

BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO

VIỆN HÀN LÂM KHOA HỌC
VÀ CÔNG NGHỆ VIỆT NAM

HỌC VIỆN KHOA HỌC VÀ CÔNG NGHỆ



Nguyễn Tiến Hùng

**NGHIÊN CỨU ƯỚC LƯỢNG HIỆU ỨNG
NỀN ĐẤT KHU VỰC NỘI THÀNH THÀNH PHỐ
HÀ NỘI VÀ LÂN CẬN**

LUẬN ÁN TIẾN SĨ VẬT LÝ ĐỊA CẦU

Hà Nội - 2023

BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO

VIỆN HÀN LÂM KHOA HỌC
VÀ CÔNG NGHỆ VIỆT NAM

HỌC VIỆN KHOA HỌC VÀ CÔNG NGHỆ

Nguyễn Tiến Hùng

NGHIÊN CỨU ƯỚC LƯỢNG HIỆU ỨNG
NỀN ĐẤT KHU VỰC NỘI THÀNH THÀNH PHỐ
HÀ NỘI VÀ LÂN CẬN

Chuyên ngành: Vật lý địa cầu

Mã số: 9 44 01 11

LUẬN ÁN TIẾN SĨ VẬT LÝ ĐỊA CẦU

NGƯỜI HƯỚNG DẪN KHOA HỌC:

- PGS.TS. Nguyễn Hồng Phương
- TS. Nguyễn Lê Minh

Hà Nội, 2023

LỜI CAM ĐOAN

Tôi xin cam đoan đây là công trình nghiên cứu của riêng tôi. Các số liệu, kết quả nêu trong luận án này là trung thực, chưa từng được ai công bố trong bất kỳ công trình nào khác.

Tác giả



Nguyễn Tiến Hùng

LỜI CẢM ƠN

Trước hết, tôi xin bày tỏ lòng biết ơn chân thành tới PGS.TS. Nguyễn Hồng Phương và TS. Nguyễn Lê Minh đã chỉ bảo, hướng dẫn và giúp đỡ tận tình tôi trong suốt quá trình học tập, làm việc và thực hiện luận án này.

Qua đây, tôi xin cảm ơn các thầy cô trong Khoa Các khoa học trái đất - Học viện Khoa học và Công nghệ, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam, đã tận tình giảng dạy, hướng dẫn và giúp đỡ tôi trong suốt quá trình học tập, nghiên cứu và thực hiện luận án tại đây.

Nhân dịp này, tôi xin gửi lời cảm ơn đến GS.TS. Bùi Công Quế, GS.TS. Kuo-Liang Wen, TS. Lin Che-Min, PGS.TS. Đinh Văn Toàn, TS. Lê Tử Sơn, TS. Lê Huy Minh, TS. Đặng Thanh Hải, TS. Nguyễn Ánh Dương, TS. Phạm Thế Truyền, TS. Nguyễn Văn Dương, TS. Lê Trường Thanh, TS. Lại Hợp Phòng, TS. Bùi Thị Nhung, Ban lãnh đạo Học viện Khoa học và Công nghệ, Ban lãnh đạo Viện Vật lý địa cầu và tập thể cán bộ Phòng Quan sát động đất đã tạo điều kiện giúp đỡ tôi trong suốt quá trình học tập, nghiên cứu và thực hiện luận án này.

Cuối cùng, tôi xin gửi lời cảm ơn sâu sắc tới gia đình, bạn bè và đồng nghiệp đã tận tình giúp đỡ, hỗ trợ và động viên tôi trong suốt quá trình học tập và hoàn thành luận án này.

Hà Nội, ngày 15 tháng 3 năm 2023

Tác giả



Nguyễn Tiến Hùng

MỤC LỤC

Lời cam đoan	
Lời cảm ơn	
Mục lục	
Danh mục các ký hiệu, các chữ viết tắt	
Danh mục các bảng	
Danh mục các hình vẽ, đồ thị	
MỞ ĐẦU	1
CHƯƠNG 1. TỔNG QUAN TÌNH HÌNH NGHIÊN CỨU VÀ ĐIỀU KIỆN NỀN ĐẤT KHU VỰC NGHIÊN CỨU	6
1.1. Nghiên cứu hiệu ứng nền đất trên thế giới	6
1.2. Nghiên cứu hiệu ứng nền đất ở Việt Nam	11
1.2.1. Với quy mô quốc gia	11
1.2.2. Ở cấp độ thành phố Hà Nội	15
1.3. Điều kiện nền đất khu vực nghiên cứu	18
1.3.1. Địa hình khu vực nghiên cứu	18
1.3.2. Địa chất công trình khu vực nghiên cứu	20
Kết luận chương 1	24
CHƯƠNG 2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU HIỆU ỨNG NỀN ĐẤT	25
2.1. Dao động vi địa chấn và các kỹ thuật đo	25
2.1.1. Khái niệm về dao động vi địa chấn	25
2.1.2. Các kỹ thuật đo dao động vi địa chấn	25
2.1.2.1. Đo dao động vi địa chấn điểm tựa	25
2.1.2.2. Đo dao động vi địa chấn một trạm	26
2.1.2.3. Đo mảng dao động vi địa chấn	27
2.2. Phương pháp đánh giá các đặc điểm dao động vi địa chấn	28
2.2.1. Tần số trội dao động vi địa chấn trong môi trường phân lớp	28
2.2.2. Kỹ thuật phân tích tỷ số phổ H/V	29
2.2.3. Kỹ thuật đánh giá tương quan giữa tần số trội H/V và chiều dày lớp phủ nông	30
2.3. Phương pháp đánh giá hiệu ứng nền đất	32
2.3.1. Kỹ thuật chuyển đổi sóng SH và thuật toán di truyền	32

2.3.1.1.	Kỹ thuật chuyển đổi sóng SH	32
2.3.1.2.	Thuật toán di truyền	35
2.3.2.	Hàm suy giảm chấn động	35
2.3.3.	Hệ số khuếch đại dao động nền	40
2.4.	Các tiêu chuẩn và tiêu chí đánh giá.	40
2.4.1.	Tiêu chuẩn phân loại nền theo giá trị V_{S30}	40
2.4.2.	Tiêu chí phân vùng tần số dao động	42
2.4.3.	Sai số	43
	Kết luận chương 2	43
	CHƯƠNG 3. NGUỒN SỐ LIỆU VÀ CÁC QUY TRÌNH MINH GIẢI	44
3.1.	Thiết bị đo dao động vi địa chấn	44
3.2.	Nguồn số liệu phục vụ nghiên cứu	45
3.2.1.	Số liệu đo dao động vi địa chấn	45
3.2.1.1.	Đo dao động vi địa chấn một trạm	45
3.2.1.2.	Đo mảng dao động vi địa chấn	47
3.2.2.	Số liệu, tài liệu địa chất công trình	50
3.2.3.	Đánh giá số liệu đo dao động vi địa chấn một trạm	52
3.2.3.1.	Số liệu đo dao động vi địa chấn một trạm lặp lại theo thời gian	52
3.2.3.2.	Số liệu đo dao động vi địa chấn một trạm đồng thời bằng nhiều thiết bị	55
3.2.4.	Đánh giá giá trị chiều dày lớp phủ nông của số liệu địa chất công trình	61
3.3.	Các quy trình minh giải	63
3.3.1.	Quy trình xây dựng biểu đồ tỷ số phổ H/V	63
3.3.2.	Quy trình đánh giá các đặc điểm dao động vi địa chấn	65
3.3.2.1.	Đánh giá đặc điểm hình dạng biểu đồ tỷ số phổ H/V	65
3.3.2.2.	Đánh giá đặc điểm tần số trội H/V	66
3.3.2.3.	Đánh giá đặc điểm dao động vi địa chấn trong miền tần số đặc biệt	67
3.3.2.4.	Đánh giá đặc điểm tương quan giữa tần số trội H/V và chiều dày lớp phủ nông	67

3.3.3.	Quy trình đánh giá hiệu ứng nền đất	68
3.3.3.1.	Xây dựng mô hình khởi tạo	68
3.3.3.2.	Xây dựng biểu đồ cấu trúc vận tốc sóng ngang 1D	70
3.3.3.3.	Thành lập sơ đồ phân loại nền đất	72
3.3.3.4.	Xác định hệ số khuếch đại dao động nền	73
3.4.	Thảo luận chương 3	74
	Kết luận chương 3	75
	CHƯƠNG 4. ĐẶC ĐIỂM DAO ĐỘNG VI ĐỊA CHẤN KHU VỰC NỘI THÀNH THÀNH PHỐ HÀ NỘI VÀ LÂN CẬN	76
4.1.	Đặc điểm hình dạng biểu đồ tỷ số phổ H/V khu vực nttp. Hà Nội	76
4.2.	Đặc điểm tần số trội H/V khu vực nttp. Hà Nội	80
4.3.	Đặc điểm dao động vi địa chấn trong miền tần số đặc biệt khu vực nttp. Hà Nội	84
4.4.	Đặc điểm tương quan giữa tần số trội H/V và chiều dày lớp phủ nông khu vực nttp. Hà Nội	85
4.4.1.	Hàm tương quan thực nghiệm giữa tần số trội H/V và chiều dày lớp phủ nông khu vực nttp. Hà Nội	86
4.4.2.	Mặt cắt phân bố chiều dày lớp phủ nông khu vực nttp. Hà Nội	87
4.4.3.	Sơ đồ phân vùng chiều dày lớp phủ nông khu vực nttp. Hà Nội	90
4.5.	Thảo luận chương 4	92
	Kết luận chương 4	93
	CHƯƠNG 5. HIỆU ỨNG NỀN ĐẤT KHU VỰC NỘI THÀNH THÀNH PHỐ HÀ NỘI VÀ LÂN CẬN	94
5.1.	Các mô hình khởi tạo	94
5.1.1.	Tham số mô hình khởi tạo các lớp đất gần bề mặt	94
5.1.2.	Tham số mô hình khởi tạo các lớp đá sâu	96
5.1.3.	Tham số các mô hình khởi tạo	98
5.2.	Biểu đồ cấu trúc vận tốc sóng ngang 1D lớp phủ nông khu vực nttp. Hà Nội	99
5.2.1.	Các tham số chương trình mô phỏng	99
5.2.2.	Biểu đồ cấu trúc vận tốc sóng ngang 1D tối ưu khu vực nttp. Hà Nội	100

5.3.	Các loại nền đất khu vực nttp. Hà Nội	104
5.3.1.	Biểu đồ cấu trúc vận tốc sóng ngang 1D phù hợp khu vực nttp. Hà Nội	104
5.3.2.	Giá trị V_{S30} khu vực nttp. Hà Nội	106
5.3.3.	Sơ đồ phân loại nền đất khu vực nttp. Hà Nội	109
5.4.	Hệ số khuếch đại dao động nền khu vực nttp. Hà Nội	111
5.4.1.	Tham số các kịch bản động đất	111
5.4.2.	Hệ số khuếch đại dao động nền của kịch bản động đất 1 khu vực nttp. Hà Nội	116
5.4.3.	Hệ số khuếch đại dao động nền của kịch bản động đất 2 khu vực nttp. Hà Nội	120
5.4.4.	Hệ số khuếch đại dao động nền của kịch bản động đất 3 khu vực nttp. Hà Nội	125
5.4.5.	Hệ số khuếch đại dao động các loại nền khu vực nttp. Hà Nội	130
5.5.	Thảo luận chương 5	133
	Kết luận chương 5	134
	KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ	135
	DANH MỤC CÔNG TRÌNH ĐÃ CÔNG BỐ	137
	DANH MỤC TÀI LIỆU THAM KHẢO	138
	PHỤ LỤC 1	149
	PHỤ LỤC 2	152
	PHỤ LỤC 3	153

DANH MỤC CÁC CHỮ VIẾT TẮT

- ĐKND - Điều kiện nền đất
- KĐĐĐN - Khuếch đại dao động nền
- HUNĐ - Hiệu ứng nền đất
- ĐCCT - Địa chất công trình
- nntp. Hà Nội - Nội thành thành phố Hà Nội và lân cận
- ĐĐVĐC - Dao động vi địa chấn
- V_S - Vận tốc sóng ngang
- V_P - Vận tốc sóng dọc
- V_{S30} - Vận tốc sóng ngang trung bình trong 30 m phía trên cùng
- V_{S1D} - Vận tốc sóng ngang theo phương thẳng đứng
- V_{Sk} - Vận tốc sóng ngang trung bình tính theo chỉ số N_{SPT}
- V_{st} - Vận tốc sóng ngang trung bình đo trực tiếp trong lỗ khoan
- V_{SS} - Vận tốc sóng ngang trung bình của loại đất chính gần bề mặt
- F_0 - Tần số trội H/V hay tần số trội dao động nền đất
- T_0 - Chu kỳ trội H/V hay chu kỳ trội dao động nền đất
- A_0 - Biên độ trội H/V
- D - Chiều dày lớp phủ nông
- D_K - Chiều dày lớp nông phủ xác định theo lỗ khoan
- D_T - Chiều dày lớp phủ nông tính theo tần số trội H/V
- HVSR - Tỷ số phổ H/V
- PGA - Gia tốc đỉnh
- GM - Dao động nền
- GM_R - Dao động nền theo phương ngang tại mặt đá cứng ứng với V_{S30} là 800 m/s
- GM_S - Dao động nền theo phương ngang tại mặt lớp phủ ứng với V_{S30} thực tế
- K - Hệ số khuếch đại dao động nền
- M_S - Độ lớn sóng mặt
- M_W - Độ lớn mô men
- N_{SPT} - Số nhát đập trong thí nghiệm đâm xuyên tiêu chuẩn (SPT)
- CB08 - Hàm suy giảm chấn động của Campbell và Bozognia năm 2008
- NS - Dao động vi địa chấn thành phần Bắc-Nam

EW - Dao động vi địa chấn thành phần Đông-Tây

Z - Dao động vi địa chấn thành phần thẳng đứng

GA - Thuật toán di truyền

SH - Sóng S dao động theo phương ngang

TCVN 9386:2012 -Tiêu chuẩn quốc gia 9386:2012 thiết kế công trình chịu động đất

Err - Sai số tỉ đối

D_{\min} - Chiều dày nhỏ nhất

D_{\max} - Chiều dày lớn nhất

MSK-64 - Thang chấn động MSK-64

nnk - Những người khác

DANH MỤC CÁC BẢNG

<i>Bảng 1.1:</i> Một số hàm tương quan thực nghiệm giữa giá trị V_S và chỉ số N_{SPT} phù hợp với điều kiện nền đất khu vực nghiên cứu	10
<i>Bảng 1.2:</i> Danh mục các loại đất phân loại theo quan điểm địa chất công trình khu vực nghiên cứu	23
<i>Bảng 2.1:</i> Tiêu chuẩn phân loại nền đất của Mỹ	41
<i>Bảng 2.2:</i> Tiêu chuẩn phân loại nền đất quốc gia TCVN 9386:2012 của Việt Nam hay Eurocode 8 của liên minh Châu Âu	41
<i>Bảng 3.1:</i> Giá trị biên độ trội H/V tại 12 điểm đo đồng thời bằng 7 bộ máy đo Samtac	56
<i>Bảng 3.2:</i> Giá trị tần số trội H/V tại 12 điểm đo đồng thời bằng 7 bộ máy đo Samtac	56
<i>Bảng 5.1:</i> Các giá trị trung bình của 11 loại đất chính gần bề mặt	95
<i>Bảng 5.2:</i> Tham số mô hình khởi tạo các lớp đất gần bề mặt	95
<i>Bảng 5.3:</i> Giá trị vận tốc sóng ngang của các lớp đất, đá tại các điểm đo mảng dao động vi địa chấn trong khu vực nghiên cứu	97
<i>Bảng 5.4:</i> Giá trị vận tốc sóng ngang trung bình và giới hạn chiều dày của các lớp đá sâu	97
<i>Bảng 5.5:</i> Tham số mô hình khởi tạo các lớp đá sâu	98
<i>Bảng 5.6:</i> Tham số các mô hình khởi tạo	99
<i>Bảng 5.7:</i> Các giá trị dao động nền và cấp chấn động tại 05 điểm kiểm nghiệm tính bằng 03 kịch bản động đất theo độ sâu chấn tiêu giả định khác nhau	115
<i>Bảng 5.8:</i> Hệ số khuếch đại dao động các loại nền khu vực nttp. Hà Nội	131

DANH MỤC CÁC HÌNH VẼ, ĐỒ THỊ

<i>Hình 1.</i> Sơ đồ khu vực nghiên cứu	4
<i>Hình 1.1.</i> Sơ đồ mô tả hiện tượng hiệu ứng nền đất tại bồn trứng Mê-hi-cô trong động đất Michoacan 1985	7
<i>Hình 1.2.</i> Các sơ đồ mô tả sự thay đổi biên độ sóng động đất theo độ sâu	8
<i>Hình 1.3.</i> Sơ đồ đường đẳng chấn động đất Điện Biên 1935	12
<i>Hình 1.4.</i> Sơ đồ đường đẳng chấn động đất Vĩnh Phúc 1958	13
<i>Hình 1.5.</i> Sơ đồ đường đẳng chấn động đất Bắc Giang 1961	13
<i>Hình 1.6.</i> Sơ đồ đường đẳng chấn động đất Tuần Giáo 1983	14
<i>Hình 1.7.</i> Các hình ảnh mô tả sự ảnh hưởng của điều kiện nền đất địa phương trong động đất Điện Biên 2001	14
<i>Hình 1.8.</i> Sơ đồ phân vùng địa hình và chiều dày lớp phủ nông khu vực nghiên cứu	19
<i>Hình 1.9.</i> Cột địa tầng trầm tích Đệ tứ khu vực nghiên cứu	21
<i>Hình 1.10.</i> Sơ đồ phân vùng địa chất công trình và các mặt cắt địa chất công trình 2D khu vực nghiên cứu	22
<i>Hình 2.1.</i> Sơ đồ bố trí thiết bị theo kỹ thuật đo dao động vi địa chấn diêm tựa và một trạm	26
<i>Hình 2.2.</i> Sơ đồ bố trí thiết bị theo kỹ thuật đo mảng dao động vi địa chấn	27
<i>Hình 2.3.</i> Mô hình xác định tần số trội dao động vi địa chấn trong môi trường phân lớp	28
<i>Hình 2.4.</i> Mô hình đánh giá đặc điểm tương quan giữa tần số trội H/V và chiều dày lớp phủ nông	31
<i>Hình 2.5.</i> Biểu đồ tương quan giữa vận tốc truyền sóng ngang và độ sâu tại lỗ khoan BH2, khu đô thị Starlake Tây Hồ, Hà Nội	31
<i>Hình 2.6.</i> Mô hình n lớp song song, đồng nhất và đẳng hướng	32
<i>Hình 2.7.</i> Các mô hình tính tham số khoảng cách theo cơ chế hoạt động của nguồn phát sinh động đất và vị trí điểm đo	39
<i>Hình 2.8.</i> Các biểu đồ quan hệ giữa loại nền đất và tần số dao động	42
<i>Hình 3.1.</i> Thiết bị đo dao động vi địa chấn và môi trường khảo sát	44
<i>Hình 3.2.</i> Bảng ghi dao động vi địa chấn 3 thành phần vận tốc	45

<i>Hình 3.3.</i> Sơ đồ phân bố điểm đo dao động vi địa chấn một trạm phục vụ nghiên cứu này	46
<i>Hình 3.4.</i> Sơ đồ phân loại điểm đo dao động vi địa chấn phục vụ nghiên cứu này	48
<i>Hình 3.5.</i> Biểu đồ cấu trúc vận tốc sóng ngang 1D tại các điểm đo mảng dao động vi địa chấn phục vụ nghiên cứu này	49
<i>Hình 3.6.</i> Sơ đồ phân bố các vị trí lỗ khoan và điểm đo vận tốc sóng ngang phục vụ nghiên cứu này	51
<i>Hình 3.7.</i> Các biểu đồ phân bố giá trị biên độ trội H/V và tần số trội H/V của các phép đo lặp lại theo thời gian	53
<i>Hình 3.8.</i> Các biểu đồ tỷ số phổ H/V của các phép đo lặp lại theo thời gian	54
<i>Hình 3.9.</i> Biểu đồ sai số của các phép đo lặp lại theo thời gian	54
<i>Hình 3.10.</i> Các biểu đồ tỷ số phổ H/V của phép đo đồng thời bằng 07 bộ máy Samtac năm 2009	57
<i>Hình 3.11.</i> Các biểu đồ tỷ số phổ H/V của phép đo đồng thời bằng 07 bộ máy Samtac năm 2012	58
<i>Hình 3.12.</i> Các biểu đồ tỷ số phổ H/V của phép đo đồng thời bằng 07 bộ máy Samtac năm 2013	59
<i>Hình 3.13.</i> Các biểu đồ phân bố giá trị sai số của 84 phép đo đồng thời bằng 07 bộ máy đo Samtac	60
<i>Hình 3.14.</i> Biểu đồ các mặt cắt chiều dày lớp phủ nông và vị trí lỗ khoan theo số liệu địa chất công trình khu vực nghiên cứu	62
<i>Hình 3.15.</i> Sơ đồ khối quy trình xây dựng biểu đồ tỷ số phổ H/V	64
<i>Hình 3.16.</i> Các hình dạng biểu đồ tỷ số phổ H/V thông thường	65
<i>Hình 3.17.</i> Sơ đồ khối quy trình đánh giá các đặc điểm dao động vi địa chấn	66
<i>Hình 3.18.</i> Sơ đồ khối quy trình đánh giá đặc điểm tương quan giữa tần số trội H/V và chiều dày lớp phủ nông	68
<i>Hình 3.19.</i> Sơ đồ khối quy trình xây dựng mô hình khởi tạo các lớp đất gần bề mặt	69
<i>Hình 3.20.</i> Sơ đồ khối quy trình xây dựng mô hình khởi tạo các lớp đá sâu	70
<i>Hình 3.21.</i> Sơ đồ khối quy trình xây dựng biểu đồ cấu trúc vận tốc sóng ngang 1D tối ưu	72

<i>Hình 3.22.</i> Sơ đồ khối quy trình thành lập sơ đồ phân loại nền đất	73
<i>Hình 3.23.</i> Sơ đồ khối quy trình xác định hệ số khuếch đại dao động nền	74
<i>Hình 4.1.</i> Các đặc điểm hình dạng biểu đồ tỷ số phổ H/V khu vực nttp. Hà Nội	78
<i>Hình 4.2.</i> Sơ đồ phân vùng đặc điểm hình dạng biểu đồ tỷ số phổ H/V khu vực nttp. Hà Nội	79
<i>Hình 4.3.</i> Sơ đồ phân bố giá trị tần số trội H/V khu vực nttp. Hà Nội	81
<i>Hình 4.4.</i> Sơ đồ phân vùng giá trị tần số trội H/V khu vực nttp. Hà Nội	82
<i>Hình 4.5.</i> Các biểu đồ phân bố giá trị tần số trội H/V và chiều dày lớp phủ nông theo tuyến đo điển hình khu vực nttp. Hà Nội	83
<i>Hình 4.6.</i> Các biểu đồ mô tả đặc điểm dao động vi địa chấn trong hai miền tần số đặc biệt khu vực nttp. Hà Nội	85
<i>Hình 4.7.</i> Biểu đồ tương quan giữa tần số trội H/V và chiều dày lớp phủ nông khu vực nttp. Hà Nội	86
<i>Hình 4.8.</i> Biểu đồ các mặt cắt phân bố chiều dày lớp phủ nông theo tuyến khu vực nttp. Hà Nội	89
<i>Hình 4.9.</i> Sơ đồ phân vùng chiều dày lớp phủ nông khu vực nttp. Hà Nội	91
<i>Hình 5.1.</i> Các mô hình khởi tạo	99
<i>Hình 5.2.</i> Các biểu đồ tỷ số phổ H/V và sóng SH chuyển đổi tại bốn điểm đo dao động vi địa chấn điển hình khu vực nttp. Hà Nội	101
<i>Hình 5.3.</i> Các biểu đồ cấu trúc vận tốc sóng ngang 1D tối ưu tại một điểm đo dao động vi địa chấn một trạm điển hình mô phỏng bằng ba mô hình khởi tạo khác nhau khu vực nttp. Hà Nội	102
<i>Hình 5.4.</i> Sơ đồ phân vùng hệ số tương quan giữa biểu đồ tỷ số phổ H/V và biểu đồ sóng SH chuyển đổi khu vực nttp. Hà Nội	103
<i>Hình 5.5.</i> Các biểu đồ cấu trúc vận tốc sóng ngang 1D tại vùng chân núi và đồng bằng cao khu vực nttp. Hà Nội	105
<i>Hình 5.6.</i> Các biểu đồ cấu trúc vận tốc sóng ngang 1D tại vùng đồng bằng thấp khu vực nttp. Hà Nội	106
<i>Hình 5.7.</i> Sơ đồ phân vùng giá trị V_{S30} khu vực nttp. Hà Nội	108
<i>Hình 5.8.</i> Sơ đồ phân loại nền đất khu vực nttp. Hà Nội	110
<i>Hình 5.9.</i> Sơ đồ phân bố các vùng nguồn phát sinh động đất, vị trí chấn tâm	114

và vị trí điểm kiểm nghiệm cường độ chấn động

- Hình 5.10.* Sơ đồ phân vùng giá trị dao động nền theo phương ngang tại mặt đá cứng của kịch bản động đất 1 khu vực nttp. Hà Nội 117
- Hình 5.11.* Sơ đồ phân vùng giá trị dao động nền theo phương ngang tại mặt lớp phủ của kịch bản động đất 1 khu vực nttp. Hà Nội 118
- Hình 5.12.* Sơ đồ phân vùng hệ số khuếch đại dao động nền của kịch bản động đất 1 khu vực nttp. Hà Nội 119
- Hình 5.13.* Biểu đồ tương quan giữa hệ số khuếch đại dao động nền của kịch bản động đất 1 và giá trị V_{S30} khu vực nttp. Hà Nội 120
- Hình 5.14.* Sơ đồ phân vùng giá trị dao động nền theo phương ngang tại mặt đá cứng của kịch bản động đất 2 khu vực nttp. Hà Nội 122
- Hình 5.15.* Sơ đồ phân vùng giá trị dao động nền theo phương ngang tại mặt lớp phủ của kịch bản động đất 2 khu vực nttp. Hà Nội 123
- Hình 5.16.* Sơ đồ phân vùng hệ số khuếch đại dao động nền của kịch bản động đất 2 khu vực nttp. Hà Nội 124
- Hình 5.17.* Biểu đồ tương quan giữa hệ số khuếch đại dao động nền của kịch bản động đất 2 và giá trị V_{S30} khu vực nttp. Hà Nội 125
- Hình 5.18.* Sơ đồ phân vùng giá trị dao động nền theo phương ngang tại mặt đá cứng của kịch bản động đất 3 khu vực nttp. Hà Nội 127
- Hình 5.19.* Sơ đồ phân vùng giá trị dao động nền theo phương ngang tại mặt lớp phủ của kịch bản động đất 3 khu vực nttp. Hà Nội 128
- Hình 5.20.* Sơ đồ phân vùng hệ số khuếch đại dao động nền của kịch bản động đất 3 khu vực nttp. Hà Nội 129
- Hình 5.21.* Biểu đồ tương quan giữa hệ số khuếch đại dao động nền của kịch bản động đất 3 và giá trị V_{S30} khu vực nttp. Hà Nội 130
- Hình 5.22.* Các biểu đồ tương quan giữa các hệ số khuếch đại dao động nền khu vực nttp. Hà Nội 131

MỞ ĐẦU

Hà Nội là thủ đô nước Cộng hòa xã hội chủ nghĩa Việt Nam, thành phố đặc biệt và trung tâm chính trị - hành chính của cả nước. Theo đồ án quy hoạch chung đến năm 2030 và tầm nhìn đến năm 2050 [1], thành phố Hà Nội gồm một khu đô thị trung tâm và 5 khu đô thị vệ tinh là Hòa Lạc, Sơn Tây, Xuân Mai, Phú Xuyên và Sóc Sơn. Dân số xấp xỉ 8,5 triệu người. Trong đó, khu đô thị trung tâm có vai trò quan trọng nhất, là hạt nhân của thành phố Hà Nội. Khu đô thị này có mật độ dân số cao, tập trung nhiều công trình trọng điểm cấp quốc gia, đại sứ quán của các nước, các khu đô thị cao tầng - siêu cao tầng và các trung tâm văn hóa - dịch vụ - thương mại lớn.

Về điều kiện nền đất (sau đây viết tắt là ĐKNĐ), Hà Nội được bao bọc bởi các dãy núi cao ở phía Tây và phía Bắc. Các dãy núi này đến địa phận Hà Nội thì bị chìm xuống dưới lớp đất mềm để tạo ra một vùng đồng châu thổ rộng lớn và bằng phẳng với nhiều hệ thống sông ở phía Đông và phía Nam. Bởi vậy, Hà Nội có nghĩa là thành phố trong lòng sông. Hàng năm, các hệ thống sông này đã bồi đắp một lượng lớn phù sa để tạo ra lớp phủ trầm tích dày hàng trăm m. Do sự tương tác giữa dòng chảy của các con sông và sóng - thủy triều của biển đã làm cho các dòng sông uốn lượn quanh co, các hồ hình móng ngựa, các đầm lầy và cấu trúc địa chất nông phức tạp. Các nghiên cứu địa chất công trình (sau đây viết tắt là ĐCCT) trước đây [2-4] cho thấy nền đất của thành phố Hà Nội là các loại trầm tích, yếu, được tạo ra chủ yếu từ các hoạt động của sông Hồng và sông Đuống. Thành phần chủ yếu là bùn, sét và cát hạt nhỏ. Nền đất này dễ bị khuếch đại bởi các sóng động đất và thường làm gia tăng mức độ thiệt hại trong động đất. Tại các quận nội thành, các lớp trầm tích còn có xu hướng nằm song song theo phương ngang, điều này còn có thể xảy ra hiện tượng cộng hưởng sóng động đất làm cho sự thiệt hại tăng thêm nhiều lần.

Về hoạt động động đất, thành phố Hà Nội nằm trên đới đứt gãy Sông Hồng (RRF). Đây là đới đứt gãy lớn, phương Tây Bắc-Đông Nam và dài hơn 1000 km (Hình 1). Đoạn đứt gãy chạy qua thành phố Hà Nội gồm ba đứt gãy chính đó là đứt gãy Sông Hồng, đứt gãy Sông Cháy và đứt gãy Sông Lô. Trong đó, đứt gãy Sông Cháy cắt ngang qua vùng trung tâm của thành phố Hà Nội là độ nguy hiểm động đất

cao nhất. Tốc độ chuyển dịch ngang trung bình trong giai đoạn hiện nay của đứt gãy này là $2,7 \pm 1,6$ mm/năm [5]. Đây có thể là nguyên nhân chính gây ra các rung động mạnh cho thành phố Hà Nội. Các nghiên cứu địa chấn trước đây cho thấy cường độ chấn động có thể đạt cấp VIII (thang MSK-64), tức là độ nguy hiểm động đất cao [6, 7]. Mặc dù vậy, đến nay thành phố Hà Nội vẫn chưa ghi được một trận động đất gần mạnh đáng kể nào. Các trận động đất chỉ được biết đến theo thống kê trong các tài liệu ghi chép của lịch sử đó là chuỗi động đất vào các năm 1277, 1278 và 1285 với cường độ chấn động đạt cấp VII-VIII (thang MSK-64) [6]. Tuy nhiên, hàng năm ở đây vẫn cảm nhận rõ các rung động gây ra bởi các trận động đất xa. Việc cảm nhận rõ các rung động này là do các công trình xây dựng trên nền đất yếu. Mức độ cảm nhận càng rõ khi ở trên các tầng nhà càng cao. Điều này là do sự cộng hưởng của công trình và sự khuếch đại gây ra bởi nền đất yếu. Như vậy, có thể thấy rằng, mặc dù tần suất xuất hiện các trận động đất mạnh ở gần là không cao nhưng tần suất gây rung động bởi các trận động đất xa lại cao. Điều này chứng tỏ nguy cơ thiệt hại do động đất là khá cao. Tuy nhiên, vấn đề lập quy hoạch phòng tránh và triển khai các giải pháp nhằm giảm thiểu thiệt hại do động đất gây ra vẫn còn chưa đủ rõ ràng. Do đó, để phát huy các kết quả nghiên cứu hiệu ứng nền đất (sau đây viết tắt là HUNĐ) của các nghiên cứu trước, việc tiến hành nghiên cứu bổ sung sự khuếch đại dao động nền (sau đây viết tắt là KĐDDN) cho toàn bộ khu vực nội thành và 04 huyện ngoại thành của thành phố Hà Nội là rất cần thiết. Vì vậy, luận án này đặt ra nhiệm vụ nghiên cứu sự khuếch đại dao động gây ra do nền đất với tên Đề tài: **“Nghiên cứu ước lượng hiệu ứng nền đất khu vực nội thành thành phố Hà Nội và lân cận”**.

HUNĐ là hiện tượng các lớp trầm tích yếu gần bề mặt làm khuếch đại đáng kể các sóng động đất. Điều này làm cho biên độ các sóng động đất mạnh hơn tại mặt đất khiến cho các rung động do động đất cũng bị khuếch đại lên và làm tăng khả năng gây thiệt hại. Ở vùng có các lớp trầm tích song song nằm ngang còn xảy ra hiện tượng cộng hưởng sóng dẫn đến cường độ sóng động đất bị khuếch đại thêm nhiều lần. Vì vậy, việc nghiên cứu HUNĐ rất được coi trọng trong nghiên cứu địa chấn công trình, đánh giá độ nguy hiểm động đất và độ rủi ro động đất, phục vụ công tác thiết kế công trình chịu động đất. Ngày nay, việc nghiên cứu HUNĐ cho các địa điểm xây dựng, các thành phố và khu công nghiệp là việc làm quan trọng

trong quy hoạch, thiết kế công trình chịu động đất. Đây là quy định bắt buộc trong quy phạm xây dựng và tiêu chuẩn thiết kế công trình chịu động đất.

1. Mục tiêu của luận án

Mục tiêu của luận án là làm rõ mức độ khuếch đại sóng động đất tại mặt đất (bề mặt lớp phủ) khu vực nội thành thành phố Hà Nội và lân cận chủ yếu là do điều kiện nền đất địa phương phục vụ công tác lập quy hoạch, thiết kế công trình chịu động đất trong ứng phó và giảm thiểu thiệt hại do động đất cho cộng đồng đô thị.

2. Nhiệm vụ của luận án

Để đạt được mục tiêu trên, các nhiệm vụ cần thực hiện gồm:

- Thu thập, cập nhật và tổng hợp số liệu, tài liệu đo dao động vi địa chấn (sau đây viết tắt là ĐĐVĐC) và ĐCCT;
- Đo bổ sung số liệu ĐĐVĐC một trạm theo các tuyến mặt cắt ĐCCT, dải dọc sông Hồng - sông Đuống, các quận nội thành còn lại và vùng phía Nam;
- Nghiên cứu, hoàn thiện quy trình đánh giá HUNĐ bằng kỹ thuật đo ĐĐVĐC;
- Xác định hệ số khuếch đại dao động các loại nền khu vực nội thành thành phố Hà Nội và lân cận.

3. Đối tượng và phạm vi nghiên cứu

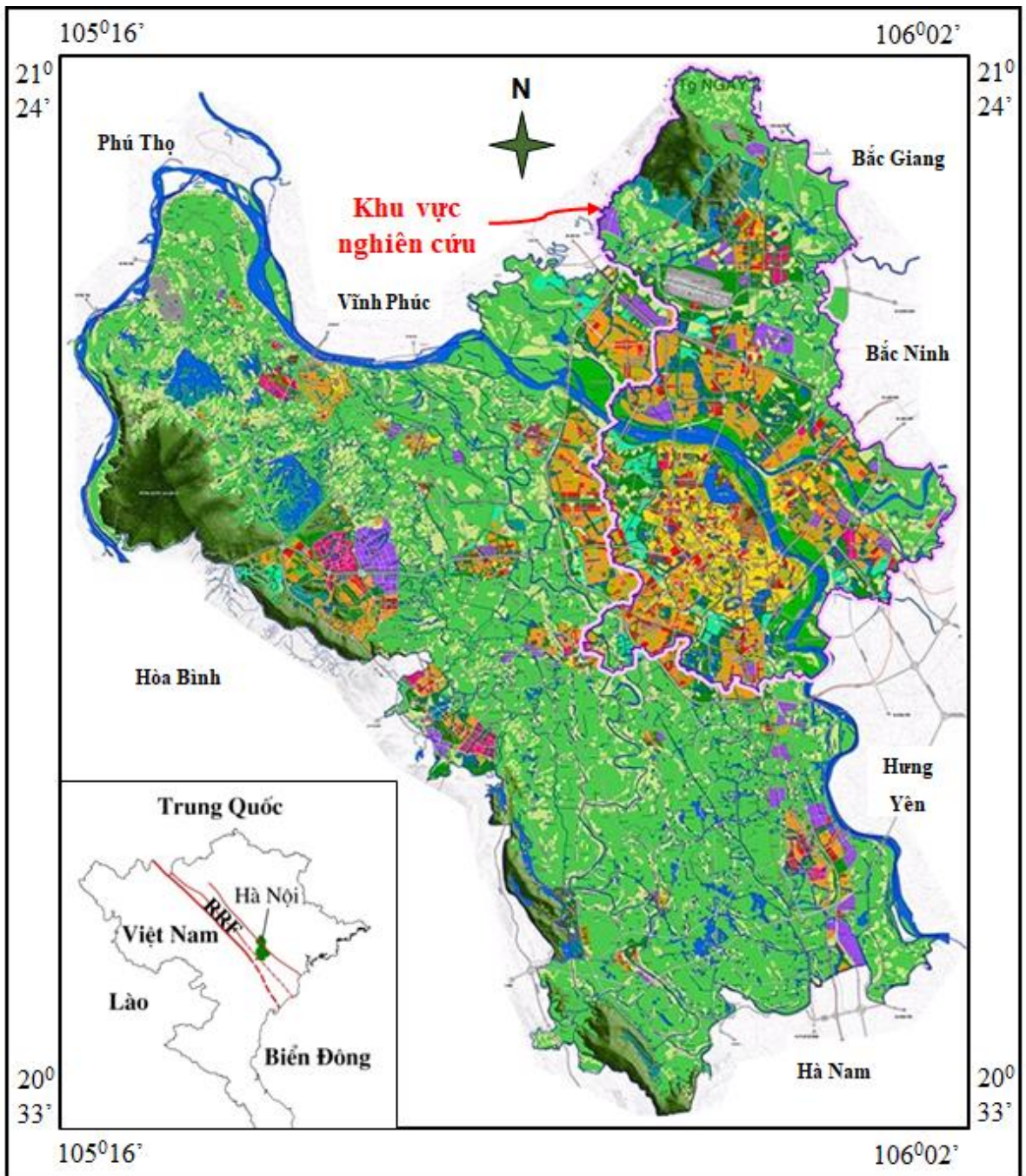
Đối tượng nghiên cứu là nền đất địa phương khu vực nội thành thành phố Hà Nội và lân cận và mối liên quan của chúng đến sự khuếch đại sóng động đất.

Phạm vi nghiên cứu là khu vực nội thành thành phố Hà Nội và lân cận (sau đây viết tắt là nttp. Hà Nội), chiếm phần lớn khu vực đô thị trung tâm, bao gồm 12 quận nội thành (Ba Đình, Bắc Từ Liêm, Cầu Giấy, Đống Đa, Hai Bà Trưng, Hà Đông, Hoàn Kiếm, Hoàng Mai, Long Biên, Nam Từ Liêm, Tây Hồ và Thanh Xuân) và 4 huyện ngoại thành lân cận (Đông Anh, Gia Lâm, Sóc Sơn và Thanh Trì). Tổng diện tích nghiên cứu khoảng 1000 km² (Hình 1).

4. Những điểm mới của luận án

- Làm rõ được mối liên quan giữa đặc điểm ĐĐVĐC và ĐKNĐ địa phương khu vực nttp. Hà Nội.
- Thành lập được sơ đồ phân loại nền đất theo giá trị vận tốc sóng ngang trung bình trong 30 m phía trên cùng (sau đây viết tắt là V_{S30}) của Tiêu chuẩn quốc gia 9386:2012 khu vực nttp. Hà Nội trên cơ sở 834 điểm đo ĐĐVĐC một trạm.

