	0,43
104	2,08	1,57	1,62	1,71	2,02	2,45	0,70	0,61	0,50	0,88	0,36	0,09	4,46	4,18	3,89	3,34	1,89	0,49
105	4,67	3,76	3,88	4,14	4,99	6,15	0,61	0,54	0,56	0,57	0,27	0,06	4,48	4,18	3,89	3,31	1,81	0,43
106	5,06	4,32	4,46	4,76	5,78	7,21	0,58	0,48	0,43	0,39	0,22	0,05	4,37	4,08	3,79	3,23	1,78	0,43
107	4,52	3,79	3,93	4,24	5,27	6,46	0,74	0,80	0,72	0,59	0,25	0,04	4,41	4,07	3,73	3,08	1,46	0,23
108	4,58	3,76	3,87	4,11	4,91	6,08	0,69	0,59	0,58	0,63	0,32	0,09	4,40	4,12	3,85	3,32	1,90	0,51
109	8,18	7,89	8,12	8,62	10,20	12,09	0,47	0,39	0,39	0,39	0,18	0,04	3,28	3,05	2,81	2,36	1,21	0,24
110	3,91	4,15	4,28	4,56	5,47	6,58	0,43	0,38	0,32	0,38	0,17	0,04	3,17	2,94	2,72	2,28	1,18	0,23
111	2,32	5,27	5,45	5,84	7,09	8,48	0,55	0,53	0,42	0,44	0,19	0,04	3,22	2,97	2,73	2,25	1,08	0,17
112	4,96	11,92	12,30	13,11	15,79	19,39	0,44	0,38	0,34	0,37	0,18	0,04	3,18	2,97	2,75	2,34	1,26	0,29

113	3,11	8,04	8,39	9,15	11,73	14,52	0,89	0,72	0,81	1,06	0,30	0,03	3,28	3,01	2,74	2,22	0,97	0,12
114	5,08	12,16	12,75	14,03	17,96	20,73	0,81	0,67	0,52	0,66	0,18	0,01	3,25	2,92	2,60	1,99	0,67	0,04
115	4,61	11,01	11,39	12,20	14,88	18,18	0,54	0,44	0,46	0,43	0,20	0,04	3,21	2,98	2,74	2,29	1,15	0,21
116	0,56	1,30	1,34	1,44	1,76	2,10	0,46	0,40	0,40	0,38	0,15	0,02	3,15	2,90	2,65	2,16	0,98	0,14
117	0,80	1,82	1,89	2,03	2,50	2,99	0,89	0,74	0,86	0,87	0,31	0,04	3,28	3,02	2,75	2,25	1,02	0,14
118	0,25	0,54	0,56	0,60	0,73	0,87	0,63	0,54	0,53	0,74	0,24	0,03	3,20	2,95	2,69	2,21	1,02	0,15
119	0,77	1,44	1,52	1,69	2,16	2,35	0,44	0,35	0,31	0,24	0,05	0,00	3,25	2,85	2,47	1,75	0,41	0,01
120	0,73	0,60	0,62	0,66	0,76	0,79	0,60	0,49	0,46	0,32	0,06	0,00	4,76	4,15	3,56	2,47	0,51	0,01
121	0,13	0,11	0,11	0,12	0,14	0,14	0,76	0,59	0,44	0,27	0,03	0,00	4,74	3,98	3,25	1,99	0,21	0,00
122	1,73	1,42	1,46	1,55	1,77	1,89	0,55	0,49	0,44	0,36	0,11	0,01	4,67	4,19	3,73	2,84	0,94	0,05
123	0,77	0,64	0,66	0,70	0,80	0,86	0,99	0,99	0,72	0,66	0,18	0,01	4,74	4,24	3,75	2,82	0,87	0,04
124	1,00	0,83	0,86	0,93	1,09	1,13	0,86	0,89	0,75	0,49	0,09	0,00	5,10	4,44	3,81	2,64	0,54	0,01
125	1,24	0,99	1,01	1,06	1,21	1,33	0,30	0,26	0,25	0,19	0,09	0,01	5,00	4,60	4,20	3,43	1,56	0,21
126	0,31	0,32	0,33	0,34	0,40	0,44	0,30	0,27	0,23	0,19	0,08	0,01	5,03	4,58	4,14	3,29	1,33	0,13
127	5,59	4,63	4,77	5,07	5,86	6,33	0,54	0,50	0,43	0,30	0,10	0,01	4,99	4,49	3,99	3,06	1,03	0,06
128	0,98	0,81	0,83	0,86	0,95	1,08	0,53	0,54	0,50	0,40	0,24	0,07	5,02	4,73	4,43	3,86	2,32	0,71
129	0,32	0,39	0,40	0,43	0,50	0,57	0,55	0,55	0,46	0,38	0,16	0,02	4,66	4,27	3,88	3,13	1,35	0,16
130	0,60	0,67	0,69	0,74	0,87	0,99	0,36	0,31	0,29	0,26	0,11	0,01	4,61	4,23	3,84	3,11	1,36	0,17
131	0,63	0,63	0,65	0,70	0,85	0,97	0,76	0,62	0,58	0,48	0,19	0,02	5,07	4,62	4,18	3,33	1,35	0,13
132	0,25	0,28	0,33	0,37	0,38	0,38	1,00	0,53	0,28	0,02	0,00	0,00	4,98	2,79	1,22	0,10	0,00	0,00
133	0,61	0,57	0,58	0,62	0,75	0,90	0,78	0,83	0,72	0,52	0,26	0,05	5,73	5,31	4,90	4,10	2,07	0,39
134	0,33	0,30	0,31	0,33	0,40	0,48	0,43	0,41	0,40	0,33	0,16	0,03	5,57	5,17	4,78	4,01	2,05	0,40