- Xác định được hệ số khuếch đại dao động các loại nền B, C và D khu vực nttp. Hà Nội trên cơ sở 816 giá trị V_{S30} tính được theo kỹ thuật mô phỏng biểu đồ tỷ số phổ H/V bằng thuật toán di truyền.



Hình 1. Sơ đồ khu vực nghiên cứu.

5. Cơ sở tài liệu và phương pháp

Tài liệu sử dụng dựa trên 834 điểm đo ĐĐVĐC một trạm bổ sung và kế thừa của các công trình nghiên cứu trước đây.

Phương pháp nghiên cứu và kỹ thuật sử dụng được phân ra thành 3 nhóm phương pháp chính sau:

- 1- Nhóm các phương pháp điều tra khảo sát;
- 2- Nhóm các phương pháp tin học tính toán - mô phỏng;
- 3- Nhóm các phương pháp thống kê, biểu diễn, so sánh và đánh giá.

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

- *Ý nghĩa khoa học của luận án*
 - Phương pháp luận là một bước tiến mới nhằm bổ sung và hoàn thiện phương pháp nghiên cứu HUỖĐ cho khu vực đông dân cư hay khu vực đô thị.
- *Ý nghĩa thực tiễn của luận án*
 - Cung cấp bộ dữ liệu đo ĐĐVĐC một trạm, giá trị tần số trội H/V (sau đây viết tắt là F_0), giá trị chiều dày lớp phủ nông (sau đây viết tắt là D), giá trị V_{S30} , hệ số khuếch đại dao động nền (sau đây viết tắt là K), tập sơ đồ phân bố hay phân vùng giá trị F_0 , phân bố hay phân vùng giá trị D, phân loại nền đất, phân vùng hệ số K khu vực nttp. Hà Nội phục vụ công tác lập quy hoạch, thiết kế công trình chịu động đất trong phòng ngừa và giảm thiểu thiệt hại gây ra do động đất cho cộng đồng đô thị.
 - Làm cơ sở để xây dựng các tiêu chuẩn, quy chuẩn trong thiết kế công trình chịu động đất cho thành phố Hà Nội.

7. Cấu trúc của luận án

Ngoài phần mở đầu và kết luận, luận án gồm 5 chương cụ thể là:

Chương 1 giới thiệu tổng quan tình hình nghiên cứu ước lượng hiệu ứng nền đất trên thế giới và Việt Nam, cung cấp các thông tin cơ bản về nền đất địa phương khu vực nghiên cứu liên quan đến sự khuếch đại sóng động đất.

Chương 2 đề cập đến khái niệm dao động vi địa chấn, các kỹ thuật đo, cơ sở phương pháp đánh giá đặc điểm dao động vi địa chấn và ước lượng hiệu ứng nền đất.

Chương 3 nói về nguồn gốc các loại dữ liệu, sự tin cậy của nguồn số liệu và các quy trình minh giải sử dụng.

Chương 4 trình bày chi tiết kết quả đánh giá các đặc điểm dao động vi địa chấn khu vực nttp. Hà Nội trên cơ sở 834 điểm đo dao động vi địa chấn một trạm.

Chương 5 trình bày chi tiết kết quả đánh giá hiệu ứng nền đất khu vực nttp. Hà Nội trên cơ sở 816 giá trị V_{S30} tính được theo kỹ thuật mô phỏng biểu đồ tỷ số phổ H/V bằng thuật toán di truyền.

CHƯƠNG 1

TỔNG QUAN TÌNH HÌNH NGHIÊN CỨU VÀ ĐIỀU KIỆN NỀN ĐẤT KHU VỰC NGHIÊN CỨU

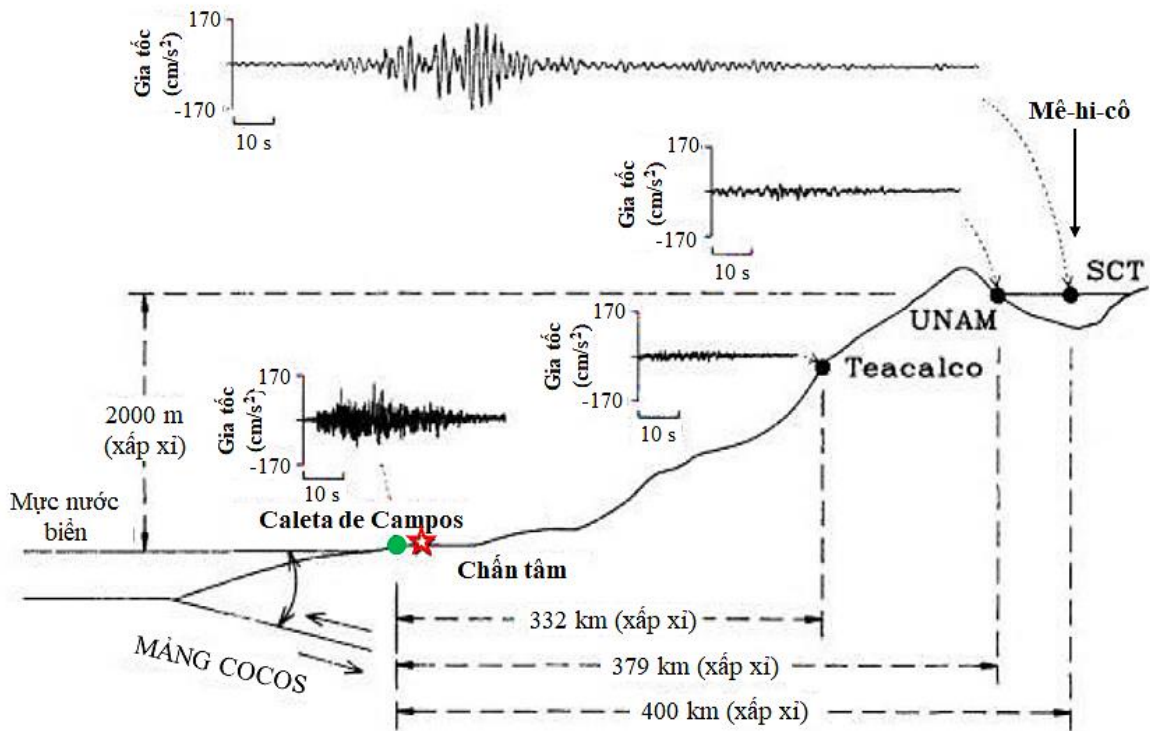
Hiện tượng dễ nhận thấy trong điều tra động đất mạnh là mức độ phá hủy công trình xây dựng khác nhau. Các công trình xây dựng trên vùng đất yếu dày thường bị phá hủy và thiệt hại nhiều hơn các vùng đất, đá cứng. Hiện tượng này gọi là HUNĐ. Vì vậy, nghiên cứu HUNĐ trên thế giới và Việt Nam rất được quan tâm bởi vì chúng phục vụ thiết kế công trình chịu động đất. Chương này giới thiệu tổng quan tình hình nghiên cứu HUNĐ trên thế giới và Việt Nam.

1.1. Nghiên cứu hiệu ứng nền đất trên thế giới

Nghiên cứu HUNĐ ra đời vào thời điểm cuộc cách mạng công nghiệp lần thứ 2, khi đầu máy xe lửa thay thế cho sức ngựa. Ở thời điểm này đã có sự thay đổi lớn về thiết kế, xây dựng các công trình giao thông, nhà ở hay cầu cống. Các đường giao thông truyền thống chuyển từ dạng đi men theo các sườn đồi hay chân núi (với nền đất tốt) sang dạng đi thẳng xuyên qua các nền đất với mức độ phức tạp khác nhau. Về nhà ở, chuyển từ dạng sử dụng các vật liệu là gỗ, đá với kết cấu dạng xếp chồng thấp tầng sang dạng sử dụng vật liệu là bê tông cốt thép với kết cấu dạng khối cao tầng.

Milne (1898) [8] đã thực hiện nghiên cứu sự KĐĐĐN tại hai trạm đo với cùng khoảng cách tới chấn tâm nhưng đặt trên hai nền khác nhau. Kết quả cho thấy giá trị trung bình dao động ngang của trạm này lớn hơn 5 và 10 lần so với trạm kia. Sự khác nhau được giải thích là do nền đặt trạm khác nhau. Các nghiên cứu tiếp theo đã chỉ ra sự KĐĐĐN là do sự phản xạ nhiều lần của sóng động đất khi truyền qua các lớp đất yếu phủ phía trên lớp đá cứng [9] hay sự khuếch đại dao động mạnh xảy ra tại các vùng có lớp trầm tích phù sa dày [10, 11]. Hiện tượng HUNĐ ghi được rõ ràng nhất là sự phá hủy công trình xây dựng ở thành phố Mê-hi-cô trong động đất Michoacan 1985 [12, 13]. Các kết quả cho thấy khu vực bồn trầm tích (đất yếu dày) cách xa vị trí chấn tâm hơn khu vực đồi núi (đất cứng) nhưng lại có biên độ sóng động đất lớn hơn từ 8 đến 50 lần (Hình 1.1). Một nghiên cứu khác [14] cũng chỉ ra hiện tượng tương tự. Giá trị gia tốc đỉnh (sau đây viết tắt là PGA) tại các trạm thuộc bồn trũng Đài Bắc đạt 200 cm/s^2 lớn hơn nhiều so với các trạm nằm giữa chấn tâm và bồn trũng Đài Bắc. Các nghiên cứu trên chứng tỏ nền đất địa phương

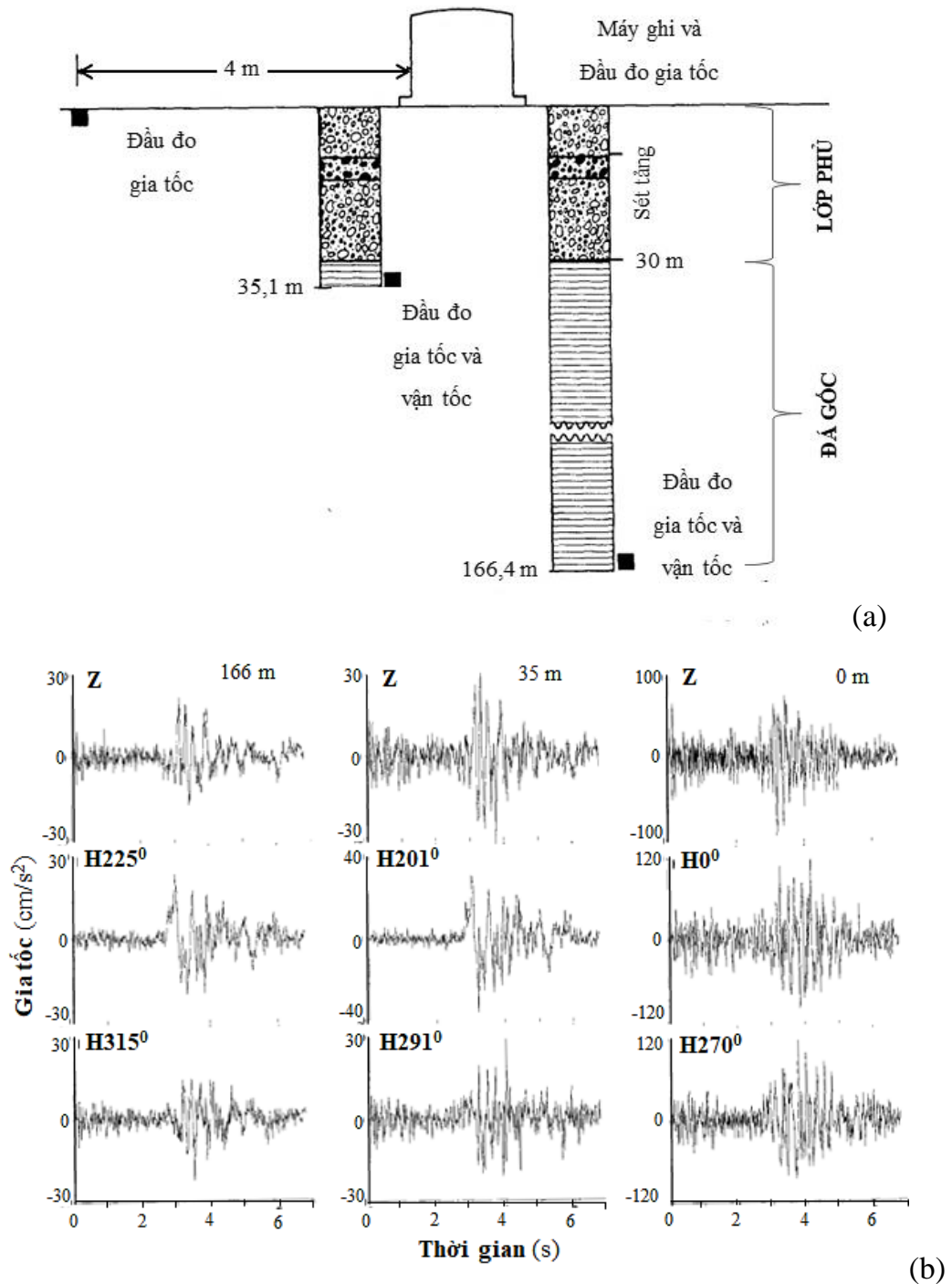
làm khuếch đại đáng kể các sóng động đất tại mặt đất. Hơn nữa, nền đất địa phương còn là môi trường tương tác trực tiếp giữa sóng động đất và công trình xây dựng. Mỗi nền đất địa phương có các tham số đặc trưng riêng liên quan đến tính cơ-lý của đất, đá như: vận tốc sóng ngang (sau đây viết tắt là V_S), mật độ, hệ số tắt dần chấn động, F_0 và chiều dày các lớp. Trong đó, tham số V_S và F_0 là hai tham số quan trọng nhất do chúng liên quan trực tiếp đến tốc độ truyền sóng động đất và tần số cộng hưởng ảnh hưởng với công trình. Do đó, các tiêu chuẩn thiết kế công trình chịu động đất đều dựa vào hay liên quan đến hai tham số này.



Hình 1.1. Sơ đồ mô tả hiện tượng hiệu ứng nền đất tại bồn trũng Mê-hi-cô trong động đất Michoacan 1985 [12, 13]. Các trạm Caleta de Campos, Teacalco, UNAM đặt trên đá, SCT đặt trên vùng hồ.

Ở giai đoạn tiếp theo, các nghiên cứu chủ yếu thực hiện đánh giá ảnh hưởng của ĐKNĐ địa phương đến sự KĐĐĐN tại mặt đất. Sandra và Ralph (1989) [15] đã thực hiện nghiên cứu sự KĐĐĐN trong môi trường lớp phủ và đá cứng theo độ sâu cho thấy sự khuếch đại mạnh xảy ra trong môi trường lớp phủ phía trên đá cứng. Giá trị PGA tại bề mặt lớp phủ lớn hơn khoảng 5 lần so với giá trị PGA trong đá cứng. Trong khi đó, giá trị PGA trong đá cứng khác nhau không nhiều (Hình 1.2). Anderson (1996) [16] đã thực hiện nghiên cứu đặc tính động của các lớp đất, đá gần mặt đất cho thấy sự khuếch đại mạnh nhất xảy ra tại một vài lớp đất, đá phía trên

cùng. Sau đó, tác giả đã đề xuất sử dụng giá trị V_S của các lớp đất, đá phía trên này để phân loại nền đất. Năm 2000, Dorbry [17] đã cải tiến cách phân loại nền đất của Anderson (1996) [16] bằng việc đề xuất tiêu chuẩn phân loại nền đất mới (gồm 5 loại nền là A, B, C, D và E thay thế cho các loại nền là S1, S2, S3 và S4 của Anderson (1996) [16]) dựa vào giá trị V_{S30} . Từ đó đến nay, giá trị V_{S30} được dùng phổ biến trong nghiên cứu phân loại nền đất, đánh giá HUND và đánh giá rủi ro động đất trên thế giới.



Hình 1.2. Các sơ đồ mô tả sự thay đổi biên độ sóng động đất theo độ sâu [15]. (a) Sơ đồ bố trí thiết bị đo và (b) Các băng gia tốc ghi được tại các độ sâu tương ứng.

Do giá trị V_{S30} được sử dụng dễ dàng cho tính toán số và có định lượng. Ngày nay, nhiều công trình nghiên cứu đã đưa ra phương pháp xác định V_S để tính giá trị V_{S30} , một số phương pháp điển hình có thể được liệt kê như sau:

1) Phương pháp đâm xuyên và tác động đó là phương pháp đâm xuyên trực tiếp vào các lớp đất, đá cần khảo sát, sau đó thực hiện các phép đo trực tiếp trên các lớp đất, đá này. Phương pháp phổ biến nhất là khoan thăm dò. Ở phương pháp này, giá trị V_S của các lớp đất, đá được đo trực tiếp trong lỗ khoan hay tác động ở bên trong lỗ khoan. Một số kỹ thuật của phương pháp này hay được sử dụng như: 1- Sóng đi xuống (Down-hole) đó là kỹ thuật đo V_S trực tiếp bên trong lỗ khoan bằng nguồn tác động ở bên ngoài lỗ khoan (đầu đo đặt ở bên trong lỗ khoan, dịch chuyển từ mặt đất xuống đáy lỗ khoan, nguồn tác động đặt cố định tại mặt đất) [18, 19]; 2- Sóng đi lên (Up-hole) đó là kỹ thuật đo V_S trực tiếp tại mặt đất bằng nguồn tác động ở bên trong lỗ khoan (đầu đo đặt cố định tại mặt đất, nguồn tác động đặt ở bên trong lỗ khoan và dịch chuyển từ trên xuống dưới) [20, 21]; 3- Sóng đi ngang hay chiếu sóng (Cross-hole) đó là kỹ thuật đo V_S trực tiếp theo phương ngang (đầu đo và nguồn tác động được đặt ở hai lỗ khoan khác nhau và dịch chuyển song song theo phương đứng) [22, 23]; 4- Carota lỗ khoan hay PS-logging đó là kỹ thuật thu V_S trực tiếp trong lỗ khoan theo khoảng cách không đổi (đầu đo và nguồn tác động đặt cách nhau một khoảng cố định và dịch chuyển đồng thời trong cùng một lỗ khoan) [24, 25] và 5- Nội suy từ số nhát đập trong thí nghiệm xuyên tiêu chuẩn (sau đây viết tắt là N_{SPT}) đó là tính V_S gián tiếp theo chỉ số N_{SPT} thực nghiệm [10, 26-40] (Bảng 1.1). Giá trị V_S xác định bằng các kỹ thuật này là chính xác nhất, tuy nhiên chúng có giá thành cao nên thường được áp dụng cho công trình đã cụ thể.

2) Phương pháp nguồn không đâm xuyên và tác động đó là phương pháp đo trường rung động gây ra do nguồn nổ cường bức (nguồn nổ). Nguồn nổ thường được sử dụng là: thuốc nổ, vật nặng rơi, búa máy, búa đập, máy biến rung, súng bắn hơi,.... nhằm tạo ra các sóng rung động cường bức. Ở phương pháp này, thiết bị đo được bố trí theo tuyến đo và nguồn nổ được đặt ngay trên tuyến đo. Giá trị V_S được xác định gián tiếp thông qua biểu đồ thời khoảng hay nghịch đảo từ biểu đồ đường cong tán sắc vận tốc pha của sóng mặt. Một số kỹ thuật của phương pháp được áp dụng như: 1- Khúc xạ địa chấn hay phản xạ địa chấn [41, 42]; 2- Vi địa chấn khúc xạ [43, 44]; 3- Phân tích phổ sóng mặt [45, 46] và 4- Phân tích đa kênh sóng mặt

[47, 48]. Các kỹ thuật này thường được sử dụng để xây dựng các tuyến mặt cắt ĐCCT 2D hay 3D. Tuy nhiên, chúng khó thực hiện trong các khu đông dân cư do giới hạn về không gian bố trí tuyến đo và phân bố điểm nổ. Ngoài ra, chúng còn phụ thuộc nhiều vào ĐKND địa phương, đặc biệt là tại các vùng trầm tích yếu với mực nước ngầm nông. Ở các vùng này, sóng S bị suy giảm nhanh làm cho giá trị V_S thấp dẫn đến phép đo thực hiện khó khăn hơn. Để đo được, nguồn nổ phải có năng lượng lớn như thuốc nổ hay búa máy. Điều này lại khó khăn cho việc khảo sát do phải xin phép từ chính quyền địa phương. Bởi vậy, kỹ thuật này thường được sử dụng tại các vùng đất, đá phong hóa và cách xa khu vực đông dân cư.

3) Phương pháp đo ĐĐVĐC là phương pháp đo dao động tự nhiên trên mặt đất bằng các máy đo ĐĐVĐC. Giá trị V_S được xác định gián tiếp thông qua phép nghịch đảo biểu đồ đường cong tán sắc vận tốc pha của sóng mặt từ số liệu đo mảng ĐĐVĐC [49-56] hay mô phỏng biểu đồ tỷ số phổ H/V (sau đây viết tắt là HVSR) từ số liệu đo ĐĐVĐC một trạm [57-64]. Phương pháp này dễ dàng thực hiện trong các khu đông dân cư với chi phí rẻ và thời gian ngắn. Vì thế chúng thường được lựa chọn cho khảo sát ở các khu đông dân cư hay khu đô thị.

Bảng 1.1. Một số hàm tương quan thực nghiệm giữa giá trị V_S và chỉ số N_{SPT} phù hợp với điều kiện nền đất khu vực nghiên cứu.

Tên tác giả	Hàm tương quan	Điều kiện áp dụng
Ohsaky và Iwasaki (1973) [26]	$V_S = 82 * N^{0,39}$	Tất cả các loại đất
Imai (1977) [27]	$V_S = 128 * N^{0,337}$	Tất cả các loại đất
	$V_S = 80,6 * N^{0,331}$	Cát
	$V_S = 102 * N^{0,292}$	Sét
Ohta và Goto (1978) [10]	$V_S = 85,35 * N^{0,348}$	Tất cả các loại đất
Imai và Tonouchi (1982) [28]	$V_S = 97 * N^{0,314}$	Tất cả các loại đất
Lee (1990) [29]	$V_S = 57,4 * N^{0,49}$	Tất cả các loại đất
	$V_S = 114,43 * N^{0,31}$	Sét
Yokota và nnk (1991) [30]	$V_S = 121 * N^{0,27}$	Tất cả các loại đất
Athanasopoulos (1995) [31]	$V_S = 107,6 * N^{0,36}$	Tất cả các loại đất
Jafari và nnk (2002) [32]	$V_S = 121 * N^{0,27}$	Tất cả các loại đất
	$V_S = 80,0 * N^{0,33}$	Cát
	$V_S = 100 * N^{0,33}$	Sét

Hansancebi và Ulusay (2007) [33]	$V_S = 90 * N^{0,309}$ $V_S = 90,8 * N^{0,319}$ $V_S = 97,9 * N^{0,269}$	Tất cả các loại đất Cát Sét
Hanumanthrao và Ramana (2008) [34]	$V_S = 82,6 * N^{0,43}$ $V_S = 79 * N^{0,434}$ $V_S = 86 * N^{0,42}$	Tất cả các loại đất Cát Sét
Uma và nnk (2010) [35]	$V_S = 95,64 * N^{0,301}$ $V_S = 100,53 * N^{0,265}$ $V_S = 89,31 * N^{0,358}$	Tất cả các loại đất Cát Sét
Tsiambaos và Sabatakakis (2011) [36]	$V_S = 105,7 * N^{0,301}$	Tất cả các loại đất
Anbazhagan và nnk (2012) [37]	$V_S = 68,96 * N^{0,51}$	Tất cả các loại đất
Fauzi và nnk (2014) [38]	$V_S = 105,03 * N^{0,268}$	Tất cả các loại đất
Kirar và nnk (2016) [39]	$V_S = 99,5 * N^{0,345}$	Tất cả các loại đất
Shukla và Solanki (2020) [40]	$V_S = 77,448 * N^{0,41}$	Tất cả các loại đất

1.2. Nghiên cứu hiệu ứng nền đất ở Việt Nam

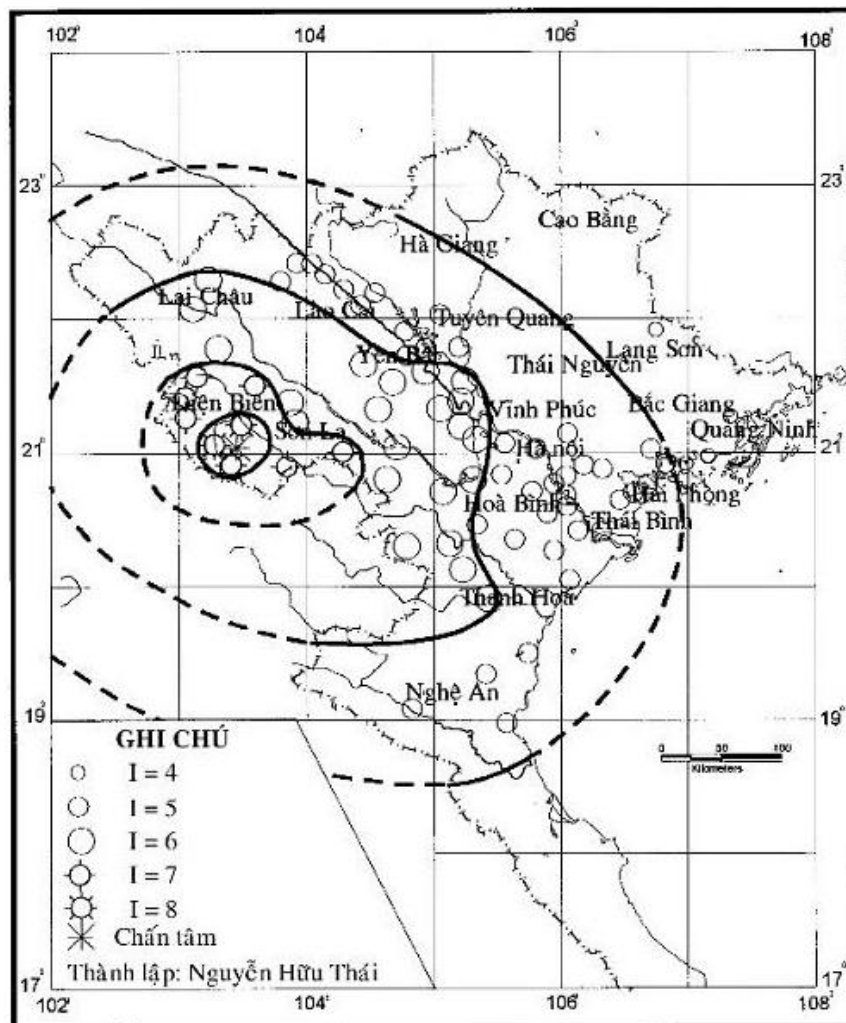
1.2.1. Với quy mô quốc gia

Ở Việt Nam, HUNĐ cũng quan sát thấy trong các kết quả điều tra động đất trước đây [6, 65] (Hình 1.3-1.6). Tại một số vùng, đường đẳng chấn có sự thay đổi không đều. Điều này chứng tỏ có sự ảnh hưởng của ĐKNĐ địa phương. Tuy nhiên, điểm khảo sát thưa nên HUNĐ mới chỉ thấy được xu hướng chung. Hiện tượng HUNĐ ghi nhận rõ ràng nhất là sự phá hủy công trình xây dựng trong động đất Điện Biên 2001 với độ lớn sóng mặt (M_S) là 5,3 [66]. Kết quả cho thấy 50-80% các công trình xây dựng bị hư hỏng thuộc thung lũng của thành phố Điện Biên Phủ, nơi có nền đất yếu với thành phần chủ yếu là cát và sét rất dày (Hình 1.7). Trong khi đó, các công trình xây dựng ở các vùng gò đồi hay chân núi, nơi có nền đất cứng, gần chấn tâm hơn lại ít bị hư hỏng.

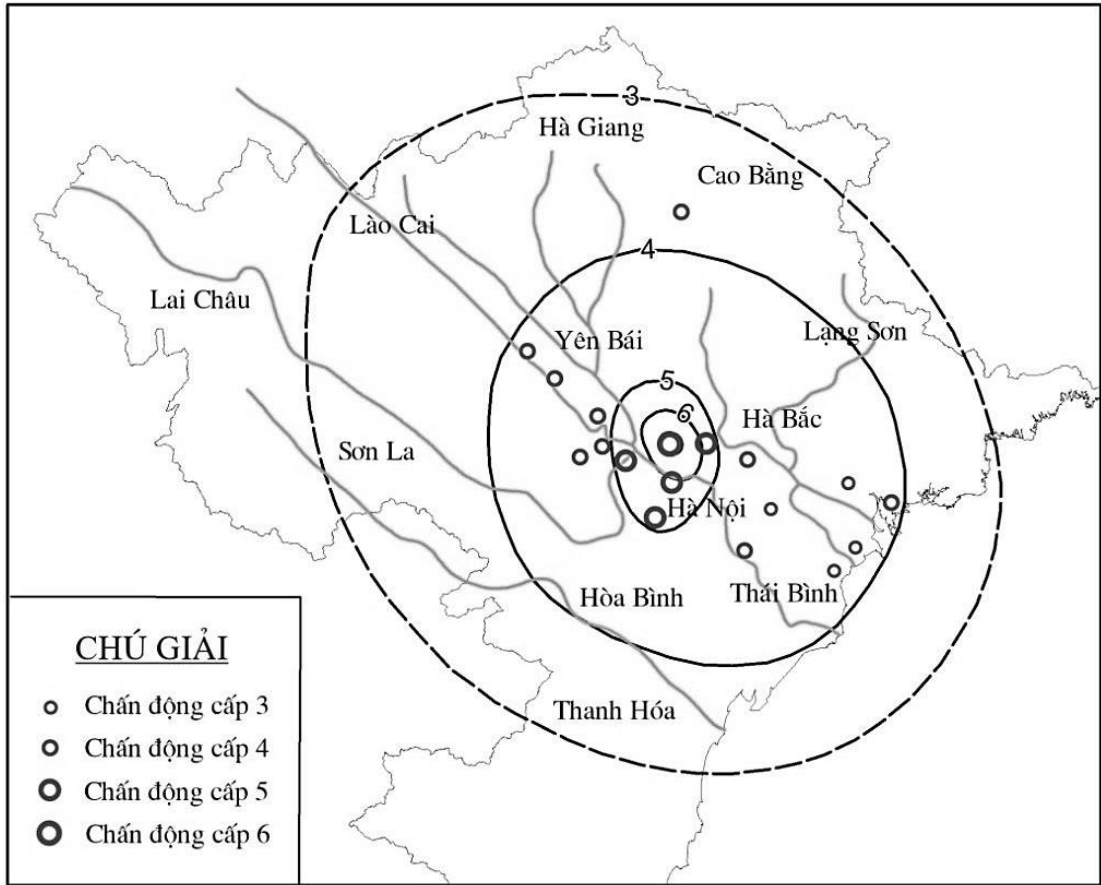
Trong những năm gần đây, sự tăng nhanh về dân số cùng với sự thay đổi môi trường sống và điều kiện giao thông thuận lợi đã làm cho các thành phố lớn ở nước ta có xu hướng dịch chuyển đến các vùng thềm sông hay các vùng thung lũng, nơi nền đất yếu hay rất yếu. Nền đất này thường khuếch đại các sóng động đất và làm

gia tăng mức độ thiệt hại trong các trận động đất. Do đó, việc nghiên cứu HUNĐ ở giai đoạn hiện nay là cần thiết.

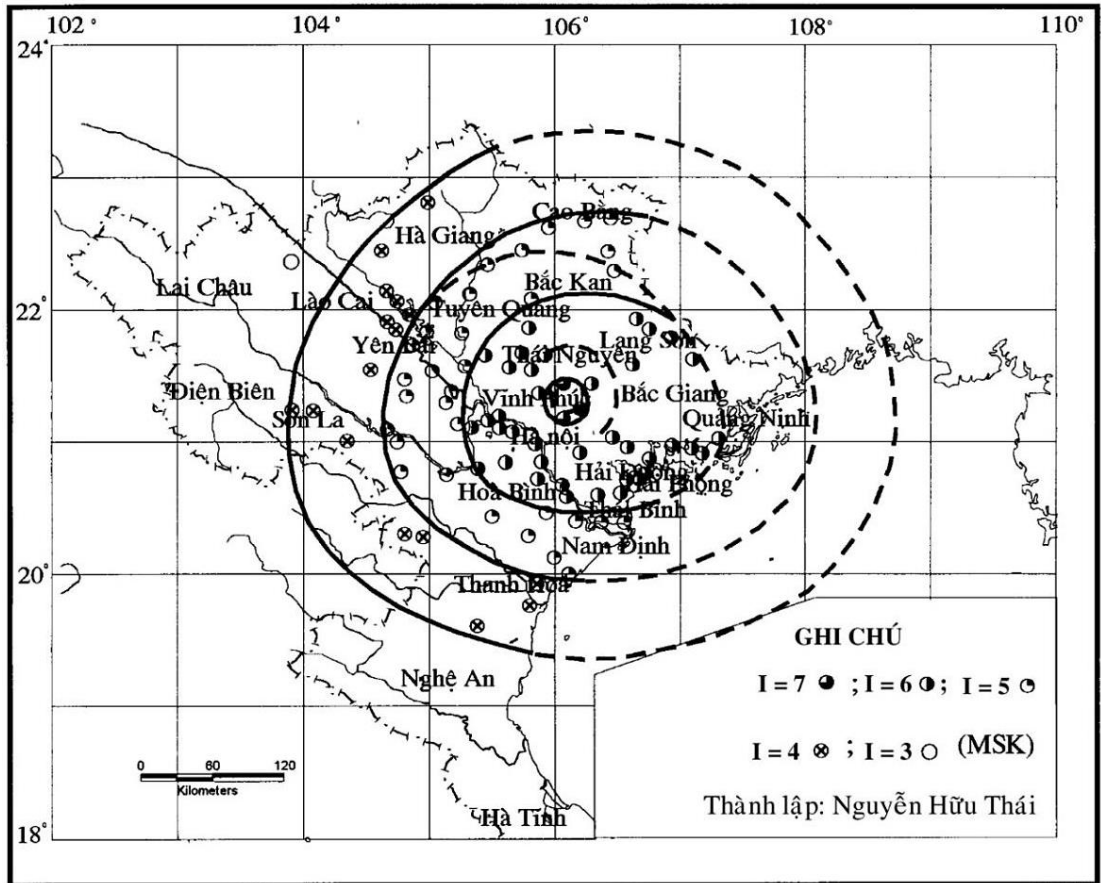
Đến nay, nghiên cứu HUNĐ chủ yếu được thực hiện theo các hướng sau: 1- Xây dựng các bản đồ PGA cho toàn bộ lãnh thổ, khu vực hay công trình trên nền đá lộ ứng với giá trị V_{S30} là 1100 m/s hay nền đá cứng ứng với giá trị V_{S30} là 800 m/s theo các chu kỳ lặp lại khác nhau. Giá trị PGA ở các nền khác được nội suy theo giá trị PGA này nhân với hệ số nền của tiêu chuẩn quốc gia [67-70]; 2- Tính giá trị PGA cho nền đất đặc trưng của công trình hay vùng nghiên cứu. Giá trị PGA ở các vị trí khác sẽ được nội suy tương đương với giá trị PGA này [67, 71] và 3- Xác định giá trị PGA bằng mô phỏng bằng gia tốc cho các loại nền của công trình nghiên cứu phục vụ xây dựng phổ gia tốc thiết kế công trình chịu động đất [72, 73]. Như vậy, có thể thấy các công trình trước đây mới chỉ tập trung vào nghiên cứu sự thay đổi giá trị PGA gây ra do nguồn phát sinh động đất còn nghiên cứu sự thay đổi giá trị PGA do nền đất địa phương vẫn chưa được nghiên cứu rõ ràng.



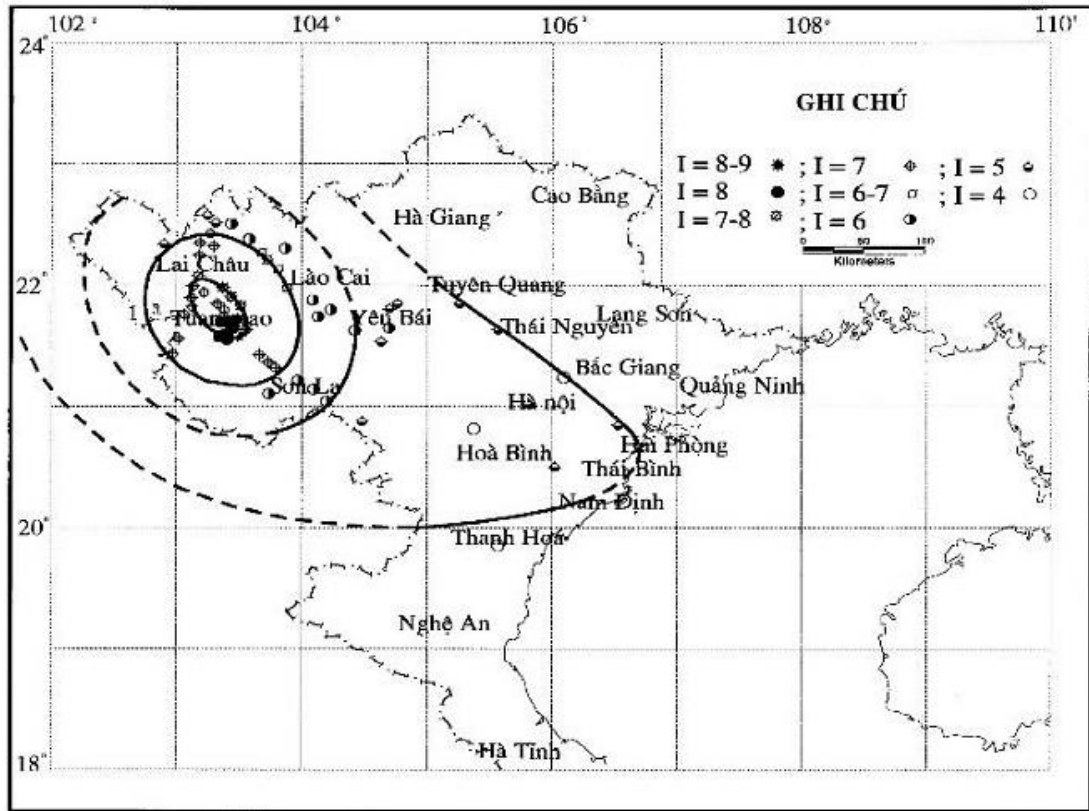
Hình 1.3. Sơ đồ đường đẳng chấn động đất Điện Biên 1935 [65].



Hình 1.4. Sơ đồ đường đẳng chấn động đất Vĩnh Phúc 1958 [6].



Hình 1.5. Sơ đồ đường đẳng chấn động đất Bắc Giang 1961 [65].



Hình 1.6. Sơ đồ đường đẳng chấn động đất Tuân Giáo 1983 [65].



(a)



(b)



(c)

Hình 1.7. Các hình ảnh mô tả sự ảnh hưởng của điều kiện nền đất địa phương trong động đất Điện Biên 2001. (a) Nhà kiểu C bị hư hại nặng; (b) Nhà kiểu B bị nứt lớn và (c) Tường rào bị sụp đổ.

1.2.2. Ở cấp độ thành phố Hà Nội

Nghiên cứu HUNĐ ở thành phố Hà Nội đã được nhiều tác giả thực hiện. Một số hướng chính có thể kể đến như:

(1) Về ĐCCT, theo tác giả Nguyễn Huy Phương [71] hiện có các công trình nghiên cứu của Nguyễn Khanh, Hoàng Ngọc Kỳ, Đoàn Thế Tường, Phạm Văn Ty, Ngô Quang Toàn, Nguyễn Đức Đại nhóm tác giả này đã sử dụng các tài liệu, số liệu khảo sát địa chất, khoan thăm dò để xây dựng các bản đồ địa chất và khoáng sản, bản đồ địa chất thủy văn, bản đồ ĐCCT, bản đồ phân vùng ĐCCT, bản đồ cấu trúc nền, ... phục vụ phân loại các nhóm đất hay đặc điểm cấu trúc nền đất;

(2) Về địa chấn, theo tác giả Nguyễn Đình Xuyên [6], nghiên cứu phân vùng nhỏ động đất được bắt đầu từ năm 1964, phòng Vật lý địa cầu thuộc Nha khí tượng đã lập bản đồ phân vùng nhỏ động đất Hà Nội tỷ lệ 1:50.000 bằng phương pháp độ cứng địa chấn. Năm 1973, phòng Vật lý địa cầu thuộc Viện khoa học tự nhiên đã bổ sung số liệu điều tra thực địa về ảnh hưởng của động đất Côn Minh ngày 04/01/1970 và hiệu chỉnh lại bản đồ phân vùng nhỏ động đất Hà Nội nói trên. Năm 1978, theo yêu cầu của Ban chỉ đạo điều tra cơ bản Hà Nội, Trung tâm nghiên cứu Vật lý địa cầu (nay là Viện Vật lý địa cầu) thuộc Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam đã thực hiện phân vùng động đất chi tiết cho thành phố Hà Nội và vùng lân cận tỷ lệ 1:50.000 bằng phương pháp độ cứng địa chấn, tính toán rung động trong môi trường phân lớp từ các đo đạc thực tế.