Hình 5 Bản đồ biến đổi hệ số chống bức đất (tỷ lệ 1:50.000)



Hình 6 Bản đồ biến đổi hệ số Gradient đầy nổi (tỷ lệ 1:50.000)

Bảng 6 Thông số và chu kỳ của hệ thống quan trắc tổng hợp

TT	Tuyến quan trắc	Dao động mực nước sông		Dao động mực nước ngầm		Áp lực nước lỗ rỗng		Cao độ địa hình lòng sông và bãi sông		Kích thước hình học điểm xói lở (dài, rộng, sâu và góc dốc bờ)		Mẫu nước (xác định hàm lượng vật liệu và thành phần hóa học)		Vận tốc dòng chảy, lưu lượng dòng, lượng bùn cát	
		(1)		(2)		(3)		(4)		(5)		(6)		(7)	
		Chu kỳ QT	Thời gian QT	Chu kỳ QT	Thời gian QT	Chu kỳ QT	Thời gian QT	Chu kỳ QT	Thời gian QT	Chu kỳ QT	Thời gian QT	Chu kỳ QT	Thời gian QT	Chu kỳ QT	Thời gian QT
1	Tuyến 1 (T+NL)	+ Mùa lũ 3lần/ngày (7h, 12h và 19h) từ báo động I + Mùa kiệt 1 lần/ngày		2 lần/năm + Mùa lũ 1 lần/năm + Mùa kiệt 1 lần/năm		2 lần/năm + Mùa lũ 1 lần/năm + Mùa kiệt 1 lần/năm		2 lần/năm + Mùa lũ 1 lần/năm + Mùa kiệt 1 lần/năm				Lấy mẫu trong mùa lũ khi xuất hiện biến dạng thâm (2 lần/ngày)		+ Mùa lũ 3lần/ngày (7h, 12h và 19h) từ báo động I + Mùa kiệt 1 lần/ngày	
2	Tuyến 3 (T+X)	+ Mùa lũ 3lần/ngày (7h, 12h và 19h) từ báo động I + Mùa kiệt 1 lần/ngày		2 lần/năm + Mùa lũ 1 lần/năm + Mùa kiệt 1 lần/năm		2 lần/năm + Mùa lũ 1 lần/năm + Mùa kiệt 1 lần/năm		2 lần/năm + Mùa lũ 1 lần/năm + Mùa kiệt 1 lần/năm		1 lần/năm vào mùa kiệt		Lấy mẫu trong mùa lũ khi xuất hiện biến dạng thâm (2 lần/ngày)		+ Mùa lũ 3lần/ngày (7h, 12h và 19h) từ báo động I + Mùa kiệt 1 lần/ngày	
3	Tuyến 5 (NL)	+ Mùa lũ 3lần/ngày (7h, 12h và 19h) từ báo động I + Mùa kiệt 1 lần/ngày						2 lần/năm + Mùa lũ 1 lần/năm + Mùa kiệt 1 lần/năm						+ Mùa lũ 3lần/ngày (7h, 12h và 19h) từ báo động I + Mùa kiệt 1 lần/ngày	

4	Tuyến 7 (T+X)	+ Mùa lũ 3lần/ngày (7h, 12h và 19h) từ báo động I + Mùa kiệt 1 lần/ngày	2 lần/năm + Mùa lũ 1 lần/năm + Mùa kiệt 1 lần/năm	2 lần/năm + Mùa lũ 1 lần/năm + Mùa kiệt 1 lần/năm	2 lần/năm + Mùa lũ 1 lần/năm + Mùa kiệt 1 lần/năm	1 lần/năm vào mùa kiệt	Lấy mẫu trong mùa lũ khi xuất hiện biến dạng thấm (2 lần/ngày)	+ Mùa lũ 3lần/ngày (7h, 12h và 19h) từ báo động I + Mùa kiệt 1 lần/ngày
5	Tuyến 9 (T+X)	+ Mùa lũ 3lần/ngày (7h, 12h và 19h) từ báo động I + Mùa kiệt 1 lần/ngày	2 lần/năm + Mùa lũ 1 lần/năm + Mùa kiệt 1 lần/năm	2 lần/năm + Mùa lũ 1 lần/năm + Mùa kiệt 1 lần/năm	2 lần/năm + Mùa lũ 1 lần/năm + Mùa kiệt 1 lần/năm	1 lần/năm vào mùa kiệt	Lấy mẫu trong mùa lũ khi xuất hiện biến dạng thấm (2 lần/ngày)	+ Mùa lũ 3lần/ngày (7h, 12h và 19h) từ báo động I + Mùa kiệt 1 lần/ngày
6	Tuyến 11 (X+L)	+ Mùa lũ 3lần/ngày (7h, 12h và 19h) từ báo động I + Mùa kiệt 1 lần/ngày	2 lần/năm + Mùa lũ 1 lần/năm + Mùa kiệt 1 lần/năm	2 lần/năm + Mùa lũ 1 lần/năm + Mùa kiệt 1 lần/năm	2 lần/năm + Mùa lũ 1 lần/năm + Mùa kiệt 1 lần/năm	1 lần/năm vào mùa kiệt		+ Mùa lũ 3lần/ngày (7h, 12h và 19h) từ báo động I + Mùa kiệt 1 lần/ngày
7	Tuyến 13 (T+L)	+ Mùa lũ 3lần/ngày (7h, 12h và 19h) từ báo động I + Mùa kiệt 1 lần/ngày	2 lần/năm + Mùa lũ 1 lần/năm + Mùa kiệt 1 lần/năm	2 lần/năm + Mùa lũ 1 lần/năm + Mùa kiệt 1 lần/năm	2 lần/năm + Mùa lũ 1 lần/năm + Mùa kiệt 1 lần/năm		Lấy mẫu trong mùa lũ khi xuất hiện biến dạng thấm (2 lần/ngày)	+ Mùa lũ 3lần/ngày (7h, 12h và 19h) từ báo động I + Mùa kiệt 1 lần/ngày
8	Tuyến 15 (X)	+ Mùa lũ 3lần/ngày (7h, 12h và 19h) từ báo động I + Mùa kiệt 1 lần/ngày			2 lần/năm + Mùa lũ 1 lần/năm + Mùa kiệt 1 lần/năm	1 lần/năm vào mùa kiệt		+ Mùa lũ 3lần/ngày (7h, 12h và 19h) từ báo động I + Mùa kiệt 1 lần/ngày



9	Tuyến 17 (L+X)	+ Mùa lũ 3lần/ngày (7h, 12h và 19h) từ báo động I + Mùa kiệt 1 lần/ngày		2 lần/năm + Mùa lũ 1 lần/năm + Mùa kiệt 1 lần/năm	2 lần/năm + Mùa lũ 1 lần/năm + Mùa kiệt 1 lần/năm	1 lần/năm vào mùa kiệt		+ Mùa lũ 3lần/ngày (7h, 12h và 19h) từ báo động I + Mùa kiệt 1 lần/ngày
10	Tuyến 19 (L+X)	+ Mùa lũ 3lần/ngày (7h, 12h và 19h) từ báo động I + Mùa kiệt 1 lần/ngày		2 lần/năm + Mùa lũ 1 lần/năm + Mùa kiệt 1 lần/năm	2 lần/năm + Mùa lũ 1 lần/năm + Mùa kiệt 1 lần/năm	1 lần/năm vào mùa kiệt		+ Mùa lũ 3lần/ngày (7h, 12h và 19h) từ báo động I + Mùa kiệt 1 lần/ngày
11	Tuyến 21 (L+T+X)	+ Mùa lũ 3lần/ngày (7h, 12h và 19h) từ báo động I + Mùa kiệt 1 lần/ngày	2 lần/năm + Mùa lũ 1 lần/năm + Mùa kiệt 1 lần/năm	2 lần/năm + Mùa lũ 1 lần/năm + Mùa kiệt 1 lần/năm	2 lần/năm + Mùa lũ 1 lần/năm + Mùa kiệt 1 lần/năm	1 lần/năm vào mùa kiệt	Lấy mẫu trong mùa lũ khi xuất hiện biến dạng thấm (2 lần/ngày)	+ Mùa lũ 3lần/ngày (7h, 12h và 19h) từ báo động I + Mùa kiệt 1 lần/ngày
12	Tuyến 23 (T+X)	+ Mùa lũ 3lần/ngày (7h, 12h và 19h) từ báo động I + Mùa kiệt 1 lần/ngày	2 lần/năm + Mùa lũ 1 lần/năm + Mùa kiệt 1 lần/năm	2 lần/năm + Mùa lũ 1 lần/năm + Mùa kiệt 1 lần/năm	2 lần/năm + Mùa lũ 1 lần/năm + Mùa kiệt 1 lần/năm	1 lần/năm vào mùa kiệt	Lấy mẫu trong mùa lũ khi xuất hiện biến dạng thấm (2 lần/ngày)	+ Mùa lũ 3lần/ngày (7h, 12h và 19h) từ báo động I + Mùa kiệt 1 lần/ngày
13	Tuyến 25 (X)	+ Mùa lũ 3lần/ngày (7h, 12h và 19h) từ báo động I + Mùa kiệt 1 lần/ngày			2 lần/năm + Mùa lũ 1 lần/năm + Mùa kiệt 1 lần/năm	1 lần/năm vào mùa kiệt		+ Mùa lũ 3lần/ngày (7h, 12h và 19h) từ báo động I + Mùa kiệt 1 lần/ngày