Từ năm 1990 đến nay, các nghiên cứu đã sử dụng số liệu đo ĐĐVĐC để xây dựng bản đồ phân bố chu kỳ trội H/V (sau đây viết tắt là T_0) hay F_0 , sử dụng kết hợp số liệu lỗ khoan và địa chấn để xây dựng các bản đồ rủi ro động đất,... Một số công trình điển hình có thể được kể đến như sau:

1) Năm 1990, Lê Tử Sơn và nnk đã thực hiện 50 điểm đo ĐĐVĐC bằng máy ghi n06-12M, đầu đo CM-3 tại 4 khu đất đã phân chia theo quan điểm ĐCCT (thuận tiện cho xây dựng) thuộc 7 quận, huyện ngoại thành (Đông Anh, Long Biên, Gia Lâm, Bắc Từ Liêm, Nam Từ Liêm, Hoàng Mai và Thanh Trì) [74]. Giá trị T_0 của các khu đất này được xác định theo phương pháp độ cứng địa chấn. Giá trị T_0 tại các khu đất khác thuộc các quận nội thành được nội suy tương đương theo giá trị T_0 này. Sau đó, họ đã thành lập được bản đồ phân vùng nhỏ động đất khu vực nội thành và các huyện kế cận bằng cách tính toán cường độ chấn động của một số loại

đất nền đặc trưng rồi gán giá trị cho các loại đất nền với đặc điểm tương đồng, cụ thể là: Các vùng đất nền là Pleistocen ứng với vùng cấp VII (thang MSK-64); Các vùng đất nền là Holocen ứng với vùng cấp VIII (thang MSK-64).

2) Năm 1992-1994, Viện Kỹ thuật xây dựng Hà Nội kết hợp với Viện Vật lý địa cầu thực hiện đề tài “Hoàn chỉnh bản đồ phân vùng nhỏ động đất nội thành Hà Nội và ven nội tỷ lệ 1:25.000” [6]. Nghiên cứu này đã phân khu vực các quận trung tâm và các huyện Đông Anh, Thanh Trì và Gia Lâm ra làm 07 loại đất nền tự nhiên và 15 loại đất theo tính cơ-lý của đất, đá. Sau đó, thực hiện quan sát tín hiệu vi địa chấn, đo vận tốc sóng dọc (V_p) và tính toán thông số dao động cho 15 loại đất này bằng phương pháp giải tích của chương trình SHAKE.

3) Năm 1997, Nguyễn Ngọc Thủy đã sử dụng kết quả của đề tài “Hoàn chỉnh bản đồ phân vùng nhỏ động đất nội thành Hà Nội và ven nội tỷ lệ 1:25.000” [6] sau đó thành lập được bản đồ phân vùng nhỏ động đất Hà Nội tỷ lệ 1:25.000. Kết quả là đã chia được khu vực nghiên cứu ra làm 3 vùng với cấp chấn động khác nhau là VII, VIII và VIII-IX (thang MSK-64) [75].

4) Năm 2003-2004, Viện Kỹ thuật xây dựng Hà Nội kết hợp với Viện Vật lý địa cầu thực hiện đề tài “Nghiên cứu bổ sung và hoàn chỉnh bản đồ phân vùng nhỏ động đất cho thành phố Hà Nội mở rộng tỷ lệ 1:25.000, lập cơ sở dữ liệu về đặc trưng dao động nền ở Hà Nội ứng với bản đồ trên” [71]. Nghiên cứu này kế thừa kết quả của các nghiên cứu trước đây và nghiên cứu chi tiết hơn cho huyện Sóc Sơn và các dải đất trong lòng sông Hồng và sông Đuống. Kết quả là đã xác định được 58 giá trị T_0 từ số liệu đo ĐĐVĐC một trạm khoảng cách thưa bằng máy ghi K2, đầu đo SS-1 và minh giải theo kỹ thuật Nakamura (1989) [76]. Đồng thời các tác giả đã phân được 26 loại đất theo đặc điểm thạch học và trạng thái của các loại đất xuất hiện trong các lỗ khoan (Bảng 1.2). Từ đó xác định được phổ thiết kế cho các loại nền này bằng kỹ thuật mô phỏng băng gia tốc.

5) Năm 2004, Tuladhar và nnk [77], đã thực hiện 63 điểm đo ĐĐVĐC một trạm khoảng cách thưa tại thành phố Hà Nội cũ bằng máy đo vi địa chấn xách tay và minh giải theo kỹ thuật Nakamura (1989). Kết quả cho thấy các điểm đo ở vùng núi không xác định được giá trị T_0 còn các điểm đo ở vùng đồng bằng T_0 đạt 0,4 đến 1,2 s tương ứng với F_0 từ 0,8 đến 2,5 Hz. Sau đó các tác giả đã thành lập được sơ đồ phân bố giá trị T_0 vùng nội thành thành phố Hà Nội.

6) Năm 2012-2014, trong khuôn khổ đề tài hợp tác quốc tế Nghị định thư với Đài Loan “Ước lượng các HUNĐ và đánh giá rủi ro động đất đô thị cho khu vực thành phố Hà Nội” [78]. Nghiên cứu này đã sử dụng 93 điểm đo của nghiên cứu trước [79] và đo bổ sung 244 điểm đo DDVĐC một trạm bằng máy ghi Samtac, đầu đo VSE315D hay VSE355EV. Trong đó, 136 điểm đo chi tiết tại 2 quận nội thành mức độ rủi ro động đất cao nhất (Đống Đa và Thanh Xuân). Sau đó thành lập được tập các bản đồ phân vùng giá trị V_{S30} , chiều dày lớp phủ nông, F_0 khu vực Hà Nội cũ và tập các bản đồ đánh giá rủi ro động đất cho quận Đống Đa và quận Thanh Xuân.

7) Năm 2015, Sở xây dựng Hà Nội kết hợp với Viện Vật lý địa cầu thực hiện Đề tài “Đánh giá độ nguy hiểm động đất cho thành phố Hà Nội mở rộng, thành lập bản đồ phân vùng động đất chi tiết cho khu vực Hà Đông, Sơn Tây, Hòa Lạc, tỷ lệ 1/25.000, lập cơ sở về đặc trưng dao động nền ứng với bản đồ nêu trên”. Nghiên cứu này kế thừa kết quả của các nghiên cứu ĐCCT trước đây và mở rộng phạm vi nghiên cứu cho quận Hà Đông và Hòa Lạc [80]. Kết quả khảo sát tại quận Hà Đông là 162 điểm đo DDVĐC lặp lại (3 lần) bằng máy ghi Samtac, đầu đo VSE355EV và 06 tuyến mặt cắt V_S bằng bộ máy thu GEODE-24 kênh. Sau đó, các tác giả đã thành lập được sơ đồ phân bố giá trị T_0 , sơ đồ phân bố gia tốc dao động nền theo tham số tiêu chuẩn, các phổ phản ứng nền (nền C và nền D) và tính được 06 giá trị V_{S30} tại quận Hà Đông.

8) Năm 2017, Bùi Thị Nhung [81] thực hiện nghiên cứu “Đánh giá khả năng phá hủy nền do động đất cho khu vực nội thành thành phố Hà Nội phục vụ công tác quy hoạch và quản lý rủi ro đô thị”. Nghiên cứu này đã phân được 03 loại nền đất D, E và F theo tiêu chuẩn NEHRP 1997 của Mỹ dựa vào đặc điểm thạch học của 117 lỗ khoan và 40 giá trị V_{S30} thu thập từ các nghiên cứu trước đó. Sau đó tác giả đã xây dựng được các bản đồ hoá lỏng nền cho khu vực các quận nội thành, huyện Thanh Trì và huyện Gia Lâm.

9) Năm 2020, Phạm Thế Truyền [82] thực hiện “Nghiên cứu đánh giá rủi ro động đất khu vực đô thị thành phố Hà Nội”. Trong nghiên cứu này các giá trị PGA được xác định theo cả phương pháp xác suất và tất định bằng kịch bản động đất cực đoan. Sau đó, tác giả đã xây dựng được các tập bản đồ rủi ro động đất cho 5 quận trung tâm (Ba Đình, Đống Đa, Hoàn Kiếm, Hai Bà Trưng và Thanh Xuân).

10) Năm 2021, Tran Ngoc Long và nnk [83] thực hiện nghiên cứu “Đánh giá khuếch đại nền địa chấn bằng phân tích phổ phản ứng nền tại quảng trường Ba Đình, Việt Nam” đã xác định được hệ số khuếch đại nền loại C là 1,95 và 2,07 dựa vào số liệu lỗ khoan khảo sát và số liệu gia tốc của Tiêu chuẩn TCVN 9386: 2012 [84] với chu kỳ 475 năm bằng phần mềm DEEPSOIL. Kết quả của họ cho thấy các giá trị này khác nhiều so với giá trị 1,15 của Tiêu chuẩn TCVN 9386: 2012.

11) Năm 2022, Giang Kien Trung và nnk [85] thực hiện nghiên cứu “Ảnh hưởng của điều kiện nền đất địa phương tại Hà Nội: Các kết quả từ mô phỏng số”. Nghiên cứu này đã xác định được các giá trị PGA tại 18 lỗ khoan theo tuyến Tây-Đông bằng phần mềm DEEPSOIL theo kịch bản động đất cực đoan.

Như vậy, kết quả của các nghiên cứu trên cho thấy việc nghiên cứu mới chỉ tập trung vào xác định giá trị T_0 hay F_0 , đặc tính cơ lý của đất, đá và sự KĐDDN theo kịch bản động đất cực đoan còn các nghiên cứu về sự KĐDDN do nền đất địa phương của khu vực nttp. Hà Nội vẫn chưa được thực hiện rõ ràng.

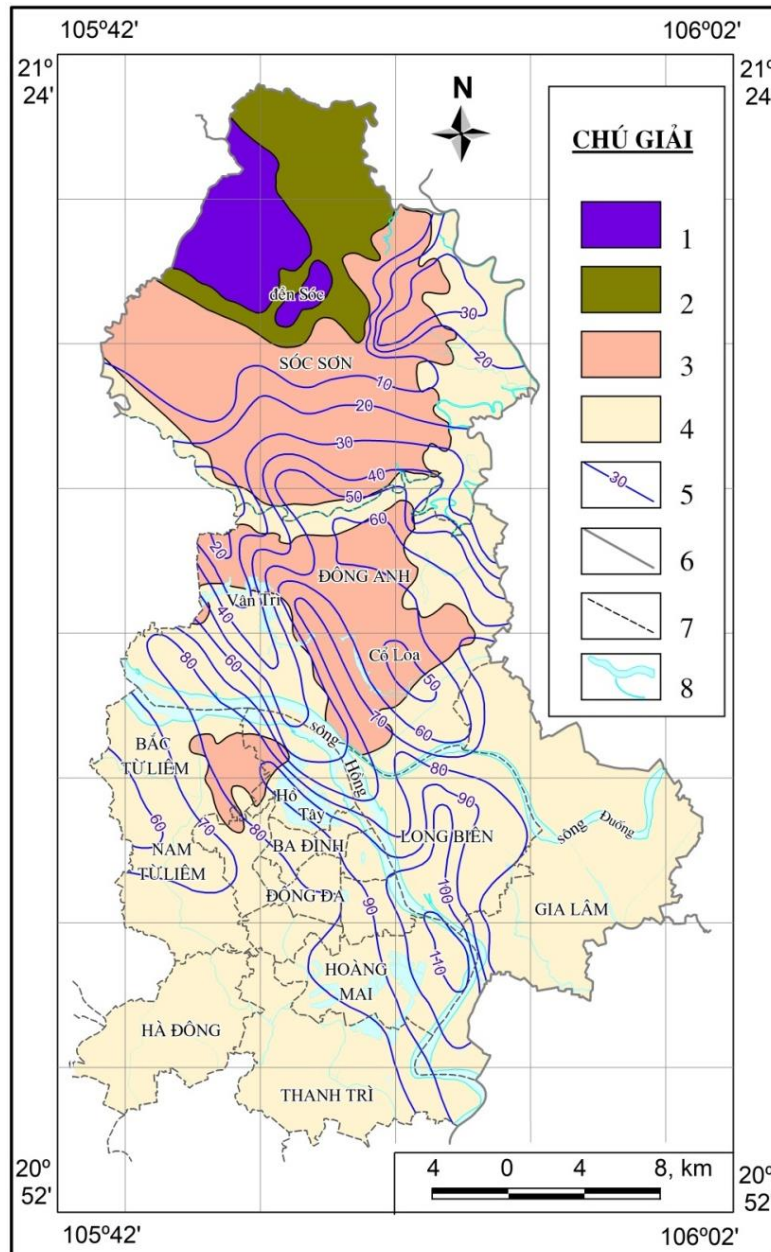
Trong những năm gần đây, việc phân loại nền đất và đánh giá HUND chủ yếu dựa vào giá trị V_{S30} . Vì thế, nghiên cứu này thực hiện phân loại nền đất và đánh giá HUND theo giá trị V_{S30} . Điểm đặc biệt là các giá trị V_{S30} tính được từ các điểm đo ĐDVĐC một trạm theo kỹ thuật mô phỏng biểu đồ HVSR bằng thuật toán di truyền (sau đây viết tắt là GA).

1.3. Điều kiện nền đất khu vực nghiên cứu

1.3.1. Địa hình khu vực nghiên cứu

Địa hình khu vực nghiên cứu mang tính phân bậc khá rõ nét, bao gồm: địa hình núi thấp, địa hình gò đồi chuyển tiếp và địa hình đồng bằng [2]. Địa hình núi thấp phân bố ở phía Bắc huyện Sóc Sơn, là các dải núi bị chia cắt đứt đoạn thuộc đầu mút phía Đông Nam của dãy núi Tam Đảo, với độ cao độ từ 270 đến 374 m, đỉnh An Lom cao 462 m được cấu tạo bởi đá lục nguyên phun trào, bị phong hóa mạnh nên bề mặt có hình thái mềm mại với sườn dốc từ 10^0 đến 30^0 . Địa hình gò đồi chuyển tiếp phân bố ở vùng chân núi thấp phía Bắc huyện Sóc Sơn, là các dải hẹp chuyển tiếp giữa núi và đồng bằng, đôi chỗ không có khiến núi cao tiếp xúc trực tiếp với đồng bằng bồi tích. Địa hình đồng bằng chiếm 90% diện tích khu vực nghiên cứu với bề mặt nghiêng dần về phía Đông Nam, gồm 2 kiểu: 1- Kiểu đồng bằng cao phân bố chủ yếu ở huyện Đông Anh, phần còn lại của huyện Sóc Sơn và

một vùng nhỏ ở Cỏ Nhuế-Xuân Đình, có độ cao từ 6 đến 15 m; 2- Kiểu đồng bằng thấp phân bố ở vùng trung tâm và phía Nam, có độ cao từ 2 đến 6 m. Cắt ngang vùng trung tâm của khu vực nghiên cứu là hệ thống Sông Hồng, gồm sông Hồng và sông Đuống. Đoạn sông Hồng chảy qua khu vực nghiên cứu dài khoảng 20 km, có phương Tây Bắc-Đông Nam, từ huyện Đông Anh đến huyện Thanh Trì. Dọc theo dải sông này xuất hiện nhiều hồ tự nhiên hình móng ngựa và đầm lầy liên quan đến các hoạt động của sông Hồng và các nhánh đổ vào sông Hồng (Hình 1.8).



Hình 1.8. Sơ đồ phân vùng địa hình và chiều dày lớp phủ nông khu vực nghiên cứu [2]. (1) vùng núi đá thấp; (2) vùng gò đồi; (3) vùng đồng bằng cao; (4) vùng đồng bằng thấp; (5) đường đồng mức chiều dày lớp phủ nông và giá trị tính bằng m; (6) ranh giới tỉnh; (7) ranh giới huyện và (8) sông, hồ, suối.

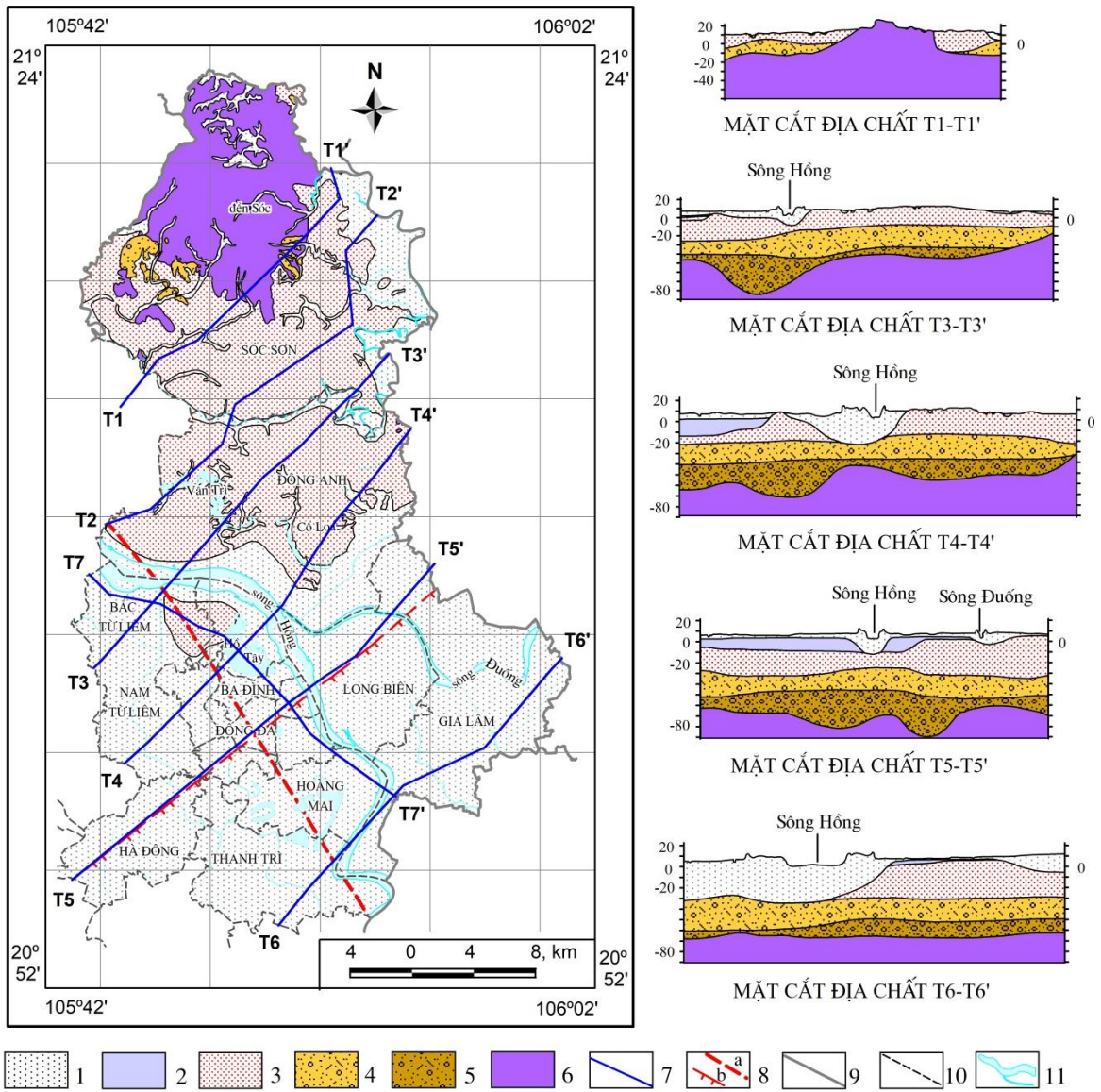
1.3.2. Địa chất công trình khu vực nghiên cứu

Theo tài liệu ĐCCT trong các báo cáo thăm dò trước đây [2-4] thì đá gốc chỉ phát lộ ở vùng núi phía Bắc sau đó chìm xuống dưới lớp phủ ở các vùng đồng bằng. Thành phần chủ yếu là cuội kết, sỏi sạn kết và cát bột kết. Độ sâu tăng dần từ Bắc xuống Nam, đạt 0 m ở vùng núi huyện Sóc Sơn và hơn 100 m ở quận Hoàng Mai và quận Long Biên (Hình 1.8). Lớp phủ là đất bồi tích thuộc trầm tích Đệ tứ được hình thành từ Pleistocen sớm đến Holocen muộn, gồm 5 hệ tầng, từ trên xuống dưới lần lượt là: 1- Hệ tầng Thái Bình là trầm tích trẻ nhất, phát lộ diện rộng ở vùng đồng bằng thấp và dọc theo các sông suối ở vùng đồng bằng cao, thành phần chủ yếu là bột sét lẫn mùn thực vật, cát bột lẫn mùn thực vật và cát hạt nhỏ, chiều dày đạt vài chục m; 2- Hệ tầng Hải Hưng phát lộ tại một vài vùng nhỏ ở các quận trung tâm, thành phần chủ yếu là bùn, than bùn và sét bột chứa tàn tích thực vật, chiều dày đạt hàng chục m; 3- Hệ tầng Vĩnh Phúc phát lộ với diện tích rộng ở khu vực đồng bằng cao, thành phần chủ yếu gồm sét bột, cát lẫn sét và cát vàng xây dựng, chiều dày đạt vài chục m; 4- Hệ tầng Hà Nội chỉ phát lộ tại một vài vùng nhỏ ở khu vực gò đồi, thành phần chủ yếu gồm cát hạt thô, sỏi sạn, cuội và cuội tảng, bề mặt khá bằng phẳng và nghiêng dần về phía Nam, chiều dày đạt vài chục m; 5- Hệ tầng Lệ Chi không phát lộ, chỉ xuất hiện trong các lỗ khoan tại các vùng đồng bằng ở độ sâu từ 45 đến 69,5 m, thành phần chủ yếu gồm cuội, sỏi, cát, ít bột sét, chiều dày đạt trên 20 m (Hình 1.9 và 1.10). Trong 5 hệ tầng này thì hệ tầng Thái Bình, hệ tầng Hải Hưng và hệ tầng Vĩnh Phúc là các lớp đất yếu. Trong đó, hệ tầng Hải Hưng chứa than bùn và bùn là yếu nhất. Khu vực nghiên cứu có 2 đứt gãy chính: đứt gãy Vĩnh Ninh phương Tây Bắc - Đông Nam và đứt gãy Gia Lâm - Chương Mỹ phương Đông Bắc - Tây Nam (Hình 1.10).

Trong giới hạn 60 m trên bề mặt, các loại đất được phân chia theo quan điểm địa chất công trình [71] đó là dựa vào đặc điểm thạch học và trạng thái của các loại đất xuất hiện trong các lỗ khoan. Theo quan điểm này, nền đất ở khu vực nttp. Hà Nội được phân ra làm 26 loại đất (Bảng 1.2).

Giới	Hệ	Thống	Bậc	Hệ Tầng	Ký hiệu	Cột địa tầng	Chiều dày(m)		Đặc điểm thạch học						
							Tập	H.Tầng							
KAINOZOI	ĐỆ TƯ	HOLOCEN	TRÊN	THÁI BÌNH	$aQ_{IV}^3 tb_2$		2-5	15	Phụ hệ tầng trên Tập 2: Bột sét chứa ốc, hến, mùn thực vật Tập 1: Cuội sỏi, cát lẫn bột sét						
							3-10								
					$aQ_{IV}^3 tb_1$		1-5			31	Phụ hệ tầng dưới Tập 3: Bột sét lẫn mùn thực vật Tập 2: Cát bột lẫn mùn thực vật Tập 1: Cuội nhỏ, sỏi lẫn bột sét				
							3-18								
							1-9								
			DUỚI GIỮA	HẢI HUNG	$bQ_{IV}^{12} hh$		2	12	Trầm tích đầm lầy: Sét bột chứa than bùn Trầm tích biển: Sét, sét bột Trầm tích hồ-đầm lầy: Sét bột lẫn mùn thực vật, than bùn						
							$mQ_{IV}^{12} hh_2$			1-9					
					$lbQ_{IV}^{12} hh_1$		2-6								
							TRÊN			VĨNH PHÚC	$lbQ_{III}^2 vp_3$		3-8	61	Tập 4: Sét bột, sét đen (tích tụ hồ-đầm lầy) có nơi chứa cuội sỏi và than bùn Tập 3: Sét Kaolin, sét bột màu xám Tập 2: Cát bột lẫn sét, cát vàng xây dựng Tập 1: Cuội, sỏi, cát, ít sét bột
													$lQ_{III}^2 vp_2$		
		$aQ_{III}^2 vp_1$		33											
				10											
		GIỮA	HÀ NỘI	$ap, aQ_{IV-III}^1 hn$		4	55	Tích tụ sông lũ, sông Tập 3: Bột sét lẫn mùn thực vật Tập 2: Cát bột, cát thô, sạn sỏi, ít cuội nhỏ Tập 1: Cuội, cuội tảng, sỏi sạn, ít cát bột							
						17									
						34									
						DUỚI			LỆ CHI	$aQ_I^1 lc$		1-3	25	Tập 3: Bột sét Tập 2: Bột cát, cát hạt nhỏ Tập 1: Cuội, cát, ít bột sét	
												2-5			
		20													

Hình 1.9. Cột địa tầng trầm tích Đệ tứ khu vực nghiên cứu [2].



Hình 1.10. Sơ đồ phân vùng địa chất công trình và các mặt cắt địa chất công trình 2D khu vực nghiên cứu [2-4]. (1) hệ tầng Thái Bình; (2) hệ tầng Hải Hưng; (3) hệ tầng Vĩnh Phúc; (4) hệ tầng Hà Nội; (5) hệ tầng Lê Chi; (6) đá gốc; (7) mặt cắt địa chất; (8) đứt gãy kiến tạo: a - đứt gãy Vĩnh Ninh, b - đứt gãy Gia Lâm - Chương Mỹ; (9) ranh giới tỉnh; (10) ranh giới huyện và (11) sông, suối, hồ.

Bảng 1.2. Danh mục các loại đất phân loại theo quan điểm địa chất công trình khu vực nghiên cứu [71].

Loại đất	Hệ tầng	Đặc điểm thạch học
(1)	-	Đất lầy, thành phần hỗn tạp, trạng thái không đều
(2)	Thái Bình 2	Bùn đáy ao hồ
(3)	Thái Bình 2	Sét pha xen kẹp cát pha, màu nâu, nâu hồng, trạng thái dẻo mềm
(4)	Thái Bình 2	Cát hạt nhỏ màu xám nâu, trạng thái xốp
(5)	Thái Bình 1	Sét màu nâu vàng, trạng thái dẻo cứng - dẻo mềm
(6)	Thái Bình 1	Sét pha màu nâu, nâu vàng, trạng thái dẻo cứng - dẻo mềm
(7)	Thái Bình 1	Sét pha màu nâu xám, trạng thái dẻo chảy, lẫn ít hữu cơ
(8)	Thái Bình 1	Sét pha xen kẹp cát pha, cát màu xám, trạng thái dẻo mềm
(9)	Thái Bình 1	Cát hạt nhỏ màu xám xanh, trạng thái chặt vừa
(10)	Thái Bình 1	Sét pha màu nâu xám, có chỗ xen kẹp cát pha, cát, trạng thái dẻo mềm
(11)	Hải Hưng	Sét pha màu xám đen lẫn hữu cơ, trạng thái dẻo chảy-chảy
(12)	Hải Hưng	Sét pha màu xám xanh, trạng thái dẻo mềm - dẻo cứng
(13)	Hải Hưng	Bùn sét màu xám đen lẫn hữu cơ, trạng thái dẻo chảy-chảy
(14)	Vĩnh Phúc	Sét màu xám vàng, xám trắng, trạng thái dẻo cứng-dẻo mềm
(15)	Vĩnh Phúc	Sét pha màu nâu, vàng, đỏ loang lổ trạng thái dẻo cứng-nửa cứng
(16)	Vĩnh Phúc	Sét pha màu xám đen lẫn hữu cơ, trạng thái dẻo chảy, chảy
(17)	Vĩnh Phúc	Cát pha xen kẹp sét pha, cát màu xám vàng, trạng thái dẻo
(18)	Vĩnh Phúc	Cát hạt nhỏ màu nâu, nâu vàng, trạng thái chặt - chặt vừa
(19)	Vĩnh Phúc	Cát hạt trung lẫn sạn, sỏi màu xám vàng, xám trắng, trạng thái rất chặt
(20)	Hà Nội	Sét pha màu nâu xám, có chỗ lẫn hữu cơ, trạng thái dẻo mềm
(21)	Hà Nội	Cát pha màu xám ghi, có chỗ lẫn sạn, sỏi, trạng thái dẻo

		chảy
(22)	Hà Nội	Cuội sỏi lẫn cát, màu xám, xám trắng, trạng thái rất chặt
(23)	Lệ Chi	Cát pha màu xám ghi, nâu có chỗ lẫn sạn, sỏi, trạng thái dẻo
(24)	Lệ Chi	Cuội sỏi lẫn cát, sét, màu xám nâu, xám vàng
(25)	-	Sét pha màu nâu, nâu đỏ loang lổ, trạng thái dẻo cứng-nửa cứng
(26)	-	Sét, bột, cát kết phong hóa mạnh

Kết luận chương 1

Trên cơ sở phân tích một số thành tựu đã đạt được về nghiên cứu hiệu ứng nền đất trên thế giới và Việt Nam cho thấy nghiên cứu hiệu ứng nền đất đóng một vai trò quan trọng trong lĩnh vực địa chấn công trình. Các kết quả nghiên cứu đã chỉ ra các vùng có lớp đất yếu dày bị phá hủy và thiệt hại nhiều hơn các vùng đất, đá cứng. Điều này là do có sự khuếch đại sóng động đất mạnh ở các vùng đất này.

Hơn nữa, các nghiên cứu cũng khẳng định được sự khuếch đại sóng động đất mạnh nhất xảy ra ở một vài lớp gần mặt đất, bởi vậy giá trị V_{S30} được lựa chọn cho nghiên cứu phân loại nền đất, ước lượng hiệu ứng nền đất và đánh giá rủi ro động đất trên thế giới và Việt Nam hiện nay.

Việc nghiên cứu hiệu ứng nền đất ở Việt Nam nói chung và thành phố Hà Nội nói riêng mới chỉ tập trung vào nghiên cứu sự khuếch đại dao động gây ra do nguồn phát sinh động đất bằng kịch bản động đất cực đoan, xác định giá trị T_0 hay F_0 phục vụ vi phân vùng động đất hay phân loại nền đất theo đặc điểm thạch học của các loại đất, đá còn nghiên cứu sự khuếch đại dao động gây ra do điều kiện nền đất địa phương hay phân loại nền đất theo giá trị V_{S30} vẫn chưa được thực hiện một cách rõ ràng.

Cho đến nay, các công trình nghiên cứu ước lượng hiệu ứng nền đất trên thế giới và Việt Nam đã đạt được các kết quả nghiên cứu đáng kể. Đây là cơ sở khoa học tin cậy để tiến hành nghiên cứu ước lượng hiệu ứng nền đất cho thành phố Hà Nội phục vụ thiết kế công trình chịu động đất trong ứng phó và giảm thiểu thiệt hại gây ra do động đất cho cộng đồng đô thị.

CHƯƠNG 2

PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU HIỆU ỨNG NỀN ĐẤT

Ước lượng HUNĐ về bản chất là việc đánh giá sự khuếch đại sóng động đất trong các lớp đất, đá gần mặt đất khi chịu tác động của động đất. Sự khuếch đại khác nhau là do sự khác nhau về đặc điểm cấu trúc của các lớp đất, đá này. Bởi vậy, nghiên cứu đặc điểm cấu trúc nền đất là việc làm quan trọng trong nghiên cứu địa chấn công trình, đánh giá độ nguy hiểm động đất và xây dựng công trình. Thiếu nó, con người không thể tiến hành thiết kế công trình chịu động đất. Nghiên cứu cấu trúc nền đất có thể được thực hiện bằng nhiều phương pháp khác nhau. Mỗi phương pháp có ưu điểm và nhược điểm riêng. Trong nghiên cứu này, cấu trúc nền đất được xác định bằng phương pháp đo ĐDVĐC. Ưu điểm của phương pháp này là dễ thực hiện trong các khu đông dân cư với chi phí rẻ và thời gian ngắn. Vì vậy, chương này sẽ đề cập đến các khái niệm cơ bản, cơ sở lý thuyết và phương pháp áp dụng ĐDVĐC trong nghiên cứu ước lượng HUNĐ.

2.1. Dao động vi địa chấn và các kỹ thuật đo

2.1.1. Khái niệm về dao động vi địa chấn

ĐDVĐC là các dao động tự nhiên rất nhỏ ở gần mặt đất, biên độ dao động dịch chuyển từ 10^{-7} đến 10^{-5} m, nhỏ hơn nhiều so với cảm nhận của con người. ĐDVĐC được tạo ra từ các hoạt động như: động đất, nhà máy, giao thông, gió,.... [86]. Trước kia, ĐDVĐC được coi là nhiễu địa chấn. Bởi vậy, chúng ít được quan tâm và thường bị loại ra khỏi các băng ghi sóng động đất (giản đồ địa chấn). Ngày nay, nhờ việc cải tiến về thiết bị đo và kỹ thuật đo nên chúng đã được quan tâm và coi là tín hiệu hữu ích trong lĩnh vực nghiên cứu địa chấn công trình và đánh giá độ nguy hiểm động đất.

2.1.2. Các kỹ thuật đo dao động vi địa chấn

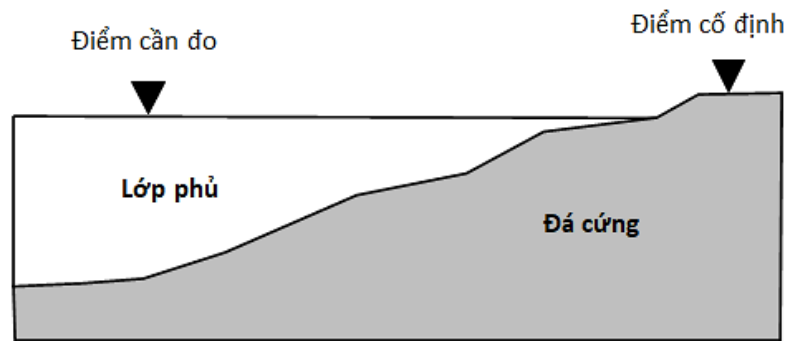
2.1.2.1. Đo dao động vi địa chấn điểm tựa

Đo ĐDVĐC điểm tựa còn được gọi là kỹ thuật cổ điển. Ở kỹ thuật này, phép đo phải sử dụng đồng thời hai bộ máy đo ĐDVĐC. Một bộ đặt cố định trên nền đá cứng đo liên tục theo thời gian và một bộ khác đặt tại điểm cần đo (Hình 2.1). Giá trị T_0 được tính thông qua tỷ số biên độ dao động theo từng thành phần của máy đo tại điểm cần đo và điểm cố định theo công thức:

$$T_0 = \frac{t}{n_i} \quad (2.1)$$

trong đó t là chiều dài băng ghi cần xử lý (thường là 30 s), n_i là số ĐĐVĐC có chu kỳ T_0 trong khoảng thời gian t .

Thực tế cho thấy, giá trị T_0 xác định bằng kỹ thuật này phụ thuộc nhiều vào mức nhiễu địa phương. Giá trị tìm được thường không ổn định và thiếu chính xác. Vì vậy, phép đo phải lặp lại nhiều lần tại điểm cần đo [6, 80]. Do sự bất lợi này, ngày nay kỹ thuật này ít được sử dụng.



Hình 2.1. Sơ đồ bố trí thiết bị theo kỹ thuật đo dao động vi địa chấn điểm tựa và một trạm.

2.1.2.2. Đo dao động vi địa chấn một trạm

Đo ĐĐVĐC một trạm được đề xuất bởi Nakamura (1989) [76], còn được gọi là kỹ thuật phân tích tỷ số phổ H/V. Ở kỹ thuật này, phép đo chỉ cần đo một lần duy nhất bằng một bộ máy đặt tại điểm cần đo (Hình 2.1). Cơ sở lý thuyết của kỹ thuật này được mô tả chi tiết ở mục 2.2.2 phía dưới. Thiết bị đo là bộ máy đo ĐĐVĐC 03 thành phần, trong đó có 02 thành phần dao động theo phương ngang (NS và EW) và 01 thành phần dao động theo phương đứng (Z). Giá trị T_0 hay F_0 được xác định thông qua tỷ số phổ Fourier trung bình của 02 thành phần phương ngang và 01 thành phần phương đứng theo công thức:

$$HVSR = \frac{\sqrt{(F_{NS}^2 + F_{EW}^2)/2}}{F_Z} \quad (2.2)$$

trong đó F_{NS} là phổ Fourier của ĐĐVĐC thành phần Bắc-Nam; F_{EW} là phổ Fourier của ĐĐVĐC thành phần Đông-Tây; F_Z là phổ Fourier của ĐĐVĐC thành phần thẳng đứng.

Ưu điểm của kỹ thuật này là làm giảm sự ảnh hưởng của nhiễu địa phương. Bởi vậy, ngày nay nó được áp dụng phổ biến trên thế giới và Việt Nam trong nghiên cứu vi phân vùng động đất, xây dựng biểu đồ cấu trúc V_S theo phương thẳng đứng (sau đây viết tắt là V_S1D) và đánh giá HUÑĐ [56, 62-64, 66, 86-91].

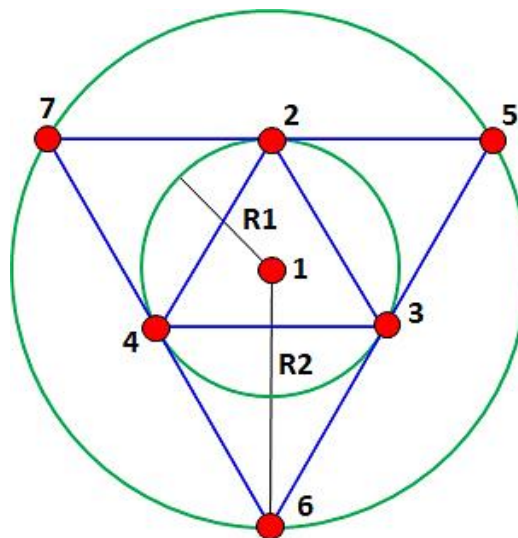
2.1.2.3. Đo mảng dao động vi địa chấn

Ban đầu, kỹ thuật đo này được sử dụng để phát hiện các vụ nổ hạt nhân. Sau đó, nó được sử dụng để xây dựng biểu đồ cấu trúc V_S1D từ đường cong tán sắc vận tốc pha của sóng Rayleigh. Aki (1957) [49] đã đề xuất kỹ thuật tương quan tự động không gian (Spatial Auto Correlation Method-SPAC). Sau đó, Capon (1969) [50] đã cải tiến kỹ thuật này và đề xuất kỹ thuật phổ mật độ năng lượng tần số-số sóng (F-K) dựa trên phương pháp xác suất cực đại. Kỹ thuật F-K có độ chính xác cao hơn kỹ thuật SPAC. Hơn nữa, nó còn định vị được hướng vận tốc pha ứng với vùng năng lượng lớn nhất của phổ F-K. Vận tốc pha của sóng mặt tại vùng năng lượng lớn nhất là:

$$C_0 = \frac{2\pi f_0}{\sqrt{k_{x0}^2 + k_{y0}^2}} \quad (2.3)$$

trong đó (k_{x0}, k_{y0}) là tọa độ vùng năng lượng lớn nhất của phổ F-K.

Ở kỹ thuật này, thiết bị đo là các bộ máy ĐĐVĐC đồng bộ thành phần thẳng đứng. Máy đo được đặt ở tâm và đỉnh của các hình tam giác đều nội tiếp trong các đường tròn đồng tâm bán kính $R1$ và $R2$ ($R2=2R1$) (Hình 2.2).