14	Tuyến 27 (T+X+L)	+ Mùa lũ 3lần/ngày (7h, 12h và 19h) từ báo động I + Mùa kiệt 1 lần/ngày	2 lần/năm + Mùa lũ 1 lần/năm + Mùa kiệt 1 lần/năm	2 lần/năm + Mùa lũ 1 lần/năm + Mùa kiệt 1 lần/năm	2 lần/năm + Mùa lũ 1 lần/năm + Mùa kiệt 1 lần/năm	1 lần/năm vào mùa kiệt	Lấy mẫu trong mùa lũ khi xuất hiện biến dạng thấm (2 lần/ngày)	+ Mùa lũ 3lần/ngày (7h, 12h và 19h) từ báo động I + Mùa kiệt 1 lần/ngày
15	Tuyến 29 (T+X+NL+L)	+ Mùa lũ 3lần/ngày (7h, 12h và 19h) từ báo động I + Mùa kiệt 1 lần/ngày	2 lần/năm + Mùa lũ 1 lần/năm + Mùa kiệt 1 lần/năm	2 lần/năm + Mùa lũ 1 lần/năm + Mùa kiệt 1 lần/năm	2 lần/năm + Mùa lũ 1 lần/năm + Mùa kiệt 1 lần/năm	1 lần/năm vào mùa kiệt	Lấy mẫu trong mùa lũ khi xuất hiện biến dạng thấm (2 lần/ngày)	+ Mùa lũ 3lần/ngày (7h, 12h và 19h) từ báo động I + Mùa kiệt 1 lần/ngày
16	Tuyến 31 (X+L)	+ Mùa lũ 3lần/ngày (7h, 12h và 19h) từ báo động I + Mùa kiệt 1 lần/ngày		2 lần/năm + Mùa lũ 1 lần/năm + Mùa kiệt 1 lần/năm	2 lần/năm + Mùa lũ 1 lần/năm + Mùa kiệt 1 lần/năm	1 lần/năm vào mùa kiệt		+ Mùa lũ 3lần/ngày (7h, 12h và 19h) từ báo động I + Mùa kiệt 1 lần/ngày
17	Tuyến 33 (T+X+NL+L)	+ Mùa lũ 3lần/ngày (7h, 12h và 19h) từ báo động I + Mùa kiệt 1 lần/ngày	2 lần/năm + Mùa lũ 1 lần/năm + Mùa kiệt 1 lần/năm	2 lần/năm + Mùa lũ 1 lần/năm + Mùa kiệt 1 lần/năm	2 lần/năm + Mùa lũ 1 lần/năm + Mùa kiệt 1 lần/năm	1 lần/năm vào mùa kiệt	Lấy mẫu trong mùa lũ khi xuất hiện biến dạng thấm (2 lần/ngày)	+ Mùa lũ 3lần/ngày (7h, 12h và 19h) từ báo động I + Mùa kiệt 1 lần/ngày
18	Tuyến 35 (X)	+ Mùa lũ 3lần/ngày (7h, 12h và 19h) từ báo động I + Mùa kiệt 1 lần/ngày			2 lần/năm + Mùa lũ 1 lần/năm + Mùa kiệt 1 lần/năm	1 lần/năm vào mùa kiệt		+ Mùa lũ 3lần/ngày (7h, 12h và 19h) từ báo động I + Mùa kiệt 1 lần/ngày

19	Tuyên 37 (NL)	+ Mùa lũ 3lần/ngày (7h, 12h và 19h) từ báo động I + Mùa kiệt 1 lần/ngày			2 lần/năm + Mùa lũ 1 lần/năm + Mùa kiệt 1 lần/năm			+ Mùa lũ 3lần/ngày (7h, 12h và 19h) từ báo động I + Mùa kiệt 1 lần/ngày
20	Tuyên 39 (T+X+L)	+ Mùa lũ 3lần/ngày (7h, 12h và 19h) từ báo động I + Mùa kiệt 1 lần/ngày	2 lần/năm + Mùa lũ 1 lần/năm + Mùa kiệt 1 lần/năm	2 lần/năm + Mùa lũ 1 lần/năm + Mùa kiệt 1 lần/năm	2 lần/năm + Mùa lũ 1 lần/năm + Mùa kiệt 1 lần/năm	1 lần/năm vào mùa kiệt	Lấy mẫu trong mùa lũ khi xuất hiện biến dạng thấm (2 lần/ngày)	+ Mùa lũ 3lần/ngày (7h, 12h và 19h) từ báo động I + Mùa kiệt 1 lần/ngày
21	Tuyên 41 (T+X+NL)	+ Mùa lũ 3lần/ngày (7h, 12h và 19h) từ báo động I + Mùa kiệt 1 lần/ngày	2 lần/năm + Mùa lũ 1 lần/năm + Mùa kiệt 1 lần/năm	2 lần/năm + Mùa lũ 1 lần/năm + Mùa kiệt 1 lần/năm	2 lần/năm + Mùa lũ 1 lần/năm + Mùa kiệt 1 lần/năm	1 lần/năm vào mùa kiệt	Lấy mẫu trong mùa lũ khi xuất hiện biến dạng thấm (2 lần/ngày)	+ Mùa lũ 3lần/ngày (7h, 12h và 19h) từ báo động I + Mùa kiệt 1 lần/ngày
22	Tuyên 43 (T+X+NL+L)	+ Mùa lũ 3lần/ngày (7h, 12h và 19h) từ báo động I + Mùa kiệt 1 lần/ngày	2 lần/năm + Mùa lũ 1 lần/năm + Mùa kiệt 1 lần/năm	2 lần/năm + Mùa lũ 1 lần/năm + Mùa kiệt 1 lần/năm	2 lần/năm + Mùa lũ 1 lần/năm + Mùa kiệt 1 lần/năm	1 lần/năm vào mùa kiệt	Lấy mẫu trong mùa lũ khi xuất hiện biến dạng thấm (2 lần/ngày)	+ Mùa lũ 3lần/ngày (7h, 12h và 19h) từ báo động I + Mùa kiệt 1 lần/ngày
23	Tuyên 45 (L+X)	+ Mùa lũ 3lần/ngày (7h, 12h và 19h) từ báo động I + Mùa kiệt 1 lần/ngày		2 lần/năm + Mùa lũ 1 lần/năm + Mùa kiệt 1 lần/năm	2 lần/năm + Mùa lũ 1 lần/năm + Mùa kiệt 1 lần/năm	1 lần/năm vào mùa kiệt		+ Mùa lũ 3lần/ngày (7h, 12h và 19h) từ báo động I + Mùa kiệt 1 lần/ngày

24	Tuyến 47 (T+X+L)	+ Mùa lũ 3lần/ngày (7h, 12h và 19h) từ báo động I + Mùa kiệt 1 lần/ngày	2 lần/năm + Mùa lũ 1 lần/năm + Mùa kiệt 1 lần/năm	2 lần/năm + Mùa lũ 1 lần/năm + Mùa kiệt 1 lần/năm	2 lần/năm + Mùa lũ 1 lần/năm + Mùa kiệt 1 lần/năm	1 lần/năm vào mùa kiệt	Lấy mẫu trong mùa lũ khi xuất hiện biến dạng thấm (2 lần/ngày)	+ Mùa lũ 3lần/ngày (7h, 12h và 19h) từ báo động I + Mùa kiệt 1 lần/ngày
25	Tuyến 49 (X)	+ Mùa lũ 3lần/ngày (7h, 12h và 19h) từ báo động I + Mùa kiệt 1 lần/ngày			2 lần/năm + Mùa lũ 1 lần/năm + Mùa kiệt 1 lần/năm	1 lần/năm vào mùa kiệt		+ Mùa lũ 3lần/ngày (7h, 12h và 19h) từ báo động I + Mùa kiệt 1 lần/ngày
26	Tuyến 51 (T+X+L)	+ Mùa lũ 3lần/ngày (7h, 12h và 19h) từ báo động I + Mùa kiệt 1 lần/ngày	2 lần/năm + Mùa lũ 1 lần/năm + Mùa kiệt 1 lần/năm	2 lần/năm + Mùa lũ 1 lần/năm + Mùa kiệt 1 lần/năm	2 lần/năm + Mùa lũ 1 lần/năm + Mùa kiệt 1 lần/năm	1 lần/năm vào mùa kiệt	Lấy mẫu trong mùa lũ khi xuất hiện biến dạng thấm (2 lần/ngày)	+ Mùa lũ 3lần/ngày (7h, 12h và 19h) từ báo động I + Mùa kiệt 1 lần/ngày
27	Tuyến 53 (X+L)	+ Mùa lũ 3lần/ngày (7h, 12h và 19h) từ báo động I + Mùa kiệt 1 lần/ngày		2 lần/năm + Mùa lũ 1 lần/năm + Mùa kiệt 1 lần/năm	2 lần/năm + Mùa lũ 1 lần/năm + Mùa kiệt 1 lần/năm	1 lần/năm vào mùa kiệt		+ Mùa lũ 3lần/ngày (7h, 12h và 19h) từ báo động I + Mùa kiệt 1 lần/ngày
28	Tuyến 2 (X)	+ Mùa lũ 3lần/ngày (7h, 12h và 19h) từ báo động I + Mùa kiệt 1 lần/ngày			2 lần/năm + Mùa lũ 1 lần/năm + Mùa kiệt 1 lần/năm	1 lần/năm vào mùa kiệt		+ Mùa lũ 3lần/ngày (7h, 12h và 19h) từ báo động I + Mùa kiệt 1 lần/ngày