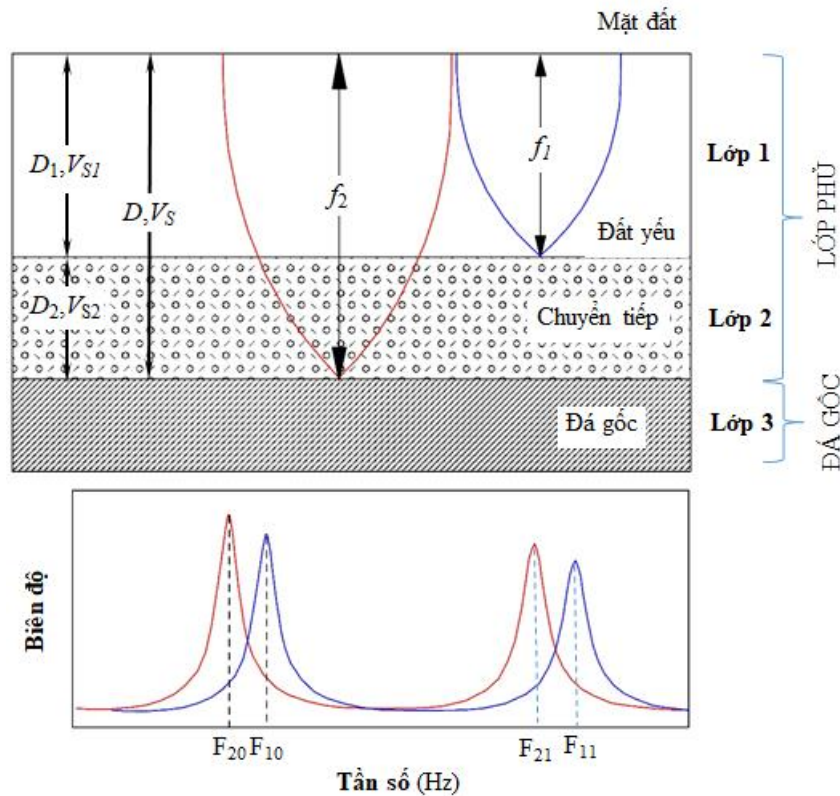


Hình 2.2. Sơ đồ bố trí thiết bị theo kỹ thuật đo mảng dao động vi địa chấn.

2.2. Phương pháp đánh giá các đặc điểm dao động vi địa chấn

2.2.1. Tần số trội dao động vi địa chấn trong môi trường phân lớp

Để hiểu rõ hơn về tần số trội ĐĐVĐC trong môi trường phân lớp, mô hình 3 lớp đơn giản được sử dụng gồm: 1- Lớp 1 là lớp đất yếu, chiều dày là D_1 và vận tốc truyền sóng ngang trung bình là V_{S1} ; 2- Lớp 2 là lớp chuyển tiếp, chiều dày là D_2 và vận tốc truyền sóng ngang trung bình là V_{S2} và 3- Lớp 3 là đá gốc (Hình 2.3).



Hình 2.3. Mô hình xác định tần số trội dao động vi địa chấn trong môi trường phân lớp.

Hình 2.3, cho thấy sóng DĐVĐC ghi được tại mặt đất là các sóng tới và sóng phản xạ từ ranh giới phân chia giữa các lớp (đất yếu và chuyển tiếp hay chuyển tiếp và đá gốc) phía dưới điểm đo. Chúng thực chất là các sóng dừng (tạo ra từ sự giao thoa của sóng tới và sóng phản xạ) từ các ranh giới phân chia này. Vì vậy, hiện tượng DĐVĐC tại mặt đất được coi như là sự giao thoa của các sóng dừng DĐVĐC. Khi đó, mô hình truyền sóng DĐVĐC từ ranh giới phân chia giữa các lớp phía dưới lên mặt đất sẽ tương đương với mô hình truyền sóng dừng trong môi trường một đầu cố định và một đầu tự do. Đầu cố định là ranh giới phân chia giữa các lớp còn đầu tự do là mặt đất. Theo lý thuyết của vật lý lớp 12 [92], điều kiện để sóng dừng có biên độ cực đại tại đầu tự do (mặt đất) là:

$$h = (2k + 1) \frac{\lambda}{4} = (2k + 1) \frac{V}{4f} \quad (k = 0, 1, 2, \dots) \quad (2.4)$$

trong đó: h là khoảng cách truyền sóng DĐVĐC (độ sâu từ mặt đất đến ranh giới phân chia giữa các lớp); k là số bó sóng DĐVĐC; λ là bước sóng DĐVĐC; V là vận tốc truyền sóng DĐVĐC và f là tần số sóng DĐVĐC.

Từ (2.4), tần số sóng DĐVĐC là:

$$f = (2k + 1) \frac{V}{4h} = (2k + 1)F_0 \quad (2.5)$$

- Nếu $k = 0$ ta có $f = F_0 = V/4h$ là tần số trội của sóng DĐVĐC (đỉnh trội đầu tiên tương ứng với vị trí biên độ sóng DĐVĐC lớn nhất), gọi là chế độ cơ bản.
- Nếu $k = 1$ ta có $f = 3F_0 = 3V/4h$ là đỉnh trội thứ 2, gọi là hài bậc 1.
- + Từ (2.5), điều kiện để sóng DĐVĐC truyền từ đáy lớp 1 đạt cực đại tại mặt đất là:

$$f_1 = (2k_1 + 1)F_{10} \quad (k_1 = 0, 1, 2, \dots) \quad (2.6)$$

trong đó k_1 là số bó sóng DĐVĐC tần số f_1 ; $F_{10} = V_{S1}/4D_1$ là tần số trội của sóng DĐVĐC tần số f_1 .

- + Tương tự điều kiện để sóng DĐVĐC truyền từ đáy lớp 2 đạt cực đại tại mặt đất là:

$$f_2 = (2k_2 + 1)F_{20} \quad (k_2 = 0, 1, 2, \dots) \quad (2.7)$$

trong đó k_2 là số bó sóng DĐVĐC tần số f_2 ; $F_{20} = V_S/4D$ là tần số trội của sóng DĐVĐC tần số f_2 ; D là chiều dày từ mặt đất đến đáy lớp 2 và V_S là vận tốc sóng DĐVĐC trung bình từ đáy lớp 2 lên mặt đất tìm được như sau:

$$V_S = \frac{V_{S1}V_{S2}(D_1 + D_2)}{V_{S2}D_1 + V_{S1}D_2} \quad (2.8)$$

Khi đó, tần số trội của sóng DĐVĐC tần số f_2 tìm được là:

$$F_{20} = \frac{1}{4} \frac{V_{S1}V_{S2}}{V_{S2}D_1 + V_{S1}D_2} \quad (2.9)$$

2.2.2. Kỹ thuật phân tích tỷ số phổ H/V

Kỹ thuật phân tích HVSR được đề xuất bởi Nakamura (1989) [76]. Kỹ thuật này dựa trên các giả thiết là: 1- Sóng DĐVĐC theo phương ngang bị khuếch đại mạnh bởi chùm phản xạ của sóng S; 2- Sóng DĐVĐC theo phương đứng bị khuếch đại mạnh bởi chùm phản xạ của sóng P và 3- Sóng Rayleigh chỉ ảnh hưởng đến DĐVĐC theo phương đứng trong lớp phủ và không ảnh hưởng đến DĐVĐC theo phương đứng trong đá gốc.

Khi đó, hàm chuyển đổi sóng DĐVĐC truyền qua lớp phủ theo phương ngang là:

$$S_T = \frac{S_{HS}}{S_{HB}} \quad (2.10)$$

trong đó: S_{HS} là phổ DĐVĐC theo phương ngang tại mặt lớp phủ; S_{HB} là phổ DĐVĐC theo phương ngang tại mặt đá cứng.

Sự ảnh hưởng của sóng DĐVĐC theo phương đứng là:

$$E_S = \frac{S_{VS}}{S_{VB}} \quad (2.11)$$

trong đó: S_{VS} là phổ ĐĐVĐC theo phương đứng tại mặt lớp phủ và S_{VB} là phổ ĐĐVĐC theo phương đứng tại mặt đá cứng.

Nếu môi trường không có sóng Rayleigh thì $E_S=1$ và $E_S>1$ khi môi trường bị ảnh hưởng bởi sóng Rayleigh. Khi đó, hàm chuyển đổi ảnh hưởng của sóng ĐĐVĐC (S_{TT}) truyền qua lớp phủ là:

$$S_{TT} = \frac{S_T}{E_S} = \frac{R_S}{R_B} \quad (2.12)$$

trong đó: $R_S = \frac{S_{HS}}{S_{VS}} ; R_B = \frac{S_{HB}}{S_{VB}}$ (2.13)

R_S và R_B lần lượt là tỷ số phổ ĐĐVĐC theo phương ngang và theo phương đứng tại mặt lớp phủ và tỷ số phổ ĐĐVĐC theo phương ngang và theo phương đứng tại mặt đá cứng. Thực nghiệm cho thấy $R_B \approx 1$ trong toàn bộ dải tần quan tâm. Bởi vì, trong môi trường đá rắn chắc ĐĐVĐC theo tất cả các hướng là như nhau.

$$R_B \approx 1 \Rightarrow S_{TT} = R_S = \frac{S_{HS}}{S_{VS}} \quad (2.14)$$

Công thức (2.14) chứng tỏ hàm chuyển đổi sóng ĐĐVĐC truyền qua lớp phủ có thể được đánh giá bằng tỷ số phổ ĐĐVĐC theo phương ngang và đứng tại mặt lớp phủ.

2.2.3. Kỹ thuật đánh giá tương quan giữa tần số trội H/V (F_0) và chiều dày lớp phủ nông (D)

Kỹ thuật đánh giá tương quan giữa F_0 và D được đề xuất bởi Seht và Wohlenberg (1999) [91]. Tương quan lý thuyết được xây dựng theo mô hình 2 lớp đơn giản nhất, gồm một lớp đất yếu phủ lên trên một lớp đá gốc rắn chắc (Hình 2.4).

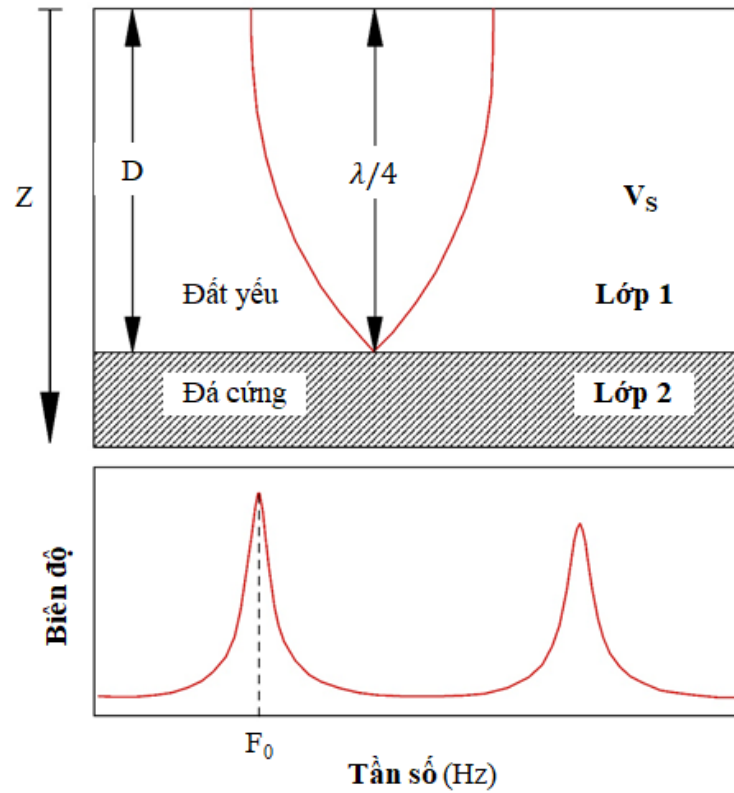
Từ (2.5) tần số sóng ĐĐVĐC của mô hình là:

$$f = (2k + 1) \frac{V_S}{4D} \quad (2.15)$$

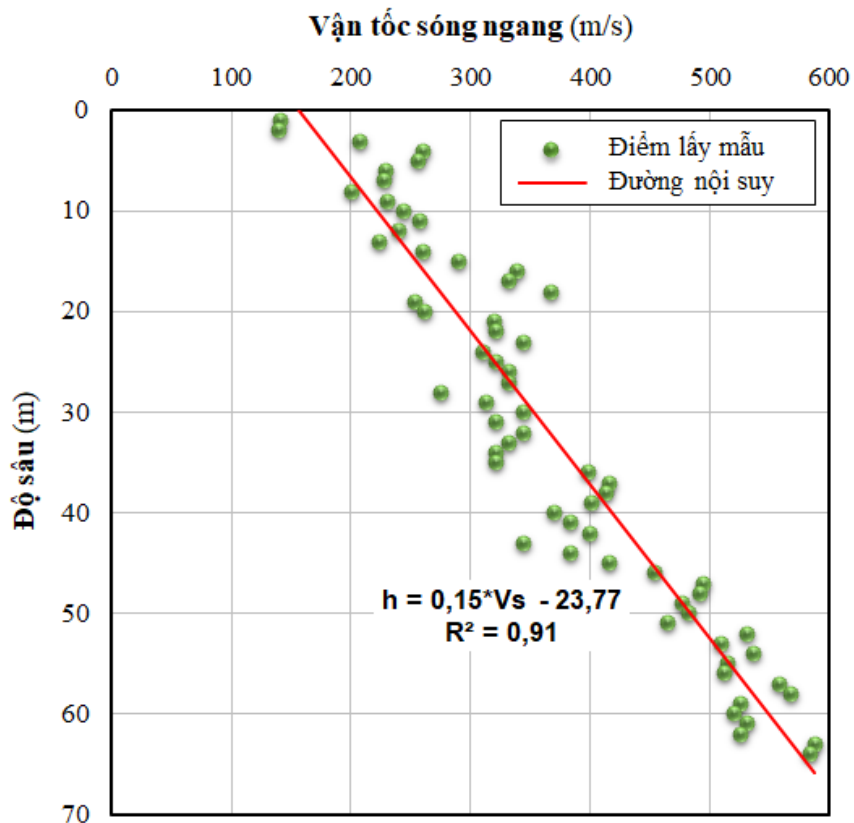
Mặt khác, mối quan hệ giữa V_S và độ sâu trong môi trường lớp phủ có dạng:

$$V_S(z) = V_0(1 + Z)^x \quad (2.16)$$

trong đó V_0 là vận tốc sóng ngang tại mặt lớp phủ, $Z=z/z_0$ (với $z_0=1m$) và x là hệ số của V_S phụ thuộc vào độ sâu tìm được bằng thực nghiệm. Ví dụ đối với cát của vùng phía Tây Lower Rhine Embayment, nước Đức có V_0 là 162 m/s và x là 0,278 [91], với sét ở khu đô thị Startlake, Tây Hồ, Hà Nội có V_0 là 156 m/s và x là 0,117 [93] (Hình 2.5).



Hình 2.4. Mô hình đánh giá đặc điểm tương quan giữa tần số trội H/V và chiều dày lớp phủ nông [91].



Hình 2.5. Biểu đồ tương quan giữa vận tốc truyền sóng ngang và độ sâu tại lỗ khoan BH2, khu đô thị Starlake Tây Hồ, Hà Nội [93].

Từ $V(z)=dz/dt$, thời gian truyền sóng ngang qua lớp phủ là:

$$t = \int_0^D \frac{dz}{V_s(z)} = \frac{1}{V_0} \int_0^D (1+Z)^{-x} dz = \frac{1}{V_0} \frac{(1+D)^{1-x} - 1}{(1-x)} \quad (2.17)$$

Mặt khác, quan hệ giữa F_0 và t là:

$$F_0 = \frac{1}{4t} = \frac{V_0(1-x)}{4[(1+D)^{1-x} - 1]} \quad (2.18)$$

$$\Rightarrow D + 1 = \left[\frac{V_0(1-x)}{4F_0} + 1 \right]^{1/(1-x)} \quad (2.19)$$

trong đó F_0 tính bằng Hz, V_0 tính bằng m/s và D tính bằng m.

Thực nghiệm cho thấy $D \gg 1 \Rightarrow D + 1 \approx D$; $\frac{V_0(1-x)}{4F_0} \gg 1 \Rightarrow \frac{V_0(1-x)}{4F_0} + 1 \approx \frac{V_0(1-x)}{4F_0}$.

Do đó, công thức (2.19) được viết dưới dạng đơn giản sau:

$$D = a * F_0^b \quad (2.20)$$

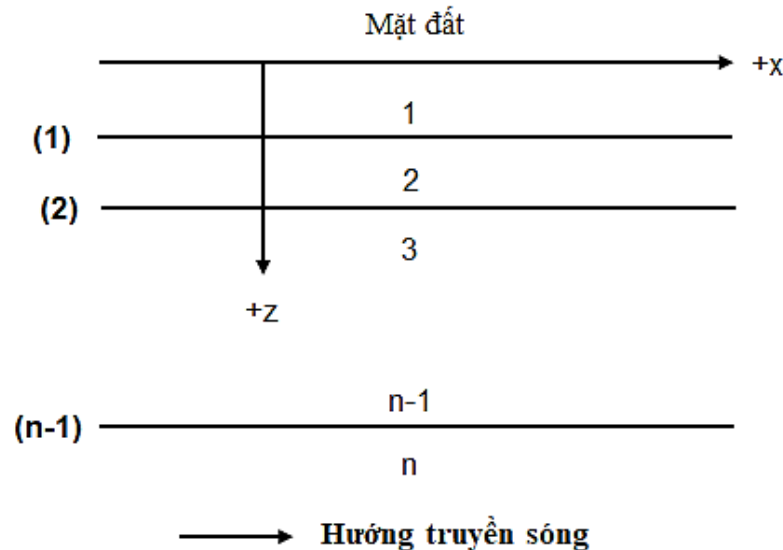
trong đó $a = \left[\frac{V_0(1-x)}{4} \right]^{1/(1-x)}$; $b = -\frac{1}{1-x}$ và phụ thuộc vào ĐKNĐ địa phương.

2.3. Phương pháp đánh giá hiệu ứng nền đất

2.3.1. Kỹ thuật chuyển đổi sóng SH và thuật toán di truyền

2.3.1.1. Kỹ thuật chuyển đổi sóng SH

Theo Haskell (1953, 1960) [94, 95], giả sử trong môi trường phân lớp, có một tia sóng truyền đi với tần số góc là p , vận tốc pha theo phương ngang là c , trong môi trường có n lớp song song, đồng nhất và đẳng hướng. Tất cả các lớp được giả định là rắn. Trục x song song với mặt phân lớp và chiều dương theo phương truyền sóng. Trục z vuông góc với mặt phân lớp và chiều dương đi vào môi trường phân lớp (Hình 2.6).



Hình 2.6: Mô hình n lớp song song, đồng nhất và đẳng hướng [94, 95].

Các tham số lớp thứ m được xác định như sau:

ρ_m là mật độ;

d_m là chiều dày lớp;

λ_m, μ_m là hằng số đàn hồi Lamé;

$\alpha_m = [(\lambda_m + 2\mu_m)/\rho_m]^{1/2}$ là vận tốc truyền sóng dọc;

$\beta_m = [\mu_m/\rho_m]^{1/2}$ là vận tốc truyền sóng ngang;

$k = p/c = 2\pi/\lambda$ là hằng số sóng;

λ là bước sóng;

v' là biên độ của sóng S đi lên (sóng tới);

v'' là biên độ của sóng S đi xuống (sóng phản xạ);

v_0 là biên độ dịch chuyển của sóng S tại mặt đất;

μ là mô-đun cắt;

p là tần số góc (radian);

c là vận tốc pha theo phương ngang;

$r_\beta = [(c/\beta)^2 - 1]$;

$Q = kdr_\beta$ là hệ số phẩm chất.

Biên độ dịch chuyển theo phương ngang là:

$$v = \exp[i(pt - kx)] [v' \exp(-ikr_\beta z) + v'' \exp(ikr_\beta z)] \quad (2.21)$$

ở đó v' và v'' là các hằng số.

Ứng suất cắt trượt theo phương ngang tương ứng là:

$$Y_z = \mu \partial v / \partial z = ik\mu r_\beta \exp[i(pt - kx)] [-v' \exp(-ikr_\beta z) + v'' \exp(ikr_\beta z)] \quad (2.22)$$

Sau đó tìm được hệ phương trình tại ranh giới thứ $(m - 1)$ là:

$$\begin{cases} (\dot{v}/c)_{m-1} = ik(v_m' + v_m'') \\ (Y_z)_{m-1} = ik\mu_m r_{\beta m} (v_m'' - v_m') \end{cases} \quad (2.23)$$

và tại ranh giới thứ m là:

$$\begin{cases} (\dot{v}/c)_m = (v_m' + v_m'') ik \cos Q_m - (v_m'' - v_m') k \sin Q_m \\ (Y_z)_m = -(v_m' + v_m'') k \mu r_{\beta m} \sin Q_m + (v_m'' - v_m') ik \mu_m r_{\beta m} \cos Q_m \end{cases} \quad (2.24)$$

Thay (2.23) vào (2.24) ta được:

$$\begin{cases} (\dot{v}/c)_m = (\dot{v}/c)_{m-1} \cos Q_m + (Y_z)_{m-1} \mu_m^{-1} r_{\beta m}^{-1} i \sin Q_m \\ (Y_z)_m = (\dot{v}/c)_{m-1} i \mu_m r_{\beta m} \sin Q_m + (Y_z)_{m-1} \cos Q_m \end{cases} \quad (2.25)$$

Biểu diễn các tham số của hệ phương trình (2.25) dưới dạng ma trận, ta được:

$$\begin{aligned}
a_m &= \begin{bmatrix} \cos Q_m & i\mu_m^{-1}r_{\beta m}^{-1}\sin Q_m \\ i\mu_m r_{\beta m}\sin Q_m & \cos Q_m \end{bmatrix} \\
&= \cos Q_m \begin{bmatrix} 1 & i\mu_m^{-1}r_{\beta m}^{-1}\tan Q_m \\ i\mu_m r_{\beta m}\tan Q_m & 1 \end{bmatrix}
\end{aligned} \tag{2.26}$$

Đặt $A = a_{n-1} a_{n-2} \dots a_1$ là các phần tử của ma trận 2 chiều a_m , sau đó tìm được hệ phương trình có dạng:

$$\begin{cases} (\dot{v}/c)_{n-1} = A_{11}(\dot{v}/c)_0 + A_{12}(Y_z)_0 \\ (Y_z)_{n-1} = A_{21}(\dot{v}/c)_0 + A_{22}(Y_z)_0 \end{cases} \tag{2.27}$$

cho $m = n$, rồi thay vào hệ phương trình (2.23) ta được:

$$\begin{cases} v'_n + v''_n = A_{11}(ik)^{-1}(\dot{v}/c)_0 + A_{12}(ik)^{-1}(Y_z)_0 \\ v''_n - v'_n = A_{21}(ik\mu_n r_{\beta n})^{-1}(\dot{v}/c)_0 + A_{22}(ik\mu_n r_{\beta n})^{-1}(Y_z)_0 \end{cases} \tag{2.28}$$

Điều kiện tồn tại sóng tại mặt tự do là: $(Y_z)_0 = 0$ và $v''_n = 0$, khi đó hệ phương trình (2.28) trở thành:

$$A_{21} = -\mu_n r_{\beta n} A_{11} \tag{2.29}$$

Trong trường hợp 2 lớp, $A = a_1$, khi đó thay (2.26) vào (2.29) ta được:

$$\tan Q_1 = -i(\mu_2 r_{\beta 2} / \mu_1 r_{\beta 1}) \tag{2.30}$$

Nếu cho ứng suất cắt trượt ngang tại mặt đất trong hệ phương trình (2.28) bằng 0, $(Y_z)_0 = 0$, ta thu được hệ phương trình:

$$\begin{cases} v'_n + v''_n = A_{11}v_0 \\ v''_n - v'_n = A_{21}v_0 / \mu_n r_{\beta n} \end{cases} \tag{2.31}$$

Giải hệ phương trình (2.31) tìm được tỷ số biên độ sóng phản xạ (v'_n) và sóng tới của n lớp (v''_n) và tỷ số biên độ sóng tại mặt đất (v_0) và sóng tới của n lớp (v''_n) có dạng:

$$v'_n / v''_n = \frac{\mu_n r_{\beta n} A_{11} - A_{21}}{\mu_n r_{\beta n} A_{11} + A_{21}} \tag{2.32}$$

$$v_0 / v''_n = \frac{2\mu_n r_{\beta n}}{\mu_n r_{\beta n} A_{11} + A_{21}} \tag{2.33}$$

Ví dụ, xét trường hợp môi trường có 2 lớp đơn giản, ta có:

$$A_{11} = \cos Q_1; A_{21} = i\mu_1 r_{\beta 1} \sin Q_1; n = 2$$

khi đó công thức (2.32) và (2.33) trở thành:

$$v'_2 / v''_2 = \frac{\cos Q_1 - i b \sin Q_1}{\cos Q_1 + i b \sin Q_1} \tag{2.34}$$

$$v_0 / v''_2 = \frac{2}{\cos Q_1 + i b \sin Q_1} \tag{2.35}$$

2.3.1.2. Thuật toán di truyền

Thuật toán di truyền (sau đây viết tắt là GA) là công cụ tìm kiếm tiên tiến và áp dụng tốt cho các đối tượng ngẫu nhiên. Nó dùng để tìm ra kết quả có lợi và phù hợp nhất với thực tiễn. GA không phải là phương pháp nội suy truyền thống. GA dựa trên cơ sở thuyết tiến hoá của Darwin. Sau đó, được phát triển và hoàn thiện bởi Holland và nnk (1975) [96].

Trong nghiên cứu này, GA được sử dụng để lựa chọn biểu đồ cấu trúc V_S1D hợp lý theo kỹ thuật mô phỏng biểu đồ HVSR dựa trên số liệu đo ĐĐVĐC một trạm. Hàm tương quan được xây dựng là 80% cho tương quan tuyến tính giữa biểu đồ sóng SH chuyển đổi và biểu đồ HVSR và 20% cho tương quan giữa các giá trị tần số đỉnh trội của biểu đồ sóng SH chuyển đổi và biểu đồ HVSR. Khi đó, hàm tương quan có dạng:

$$f = \left(\frac{r+1}{r}\right) * 0,8 + \left(1 - \frac{|F_{SH}-F_{HV}|}{0,3 * F_{HV}}\right) \times 0,2 \quad (2.36)$$

trong đó F_{SH} là tần số trội tính theo hàm chuyển đổi lý thuyết (từ biểu đồ cấu trúc V_S sang biểu đồ sóng SH chuyển đổi), F_{HV} là giá trị F_0 tìm được theo thực tế tại các điểm đo ĐĐVĐC một trạm trong khu vực nghiên cứu và r là hệ số tương quan tuyến tính giữa biểu đồ sóng SH chuyển đổi và biểu đồ HVSR đo thực tế. Cho cặp giá trị (x_i, y_i) , $i = 1, \dots, N$, hệ số tương quan tuyến tính là:

$$r = \frac{\sum_i(x_i-\bar{x})(y_i-\bar{y})}{[\sum_i(x_i-\bar{x})^2 \sum_i(y_i-\bar{y})^2]^{1/2}} \quad (2.37)$$

trong đó \bar{x} là các giá trị trung bình của x_i , \bar{y} là các giá trị trung bình của y_i .

2.3.2. Hàm suy giảm chấn động

Trường chấn động chính quan sát được ở trên mặt đất có nguồn gốc từ chấn tiêu của trận động đất. Tại mỗi điểm khảo sát (điểm đo), trường chấn động ghi được bị thay đổi bởi độ lớn của trận động đất, khoảng cách tới nguồn và môi trường sóng địa chấn truyền qua. Campbell và Bozognia (2008) [97] (sau đây viết tắt là CB08) đã xây dựng hàm suy giảm chấn động theo các yếu tố trên bằng số liệu địa chấn toàn cầu. Ở Việt Nam, hàm suy giảm chấn động này đã được nhiều tác giả áp dụng [80, 82, 84]. Các kết quả đều chỉ ra hàm này có độ chính xác cao và phù hợp với điều kiện của Việt Nam. Vì vậy, hàm này cũng được sử dụng để tính các giá trị dao động nền (sau đây viết tắt là GM) của nghiên cứu này. Hàm tổng quát có dạng:

$$\ln(GM) = f_{mag} + f_{dis} + f_{flt} + f_{hng} + f_{site} + f_{sed} \quad (2.38)$$

trong đó, các hàm f được định nghĩa như sau:

- Hàm f_{mag} là hàm liên quan đến độ lớn mô men động đất

$$f_{mag} = \begin{cases} c_0 + c_1 M; & M \leq 5,5 \\ c_0 + c_1 M + c_2(M - 5,5); & 5,5 < M \leq 6,5 \\ c_0 + c_1 M + c_2(M - 5,5) + c_3(M - 6,5); & M > 6,5 \end{cases} \quad (2.39)$$

- Hàm f_{dis} là hàm liên quan đến khoảng cách từ vùng phá hủy (chấn tiêu động đất) tới điểm khảo sát (điểm đo)

$$f_{dis} = (c_4 + c_5 M) \ln \sqrt{(R_{RUP}^2 + c_6^2)} \quad (2.40)$$

- Hàm f_{flt} là hàm liên quan đến cơ chế hoạt động của đứt gãy

$$f_{flt} = c_7 F_{RV} f_{flt,Z} + c_8 F_{NM} \quad (2.41)$$

$$f_{flt,Z} = \begin{cases} Z_{TOR}; & Z_{TOR} < 1 \\ 1; & Z_{TOR} \geq 1 \end{cases} \quad (2.42)$$

- Hàm f_{hng} là hàm liên quan đến vị trí điểm đo so với mặt phá hủy của đứt gãy.

$$f_{hng} = c_9 f_{hng,R} f_{hng,M} f_{hng,Z} f_{hng,\delta} \quad (2.43)$$

$$f_{hng,R} = \begin{cases} 1; & R_{JB} = 0 \\ \left[\frac{\max(R_{RUP}, \sqrt{R_{JB}^2 + 1}) - R_{JB}}{\max(R_{RUP}, \sqrt{R_{JB}^2 + 1})} \right]; & R_{JB} > 0, Z_{TOR} < 1 \\ (R_{RUP} - R_{JB}) / R_{RUP}; & R_{JB} > 0, Z_{TOR} \geq 1 \end{cases} \quad (2.44)$$

$$f_{hng,M} = \begin{cases} 0; & M \leq 6,0 \\ 2(M - 6,0); & 6,0 < M < 6,5 \\ 1; & M \geq 6,5 \end{cases} \quad (2.45)$$

$$f_{hng,Z} = \begin{cases} 0; & Z_{TOR} \geq 20 \\ (20 - Z_{TOR}) / 20; & 0 \leq Z_{TOR} < 20 \end{cases} \quad (2.46)$$

$$f_{hng,\delta} = \begin{cases} 1; & \delta \leq 70 \\ (90 - \delta) / 20; & \delta > 70 \end{cases} \quad (2.47)$$

- Hàm f_{site} là hàm liên quan đến ĐKNĐ địa phương

$$f_{site} = \begin{cases} c_{10} \ln\left(\frac{V_{S30}}{k_1}\right) + k_2 \left\{ \ln\left[A_{1100} + c\left(\frac{V_{S30}}{k_1}\right)^n\right] - \ln[A_{1100} + c] \right\}; & V_{S30} < k_1 \\ (c_{10} + k_2 n) \ln\left(\frac{V_{S30}}{k_1}\right); & k_1 \leq V_{S30} \leq 1100 \\ (c_{10} + k_2 n) \ln\left(\frac{1100}{k_1}\right); & V_{S30} \geq 1100 \end{cases} \quad (2.48)$$

- Hàm f_{sed} là hàm liên quan đến cấu trúc bồn trũng của khu vực nghiên cứu

$$f_{sed} = \begin{cases} c_{11}(Z_{2,5} - 1); & Z_{2,5} < 1 \\ 0; & 1 \leq Z_{2,5} \leq 3 \\ c_{12}k_3 e^{-0,75} [1 - e^{-0,25(Z_{2,5}-3)}]; & Z_{2,5} > 3 \end{cases} \quad (2.49)$$

trong đó, GM là giá trị dao động nền theo phương ngang tại bề mặt tính bằng (g); M là độ lớn mô men động đất; R_{RUP} là khoảng cách gần nhất tới mặt phá hủy tính bằng (km); R_{JB} là khoảng cách gần nhất của hình chiếu vuông góc từ điểm quan sát lên mặt phá hủy tính bằng (km); F_{RV} là một biến thay đổi đặc trưng cho đứt gãy nghịch hay chồm nghịch, ở đó $F_{RV} = 1$ với $30^0 < \lambda < 150^0$ và $F_{RV} = 0$ với những trường hợp khác, λ là góc trượt được xác định như là giá trị trung bình của góc trượt đo được trên mặt phá hủy giữa hướng đường phương và véc tơ trượt; F_{NM} là một biến thay đổi đặc trưng cho đứt gãy thuận hay trượt thuận, $F_{NM} = 1$ với $-150^0 < \lambda < -30^0$ và $F_{NM} = 0$ với những trường hợp khác; Z_{TOR} là độ sâu tới đỉnh của mặt phá hủy tính bằng (km); δ là góc cắm của mặt phá hủy; V_{S30} là vận tốc sóng ngang trung bình trong 30 m phía trên cùng tính bằng (m/s); A_{1100} là giá trị PGA trung bình của đá gốc lộ tham khảo, ứng với V_{S30} là 1100 m/s tính bằng (g); $Z_{2,5}$ là độ sâu tới lớp đá có V_S là 2500 m/s tính bằng (km); c_i , c , n và k_i là các hệ số tương quan tại chu kỳ 0,01 s, lần lượt là: $c_0 = -1,715$, $c_1 = 0,5$, $c_2 = -0,53$, $c_3 = -0,262$, $c_4 = -2,118$, $c_5 = 0,17$, $c_6 = 5,6$, $c_7 = 0,28$, $c_8 = -0,12$, $c_9 = 0,490$, $c_{10} = 1,058$, $c_{11} = 0,04$, $c_{12} = 0,61$, $c = 1,88$, $n = 1,18$, $k_1 = 865$, $k_2 = -1,186$ và $k_3 = 1,839$.

Ở Việt Nam, để sử dụng được hàm này, một vài tham số cần được chuyển đổi sang đơn vị tương ứng, cụ thể là:

(1) Tham số M_W được chuyển đổi từ tham số M_S theo công thức của Scordilis E. M (2006) [98] như sau:

$$M_W = \begin{cases} 0,67(\pm 0,005)M_S + 2,07(\pm 0,03); & 3,0 \leq M_S \leq 6,1 \\ 0,99(\pm 0,02)M_S + 0,08(\pm 0,13); & 6,2 \leq M_S \leq 8,2 \end{cases} \quad (2.50)$$

(2) Tham số Z_{TOR} được lựa chọn theo tiêu chí sau:

$$Z_{TOR} = \begin{cases} 0 & \text{nếu } M_S \geq 7,0 \\ 1 & \text{nếu } 6,5 \leq M_S < 7,0 \\ 3 & \text{nếu } 6,0 \leq M_S < 6,5 \\ 5 & \text{nếu } M_S < 6,0 \end{cases} \quad (2.51)$$

(3) Các tham số khoảng cách R_X , R_{RUP} , R_{JB} xác định theo mô hình cơ chế hoạt động của các loại nguồn phát sinh động đất, cụ thể là:

Mô hình 1: Đứt gãy thuận hay nghịch, điểm đo nằm trên cánh treo (Hình 2.7a).

$$\begin{cases} R_X = R_E + (h_E - Z_{TOR})tg(90 - \delta) \\ R_{RUP} = R_E \cos(90 - \delta) + h_E \sin(90 - \delta) \\ R_{JB} = R_E - (h_F - h_E)tg(90 - \delta) \end{cases} \quad (2.52)$$

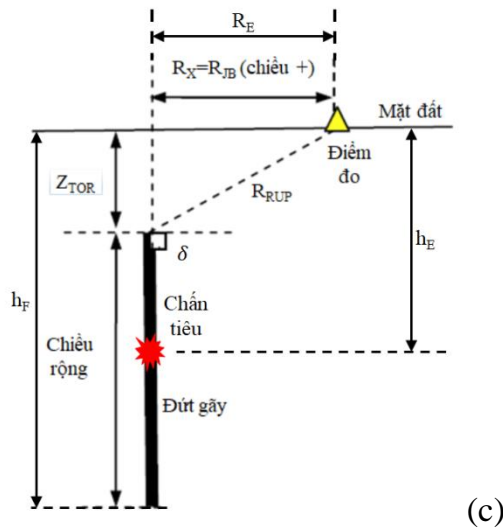
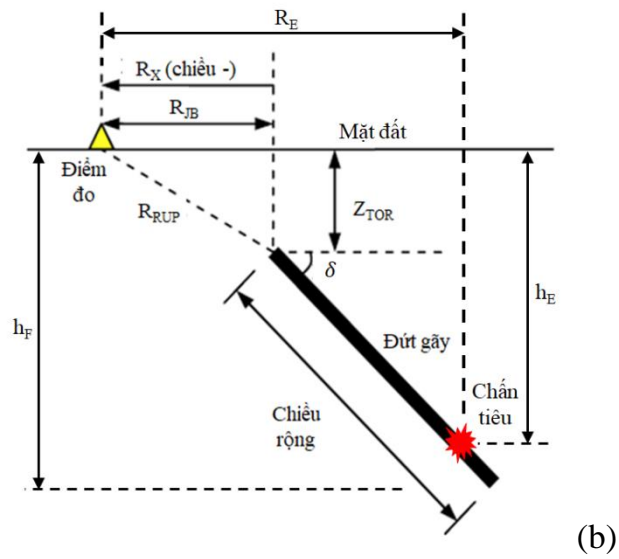
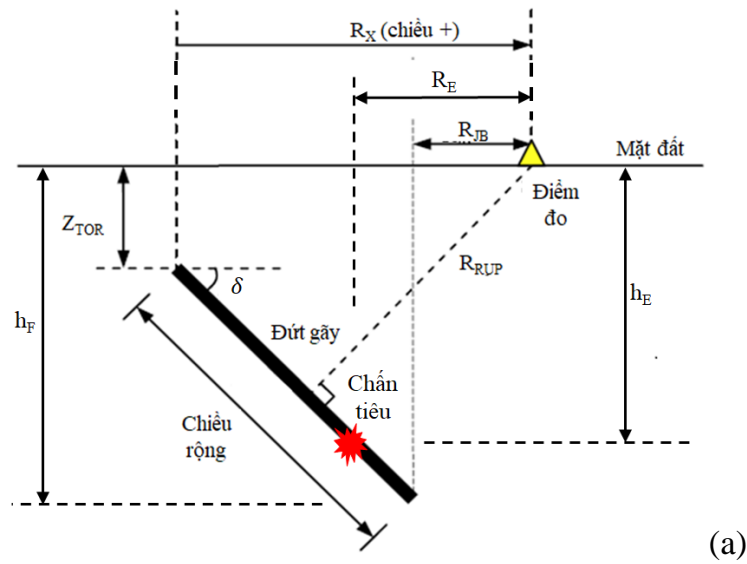
Mô hình 2: Đứt gãy thuận hay nghịch, điểm đo nằm trên cánh nằm (Hình 2.7b).

$$\begin{cases} R_X = R_E - \frac{(h_E - Z_{TOR})}{tg(\delta)} \\ R_{RUP} = \sqrt{R_X^2 + Z_{TOR}^2} \\ R_{JB} = R_X \end{cases} \quad (2.53)$$

Mô hình 3: Đứt gãy trượt bằng (Hình 2.7c).

$$\begin{cases} R_X = R_E \\ R_{RUP} = \sqrt{R_X^2 + Z_{TOR}^2} \\ R_{JB} = R_X \end{cases} \quad (2.54)$$

trong đó: R_X là khoảng cách theo phương ngang từ đỉnh của đới phá hủy (điểm gần mặt đất nhất) đến điểm quan sát tính bằng (km); R_E là khoảng cách chấn tâm tính bằng (km); h_E là độ sâu chấn tiêu tính bằng (km); h_F là độ sâu đứt gãy tính bằng (km); δ là góc cắm của mặt phá hủy (đứt gãy) tính bằng (độ).



Hình 2.7: Các mô hình tính tham số khoảng cách theo cơ chế hoạt động của nguồn phát sinh động đất và vị trí điểm đo. (a) Đứt gãy thuận hay nghịch, điểm đo nằm trên cánh treo; (b) Đứt gãy thuận hay nghịch, điểm đo nằm trên cánh nằm và (c) Đứt gãy trượt bằng.

2.3.3. Hệ số khuếch đại dao động nền (K)

Hệ số K là tham số quan trọng trong xây dựng phổ phản ứng đàn hồi theo phương ngang phục vụ thiết kế công trình chịu động đất. Từ (2.38), hệ số K được xác định theo công thức sau:

$$K = \frac{GM_S}{GM_R} \quad (2.55)$$

trong đó GM_S , GM_R lần lượt là giá trị dao động nền theo phương ngang tại mặt lớp phủ ứng với V_{S30} thực tế và tại mặt đá cứng ứng với V_{S30} là 800 m/s.

Từ (2.38) và (2.55), hệ số K tại mỗi điểm đo được xác định như sau:

$$K = \frac{e^{f_S}}{e^{f_R}} = C * e^{f_S} \quad (2.56)$$

trong đó f_S , f_R lần lượt là f_{site} tính với V_{S30} thực tế và V_{S30} là 800 m/s, $C=1/\exp(f_R)$ là hằng số.

Từ (2.48) và (2.56) cho thấy hệ số K tại mỗi điểm đo chỉ liên quan đến giá trị V_{S30} và giá trị A_{1100} nghĩa là nó chỉ liên quan đến điều kiện nền đất và độ lớn của nguồn phát sinh động đất gây ra tại điểm đo này.

2.4. Các tiêu chuẩn và tiêu chí đánh giá

2.4.1. Tiêu chuẩn phân loại nền đất theo giá trị V_{S30}

Hiện nay, việc áp dụng tiêu chuẩn phân loại nền đất theo giá trị V_{S30} được áp dụng phổ biến tại nhiều nước trên thế giới. Mỗi quốc gia có một tiêu chuẩn áp dụng riêng. Tuy nhiên, về cơ bản chúng vẫn dựa vào hai tiêu chuẩn phân loại nền đất theo giá trị V_{S30} đó là “Tiêu chuẩn phân loại nền đất cho thiết kế công trình chịu động đất thuộc Chương trình giảm thiểu độ nguy hiểm động đất quốc gia” của Mỹ (Bảng 2.1) [99] và “Tiêu chuẩn thiết kế công trình chịu động đất” của liên minh Châu Âu (Eurocode 8) [100] (Bảng 2.2). Đây là các tiêu chuẩn phân loại nền hiện đại, thuận lợi cho tính toán số. Ở Việt Nam, tiêu chuẩn mới nhất là “Tiêu chuẩn quốc gia TCVN 9386:2012” [84]. Tiêu chuẩn này được chuyển đổi từ “Tiêu chuẩn TCXDVN 375:2006” [101], nhưng thực chất là Eurocode 8 [100] có bổ sung hoặc thay thế một số phân hạng tính đặc thù của Việt Nam (Bảng 2.2).

Giá trị V_{S30} được xác định theo công thức:

$$V_{S30} = \frac{30}{\sum_{i=1}^N \frac{h_i}{V_i}} \quad (2.57)$$

trong đó h_i , V_i lần lượt là chiều dày tính bằng (m) và V_S của lớp thứ i trong tổng số N lớp tồn tại trong 30 m đất trên bề mặt.

Bảng 2.1. Tiêu chuẩn phân loại nền đất của Mỹ [99].

Loại nền đất	Mô tả thạch học	V_{s30} (m/s)
A	Đá gốc cứng	>1524
B	Đá gốc cứng trung bình	914-1525
BC	Đá mềm	640-914
C	Cát rất chặt hay sét rất cứng	441-640
CD	Cát chặt hay sét cứng	304-441
D	Cát chặt vừa hay sét cứng	213-304
DE	Cát lỏng hay sét mềm	152-213
E	Cát rất lỏng hay sét rất mềm	<152
F	<ol style="list-style-type: none"> Loại đất dễ bị phá hủy hay sụp đổ bởi tải trọng động đất như dễ hóa lỏng, sét có độ nhạy cảm cao và nhanh, đất xi măng cô kết yếu. Đất than bùn và/hoặc đất sét hữu cơ chiều dày trên 3 m. Đất sét có độ dẻo rất cao ($PI > 75$) chiều dày trên 7,6 m thuộc các loại đất CD, D, DE hay E. Sét mềm/cứng trung bình chiều dày trên 37 m 	-

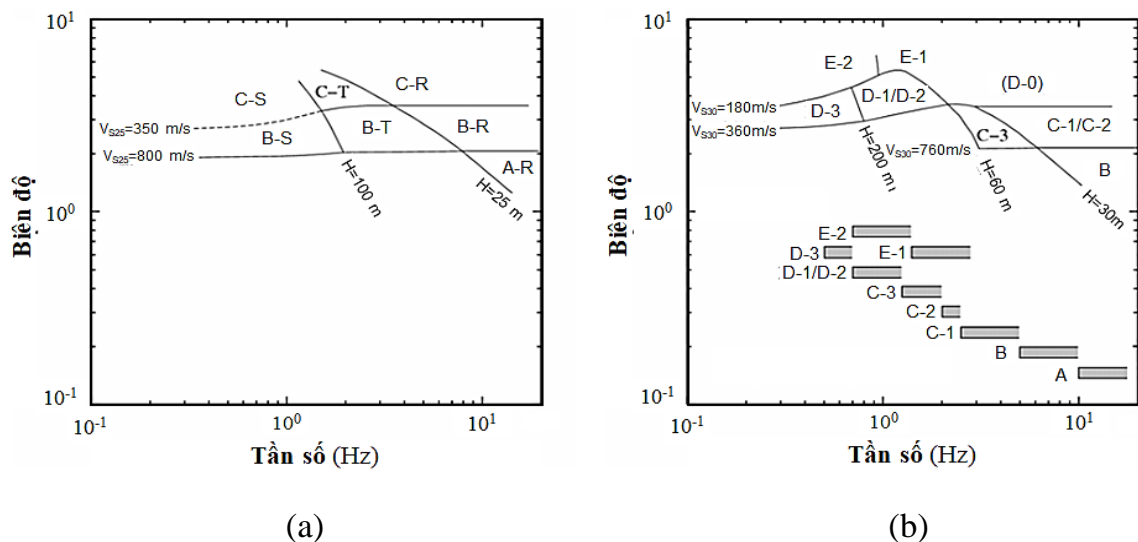
Bảng 2.2. Tiêu chuẩn phân loại nền đất quốc gia TCVN 9386:2012 của Việt Nam [84] hay Eurocode 8 của liên minh Châu Âu [100].

Loại nền đất	Mô tả thạch học	Các tham số		
		V_{s30} (m/s)	N_{SPR} (nhát/30 cm)	Cu (Pa)
A	Đá hoặc các kiến tạo địa chất khác tựa đá, kể cả các đất yếu hơn trên bề mặt với bề dày lớn nhất là 5 m.	≥ 800	-	-
B	Đất cát, cuội sỏi rất chặt hoặc đất sét rất cứng có bề dày ít nhất hàng chục mét, tính chất cơ học tăng dần theo độ sâu.	360-800	> 50	> 250
C	Đất cát, cuội sỏi chặt, chặt vừa hoặc đất sét cứng có bề dày lớn từ hàng chục tới hàng trăm mét.	180-360	15-50	70-250

D	Đất rời trạng thái từ xốp đến chặt vừa (có hoặc không xen kẹp vài lớp đất dính) hoặc có đa phần đất dính trạng thái từ mềm đến cứng vừa.	< 180	< 15	< 70
E	Địa tầng bao gồm có lớp đất trầm tích sông ở trên mặt với bề dày trong khoảng 5 đến 20 m với giá trị V_S như loại C, D và bên dưới là các đất cứng hơn với V_S lớn hơn 800 m/s.	-	-	-
S1	Địa tầng bao gồm hoặc chứa một lớp đất sét mềm/bùn (bụi) tính dẻo cao (PI > 40) và độ ẩm cao, có chiều dày ít nhất là 10 m.	< 100 (tham khảo)	-	10 – 20
S2	Địa tầng bao gồm các đất dễ hóa lỏng, đất sét nhạy hoặc các đất khác với các đất trong các loại nền A-E hoặc S1.	-	-	-

2.4.2. Tiêu chí phân vùng tần số dao động

Tiêu chí phân vùng tần số dao động được đề xuất bởi Bray và Rodríguez-Marek (1997) [102], sau đó được bổ sung, cập nhật vào tiêu chí DIN 4149:2005 của Đức [103] (Hình 2.8). Tần số dao động được phân loại theo các loại đất, đá.



Hình 2.8: Các biểu đồ quan hệ giữa loại nền đất và tần số dao động [102, 103]. (a) DIN 4149:2005, các ký hiệu A, B, C lần lượt ứng với các loại nền đất A, B, C còn các ký hiệu R, T, S lần lượt ứng với đá, chuyển tiếp (giữa đá và đất), đất và (b) Bray và Rodríguez-Marek 1997, các ký A, B, C, D, E lần lượt ứng với các loại nền đất A, B, C, D, E còn các ký hiệu 1, 2, 3 lần lượt ứng với các loại đất, đá.

2.4.3. Sai số

$$\text{Err}(i) = \frac{|\bar{A} - A_i|}{\bar{A}} * 100 (\%) \quad (2.58)$$

trong đó \bar{A} là giá trung bình của n đại lượng A, được xác định như sau:

$$\bar{A} = \frac{A_1 + A_2 + \dots + A_n}{n} \quad (2.59)$$

Kết luận chương 2

1/ Nghiên cứu cấu trúc nền đất theo phương pháp dao động vi địa chấn đang là phương pháp được sử dụng nhiều trên thế giới, phù hợp cho nghiên cứu ở Việt Nam và đặc biệt là thành phố Hà Nội. Các đặc điểm như: Biểu đồ tỷ số phổ H/V, giá trị F_0 , giá trị chiều dày lớp phủ nông, biểu đồ cấu trúc V_S1D và giá trị dao động nền tại mỗi điểm đo dễ dàng được xác định nhờ đo dao động vi địa chấn.

2/ Tuy có nhiều phương pháp để có thể xây dựng tiêu chuẩn phân loại nền đất, nhưng hiện nay Việt Nam sử dụng tiêu chuẩn phân loại nền đất theo giá trị V_{S30} tương đương Eurocode 8 của liên minh Châu Âu là hợp lý. Giá trị V_{S30} hoàn toàn có thể xác định được bằng phương pháp dao động vi địa chấn theo kỹ thuật đã được đề cập trong nghiên cứu này đó là đo dao động vi địa chấn một trạm và đo mảng dao động vi địa chấn.

3/ Việc áp dụng hàm suy giảm chấn động Campbell và Bozognia (2008) đã được thực hiện phổ biến tại Việt Nam. Đây là cơ sở khoa học tin cậy để chọn được hàm tính giá trị dao động nền tại mỗi điểm đo phục vụ xác định hệ số khuếch đại dao động các loại nền cho thành phố Hà Nội.

CHƯƠNG 3

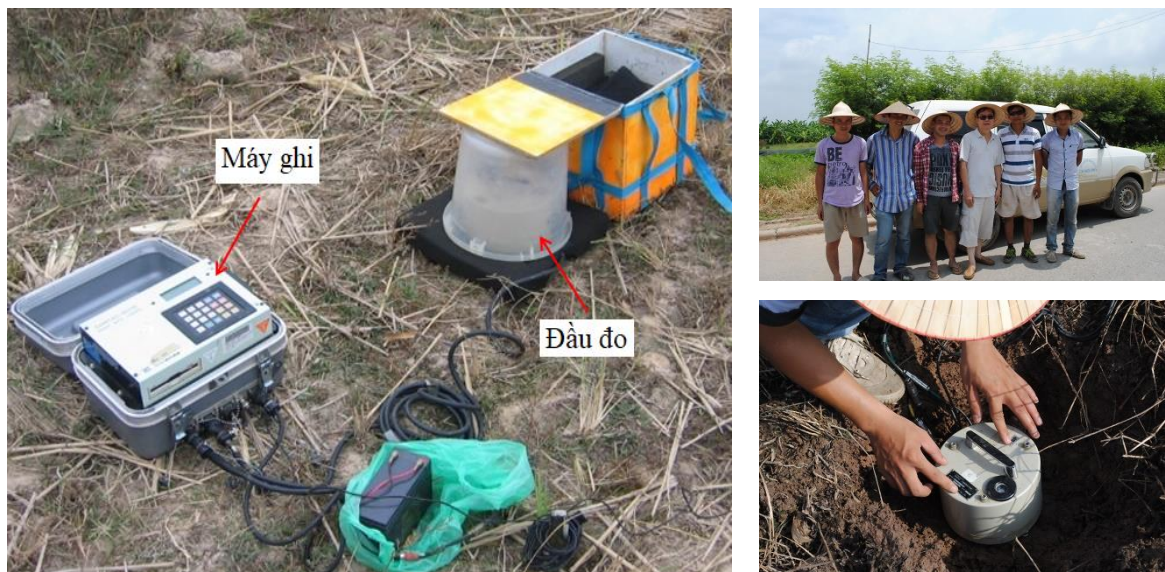
NGUỒN SỐ LIỆU VÀ CÁC QUY TRÌNH MINH GIẢI

Nguồn số liệu sử dụng là các tập số liệu đo ĐĐVĐC và ĐCCT. Số liệu đo ĐĐVĐC thu thập từ các nghiên cứu trước đây chỉ phục vụ nghiên cứu cấu trúc nền đất ở mức độ tổng quan hay chi tiết cho một vùng nhỏ. Để nghiên cứu cấu trúc chi tiết phục vụ nghiên cứu HƯNĐ cần phải đo bổ sung số liệu ĐĐVĐC một trạm. Trên cơ sở phân bố số liệu đã thu thập, số liệu ĐĐVĐC một trạm được đo bổ sung theo các tuyến ĐCCT, dải dọc sông Hồng - sông Đuống, các quận nội thành còn lại và vùng phía Nam. Từ tập số liệu đã thu thập và đo bổ sung, các quy trình xử lý được xây dựng phục vụ nghiên cứu các đặc điểm ĐĐVĐC và xác định hệ số K khu vực nttp. Hà Nội. Chi tiết các nhiệm vụ sẽ được nói đến trong chương này.

3.1. Thiết bị đo dao động vi địa chấn

Thiết bị sử dụng là 07 bộ máy đo ĐĐVĐC Samtac hiện đại được sản xuất bởi hãng Tokyo Sukushin của Nhật Bản, mỗi bộ gồm 01 máy ghi Samtac-801H với độ phân giải 24 bit và 01 đầu đo VSE315D hay VSE355EV với 06 thành phần (gồm 03 thành phần vận tốc và 03 thành phần gia tốc), dải tần cảm ứng từ 0,1 tới 50 Hz (Hình 3.1).

Toàn bộ quá trình đo được thiết lập theo chế độ tự động, tần số lấy mẫu của phép đo là 200 mẫu/giây. Vị trí các điểm đo được xác định chính xác bằng hệ thống định vị toàn cầu (GPS) cầm tay.



Hình 3.1. Thiết bị đo dao động vi địa chấn và môi trường khảo sát

3.2. Nguồn số liệu phục vụ nghiên cứu

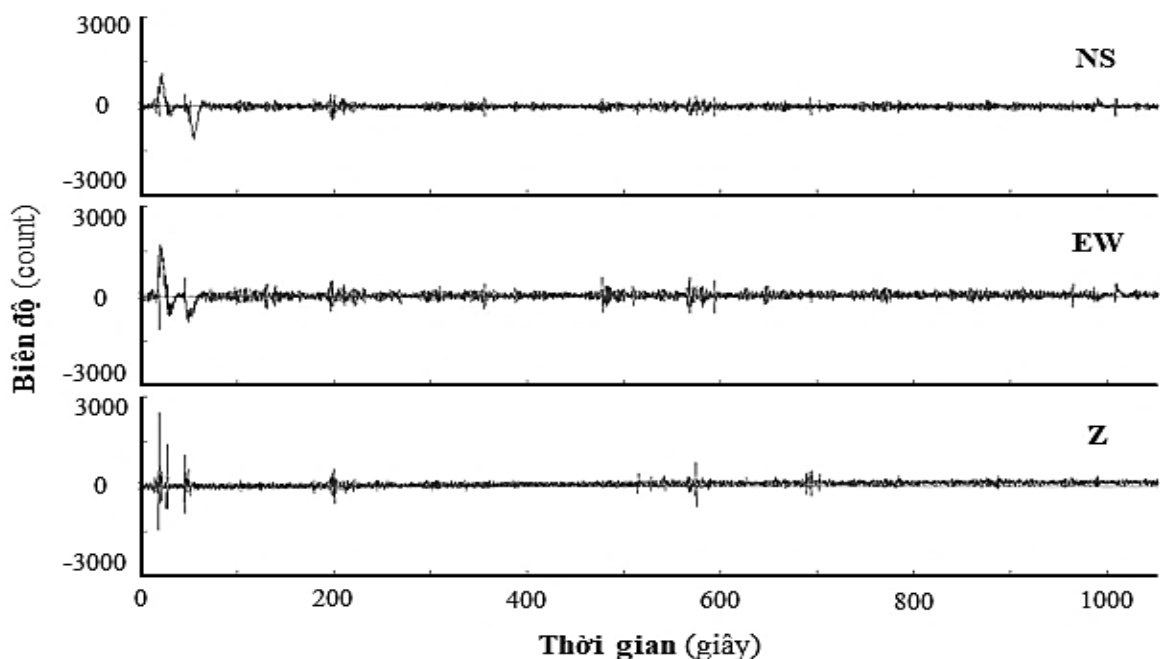
3.2.1. Số liệu đo dao động vi địa chấn

3.2.1.1. Đo dao động vi địa chấn một trạm

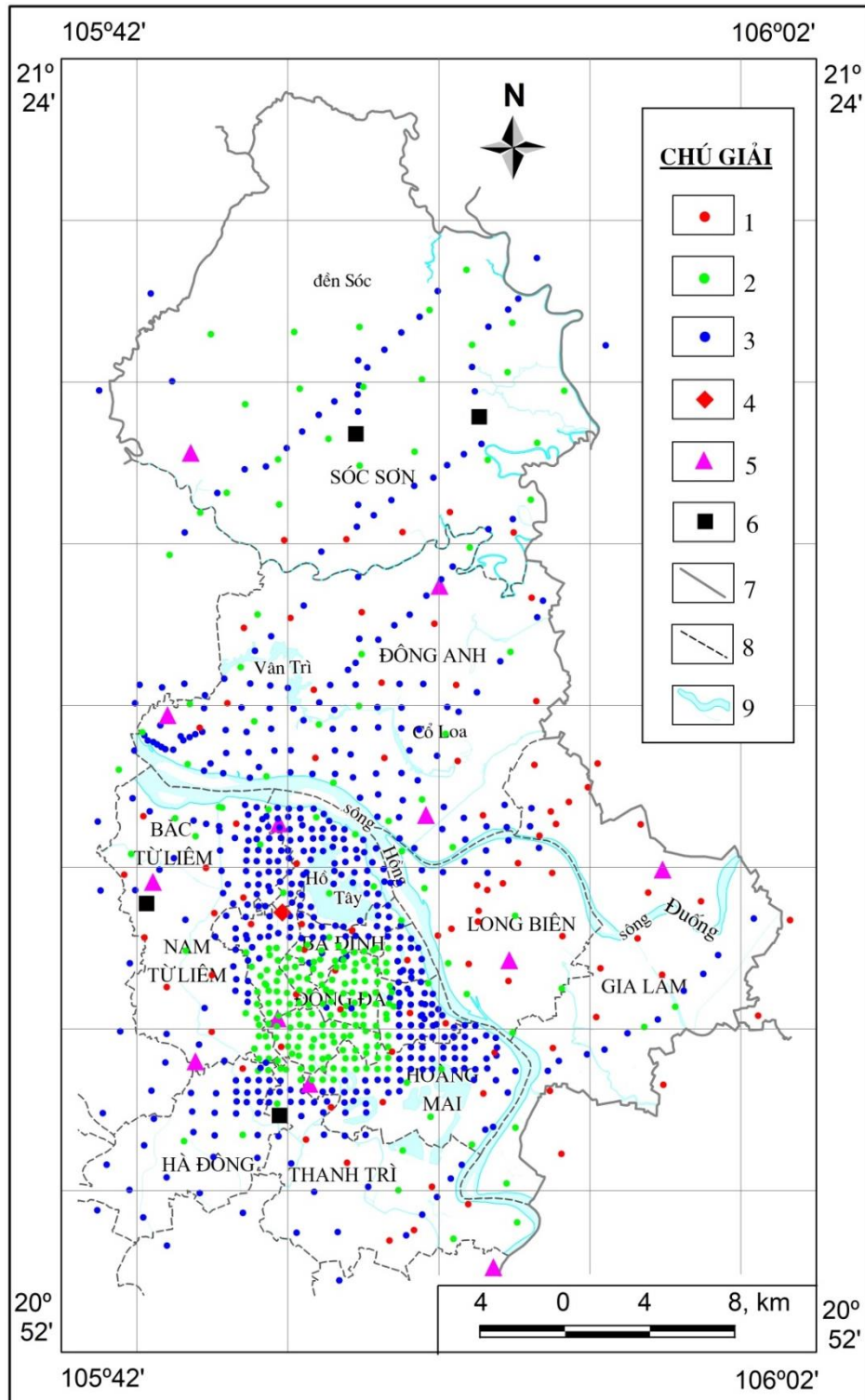
Số liệu đo ĐĐVĐC một trạm sử dụng là các băng ghi 03 thành phần vận tốc (02 thành phần ngang (NS, EW) và 01 thành phần thẳng đứng (Z)) (Hình 3.2). Số liệu được đo trong 03 giai đoạn với mục đích nghiên cứu khác nhau, cụ thể là:

- Giai đoạn 1 (2009-2011), gồm 93 điểm đo theo lưới, mắt lưới từ 1000 đến 3000 m, phục vụ nghiên cứu tổng quan giá trị F_0 khu vực nttp. Hà Nội [79].
- Giai đoạn 2 (2012-2014), bổ sung 244 điểm, trong đó có 136 điểm đo chi tiết tại quận Đống Đa và Thanh Xuân, nhằm mở rộng phạm vi nghiên cứu tổng quan và tập trung nghiên cứu chi tiết cho vùng có mức độ rủi ro cao nhất của khu vực nttp. Hà Nội [78].
- Giai đoạn 3 (2015-nay), bổ sung thêm 497 điểm đo, trong đó có 01 điểm đo lặp lại theo thời gian nhằm nghiên cứu sự thay đổi ĐĐVĐC theo thời gian, 12 điểm đo đồng thời bằng 07 bộ máy ĐĐVĐC Samtac tại các nền đất đặc trưng khác nhau nhằm nghiên cứu sự thay đổi ĐĐVĐC theo thiết bị và 258 điểm đo theo tuyến nhằm nghiên cứu tương quan giữa F_0 và D khu vực nttp. Hà Nội.

Như vậy, tổng số điểm ĐĐVĐC một trạm sử dụng trong nghiên cứu này là 834 điểm (Hình 3.3).



Hình 3.2. Băng ghi dao động vi địa chấn 3 thành phần vận tốc. Từ trên xuống dưới lần lượt là các thành phần: Bắc-Nam (NS), Đông-Tây (EW), thẳng đứng (Z).



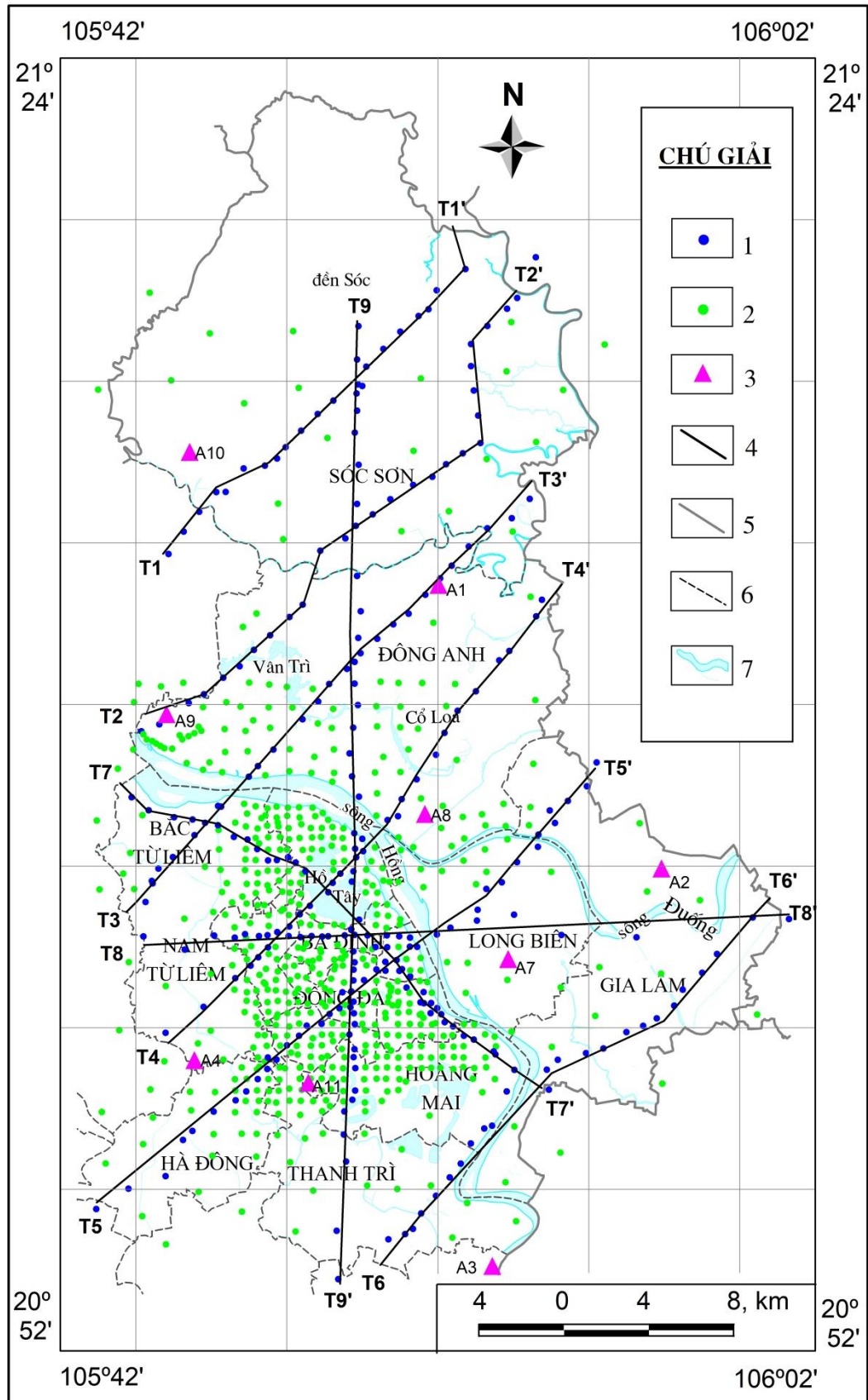
Hình 3.3. Sơ đồ phân bố điểm đo dao động vi địa chấn một trạm phục vụ nghiên cứu này. (1) các điểm đo ĐĐVĐC một trạm giai đoạn 1 [79]; (2) các điểm đo ĐĐVĐC một trạm giai đoạn 2 [78]; (3) các điểm đo ĐĐVĐC một trạm giai đoạn 3; (4) điểm đo ĐĐVĐC một trạm lặp lại theo thời gian; (5) các điểm đo ĐĐVĐC một trạm đồng thời bằng 07 bộ máy Samtac; (6) điểm đo ĐĐVĐC một trạm dùng để biểu diễn biểu đồ cấu trúc V_S1D ; (7) ranh giới tỉnh; (8) ranh giới huyện và (9) sông, hồ, suối.

3.2.1.2. Đo mảng dao động vi địa chấn

Nghiên cứu này sử dụng lại 09 điểm đo mảng ĐĐVĐC trong các nghiên cứu trước đây [56, 78]. Sơ đồ phân bố các điểm đo mảng được mô tả ở hình 3.4. Biểu đồ cấu trúc V_S1D xác định được tại 09 điểm đo này được mô tả ở hình 3.5.

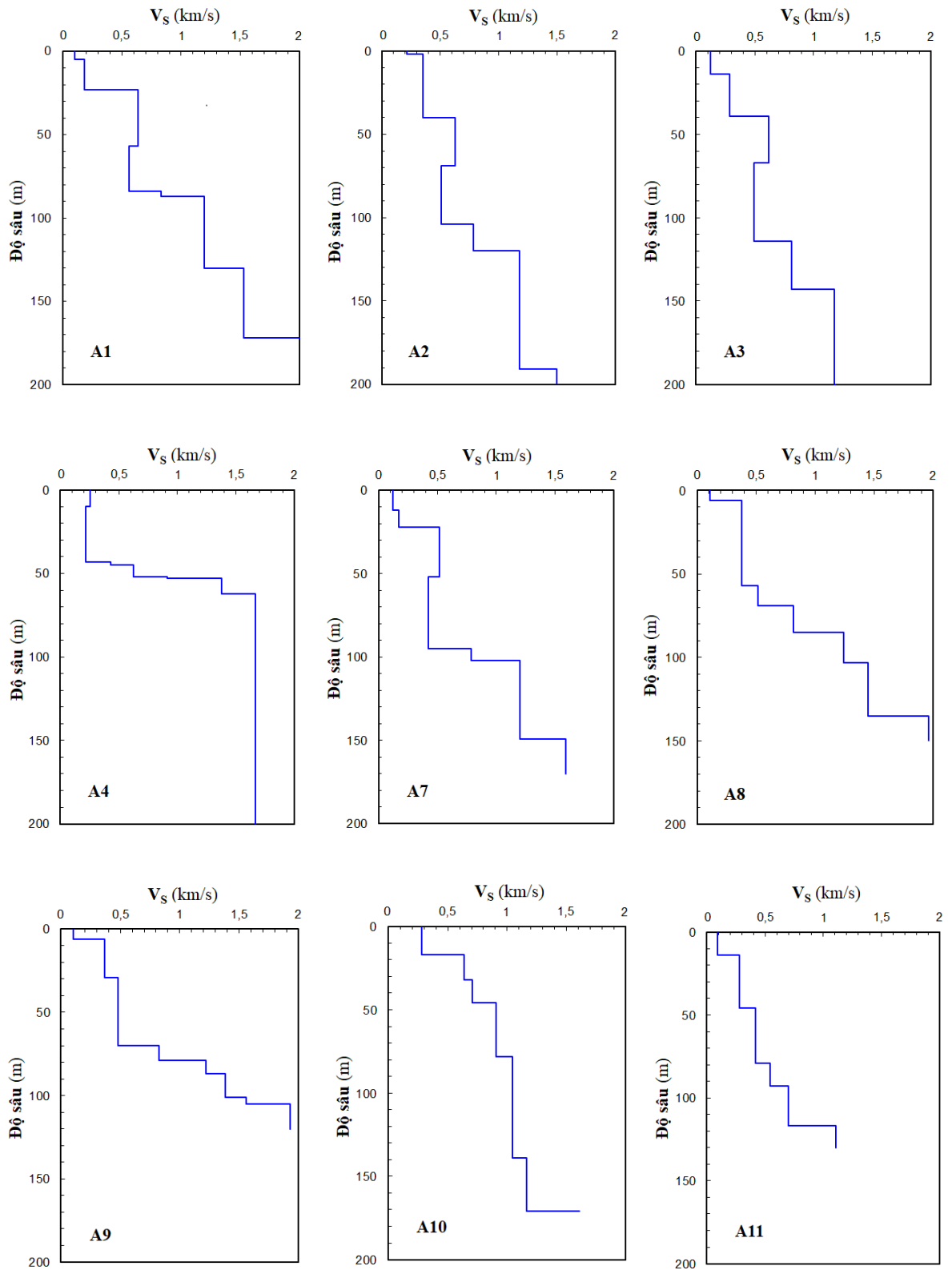
Hình 3.4 cho thấy 09 điểm đo mảng ĐĐVĐC (biểu tượng hình tam giác đặc màu hồng) phân bố khá đều tại các nền đất đặc trưng trong khu vực nghiên cứu.

Hình 3.5 cho thấy chiều dày lớp phủ nông nhỏ ở phía Tây (điểm A4) đạt 52 m và phía Bắc (điểm A10) đạt 33 m, chiều dày lớp phủ nông lớn ở phía Đông (điểm A2) đạt 122 m và phía Nam (điểm A3) đạt 113 m, chiều lớp phủ nông tại các quận trung tâm (điểm A7 và điểm A11) đạt 90 m, dải đồng bằng thấp phía Bắc sông Hồng (điểm A8 và điểm A9) đạt 70 m, các kết quả này phù hợp với kết quả nghiên cứu địa chất công trình trước đây [2-4]. Biểu đồ cấu trúc V_S1D của các điểm A4, A8 và A9 cho thấy khu vực quận Nam Từ Liêm và phía Nam huyện Đông Anh có cấu trúc nền đất khá giống nhau đó là phía trên là lớp đất yếu khá đồng nhất dày khoảng 40 m phủ ngay lên lớp đá cứng vận tốc cao (V_S đạt khoảng 1200 m/s). Hơn nữa, các kết quả còn cho thấy các lớp đất, đá ứng với V_S lớn hơn 500 m/s xuất hiện tại tất cả các điểm đo chứng tỏ chúng phổ biến và được xác định tốt bằng kỹ thuật này. Bởi vậy, kết quả của các nghiên cứu này sẽ được sử dụng để xác định tham số các lớp đá sâu phục vụ xây dựng mô hình khởi tạo.



Hình 3.4. Sơ đồ phân loại điểm đo dao động vi địa chấn phục vụ nghiên cứu này.

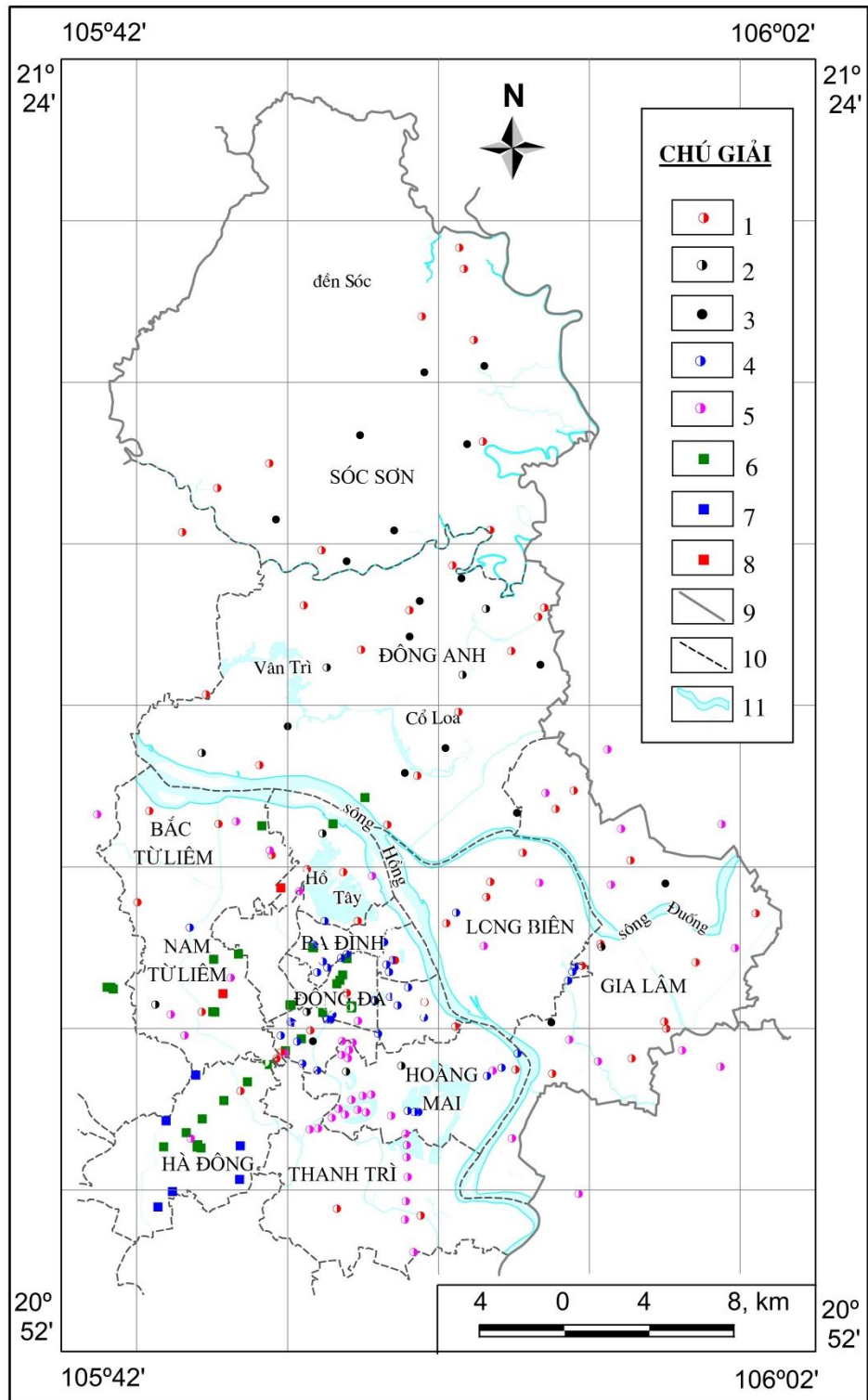
- (1) điểm đo ĐĐVĐC một trạm theo tuyến;
- (2) điểm đo ĐĐVĐC một trạm theo diện;
- (3) điểm đo mảng ĐĐVĐC;
- (4) tuyến khảo sát ĐĐVĐC;
- (5) ranh giới tỉnh;
- (6) ranh giới huyện và
- (7) sông, hồ, suối.



Hình 3.5. Biểu đồ cấu trúc vận tốc sóng ngang 1D tại các điểm đo mảng dao động vi địa chấn phục vụ nghiên cứu này [56, 78].

3.2.2. Số liệu, tài liệu địa chất công trình

- Số liệu lỗ khoan ĐCCT
 - 157 lỗ khoan ĐCCT có thông tin chiều dày các lớp và đặc điểm thạch học thu thập được trong các nghiên cứu trước đây [2-4].
 - 39 lỗ khoan ĐCCT có chỉ số N_{SPT} và đặc điểm thạch học mô tả ở Bảng 1.2 của Nguyễn Huy Phương và nnk [104].
 - Số liệu đo V_s
 - 37 giá trị V_{S30} đo trong lỗ khoan bằng kỹ thuật sóng đi xuống sử dụng nguồn đập búa của Trịnh Việt Bắc và nnk [105].
 - 06 giá trị V_{S30} đo tại quận Hà Đông bằng kỹ thuật địa chấn khúc xạ sử dụng nguồn đập búa của Nguyễn Sinh Minh và nnk [80].
 - 03 biểu đồ cấu trúc V_{S1D} đo trực tiếp trong lỗ khoan (02 biểu đồ tại khu đô thị Startlake, Tây Hồ và 01 biểu đồ tại Mỹ Đình, Nam Từ Liêm) bằng kỹ thuật sóng đi xuống sử dụng nguồn xung điện của Lại Hợp Phòng và nnk [93].
 - Tài liệu địa chất, ĐCCT
 - Tập bản đồ địa chất - khoáng sản, ĐCCT, địa chất thủy văn tỷ lệ 1:50.000, 06 mặt cắt trầm tích Đệ tứ và 02 mặt cắt ĐCCT của Nguyễn Đức Đại và nnk [2].
 - Các sơ đồ khối trầm tích Đệ tứ, sơ đồ đồng bề dày trầm tích Đệ tứ, sơ đồ đồng bề dày hệ tầng Lệ Chi, sơ đồ đồng bề dày hệ tầng Hà Nội, sơ đồ đồng bề dày hệ tầng Vĩnh Phúc tỷ lệ 1:250.000 của Vũ Nhật Thăng và nnk [3].
 - Bản đồ cấu trúc nền đất thành phố Hà Nội tỷ lệ 1:25.000 của Nguyễn Huy Phương và nnk [104], đây thực chất là bản đồ phân bố các lớp đất yếu của các hệ tầng Thái Bình, Hải Hưng, Vĩnh Phúc và đất phong hóa trên đá gốc.
- Sơ đồ phân bố các vị trí số liệu lỗ khoan, điểm đo V_s thu thập trong nghiên cứu này được mô tả tại hình 3.6.