29	Tuyến 4 (X)	+ Mùa lũ 3lần/ngày (7h, 12h và 19h) từ báo động I + Mùa kiệt 1 lần/ngày			2 lần/năm + Mùa lũ 1 lần/năm + Mùa kiệt 1 lần/năm	1 lần/năm vào mùa kiệt		+ Mùa lũ 3lần/ngày (7h, 12h và 19h) từ báo động I + Mùa kiệt 1 lần/ngày
30	Tuyến 6 (T+X)	+ Mùa lũ 3lần/ngày (7h, 12h và 19h) từ báo động I + Mùa kiệt 1 lần/ngày	2 lần/năm + Mùa lũ 1 lần/năm + Mùa kiệt 1 lần/năm	2 lần/năm + Mùa lũ 1 lần/năm + Mùa kiệt 1 lần/năm	2 lần/năm + Mùa lũ 1 lần/năm + Mùa kiệt 1 lần/năm	1 lần/năm vào mùa kiệt	Lấy mẫu trong mùa lũ khi xuất hiện biến dạng thấm (2 lần/ngày)	+ Mùa lũ 3lần/ngày (7h, 12h và 19h) từ báo động I + Mùa kiệt 1 lần/ngày
31	Tuyến 8 (NL)	+ Mùa lũ 3lần/ngày (7h, 12h và 19h) từ báo động I + Mùa kiệt 1 lần/ngày			2 lần/năm + Mùa lũ 1 lần/năm + Mùa kiệt 1 lần/năm			+ Mùa lũ 3lần/ngày (7h, 12h và 19h) từ báo động I + Mùa kiệt 1 lần/ngày
32	Tuyến 10 (T)	+ Mùa lũ 3lần/ngày (7h, 12h và 19h) từ báo động I + Mùa kiệt 1 lần/ngày	2 lần/năm + Mùa lũ 1 lần/năm + Mùa kiệt 1 lần/năm	2 lần/năm + Mùa lũ 1 lần/năm + Mùa kiệt 1 lần/năm			Lấy mẫu trong mùa lũ khi xuất hiện biến dạng thấm (2 lần/ngày)	+ Mùa lũ 3lần/ngày (7h, 12h và 19h) từ báo động I + Mùa kiệt 1 lần/ngày
33	Tuyến 12 (T+X)	+ Mùa lũ 3lần/ngày (7h, 12h và 19h) từ báo động I + Mùa kiệt 1 lần/ngày	2 lần/năm + Mùa lũ 1 lần/năm + Mùa kiệt 1 lần/năm	2 lần/năm + Mùa lũ 1 lần/năm + Mùa kiệt 1 lần/năm	2 lần/năm + Mùa lũ 1 lần/năm + Mùa kiệt 1 lần/năm	1 lần/năm vào mùa kiệt	Lấy mẫu trong mùa lũ khi xuất hiện biến dạng thấm (2 lần/ngày)	+ Mùa lũ 3lần/ngày (7h, 12h và 19h) từ báo động I + Mùa kiệt 1 lần/ngày

34	Tuyên 14 (X)	+ Mùa lũ 3lần/ngày (7h, 12h và 19h) từ báo động I + Mùa kiệt 1 lần/ngày			2 lần/năm + Mùa lũ 1 lần/năm + Mùa kiệt 1 lần/năm	1 lần/năm vào mùa kiệt		+ Mùa lũ 3lần/ngày (7h, 12h và 19h) từ báo động I + Mùa kiệt 1 lần/ngày
35	Tuyên 16 (T)	+ Mùa lũ 3lần/ngày (7h, 12h và 19h) từ báo động I + Mùa kiệt 1 lần/ngày	2 lần/năm + Mùa lũ 1 lần/năm + Mùa kiệt 1 lần/năm	2 lần/năm + Mùa lũ 1 lần/năm + Mùa kiệt 1 lần/năm			Lấy mẫu trong mùa lũ khi xuất hiện biến dạng thấm (2 lần/ngày)	+ Mùa lũ 3lần/ngày (7h, 12h và 19h) từ báo động I + Mùa kiệt 1 lần/ngày
36	Tuyên 18 (T+X)	+ Mùa lũ 3lần/ngày (7h, 12h và 19h) từ báo động I + Mùa kiệt 1 lần/ngày	2 lần/năm + Mùa lũ 1 lần/năm + Mùa kiệt 1 lần/năm	2 lần/năm + Mùa lũ 1 lần/năm + Mùa kiệt 1 lần/năm	2 lần/năm + Mùa lũ 1 lần/năm + Mùa kiệt 1 lần/năm	1 lần/năm vào mùa kiệt	Lấy mẫu trong mùa lũ khi xuất hiện biến dạng thấm (2 lần/ngày)	+ Mùa lũ 3lần/ngày (7h, 12h và 19h) từ báo động I + Mùa kiệt 1 lần/ngày
37	Tuyên 20 (T+X+NL+L)	+ Mùa lũ 3lần/ngày (7h, 12h và 19h) từ báo động I + Mùa kiệt 1 lần/ngày	2 lần/năm + Mùa lũ 1 lần/năm + Mùa kiệt 1 lần/năm	2 lần/năm + Mùa lũ 1 lần/năm + Mùa kiệt 1 lần/năm	2 lần/năm + Mùa lũ 1 lần/năm + Mùa kiệt 1 lần/năm	1 lần/năm vào mùa kiệt	Lấy mẫu trong mùa lũ khi xuất hiện biến dạng thấm (2 lần/ngày)	+ Mùa lũ 3lần/ngày (7h, 12h và 19h) từ báo động I + Mùa kiệt 1 lần/ngày
38	Tuyên 22 (T+L)	+ Mùa lũ 3lần/ngày (7h, 12h và 19h) từ báo động I + Mùa kiệt 1 lần/ngày	2 lần/năm + Mùa lũ 1 lần/năm + Mùa kiệt 1 lần/năm	2 lần/năm + Mùa lũ 1 lần/năm + Mùa kiệt 1 lần/năm			Lấy mẫu trong mùa lũ khi xuất hiện biến dạng thấm (2 lần/ngày)	+ Mùa lũ 3lần/ngày (7h, 12h và 19h) từ báo động I + Mùa kiệt 1 lần/ngày