Hình 3.6. Sơ đồ phân bố các vị trí lỗ khoan và điểm đo vận tốc sóng ngang phục vụ nghiên cứu này. (1) lỗ khoan của Nguyễn Đức Đại và nnk [2]; (2) lỗ khoan của Vũ Nhật Thăng và nnk [3]; (3) điểm đo sâu điện của Vũ Nhật Thăng và nnk [3]; (4) lỗ khoan của Nguyễn Huy Phương và nnk [104]; (5) lỗ khoan của Nguyễn Đình Thông và nnk [4]; (6) điểm đo V_{S30} của Trịnh Việt Bắc và nnk [105]; (7) điểm đo V_S của Nguyễn Sinh Minh và nnk [80]; (8) điểm đo V_S của Lại Hợp phòng và nnk [93]; (9) ranh giới tỉnh; (10) ranh giới huyện và (11) sông, hồ, suối.

3.2.3. *Đánh giá số liệu đo dao động vi địa chấn một trạm*

3.2.3.1. *Số liệu đo dao động vi địa chấn một trạm lặp lại theo thời gian*

Số liệu ĐĐVĐC một trạm, minh giải theo kỹ thuật Nakamura (1989) [76] có nhiều hữu ích trong nghiên cứu vi phân vùng động đất và địa chấn công trình. Tuy nhiên, bản chất vật lý và nguồn gốc hình thành của ĐĐVĐC vẫn chưa được hiểu biết rõ ràng. Vì thế, trong quá trình khảo sát, một số nhà nghiên cứu cho rằng tại mỗi điểm khảo sát phép đo phải thực hiện trong môi trường yên tĩnh (ban đêm) và lặp lại nhiều lần theo thời gian [6, 80, 106]. Điều này làm cho việc khảo sát tốn nhiều thời gian, phát sinh thêm chi phí, nhất là ở khu vực có điều kiện giao thông khó khăn. Tuy nhiên, Nakamura (1989) [76] cho rằng không nhất thiết phải thực hiện đo lặp lại nhiều lần. Nhằm kiểm chứng nhận định của Nakamura (1989) và đánh giá sự tin cậy của số liệu đo ĐĐVĐC một trạm sử dụng trong nghiên cứu này. Một điểm kiểm nghiệm (điểm đo 280 tại Viện Vật lý địa cầu, hình thoi đặc màu đỏ trong hình 3.3) được đo lặp lại theo thời gian.

Kết quả xử lý số liệu của 27 phép đo lặp lại theo giờ và 22 phép đo lặp lại theo tháng bằng kỹ thuật phân tích HVSR của Nakamura (1989), giá trị biên độ trội H/V (sau đây viết tắt là A_0) và F_0 của mỗi phép đo được mô tả ở hình 3.7. Biểu đồ HVSR xây dựng được của các phép đo được mô tả tại hình 3.8. Áp dụng công thức (2.58) tính được 49 giá trị sai số A_0 và 49 giá trị sai số F_0 . Các biểu đồ sai số biên độ và tần số của các phép đo lặp lại được mô tả ở hình 3.9.

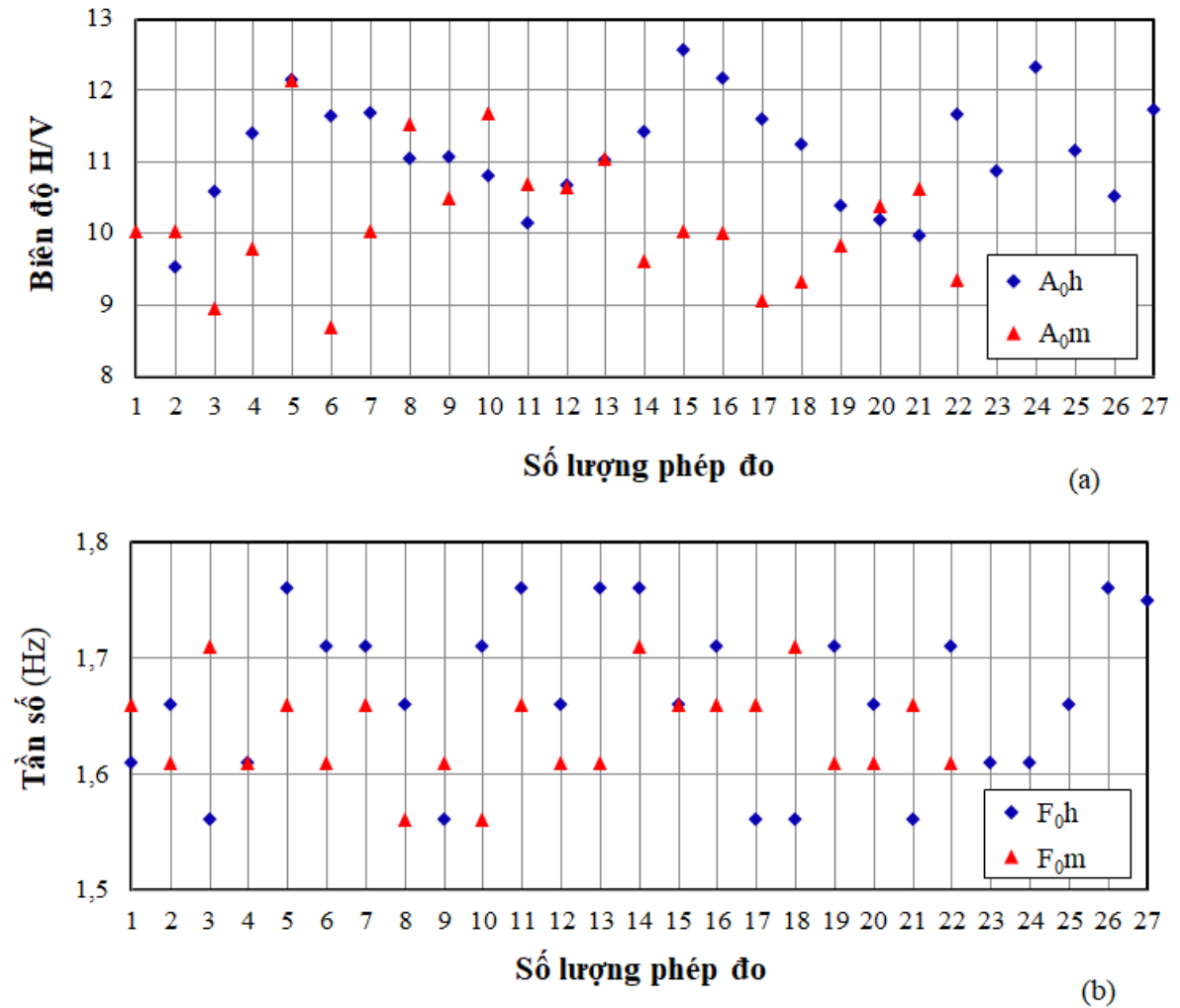
Hình 3.7 cho thấy giá trị A_0 của các phép đo lặp lại theo giờ đạt 9,53 đến 12,56 còn theo tháng đạt 8,68 đến 12,15. Sự khác nhau này là do ảnh hưởng bởi mức nhiễu địa phương tại thời điểm đo. Giá trị F_0 của các phép đo lặp lại theo giờ đạt 1,56 đến 1,76 Hz còn theo tháng đạt 1,56 đến 1,71 Hz.

Hình 3.8 có thể nhận thấy: 1- Hình dạng biểu đồ HVSR của các phép đo là giống nhau trên toàn bộ dải tần đáp ứng của đầu đo; 2- Ở dải tần dưới 0,2 Hz và trên 5 Hz, biên độ trội H/V giữa các phép đo có sự khác nhau nhỏ, điều này có thể là do ảnh hưởng bởi nhiệt độ, thời gian đo chưa đủ dài (ứng với dải tần dưới 0,2 Hz) hay ảnh hưởng bởi các nguồn nhiễu địa phương (ứng với dải tần trên 5 Hz).

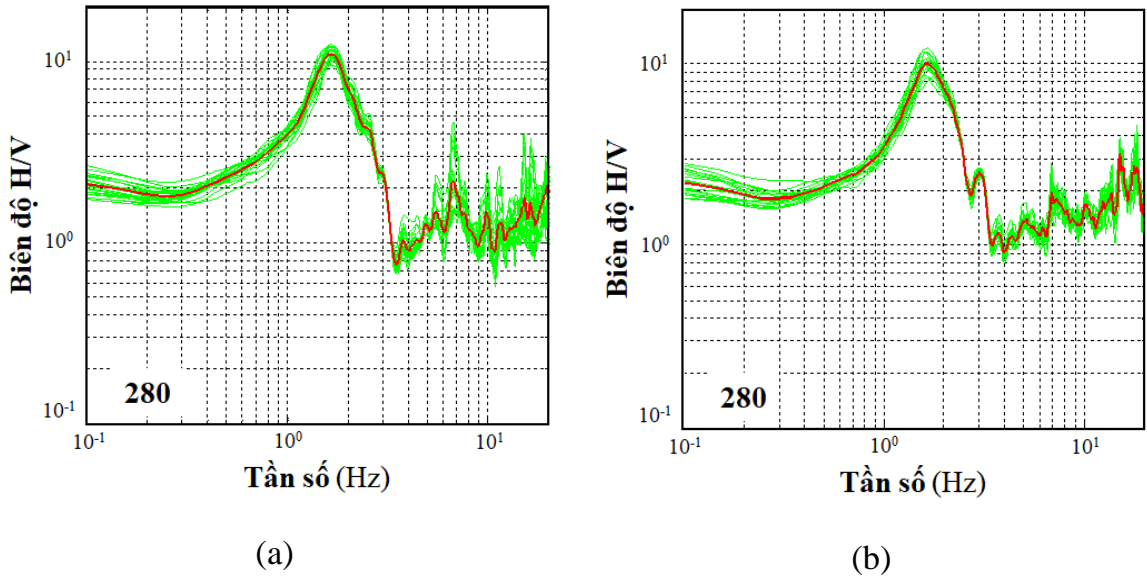
Hình 3.9 cho thấy sai số A_0 của các phép đo lặp lại theo giờ và theo tháng đạt 0 đến 17 %. 40 trong tổng số 49 phép đo có sai số nhỏ hơn 10 %. Giá trị F_0 của các

phép đo lặp lại đạt 1 đến 7 %. 44 trong tổng số 49 phép đo có sai số F_0 nhỏ hơn hay bằng 5 %.

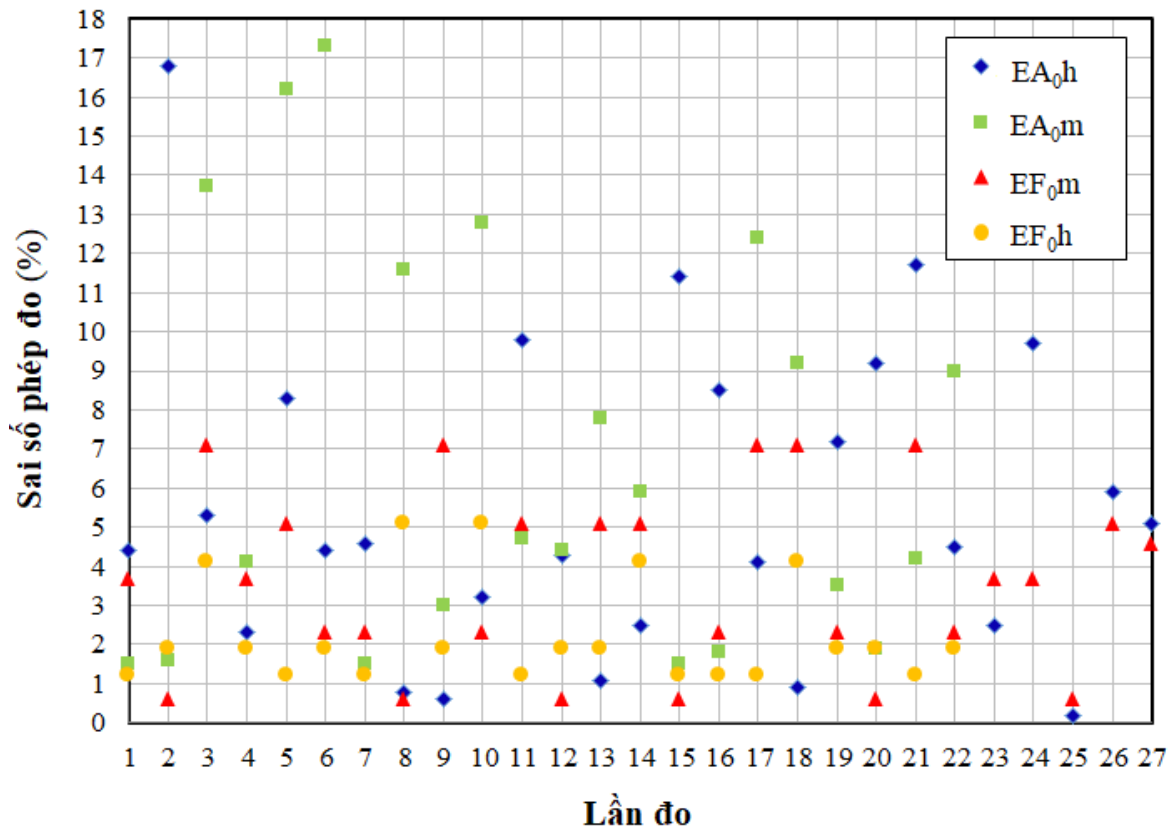
Các kết quả trên cho phép khẳng định, biểu đồ HVSR của các phép đo ĐĐVĐC một trạm lặp lại theo thời gian là ít thay đổi, tức là các số liệu đo ĐĐVĐC một trạm ở khu vực nttp. Hà Nội là tin cậy.



Hình 3.7. Các biểu đồ phân bố giá trị biên độ trội H/V và tần số trội H/V của các phép đo lặp lại theo thời gian. (a) Giá trị biên độ trội H/V của các phép đo lặp lại theo giờ (A_{0h}) và theo tháng (A_{0m}) và (b) Giá trị tần số trội H/V của các phép đo lặp lại theo giờ (F_{0h}) và theo tháng (F_{0m}).



Hình 3.8. Các biểu đồ tỷ số phổ H/V của phép đo lặp lại theo thời gian. Đường màu xanh lá cây là các biểu đồ HVSR của mỗi phép đo lặp, đường màu đỏ là biểu đồ HVSR trung bình của các phép đo lặp. (a) 27 phép đo lặp lại theo giờ và (b) 22 phép đo lặp lại theo tháng.



Hình 3.9. Biểu đồ sai số của phép đo lặp lại theo thời gian. EA₀h, EA₀m tương ứng là sai số biên độ H/V của các phép đo lặp lại theo giờ và theo tháng; EF₀h và EF₀m tương ứng là sai số tần số trội H/V của các phép đo lặp lại theo giờ và theo tháng.

3.2.3.2. Số liệu đo dao động vi địa chấn một trạm đồng thời bằng nhiều thiết bị

Trong thực tế, việc khảo sát thường được thực hiện bằng nhiều bộ máy khác nhau. Nhằm đảm bảo sự tin cậy của số liệu ĐĐVĐC một trạm đo bằng nhiều thiết bị trong nghiên cứu này. 12 điểm ĐĐVĐC một trạm được đo đồng thời bằng 07 bộ máy ĐĐVĐC Samtac tại các nền đất đặc trưng khác nhau trong khu vực nttp. Hà Nội (các hình tam giác đặc màu hồng, Hình 3.3).

Kết quả xử lý số liệu tại 12 điểm đo theo kỹ thuật Nakamura (1989) [76], các giá trị A_0 và F_0 của mỗi phép đo đã xác định được mô tả tại các bảng 3.1 và 3.2. 84 biểu đồ HVSR thành lập được tại 12 điểm đo này được mô tả trong các hình 3.10-3.12. Áp dụng công thức (2.58) tính được 84 giá trị sai số A_0 và 84 giá trị sai số F_0 (Hình 3.13).

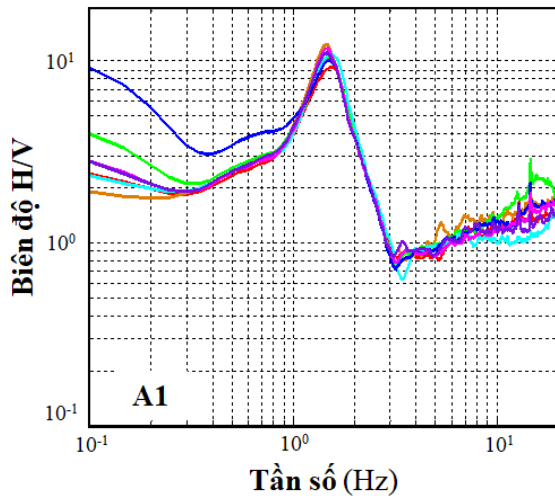
Bảng 3.1 cho thấy giá trị A_0 xác định được tại các điểm đo là khá giống nhau. Sự khác nhau đáng kể chỉ xảy ra tại điểm A10 giữa máy đo 3 (đạt 14,67) và máy đo 6 (đạt 7,53). Sự khác nhau ở đây có thể là do chiều dày lớp phủ tại đây nhỏ (dưới 20 m), gồm các lớp đá phong hoá, đập vỡ mạnh đó là môi trường truyền sóng không đồng nhất dẫn tới biên độ sóng đến các máy đo có thể khác nhau.

Bảng 3.2 cho thấy giá trị F_0 tại các điểm đo khác nhau không nhiều. Sự khác nhau đáng kể tại điểm đo A7 giữa máy đo 3 (đạt 0,81 Hz) và máy đo 4 (đạt 0,68 Hz). Sự khác nhau này có thể là do chiều dày lớp phủ tại đây là lớn (trên 90 m) làm cho F_0 đôi khi trở nên không ổn định dẫn tới có một miền cộng hưởng.

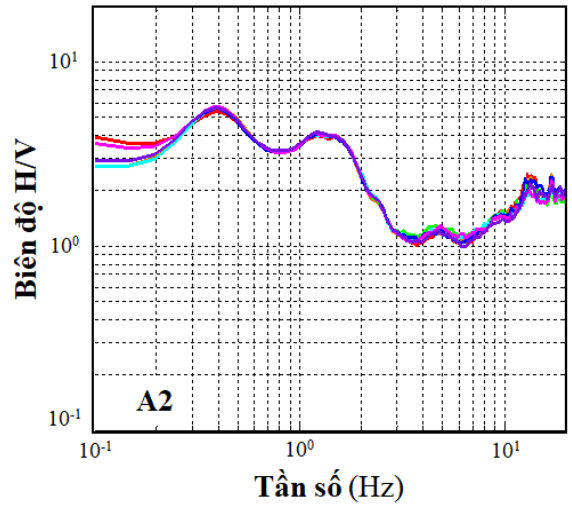
Các hình 3.10-3.12 cho thấy: 1- Hình dạng các biểu đồ HVSR xây dựng được tại mỗi điểm đo là khá giống nhau trên toàn bộ dải tần đáp ứng của các thiết bị đo; 2- Trong các dải tần dưới 0,4 Hz và trên 5 Hz hình dạng ở một số biểu đồ HVSR có sự khác nhau nhỏ, điều này có thể là do ảnh hưởng bởi nhiệt độ, thời gian đo chưa đủ dài (ứng với dải tần dưới 0,4 Hz) hay hướng truyền của nhiễu địa phương đến máy đo (ứng với dải tần trên 5 Hz).

Hình 3.13a cho thấy sai số A_0 đạt 0 đến 35 %. 63 trong tổng số 84 phép đo có sai số A_0 đạt nhỏ hơn hay bằng 10 %. Hình 3.13b cho thấy giá trị sai số F_0 đạt 0 đến 11 %. 79 trong tổng số 84 phép đo có sai số F_0 nhỏ hơn hay bằng 5 %.

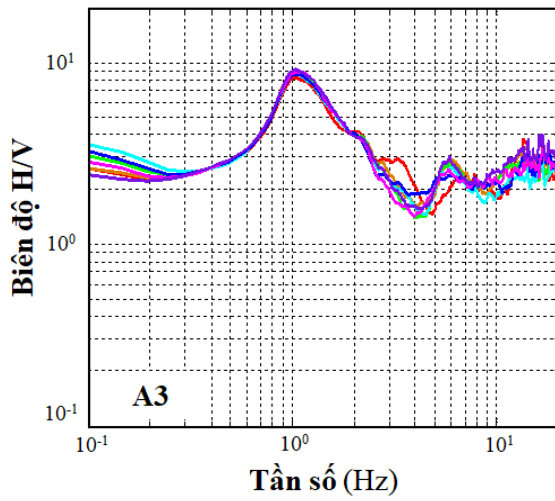
Các kết quả trên chứng tỏ biểu đồ HVSR của các phép đo ĐĐVĐC đồng thời bằng 07 bộ máy đo tại một điểm là như nhau, tức là số liệu đo được bằng 07 bộ máy đo ở khu vực nttp. Hà Nội là đồng bộ.



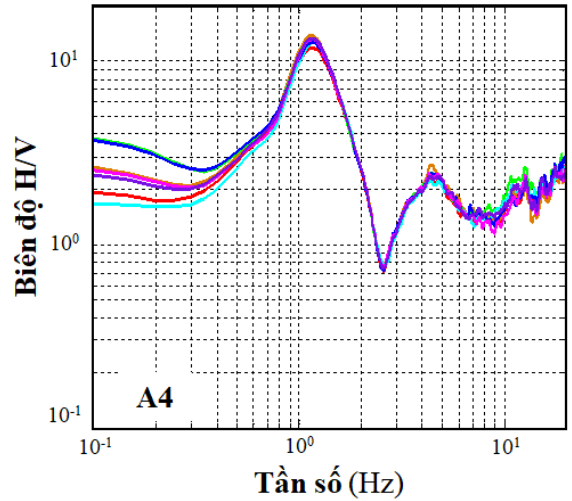
(a)



(b)

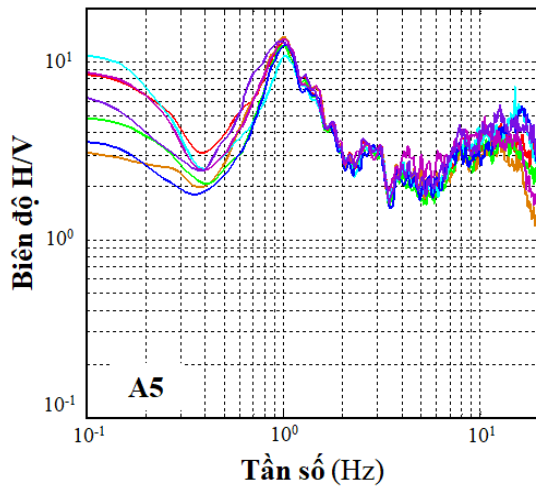


(c)

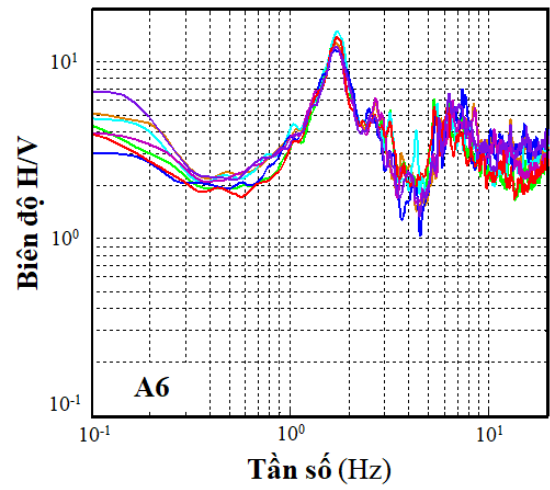


(d)

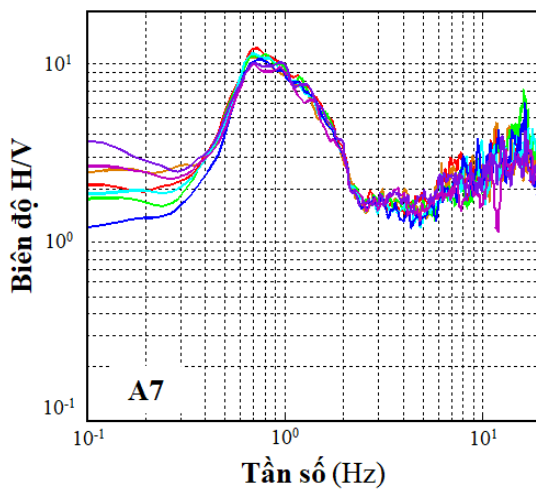
Hình 3.10. Các biểu đồ tỷ số phổ H/V của phép đo đồng thời bằng 07 bộ máy Samtac năm 2009. (a) Đông Anh; (b) Gia Lâm; (c) Thanh Trì và (d) Nam Từ Liêm.



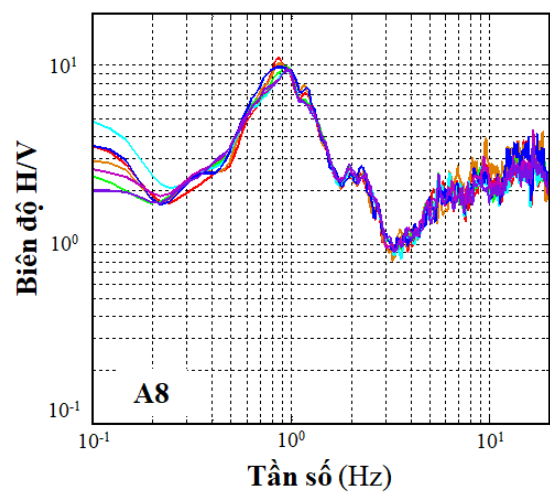
(a)



(b)

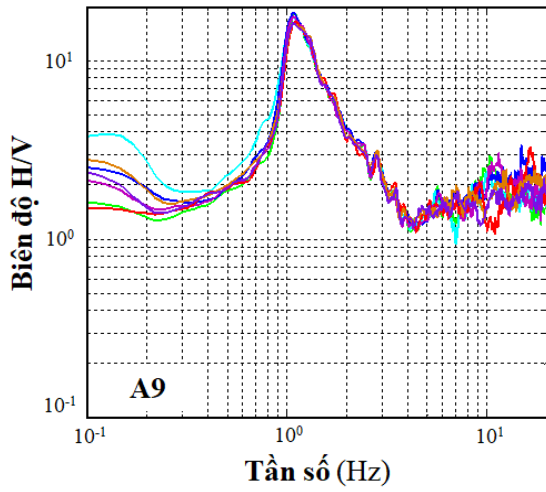


(c)

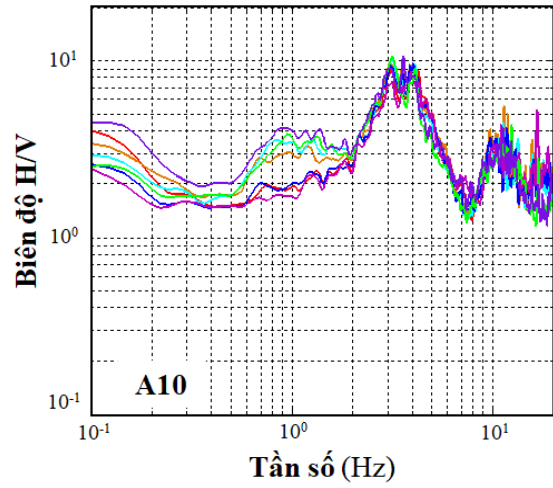


(d)

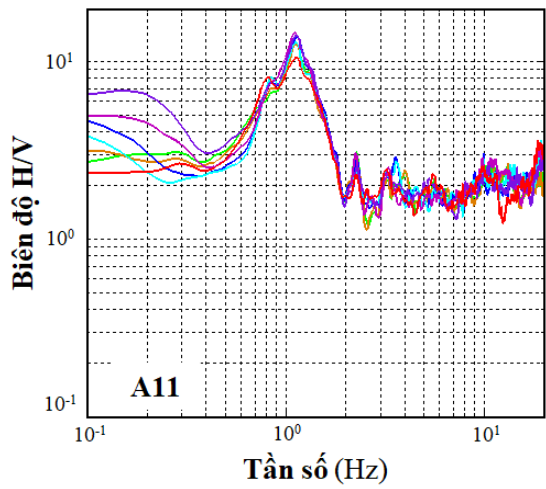
Hình 3.11. Các biểu đồ tỷ số phổ H/V của phép đo đồng thời bằng 07 bộ máy Samtac năm 2012. (a) Cầu Giấy; (b) Bắc Từ Liêm; (c) Long Biên và (d) Đông Anh.



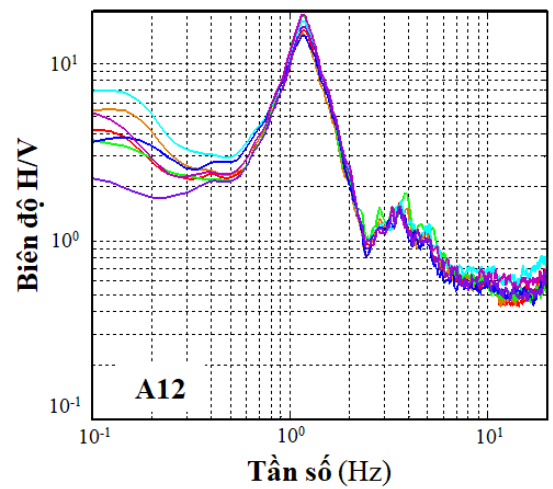
(a)



(b)

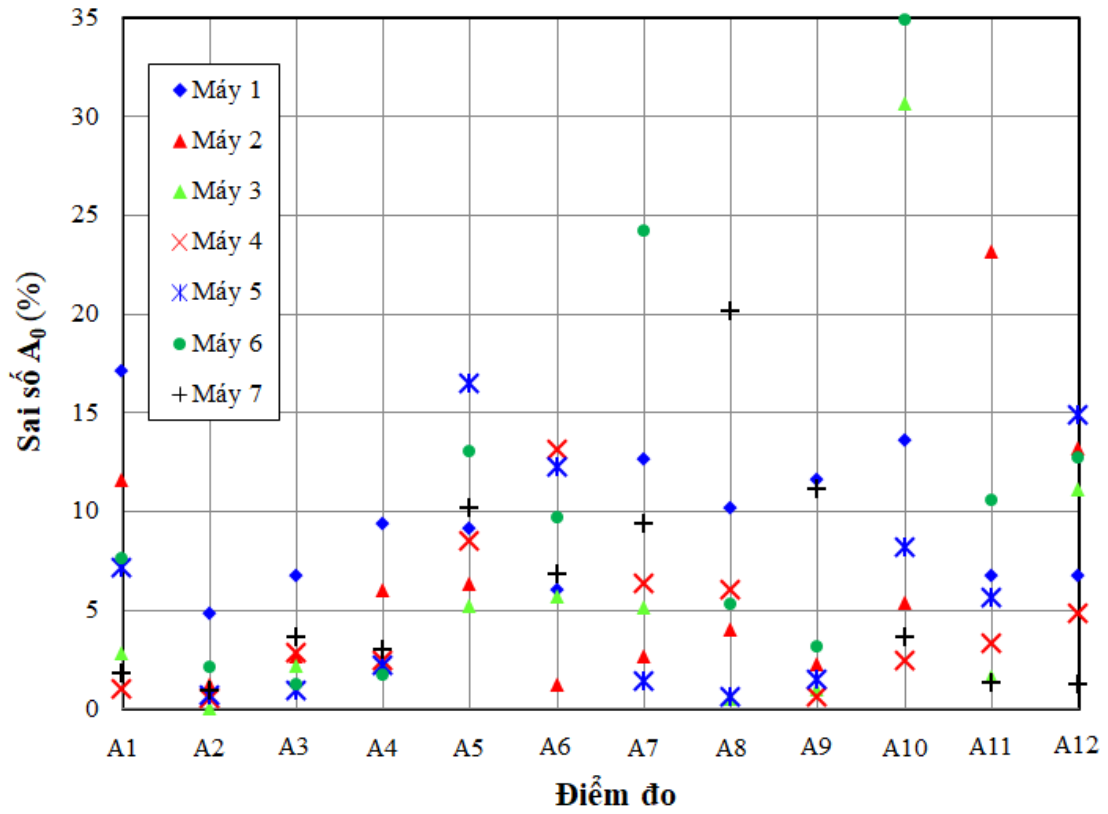


(c)

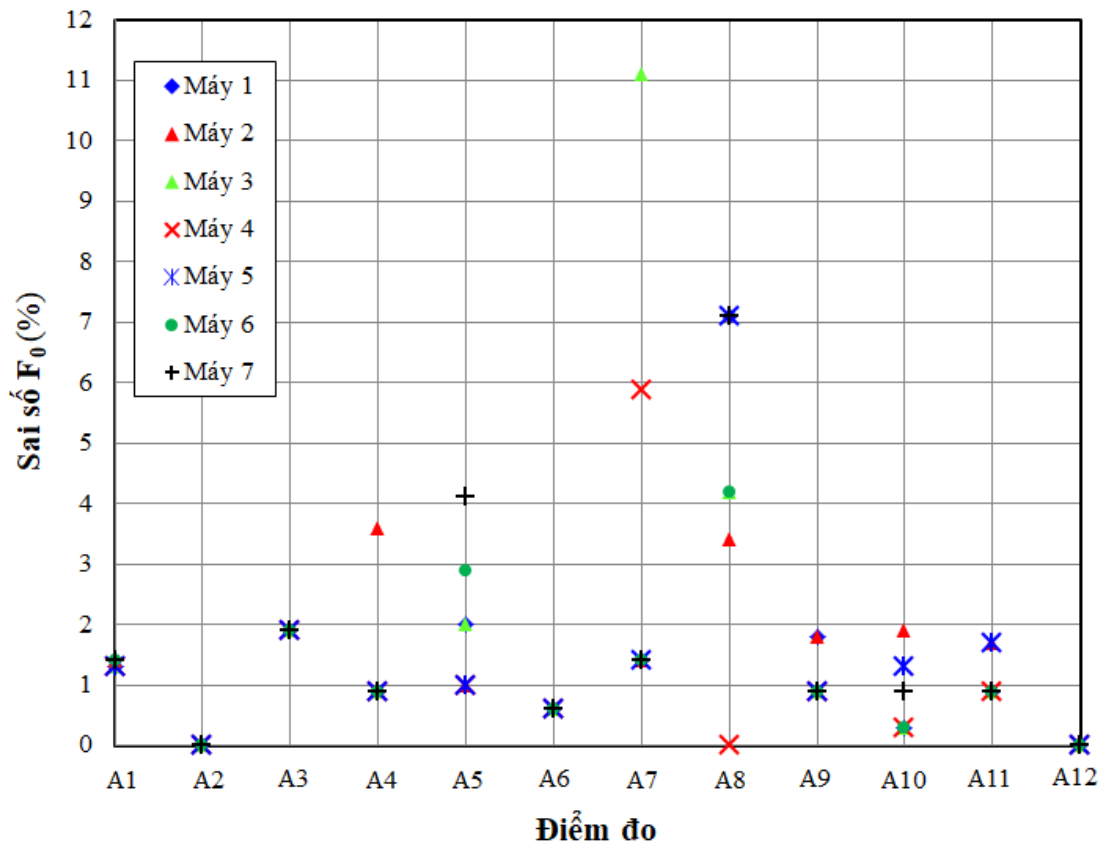


(d)

Hình 3.12. Các biểu đồ tỷ số phổ H/V của phép đo đồng thời bằng 07 bộ máy Samtac năm 2013. (a) Đông Anh; (b) Sóc Sơn; (c) Thanh Trì và (d) Đống Đa.



(a)



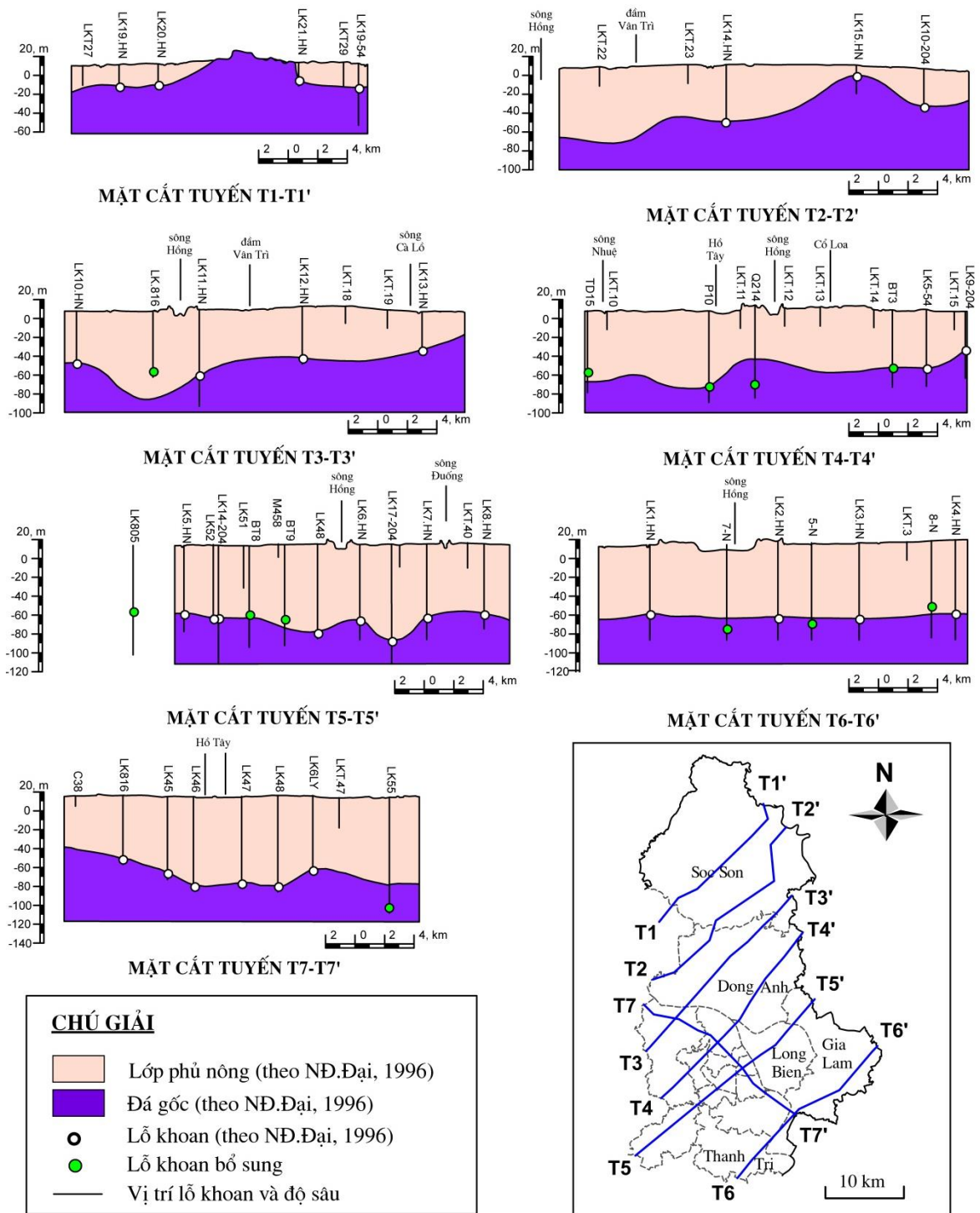
(b)

Hình 3.13. Các biểu đồ phân bố giá trị sai số của 84 phép đo đồng thời bằng 07 bộ máy đo Samtac. (a) Sai số biên độ trội H/V của 84 phép đo bằng 07 bộ máy đo Samtac và (b) Sai số tần số trội H/V của 84 phép đo bằng 07 bộ máy đo Samtac.

3.2.4. *Đánh giá giá trị chiều dày lớp phủ nông của số liệu địa chất công trình*

Năm 1996, 07 mặt cắt ĐCCT thuộc Dự án “Báo cáo điều tra động đất đô thị thành phố Hà Nội” do TS. Nguyễn Đức Đại (chủ nhiệm) được xây dựng trong khu vực nghiên cứu [2]. Từ 07 mặt cắt ĐCCT này, 07 mặt cắt chiều dày lớp phủ nông được thành lập. Hiện nay, một số mặt cắt chiều dày lớp phủ nông này đã được bổ sung thêm lỗ khoan mới [3, 4]. Vì thế, giá trị chiều dày lớp phủ nông theo các mặt cắt này cũng cần phải được kiểm tra lại độ chính xác, bằng cách cập nhật giá trị chiều dày lớp phủ nông theo các lỗ khoan mới lên các tuyến mặt cắt này, cụ thể là: 1- Tuyến T3-T3’ cập nhật thêm giá trị chiều dày lớp phủ nông theo lỗ khoan LK816 thuộc tuyến T7-T7’ của Nguyễn Đức Đại và nnk [2]; 2- Tuyến T4-T4’ bổ sung thêm các giá trị chiều dày lớp phủ nông theo lỗ khoan BT3 của Vũ Nhật Thăng và nnk [3] và các lỗ khoan T15D, P10, Q214 của Nguyễn Đình Thông và nnk [4]; 3- Tuyến T5-T5’ bổ sung thêm các giá trị chiều dày lớp phủ nông theo lỗ khoan BT8, BT9 của Vũ Nhật Thăng và nnk [3] và lỗ khoan LK805 của Nguyễn Đình Thông và nnk [4]; 4- Tuyến T6-T6’ bổ sung thêm các giá trị chiều dày lớp phủ nông theo lỗ khoan 5-N, 7-N, 8-N của Nguyễn Đình Thông và nnk [4] và 5- Tuyến T7-T7’ bổ sung thêm giá trị chiều dày lớp phủ nông theo lỗ khoan LK55 của Vũ Nhật Thăng và nnk [3] (Hình 3.14).

Hình 3.14 cho thấy 07 trong tổng số 10 giá trị chiều dày lớp phủ nông theo lỗ khoan mới (hình tròn đặc màu xanh lá cây) và chiều dày lớp phủ nông theo mặt cắt ĐCCT của Nguyễn Đức Đại và nnk [2] (ranh giới giữa vùng màu tím và màu hồng) có sự khác nhau đáng kể. Điều đó chứng tỏ chiều dày lớp phủ nông tại các vị trí không có lỗ khoan của Nguyễn Đức Đại và nnk [2] vẫn còn có sự sai lệch so với thực tế. Vì vậy, giá trị chiều dày lớp phủ nông thu thập của các nghiên cứu trước đây sử dụng trong nghiên cứu này là theo số liệu lỗ khoan.



Hình 3.14. Biểu đồ các mặt cắt chiều dày lớp phủ nông và vị trí lỗ khoan theo số liệu địa chất công trình khu vực nghiên cứu [2-4].

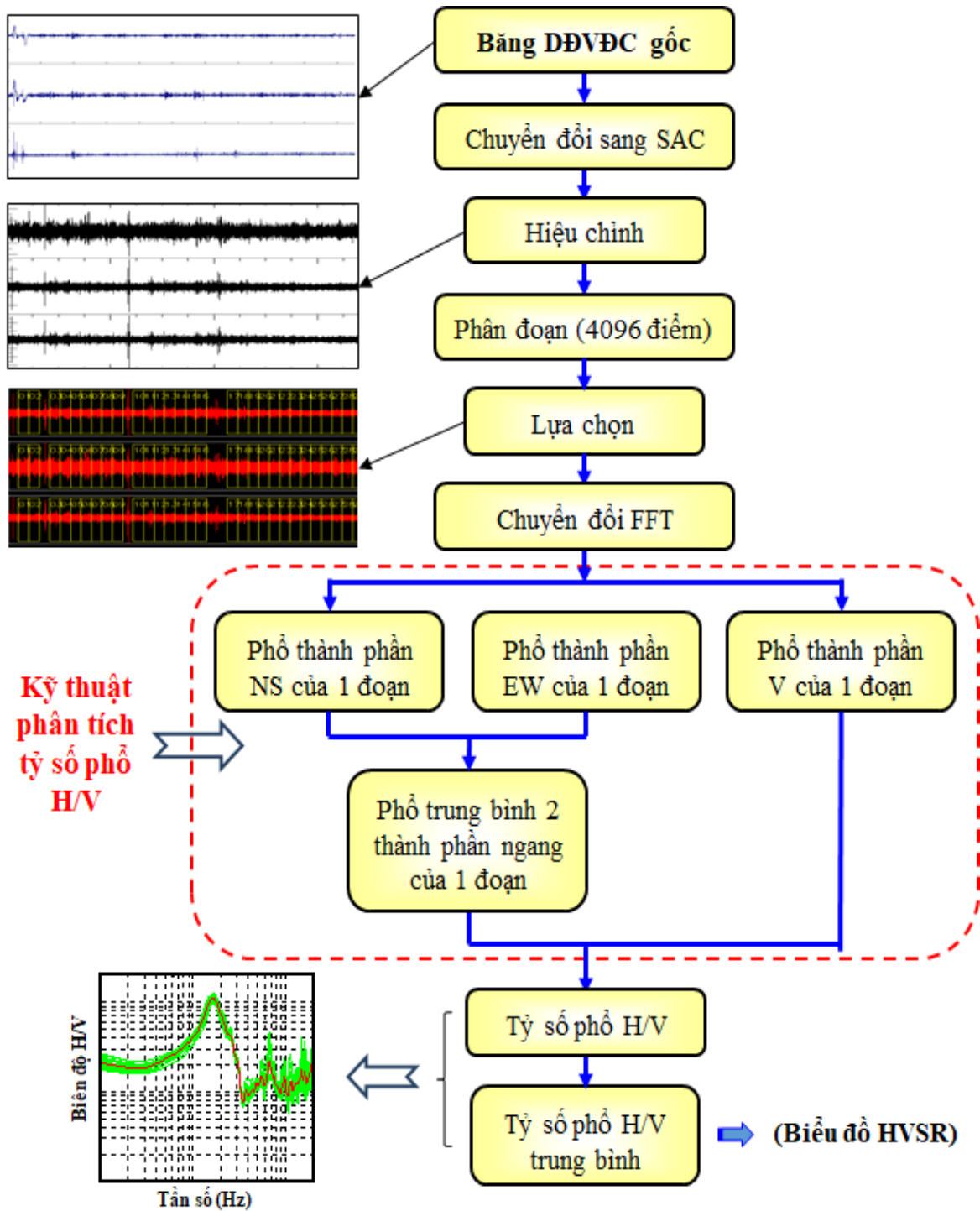
3.3. Các quy trình minh giải

3.3.1. Quy trình xây dựng biểu đồ tỷ số phổ H/V

Số liệu đầu vào là các băng ghi ĐĐVĐC một trạm (mô tả tại hình 3.2) đo được tại mỗi điểm khảo sát, quy trình xây dựng biểu đồ HVSR cho mỗi điểm khảo sát được thực hiện theo các bước sau:

- + Bước 1: Chuyển đổi băng ghi ĐĐVĐC một trạm sang định dạng của chương trình xử lý địa chấn (Seismic Analysis Code-SAC);
- + Bước 2: Hiệu chỉnh băng ghi ĐĐVĐC một trạm về vị trí cân bằng và loại bỏ xu hướng tuyến tính bằng công cụ của SAC;
- + Bước 3: Phân đoạn băng ghi, băng ghi được chia thành nhiều đoạn, mỗi đoạn có độ dài 20,48 giây tương ứng với 4096 điểm mẫu;
- + Bước 4: Lựa chọn đoạn băng ghi tốt, bằng cách loại bỏ các đoạn băng ghi bị ảnh hưởng bởi nhiễu địa phương hay tín hiệu bất thường;
- + Bước 5: Chuyển đổi Fourier nhanh (FFT), sử dụng phép chuyển đổi FFT nhằm chuyển đổi đoạn băng ghi từ miền thời gian sang miền tần số;
- + Bước 6: Tính tỷ số biên độ Fourier của mỗi đoạn đã chọn theo kỹ thuật phân tích HVSR của Nakamura (1989);
- + Bước 7: Xây dựng biểu đồ HVSR trung bình, bằng cách lấy trung bình giá trị HVSR của các đoạn đã chọn, biểu đồ HVSR trung bình này được gọi là biểu đồ HVSR.

Toàn bộ quy trình được mô tả ở hình 3.15.



Hình 3.15. Sơ đồ khối quy trình xây dựng biểu đồ tỷ số phổ H/V.

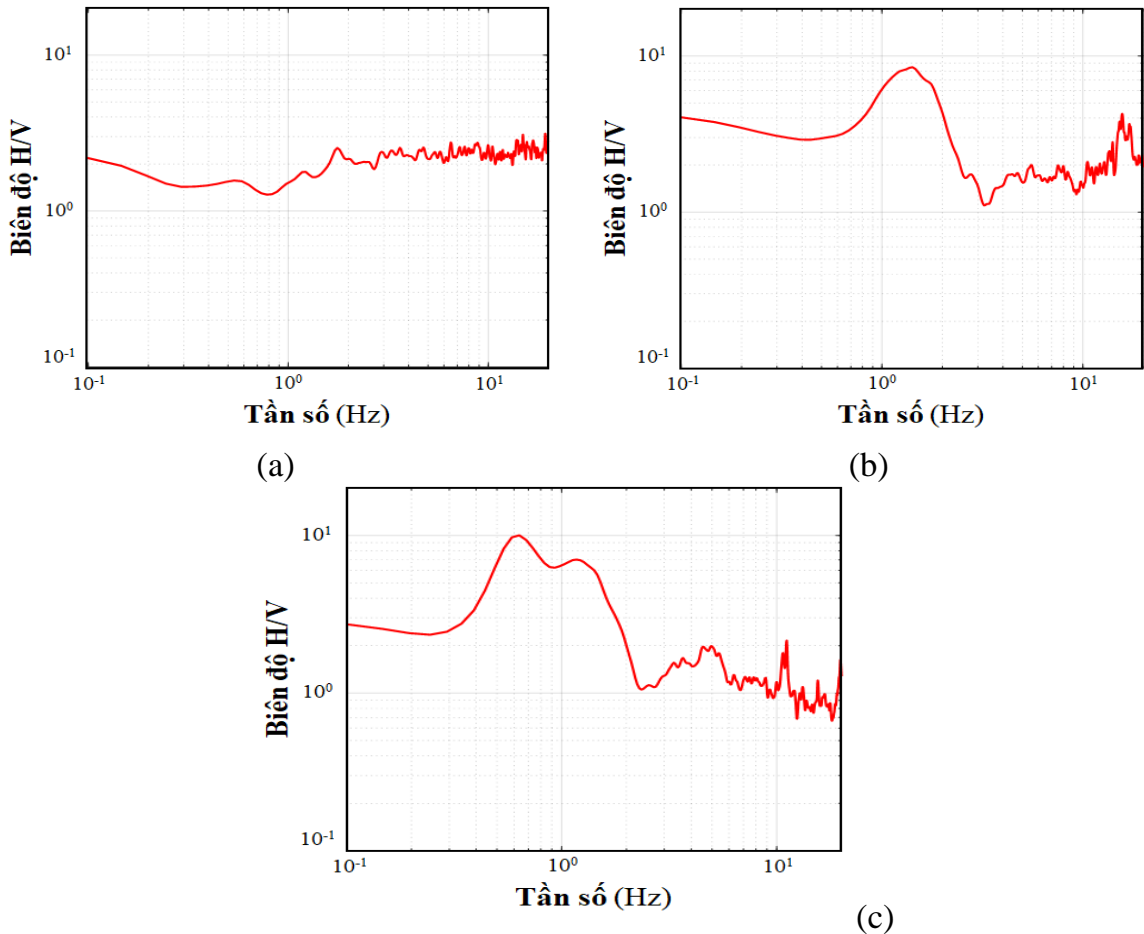
3.3.2. Quy trình đánh giá các đặc điểm dao động vi địa chấn

3.3.2.1. Đánh giá đặc điểm hình dạng biểu đồ tỷ số phổ H/V

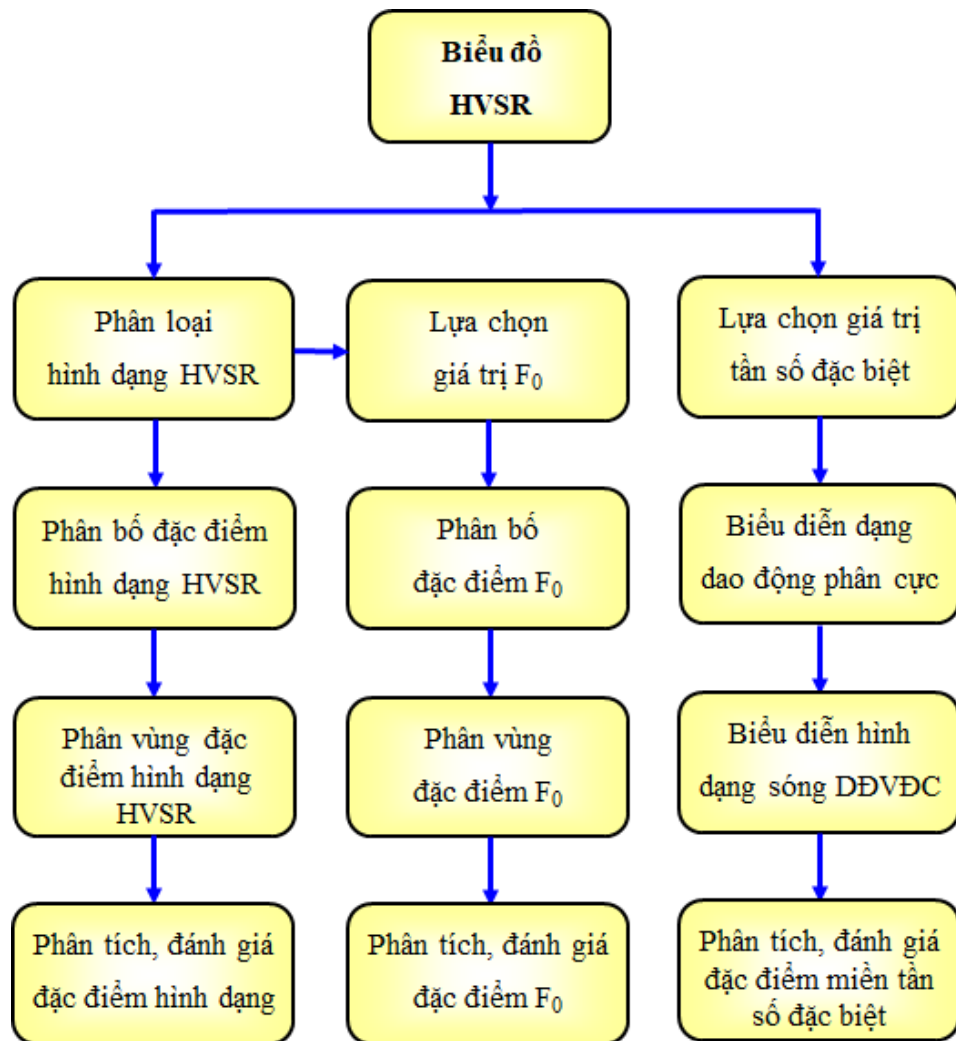
Từ biểu đồ HVSR xây dựng theo quy trình 3.3.1, quy trình đánh giá đặc điểm hình dạng biểu đồ HVSR được thực hiện theo các bước sau:

- + Bước 1: Phân loại hình dạng biểu đồ HVSR tại mỗi điểm đo ĐĐVĐC, thông thường biểu đồ HVSR có 03 loại hình dạng là: 1- Dạng tuyến tính, biểu đồ HVSR không có đỉnh trội rõ ràng (Hình 3.16a); 2- Dạng hình chuông, biểu đồ HVSR có duy nhất một đỉnh trội rõ ràng (Hình 3.16b) và 3- Dạng hình yên ngựa, biểu đồ HVSR có nhiều đỉnh trội rõ ràng (Hình 3.16c);
- + Bước 2: Biểu diễn phân bố đặc điểm hình dạng biểu đồ HVSR khu vực nghiên cứu;
- + Bước 3: Biểu diễn phân vùng đặc điểm hình dạng biểu đồ HVSR khu vực nghiên cứu;
- + Bước 4: Phân tích, đánh giá kết quả.

Toàn bộ quy trình được mô tả ở hình 3.17.



Hình 3.16. Các hình dạng biểu đồ tỷ số phổ H/V thông thường. (a) Dạng tuyến tính; (b) Dạng hình chuông và (c) Dạng hình yên ngựa.



Hình 3.17. Sơ đồ khối quy trình đánh giá các đặc điểm dao động vi địa chấn.

3.3.2.2. Đánh giá đặc điểm tần số trội H/V (F_0)

Từ các biểu đồ HVSR được phân loại theo quy trình 3.3.2.1, quy trình đánh giá đặc điểm F_0 thực hiện theo các bước sau:

- + Bước 1: Lựa chọn giá trị F_0 tại mỗi điểm đo ĐĐVĐC theo tiêu chí sau:
 - (i) Đối với biểu đồ HVSR dạng tuyến tính, giá trị F_0 được lựa chọn tại vị trí đỉnh trội ứng với tần số lớn hơn 10 Hz (ứng với nền đất loại A của Tiêu chí phân vùng tần số dao động [103]).
 - (ii) Đối với biểu đồ HVSR dạng hình chuông, giá trị F_0 được lựa chọn là tần số tại đỉnh có biên độ cực đại;
 - (iii) Đối với biểu đồ HVSR dạng hình yên ngựa, giá trị F_0 được chọn là tần số ứng với đỉnh trội ưu tiên. Đỉnh trội ưu tiên là đỉnh có biên độ lớn hay liên quan đến cấu trúc địa chất đã biết.
- + Bước 2: Biểu diễn phân bố đặc điểm F_0 khu vực nghiên cứu;
- + Bước 3: Biểu diễn phân vùng đặc điểm F_0 khu vực nghiên cứu;

- + Bước 4: Phân tích, đánh giá kết quả.

Toàn bộ quy trình được mô tả ở hình 3.17 (phía trên).

3.3.2.3. Đánh giá đặc điểm dao động vi địa chấn trong miền tần số đặc biệt

Miền tần số đặc biệt là miền tần số xung quanh đỉnh trội hay điểm lõm. Từ biểu đồ HVSR xây dựng theo quy trình 3.3.1, quy trình đánh giá đặc điểm ĐĐVĐC ở miền tần số đặc biệt thực hiện theo các bước sau:

- + Bước 1: Lựa chọn giá trị tần số đặc biệt gồm: 1- F_{\max} là giá trị tần số ứng với đỉnh trội, miền tần số đỉnh trội là từ $F_{\max}-0,10$ đến $F_{\max}+0,10$ Hz và 2- F_{\min} là giá trị tần số ứng với điểm lõm, miền tần số điểm lõm là từ $F_{\min}-0,05$ đến $F_{\min}+0,05$ Hz;
- + Bước 2: Biểu diễn dạng dao động phân cực của sóng ĐĐVĐC theo phương đứng và ngang trong hai miền tần số đặc biệt này;
- + Bước 3: Biểu diễn hình dạng băng ghi sóng ĐĐVĐC trong hai miền tần số đặc biệt này;
- + Bước 4: Phân tích, đánh giá kết quả.

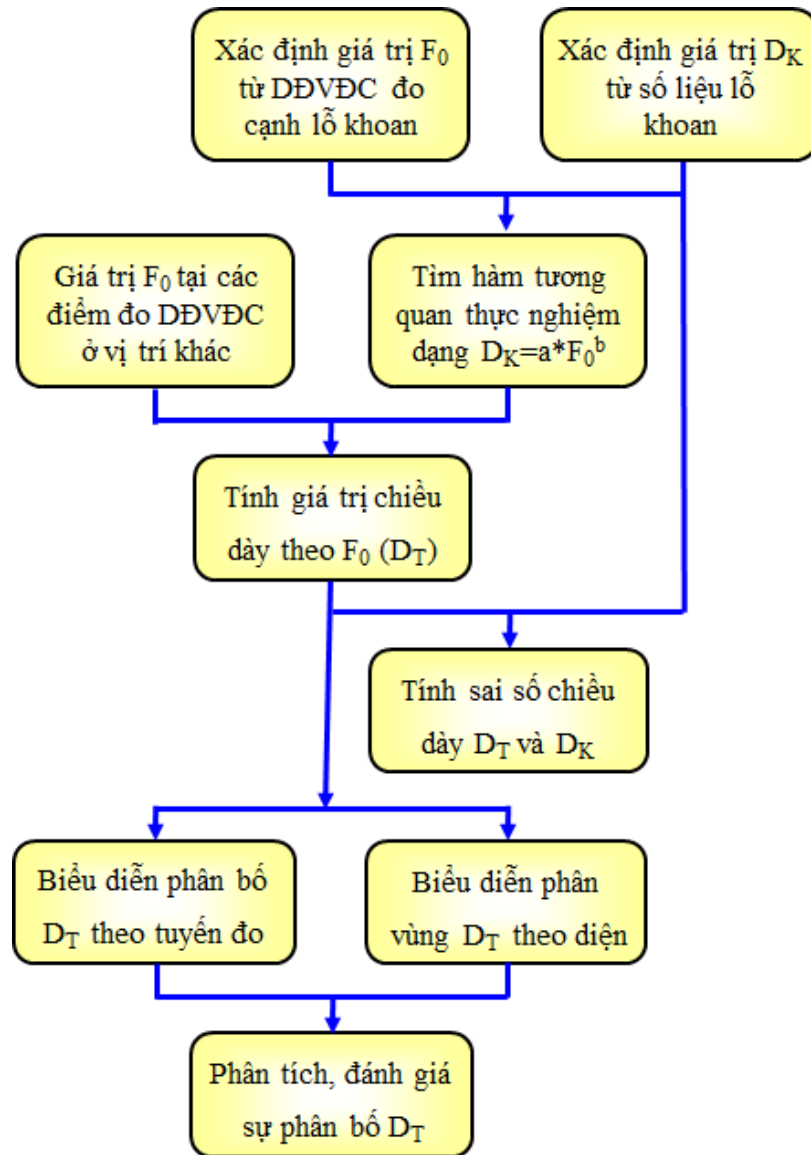
Toàn bộ quy trình được mô tả ở hình 3.17 (phía trên).

3.3.2.4. Đánh giá đặc điểm tương quan giữa tần số trội H/V (F_0) và chiều dày lớp phủ nông (D)

Từ các giá trị F_0 tìm được theo quy trình 3.3.2.2, quy trình đánh giá đặc điểm tương quan giữa F_0 và D được xây dựng theo các bước sau:

- + Bước 1: Xác định giá trị F_0 từ các điểm đo ĐĐVĐC một trạm cạnh lỗ khoan có độ sâu đến đá cứng và giá trị chiều dày lớp phủ nông theo lỗ khoan (D_K) trong các nghiên cứu trước.
- + Bước 2: Tìm hàm tương quan thực nghiệm dạng công thức (2.20) theo hàm hồi quy không tuyến tính từ các cặp giá trị F_0 và D_K xác định được ở trên;
- + Bước 3: Tính giá trị chiều dày lớp phủ nông theo F_0 (D_T) bằng hàm tương quan thực nghiệm tìm được ở trên;
- + Bước 4: Tính sai số giữa D_K và D_T tại các lỗ khoan bằng công thức (2.58).
- + Bước 5: Biểu diễn phân bố giá trị D_T theo các tuyến đo và phân vùng giá trị D_T khu vực nghiên cứu;
- + Bước 6: Phân tích, đánh giá kết quả.

Toàn bộ quy trình được mô tả ở hình 3.18.



Hình 3.18. Sơ đồ khối quy trình đánh giá đặc điểm tương quan giữa tần số trội H/V và chiều dày lớp phủ nông.

3.3.3. Quy trình đánh giá hiệu ứng nền đất

3.3.3.1. Xây dựng mô hình khởi tạo

Số liệu xây dựng mô hình khởi tạo gồm: 1- Số liệu lỗ khoan ĐCCT có chỉ số N_{SPT} và số liệu đo địa vật lý nông khác dùng để xác định tham số các lớp đất gần bề mặt và 2- Số liệu đo mảng ĐĐVĐC dùng để xác định tham số các lớp đá sâu. Quy trình xây dựng mô hình khởi tạo được tiến hành như sau:

- **Xác định tham số các lớp đất gần bề mặt**
 - + Bước 1: Lựa chọn các loại đất chính có trong khu vực nghiên cứu từ số liệu lỗ khoan, số liệu đo địa vật lý nông và các tài liệu địa chất khác;
 - + Bước 2: Xác định chỉ số N_{SPT} , giá trị chiều dày của các loại đất chính đã được phân loại ở trên;

+ Bước 3: Tính giá trị V_S theo chỉ số N_{SPT} của các loại đất chính bằng các hàm tương quan phù hợp với điều kiện ĐCCT của khu vực nghiên cứu (Bảng 1.1); Xác định giá trị V_S đo bằng các kỹ thuật khác và xác định giới hạn chiều dày của các loại đất chính này;

+ Bước 4: So sánh, lựa chọn giá trị V_S hợp lý của các loại đất chính;

+ Bước 5: Gán thông tin giá trị V_S hợp lý và giới hạn chiều dày vào mô hình khởi tạo.

Toàn bộ quy trình được mô tả ở hình 3.19.

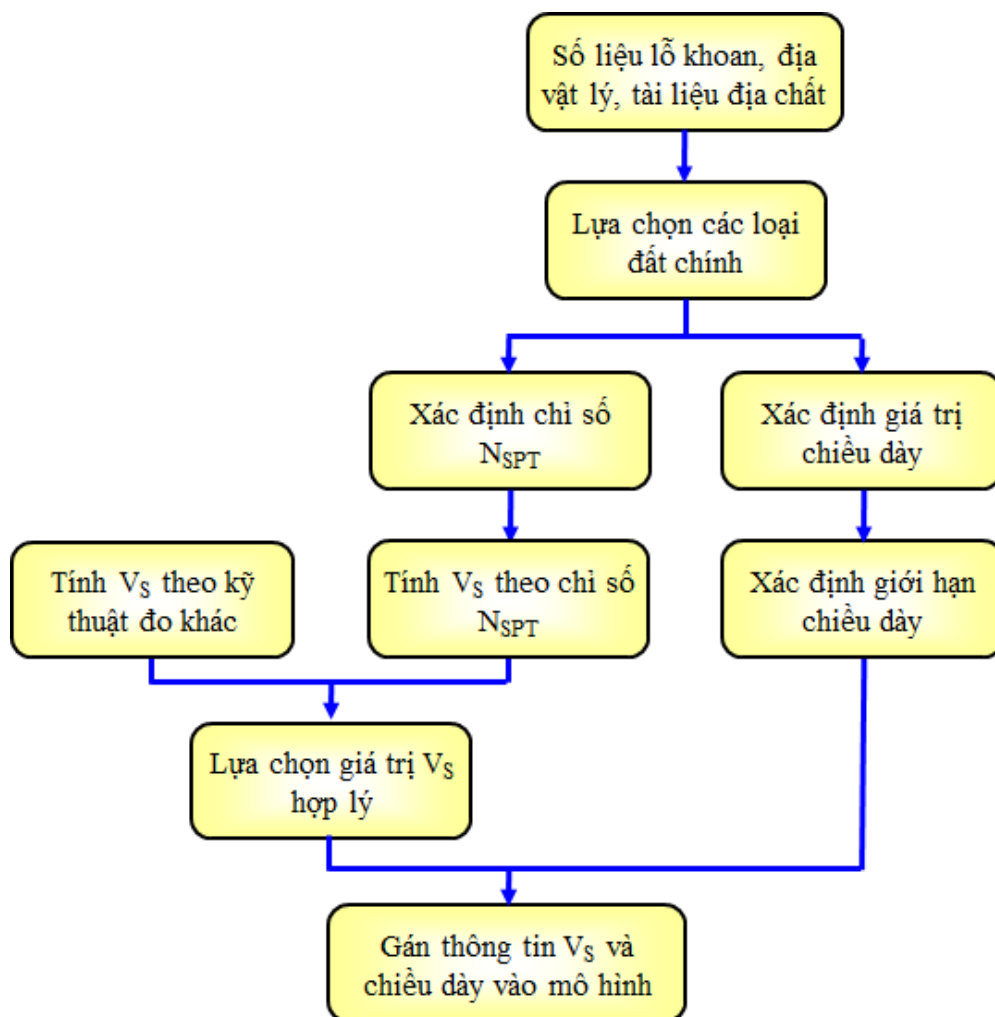
• **Xác định tham số các lớp đá sâu**

+ Bước 1: Xác định giá trị V_S và giá trị chiều dày của các lớp đá sâu từ biểu đồ cấu trúc V_S 1D đã xây dựng được theo số liệu đo mảng ĐĐVĐC;

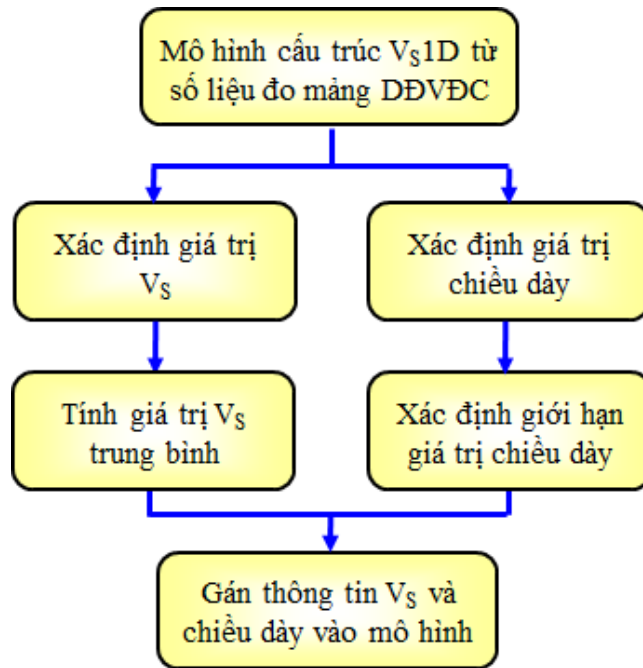
+ Bước 2: Tính giá trị V_S trung bình của các lớp đá sâu;

+ Bước 3: Gán thông tin giá trị V_S và giới hạn chiều dày vào mô hình khởi tạo.

Toàn bộ quy trình được mô tả ở hình 3.20.



Hình 3.19. Sơ đồ khối quy trình xây dựng mô hình khởi tạo các lớp đất gần bề mặt.



Hình 3.20. Sơ đồ khối quy trình xây dựng mô hình khởi tạo các lớp đá sâu.

3.3.3.2. Xây dựng biểu đồ cấu trúc vận tốc sóng ngang 1D (V_S1D)

Biểu đồ cấu trúc V_S1D có vai trò quan trọng trong nghiên cứu cấu trúc và ĐCCT. Nó là cơ sở để tính giá trị V_{S30} phục vụ phân loại nền đất, đánh giá HUNĐ và đánh giá độ nguy hiểm động đất trong thiết kế công trình chịu động đất. Về các phương pháp, kỹ thuật xác định biểu đồ cấu trúc V_S1D đã được giới thiệu ở mục 1.1. Ở phần này chỉ đề cập đến quy trình xây dựng biểu đồ cấu trúc V_S1D theo kỹ thuật mô phỏng biểu đồ HVSR bằng GA.

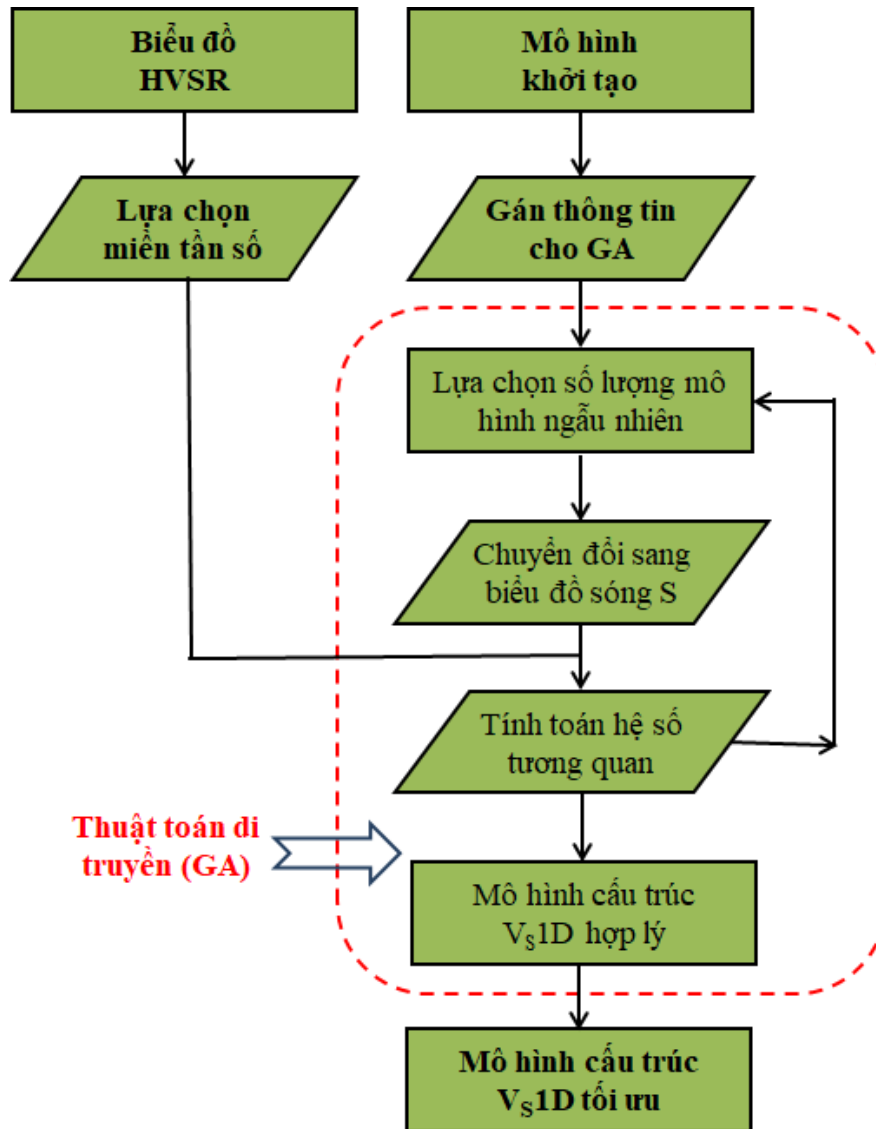
Việc xây dựng biểu đồ cấu trúc V_S1D theo kỹ thuật này được áp dụng lần đầu tại Việt Nam trong Đề tài hợp tác quốc tế về khoa học và công nghệ theo Nghị định thư số 53/2012/HĐ-NĐT do PGS.TS. Nguyễn Hồng Phương làm chủ nhiệm [78]. Chương trình mô phỏng do TS. Lin Che-Min, Viện Vật lý địa cầu - Đại học Trung ương Đài Loan phát triển, sau đó chuyển giao cho nghiên cứu sinh để thực hiện các nội dung nghiên cứu của Đề tài này. Chương trình được viết bằng ngôn ngữ Fortran và chạy trên hệ điều hành Linux. Toàn bộ chương trình gồm 04 công cụ: 1- Công cụ xây dựng biểu đồ HVSR; 2- Công cụ mô phỏng biểu đồ HVSR; 3- Công cụ xác định giá trị V_S theo các độ sâu và 4- Công cụ xác định độ sâu theo các giá trị V_S . Năm 2014, Đề tài đã được Hội đồng Nhà nước nghiệm thu. Trên cơ sở kết quả đạt được ban đầu, cho thấy đây là kỹ thuật nghiên cứu cấu trúc nông mới, hiện đại và dễ dàng thực hiện với chi phí rẻ. Số liệu đầu vào là các biểu đồ HVSR

xây dựng theo quy trình 3.3.1 và mô hình khởi tạo xây dựng theo quy trình 3.3.3.1.

Khi đó, quy trình xây dựng biểu đồ cấu trúc V_S1D gồm các bước chính như sau:

- + *Bước 1:* Lựa chọn miền tần số mô phỏng đó là toàn bộ miền tần số của các đỉnh trội (do liên quan đến sóng SH);
- + *Bước 2:* Gán thông tin cho chương trình mô phỏng;
- + *Bước 3:* Lựa chọn số lượng mô hình cấu trúc V_S1D ngẫu nhiên cần xây dựng;
- + *Bước 4:* Chuyển đổi mô hình cấu trúc V_S1D ngẫu nhiên sang biểu đồ sóng SH bằng kỹ thuật chuyển đổi sóng SH của Haskell [94, 95], mỗi mô hình cấu trúc V_S1D ngẫu nhiên sẽ được chuyển đổi thành 300 biểu đồ sóng SH tương ứng với 300 biểu đồ cấu trúc V_S1D chuyển đổi;
- + *Bước 5:* Tính hệ số tương quan giữa biểu đồ sóng SH chuyển đổi và biểu đồ HVSR theo công thức (2.36);
- + *Bước 6:* Lựa chọn biểu đồ cấu trúc V_S1D hợp lý đó là các biểu đồ cấu trúc V_S1D chuyển đổi có hệ số tương quan lớn hơn giá trị gán vào;
- + *Bước 7:* Xác định biểu đồ cấu trúc V_S1D tối ưu đó là biểu đồ cấu trúc V_S1D hợp lý có hệ số tương quan lớn nhất của phép mô phỏng.

Toàn bộ quy trình được mô tả ở hình 3.21.



Hình 3.21: Sơ đồ khối quy trình xây dựng biểu đồ cấu trúc vận tốc sóng ngang 1D tối ưu.

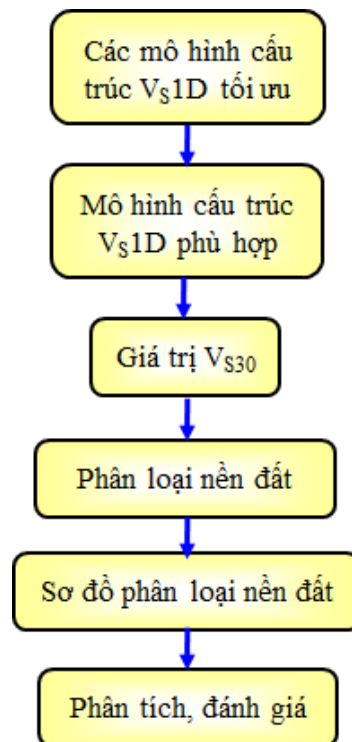
3.3.3.3. Thành lập sơ đồ phân loại nền đất

Thông thường, khu vực nghiên cứu có nhiều loại nền đất đặc trưng khác nhau. Bởi vậy, để mô phỏng được đầy đủ các đặc điểm cấu trúc nền đất của khu vực nghiên cứu cần phải xây dựng nhiều mô hình khởi tạo phù hợp với các loại nền đất này. Mỗi mô hình khởi tạo sẽ xác định được một biểu đồ cấu trúc V_S1D tối ưu. Vì vậy, tại một điểm đo có thể xây dựng được nhiều biểu đồ cấu trúc V_S1D tối ưu khác nhau. Dựa vào các biểu đồ cấu trúc V_S1D tối ưu này, quy trình phân loại nền đất được xây dựng theo các bước chính như sau:

+ Bước 1: Lựa chọn biểu đồ cấu trúc V_S1D phù hợp từ các biểu đồ cấu trúc V_S1D tối ưu theo thứ tự ưu tiên như sau:

- (1) Phù hợp với thông tin cấu trúc địa chất biết rõ;

- (2) Có biểu đồ sóng SH chuyển đổi phù hợp nhất với biểu đồ HVSR như mô phỏng được đầy đủ các vị trí đỉnh trội, hệ số tương quan lớn nhất, ...;
- (3) Phù hợp với điều kiện ĐCCT tại điểm khảo sát như các phân lớp đất đá theo tài liệu địa chất, ĐCCT, các loại nền đất, ...;
- + Bước 2: Tính giá trị V_{S30} theo công thức (2.57) từ biểu đồ cấu trúc V_S1D phù hợp này;
- + Bước 3: Phân loại nền đất theo giá trị V_{S30} của tiêu chuẩn quốc gia TCVN 9386:2012 [84];
- + Bước 4: Thành lập sơ đồ phân loại nền đất khu vực nghiên cứu;
- + Bước 5: Phân tích, đánh giá kết quả.
- Toàn bộ quy trình được mô tả ở hình 3.22.



Hình 3.22: Sơ đồ khối quy trình thành lập sơ đồ phân loại nền đất.