39	Tuyên 24 (T+X+NL+L)	+ Mùa lũ 3lần/ngày (7h, 12h và 19h) từ báo động I + Mùa kiệt 1 lần/ngày	2 lần/năm + Mùa lũ 1 lần/năm + Mùa kiệt 1 lần/năm	2 lần/năm + Mùa lũ 1 lần/năm + Mùa kiệt 1 lần/năm	2 lần/năm + Mùa lũ 1 lần/năm + Mùa kiệt 1 lần/năm	1 lần/năm vào mùa kiệt	Lấy mẫu trong mùa lũ khi xuất hiện biến dạng thảm (2 lần/ngày)	+ Mùa lũ 3lần/ngày (7h, 12h và 19h) từ báo động I + Mùa kiệt 1 lần/ngày
40	Tuyên 26 (T+X+L)	+ Mùa lũ 3lần/ngày (7h, 12h và 19h) từ báo động I + Mùa kiệt 1 lần/ngày	2 lần/năm + Mùa lũ 1 lần/năm + Mùa kiệt 1 lần/năm	2 lần/năm + Mùa lũ 1 lần/năm + Mùa kiệt 1 lần/năm	2 lần/năm + Mùa lũ 1 lần/năm + Mùa kiệt 1 lần/năm	1 lần/năm vào mùa kiệt	Lấy mẫu trong mùa lũ khi xuất hiện biến dạng thảm (2 lần/ngày)	+ Mùa lũ 3lần/ngày (7h, 12h và 19h) từ báo động I + Mùa kiệt 1 lần/ngày
41	Tuyên 28 (X+L)	+ Mùa lũ 3lần/ngày (7h, 12h và 19h) từ báo động I + Mùa kiệt 1 lần/ngày		2 lần/năm + Mùa lũ 1 lần/năm + Mùa kiệt 1 lần/năm	2 lần/năm + Mùa lũ 1 lần/năm + Mùa kiệt 1 lần/năm	1 lần/năm vào mùa kiệt		+ Mùa lũ 3lần/ngày (7h, 12h và 19h) từ báo động I + Mùa kiệt 1 lần/ngày
42	Tuyên 30 (X+NL)	+ Mùa lũ 3lần/ngày (7h, 12h và 19h) từ báo động I + Mùa kiệt 1			2 lần/năm + Mùa lũ 1 lần/năm + Mùa kiệt 1 lần/năm	1 lần/năm vào mùa kiệt		+ Mùa lũ 3lần/ngày (7h, 12h và 19h) từ báo động I + Mùa kiệt 1 lần/ngày
43	Tuyên 32 (T+X+L)	+ Mùa lũ 3lần/ngày (7h, 12h và 19h) từ báo động I + Mùa kiệt 1 lần/ngày	2 lần/năm + Mùa lũ 1 lần/năm + Mùa kiệt 1 lần/năm	2 lần/năm + Mùa lũ 1 lần/năm + Mùa kiệt 1 lần/năm	2 lần/năm + Mùa lũ 1 lần/năm + Mùa kiệt 1 lần/năm	1 lần/năm vào mùa kiệt	Lấy mẫu trong mùa lũ khi xuất hiện biến dạng thảm (2 lần/ngày)	+ Mùa lũ 3lần/ngày (7h, 12h và 19h) từ báo động I + Mùa kiệt 1 lần/ngày

44	Tuyến 34 (X)	+ Mùa lũ 3lần/ngày (7h, 12h và 19h) từ báo động I + Mùa kiệt 1 lần/ngày			2 lần/năm + Mùa lũ 1 lần/năm + Mùa kiệt 1 lần/năm	1 lần/năm vào mùa kiệt		+ Mùa lũ 3lần/ngày (7h, 12h và 19h) từ báo động I + Mùa kiệt 1 lần/ngày
45	Tuyến 36 (X+NL)	+ Mùa lũ 3lần/ngày (7h, 12h và 19h) từ báo động I + Mùa kiệt 1			2 lần/năm + Mùa lũ 1 lần/năm + Mùa kiệt 1 lần/năm	1 lần/năm vào mùa kiệt		+ Mùa lũ 3lần/ngày (7h, 12h và 19h) từ báo động I + Mùa kiệt 1 lần/ngày
46	Tuyến 38 (X+NL)	+ Mùa lũ 3lần/ngày (7h, 12h và 19h) từ báo động I + Mùa kiệt 1			2 lần/năm + Mùa lũ 1 lần/năm + Mùa kiệt 1 lần/năm	1 lần/năm vào mùa kiệt		+ Mùa lũ 3lần/ngày (7h, 12h và 19h) từ báo động I + Mùa kiệt 1 lần/ngày
47	Tuyến 40 (T+NL+L)	+ Mùa lũ 3lần/ngày (7h, 12h và 19h) từ báo động I + Mùa kiệt 1 lần/ngày	2 lần/năm + Mùa lũ 1 lần/năm + Mùa kiệt 1 lần/năm	2 lần/năm + Mùa lũ 1 lần/năm + Mùa kiệt 1 lần/năm	2 lần/năm + Mùa lũ 1 lần/năm + Mùa kiệt 1 lần/năm		Lấy mẫu trong mùa lũ khi xuất hiện biến dạng thấm (2 lần/ngày)	+ Mùa lũ 3lần/ngày (7h, 12h và 19h) từ báo động I + Mùa kiệt 1 lần/ngày
48	Tuyến 42 (X+L)	+ Mùa lũ 3lần/ngày (7h, 12h và 19h) từ báo động I + Mùa kiệt 1 lần/ngày		2 lần/năm + Mùa lũ 1 lần/năm + Mùa kiệt 1 lần/năm	2 lần/năm + Mùa lũ 1 lần/năm + Mùa kiệt 1 lần/năm	1 lần/năm vào mùa kiệt		+ Mùa lũ 3lần/ngày (7h, 12h và 19h) từ báo động I + Mùa kiệt 1 lần/ngày



49	Tuyến 44 (T+X+NL)	+ Mùa lũ 3lần/ngày (7h, 12h và 19h) từ báo động I + Mùa kiệt 1 lần/ngày	2 lần/năm + Mùa lũ 1 lần/năm + Mùa kiệt 1 lần/năm	2 lần/năm + Mùa lũ 1 lần/năm + Mùa kiệt 1 lần/năm	2 lần/năm + Mùa lũ 1 lần/năm + Mùa kiệt 1 lần/năm	1 lần/năm vào mùa kiệt	Lấy mẫu trong mùa lũ khi xuất hiện biến dạng thấm (2 lần/ngày)	+ Mùa lũ 3lần/ngày (7h, 12h và 19h) từ báo động I + Mùa kiệt 1 lần/ngày
50	Tuyến 46 (T+L)	+ Mùa lũ 3lần/ngày (7h, 12h và 19h) từ báo động I + Mùa kiệt 1 lần/ngày	2 lần/năm + Mùa lũ 1 lần/năm + Mùa kiệt 1 lần/năm	2 lần/năm + Mùa lũ 1 lần/năm + Mùa kiệt 1 lần/năm			Lấy mẫu trong mùa lũ khi xuất hiện biến dạng thấm (2 lần/ngày)	+ Mùa lũ 3lần/ngày (7h, 12h và 19h) từ báo động I + Mùa kiệt 1 lần/ngày
51	Tuyến 48 (T+L)	+ Mùa lũ 3lần/ngày (7h, 12h và 19h) từ báo động I + Mùa kiệt 1 lần/ngày	2 lần/năm + Mùa lũ 1 lần/năm + Mùa kiệt 1 lần/năm	2 lần/năm + Mùa lũ 1 lần/năm + Mùa kiệt 1 lần/năm			Lấy mẫu trong mùa lũ khi xuất hiện biến dạng thấm (2 lần/ngày)	+ Mùa lũ 3lần/ngày (7h, 12h và 19h) từ báo động I + Mùa kiệt 1 lần/ngày
52	Tuyến 50 (T+L)	+ Mùa lũ 3lần/ngày (7h, 12h và 19h) từ báo động I + Mùa kiệt 1 lần/ngày	2 lần/năm + Mùa lũ 1 lần/năm + Mùa kiệt 1 lần/năm	2 lần/năm + Mùa lũ 1 lần/năm + Mùa kiệt 1 lần/năm			Lấy mẫu trong mùa lũ khi xuất hiện biến dạng thấm (2 lần/ngày)	+ Mùa lũ 3lần/ngày (7h, 12h và 19h) từ báo động I + Mùa kiệt 1 lần/ngày
53	Tuyến 52 (X)	+ Mùa lũ 3lần/ngày (7h, 12h và 19h) từ báo động I + Mùa kiệt 1 lần/ngày			2 lần/năm + Mùa lũ 1 lần/năm + Mùa kiệt 1 lần/năm	1 lần/năm vào mùa kiệt		+ Mùa lũ 3lần/ngày (7h, 12h và 19h) từ báo động I + Mùa kiệt 1 lần/ngày

54	Tuyến 54 (X+L)	+ Mùa lũ 3lần/ngày (7h, 12h và 19h) từ báo động I + Mùa kiệt 1 lần/ngày		2 lần/năm + Mùa lũ 1 lần/năm + Mùa kiệt 1 lần/năm	2 lần/năm + Mùa lũ 1 lần/năm + Mùa kiệt 1 lần/năm	1 lần/năm vào mùa kiệt		+ Mùa lũ 3lần/ngày (7h, 12h và 19h) từ báo động I + Mùa kiệt 1 lần/ngày
----	----------------	--	--	---	---	---------------------------	--	--