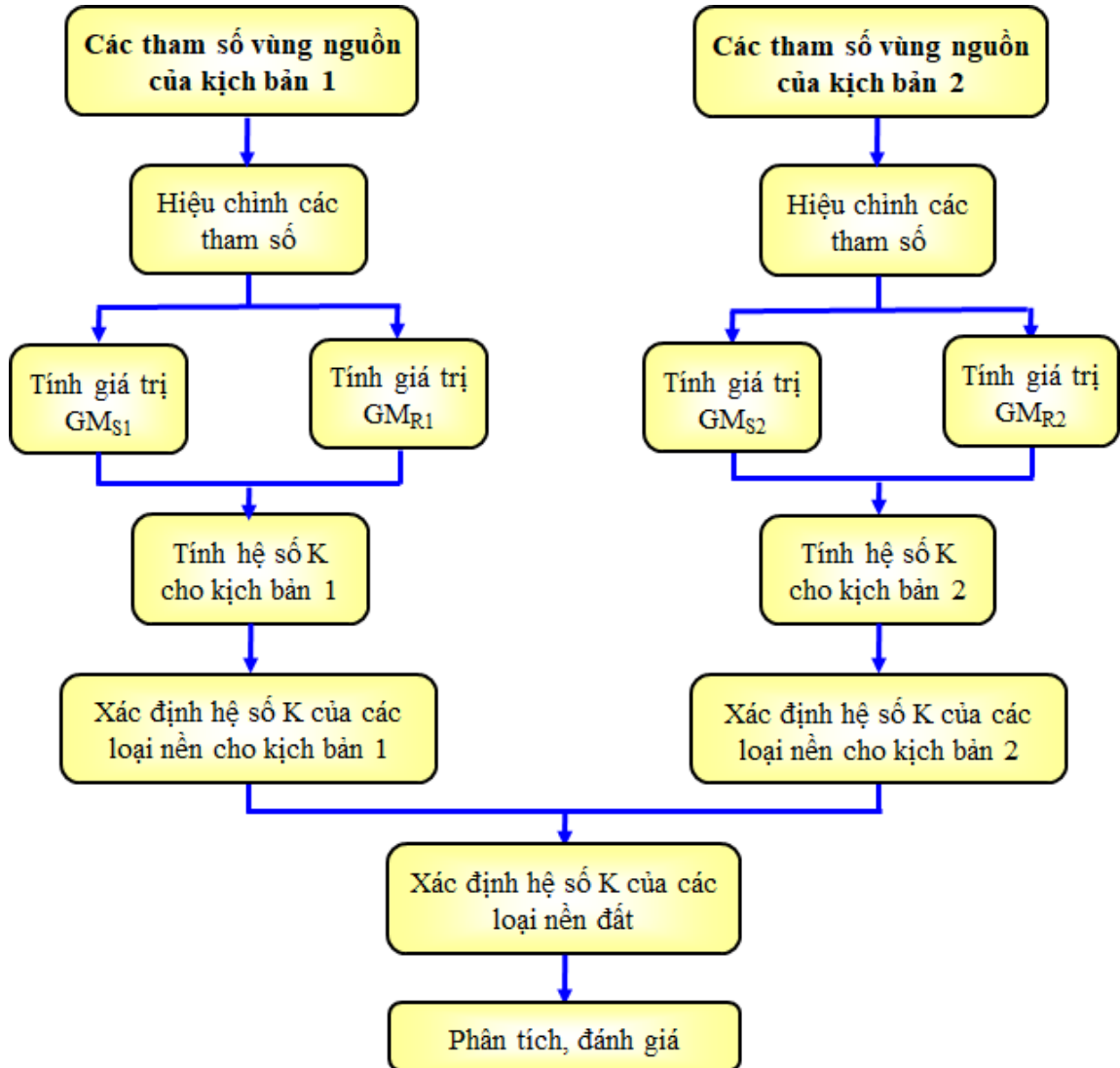
3.3.3.4. Xác định hệ số khuếch đại dao động nền (K)

Từ giá trị V_{S30} tìm được bằng quy trình 3.3.3.3 và các tham số vùng nguồn phát sinh của các kịch bản động đất tìm được bằng các công thức ở mục 2.3.2, quy trình xác định hệ số K được xây dựng theo các bước chính sau:

- + Bước 1: Hiệu chỉnh các tham số vùng nguồn như độ lớn động đất, độ sâu chấn tiêu, khoảng cách cho phù hợp với thực tế;
- + Bước 2: Tính giá trị GM_S và GM_R tại mỗi điểm đo ĐĐVĐC bằng công thức (2.38) cho từng kịch bản động đất;

- + Bước 3: Xác định hệ số K tại mỗi điểm đo ĐĐVĐC bằng công thức (2.56).
- + Bước 4: Xác định hệ số K của mỗi loại nền cho từng kịch bản động đất;
- + Bước 5: Tính hệ số K trung bình của mỗi loại nền;
- + Bước 6: Phân tích, đánh giá kết quả.

Toàn bộ quy trình được mô tả ở hình 3.23.



Hình 3.23: Sơ đồ khối quy trình xác định hệ số khuếch đại dao động nền.

3.4. Thảo luận chương 3.

Đo ĐĐVĐC tại thành phố Hà Nội đã được thực hiện bởi nhiều nghiên cứu bằng các thiết bị đo và thời điểm khảo sát khác nhau [6, 56, 71, 74, 77-80]. Kết quả của các nghiên cứu này mới chỉ nghiên cứu được cấu trúc nền đất tổng quan hay chi tiết cho một vùng nhỏ. Để nghiên cứu cấu trúc chi tiết phục vụ đánh giá HUNĐ cần phải đo bổ sung số liệu ĐĐVĐC một trạm bằng các thiết bị đo mới. Vì vậy, việc đánh giá sự tin cậy của các số liệu đo ĐĐVĐC theo thời gian và thiết bị là rất cần

thiết. Điều này khẳng định sự tin cậy của số liệu thu thập và đo bổ sung được sử dụng trong nghiên cứu này.

Các kết quả phép của phép đo lặp lại theo giờ và theo tháng cho thấy 40 trong tổng số 49 giá trị sai số A_0 đạt nhỏ hơn 10% và 44 trong tổng số 49 giá trị sai số F_0 đạt nhỏ hơn hay bằng 5% chứng tỏ các biểu đồ HVSR của các phép đo ĐĐVĐC một trạm lặp lại theo thời gian là ít thay đổi. Nghĩa là, số liệu đo ĐĐVĐC một trạm sử dụng trong nghiên cứu này là tin cậy.

Các kết quả của phép đo đồng thời bằng 07 thiết bị đo ĐĐVĐC tại 12 nền đất đặc trưng khác nhau trong khu vực nghiên cứu cho thấy 63 trong tổng số 84 giá trị sai số A_0 đạt nhỏ hơn hay bằng 10% và 79 trong tổng số 84 giá trị sai số F_0 đạt nhỏ hơn 5% chứng tỏ các biểu đồ HVSR của phép đo ĐĐVĐC đồng thời bằng 07 máy đo tại mỗi điểm đo là như nhau. Tức là số liệu ĐĐVĐC đo được bằng 07 bộ máy đo là đồng bộ.

Như vậy có thể thấy rằng biểu đồ HVSR tại mỗi điểm đo không thay đổi theo thời gian. Điều này chứng tỏ biểu đồ HVSR phản ánh đặc điểm ĐĐVĐC ổn định xung quanh điểm đo. Tức là nó phản ánh đặc điểm cấu trúc nền đất phía dưới điểm đo. Bởi vậy, kỹ thuật này còn được sử dụng để xác định các đặc điểm, tính chất, cấu trúc của nền đất tại mỗi điểm đo. Một phần kết quả nghiên cứu này đã được công bố trên tạp chí chuyên ngành trong nước năm 2017 [107].

Kết luận chương 3

1/ Số lượng điểm đo dao động vi địa chấn một trạm sử dụng trong nghiên cứu này là 834 điểm, trong đó có 497 điểm đo bổ sung. Các điểm dao động vi địa chấn một trạm này là đồng bộ và tin cậy. Giá trị chiều dày lớp phủ nông của các nghiên cứu trước đây được sử dụng là theo số liệu lỗ khoan.

2/ Việc thu thập, cập nhật nguồn số liệu đo mảng dao động vi địa chấn, số liệu lỗ khoan, số liệu địa chất công trình và tài liệu địa chất khu vực nttp. Hà Nội là cơ sở quan trọng để xây dựng biểu đồ cấu trúc V_S1D phục vụ đánh giá hiệu ứng nền đất.

3/ Hoàn thiện được các quy trình xây dựng biểu đồ tỷ số phổ H/V, đánh giá các đặc điểm dao động vi địa chấn và đánh giá hiệu ứng nền đất trên cơ sở nguồn số liệu đo dao động vi địa chấn và địa chất công trình khu vực thành phố Hà Nội.

CHƯƠNG 4

ĐẶC ĐIỂM DAO ĐỘNG VI ĐỊA CHẤN KHU VỰC NỘI THÀNH THÀNH PHỐ HÀ NỘI VÀ LÂN CẬN

DĐVĐC là các rung động tự nhiên có biên độ rất nhỏ, chúng được tạo ra từ các hoạt động tự nhiên và con người như động đất, gió, thủy triều, sóng biển, giao thông, Tuy nhiên, đến nay các hợp phần cấu tạo của DĐVĐC vẫn chưa được xác định rõ ràng. Một số tác giả cho rằng, DĐVĐC chủ yếu là các sóng mặt, số khác lại cho rằng DĐVĐC bị biến đổi trong các miền tần số khác nhau. Chương này sẽ thảo luận chi tiết về các đặc điểm của DĐVĐC theo không gian và tần số nhằm chỉ ra các quy luật chung, các đặc điểm riêng liên quan đến đặc điểm cấu trúc và tính chất cơ-lý của các lớp đất, đá ở phía dưới điểm đo trong khu vực nttp. Hà Nội.

4.1. Đặc điểm hình dạng biểu đồ tỷ số phổ H/V khu vực nttp. Hà Nội

Từ số liệu của 834 điểm đo DĐVĐC một trạm, áp dụng quy trình 3.3.1, 834 biểu đồ HVSR được thành lập. Dựa vào các biểu đồ HVSR này, áp dụng quy trình 3.3.2.1, chúng được phân ra làm 03 dạng: 1- Dạng tuyến tính gồm 03 biểu đồ (Hình 4.1a); 2- Dạng hình chuông gồm 529 biểu đồ (Hình 4.1b) và 3- Dạng hình yên ngựa gồm 302 biểu đồ (Hình 4.1c). Sự phân bố đặc điểm các hình dạng biểu đồ HVSR được mô tả ở hình 4.1d. Sơ đồ phân vùng đặc điểm hình dạng biểu đồ HVSR được mô tả ở hình 4.2.

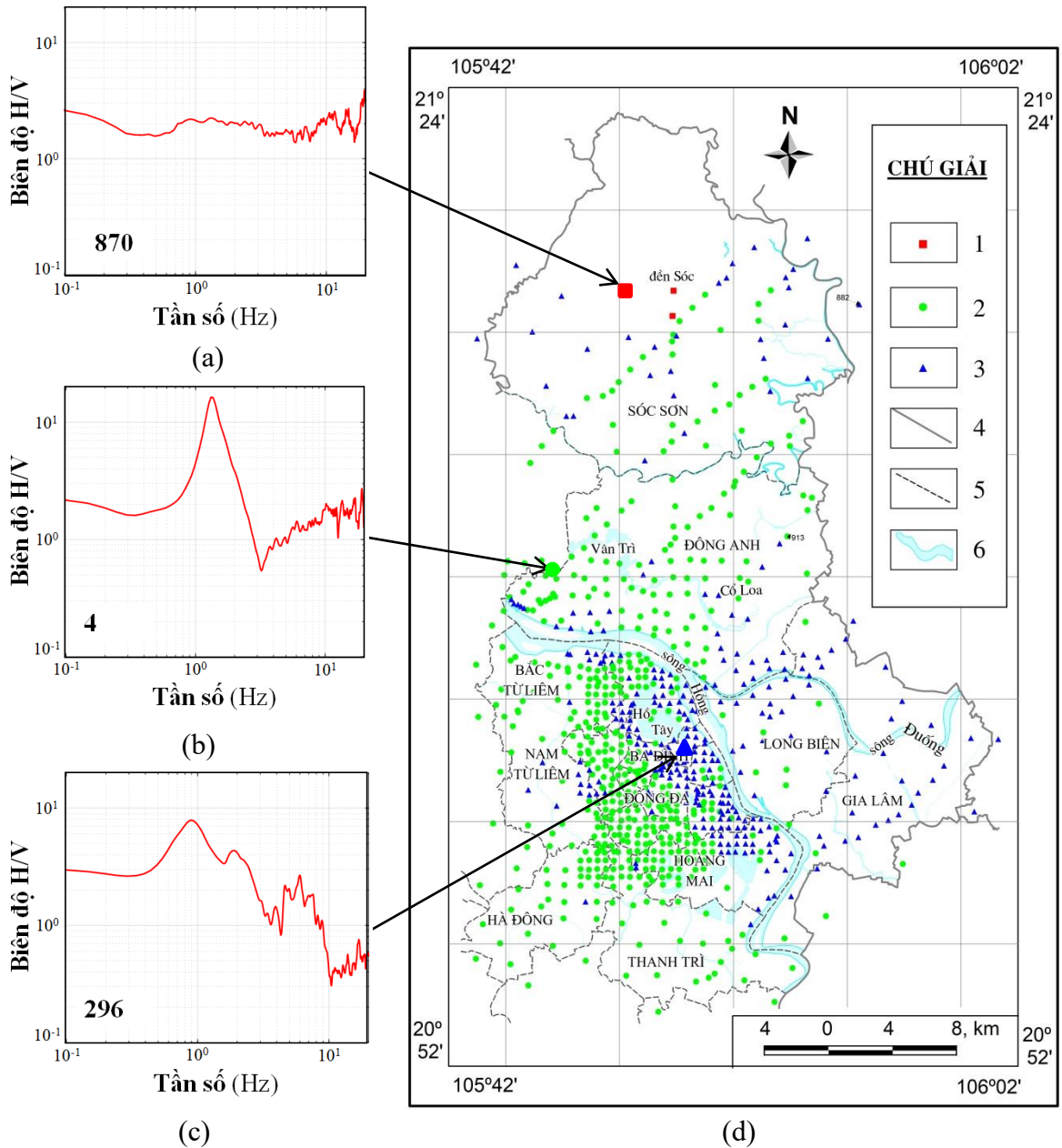
Các hình 4.1 và 4.2 cho thấy:

(1) Biểu đồ HVSR dạng tuyến tính chỉ xuất hiện tại vùng đá lộ rắn chắc ở phía Bắc huyện Sóc Sơn (hình vuông màu đỏ trong hình 4.1d, vùng màu đỏ trong hình 4.2). Đỉnh trội không rõ ràng là do các sóng DĐVĐC trong đá rắn chắc dao động như nhau theo tất cả các hướng. Kết quả làm cho biên độ trội của DĐVĐC khác nhau không nhiều trên toàn bộ dải tần;

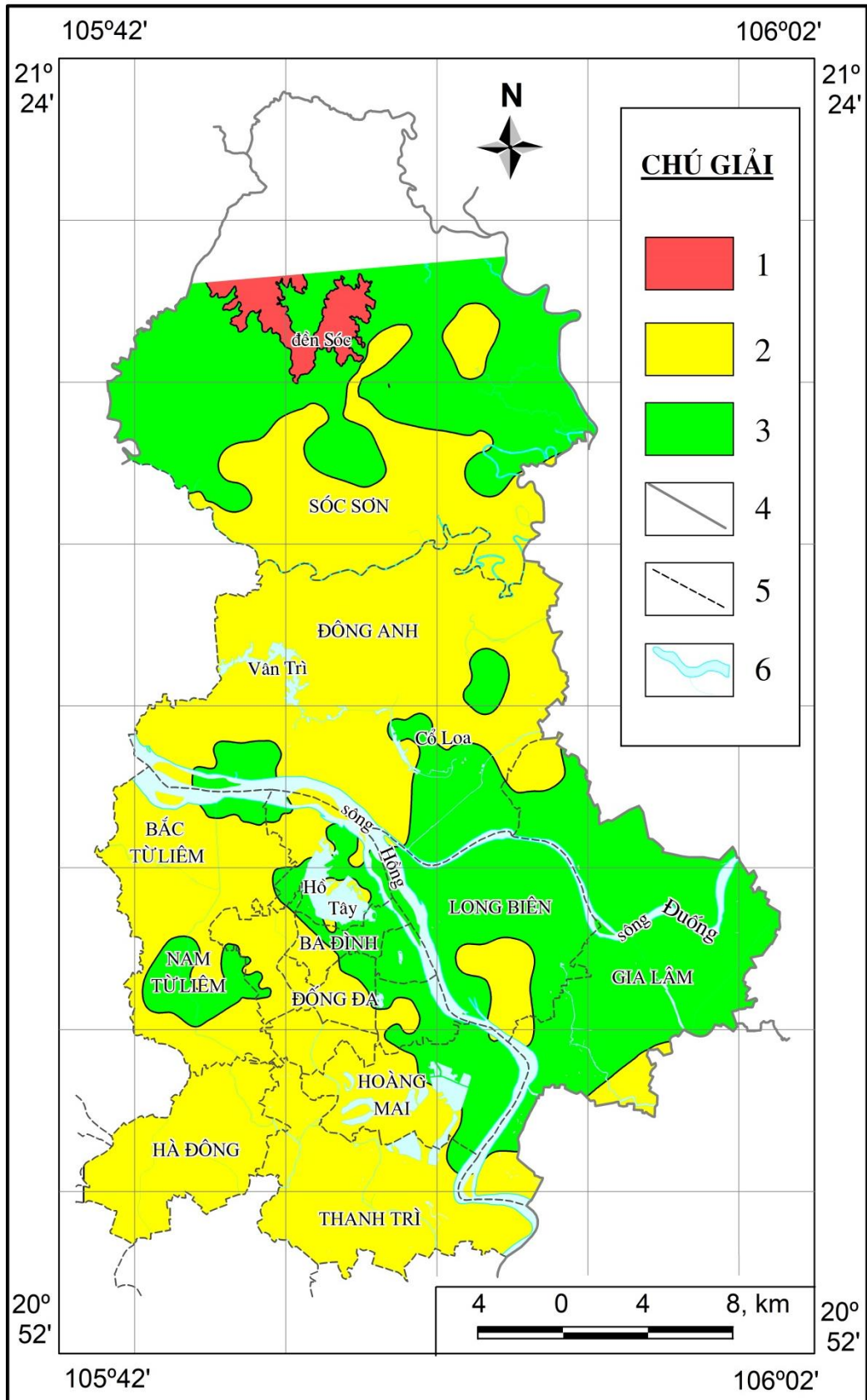
(2) Biểu đồ HVSR dạng hình chuông phân bố chủ yếu tại vùng đồng bằng đã ổn định phía Bắc, phía Nam và phía Tây của khu vực nghiên cứu (hình tròn màu xanh lá cây trong hình 4.1d, vùng màu vàng trong hình 4.2). Đỉnh trội duy nhất được tạo ra bởi các sóng DĐVĐC truyền từ mặt đá cứng thuộc hệ tầng Vĩnh Bảo bị khuếch đại khi qua lớp phủ;

(3) Biểu đồ HVSR dạng hình yên ngựa phân bố chủ yếu tại vùng đồng bằng thấp chưa ổn định phía Đông, dải dọc sông Hồng, một vùng nhỏ thuộc khu vực quận

Nam Từ Liêm hay vùng đất, đá phong hoá mạnh gần chân núi phía Bắc huyện Sóc Sơn (hình tam giác màu xanh nước biển trong hình 4.1d, vùng màu xanh lá cây trong hình 4.2). Đỉnh trội khác nhau là do tính chất cơ-lý của các lớp đất, đá ở phía dưới khác nhau rõ ràng. Đỉnh trội thứ nhất tạo ra bởi các sóng DĐVĐC truyền từ mặt đá cứng của hệ tầng Vĩnh Bảo bị khuếch đại khi qua lớp phủ hay đá phong hóa. Đỉnh trội thứ 2 được tạo ra bởi các sóng DĐVĐC truyền từ mặt cuội sỏi thuộc hệ tầng Hà Nội hay mặt đá phong hóa mạnh bị khuếch đại khi qua các lớp đất yếu gần bề mặt. Ngoài ra, tại một số điểm đo ở khu vực sông Đuống có hai đỉnh trội khác nhau rất rõ ràng. Điều này là do lớp cuội sỏi ở vùng này rất dày và chặt (đạt trên 60 m), phía trên nó là lớp đất rất yếu với V_s đạt 180 m/s (điểm A2, Hình 3.6). Tại vùng Cổ Nhuế-Xuân Đình và huyện Đông Anh (tính chất cơ-lý của các lớp đất, đá là như nhau), các biểu đồ HVSR có hình dạng giống nhau (đều là dạng hình chuông). Điều này cho phép nhận định rằng hình dạng biểu đồ HVSR liên quan chủ yếu đến tính chất cơ-lý của các lớp đất, đá nằm phía dưới điểm đo.



Hình 4.1. Các đặc điểm hình dạng biểu đồ tỷ số phổ H/V khu vực nttp. Hà Nội. (a) Biểu đồ HVSR dạng tuyến tính; (b) Biểu đồ HVSR dạng hình chuông; (c) Biểu đồ HVSR dạng hình yên ngựa và (d) Sơ đồ phân bố đặc điểm các hình dạng biểu đồ HVSR khu vực nttp. Hà Nội (hình vuông màu đỏ là biểu đồ HVSR dạng tuyến tính, hình tròn màu xanh lá cây là biểu đồ HVSR dạng hình chuông, hình tam giác màu xanh nước biển là biểu đồ HVSR dạng hình yên ngựa).



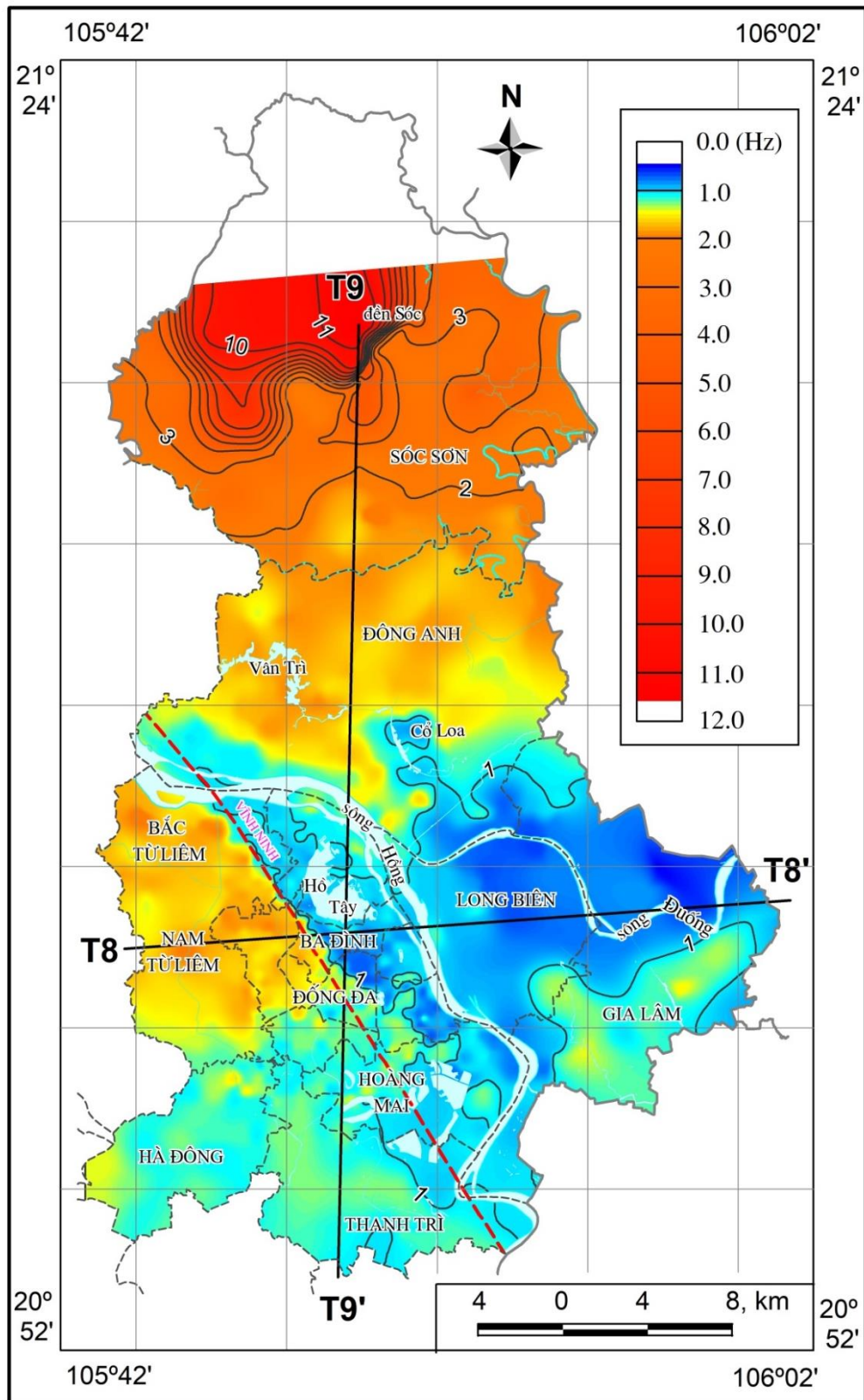
Hình 4.2. Sơ đồ phân vùng đặc điểm hình dạng biểu đồ tỷ số phổ H/V khu vực ntp. Hà Nội. (1) vùng biểu đồ HVSR dạng tuyến tính; (2) vùng biểu đồ HVSR dạng hình chuông; (3) vùng biểu đồ HVSR dạng hình yên ngựa; (4) ranh giới tỉnh; (5) ranh giới huyện và (6) sông, hồ, suối.

4.2. Đặc điểm tần số trội H/V khu vực nttp. Hà Nội

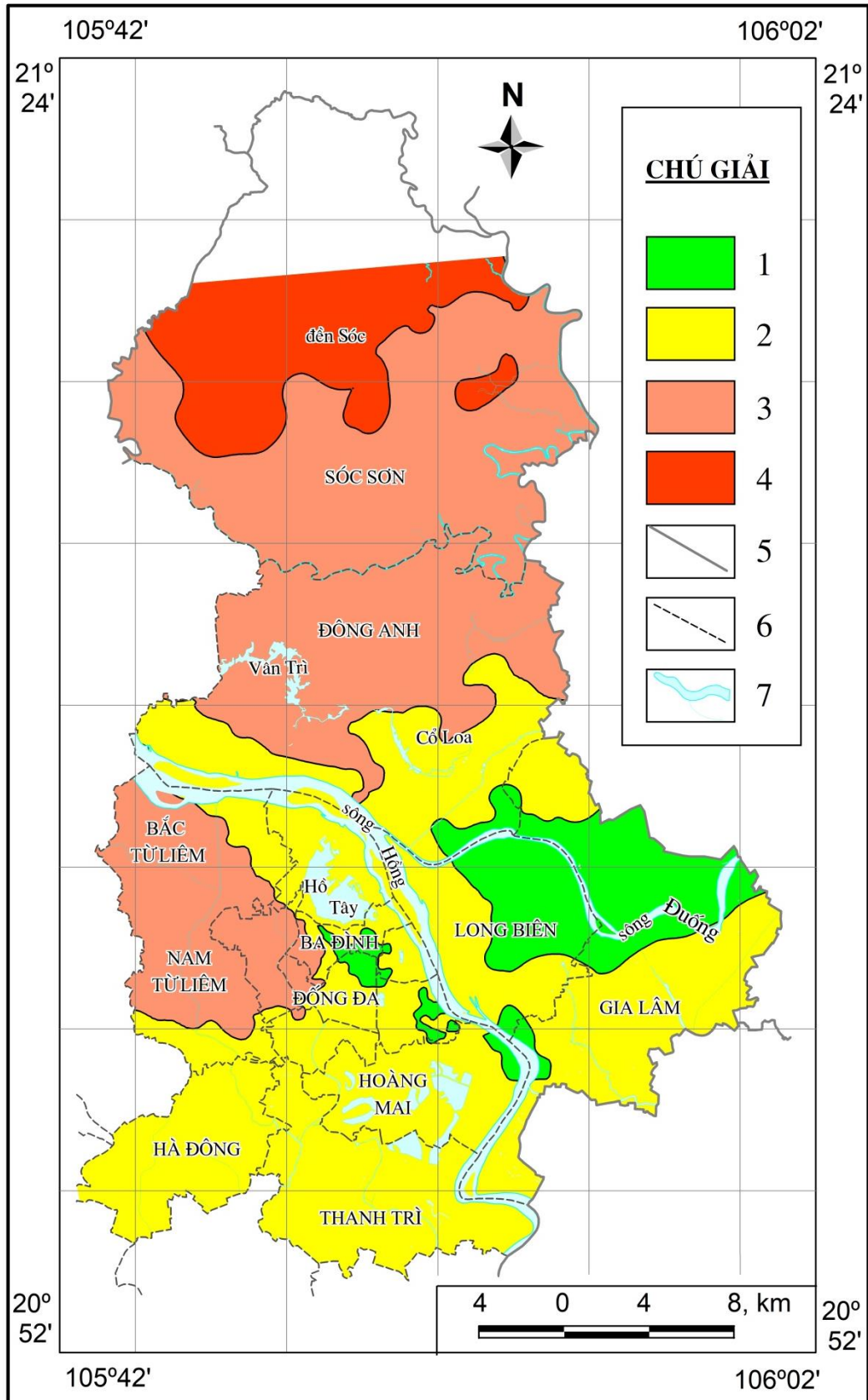
Từ 834 biểu đồ HVSR được phân loại ở mục 4.1, áp dụng quy trình 3.3.2.2, 834 giá trị F_0 được xác định tại khu vực nttp. Hà Nội. Giá trị F_0 đạt 0,37 đến 11,67 Hz (Hình 4.3). Theo tiêu chí DIN 4149:2005 [103], 834 giá trị F_0 được chia ra làm 4 miền tần số trội khác nhau: 1- Miền tần số trội cao ứng với F_0 lớn hơn 3,5 Hz; 2- Miền tần số trội trung bình ứng với F_0 từ 1,3 đến 3,5 Hz; 3- Miền tần số trội thấp ứng với F_0 từ 0,8 đến 1,3 Hz và 4- Miền tần số trội rất thấp ứng với F_0 nhỏ hơn 0,8 Hz (Hình 4.4). Sự phân bố giá trị F_0 theo hai tuyến đo điển hình T8-T8' (phương Đông-Tây), và T9-T9' (phương Bắc-Nam) được mô tả ở hình 4.5.

Hình 4.3 và 4.4 cho thấy giá trị F_0 thay đổi rõ rệt trong khu vực nghiên cứu. Sự phân bố giá trị F_0 này cũng phù hợp với kết quả của các nghiên cứu trước đây [71, 77-80]. Tuy nhiên, kết quả của nghiên cứu này có mức độ chi tiết hơn đặc biệt là khu vực các quận nội thành và dải dọc sông Hồng. Với mức độ chi tiết của nghiên cứu này cho thấy đứt gãy Vĩnh Ninh (đường gạch màu đỏ, Hình 4.3) như là ranh giới phân chia giữa vùng giá trị F_0 thấp và cao. 16 giá trị F_0 trong tổng số 834 giá trị là cao (lớn hơn 3,5 Hz) thuộc vùng chân núi và vùng núi phía Bắc (vùng màu đỏ trong hình 4.4), ứng với vùng có lớp phủ mỏng (nhỏ hơn 20 m, Hình 1.8). Vùng tần số trội trung bình (F_0 từ 1,3 đến 3,5 Hz) chủ yếu tìm thấy ở đồng bằng phía Tây, phía Bắc của khu vực nghiên cứu (vùng đỏ nhạt trong hình 4.4). Các vùng tần số trội trung bình trùng với vùng được bao phủ bởi lớp đất cứng với chiều dày lớp phủ nông từ 20 đến 70 m (các Hình 1.8, 4.3 và 4.4). Vùng tần số trội thấp (F_0 từ 0,8 đến 1,3 Hz) chủ yếu quan sát thấy tại dải dọc sông Hồng, vùng trung tâm và phía Nam của khu vực nghiên cứu (vùng vàng trong hình 4.4). Chiều dày lớp phủ nông đạt trên 70 m. Vùng này được dự đoán là nhạy cảm với sóng động đất nhất. Vùng tần số trội rất thấp (F_0 nhỏ hơn 0,8 Hz) xuất hiện ở phía Đông và một vài vùng nhỏ ở các quận trung tâm (vùng xanh lá cây trong hình 4.4). Chiều dày lớp phủ nông đạt trên 80 m.

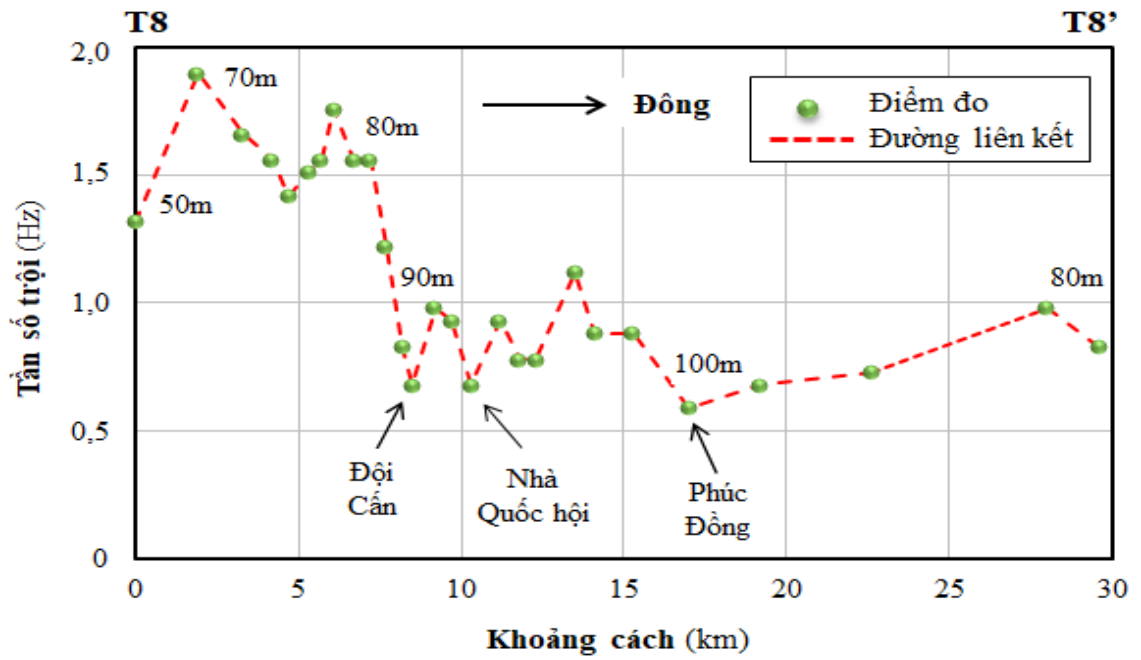
Hình 4.5 cho thấy giá trị F_0 giảm dần từ Bắc xuống Nam và từ Tây sang Đông. Sự thay đổi này phù hợp với xu hướng thay đổi nghịch đảo của chiều dày lớp phủ nông (D) trong các nghiên cứu trước đây [2, 3], cụ thể là: 1- F_0 đạt trên 3,5 Hz ứng với D nhỏ hơn 20 m (ở vùng núi huyện Sóc Sơn, phía Bắc); 2- F_0 đạt trên 1,5 Hz ứng với D nhỏ hơn 50 m (ở quận Bắc Từ Liêm, phía Tây); 3- F_0 nhỏ hơn 0,9 Hz ứng với D lớn hơn 90 m (ở các quận trung tâm, phía Nam và phía Đông). Điều này chứng tỏ F_0 liên quan đến D của các lớp đất, đá nằm phía dưới điểm đo. Chi tiết về mối tương quan này được trình bày ở mục 4.4 (phía dưới).



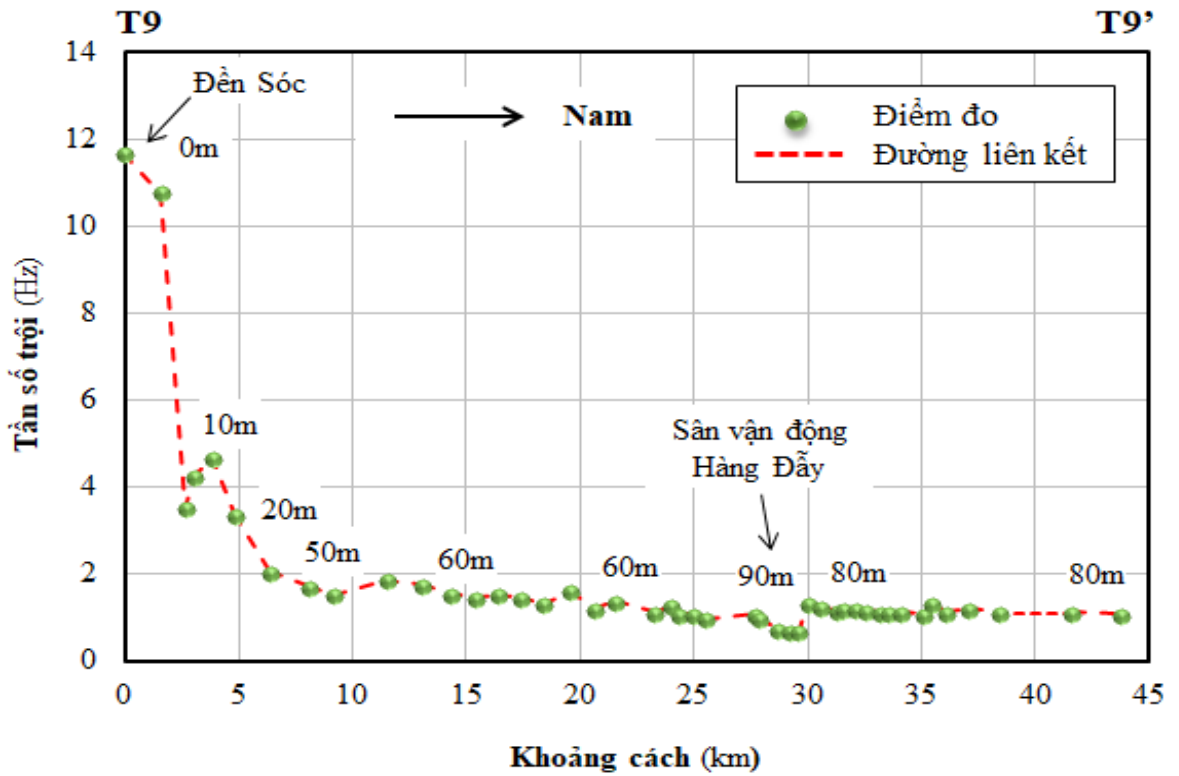
Hình 4.3. Sơ đồ phân bố giá trị tần số trội H/V khu vực nttp. Hà Nội. (1) đường đồng mức F_0 và giá trị tính bằng Hz; (2) tuyến khảo sát giá trị F_0 ; (3) đứt gãy Vĩnh Ninh; (4) ranh giới tỉnh; (5) ranh giới huyện và (6) sông, hồ, suối.



Hình 4.4. Sơ đồ phân vùng giá trị tần số trội H/V khu vực ntp. Hà Nội. (1) vùng F_0 nhỏ hơn hay bằng 0,8 Hz; (2) vùng F_0 từ 0,8 đến 1,3 Hz; (3) vùng F_0 từ 1,3 đến 3,5 Hz; (4) vùng F_0 lớn hơn 3,5 Hz; (5) ranh giới tỉnh; (6) ranh giới huyện và (7) sông, hồ, suối.



(a)



(b)

Hình 4.5. Các biểu đồ phân bố giá trị tần số trội H/V và chiều dày lớp phủ nông theo tuyến đo điển hình khu vực ntp. Hà Nội. (a) tuyến T8-T8', phương Tây-Đông và (b) tuyến T9-T9', phương Bắc-Nam. Hình tròn đặc màu xanh lá cây là giá trị tần số trội H/V tại các điểm đo trên mỗi tuyến; Đường đứt màu đỏ là đường nối giá trị tần số trội H/V tại các điểm đo trên mỗi tuyến; Các chỉ số màu đen là giá trị độ sâu theo lỗ khoan tính bằng m tại các vị trí trên mỗi tuyến đo.

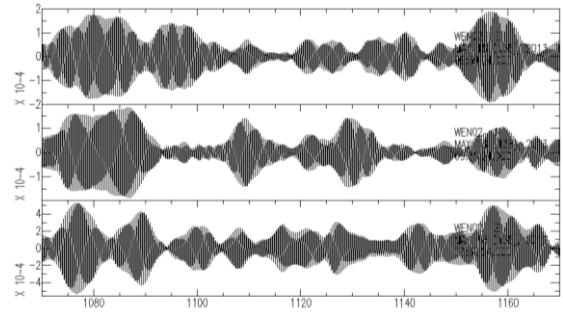
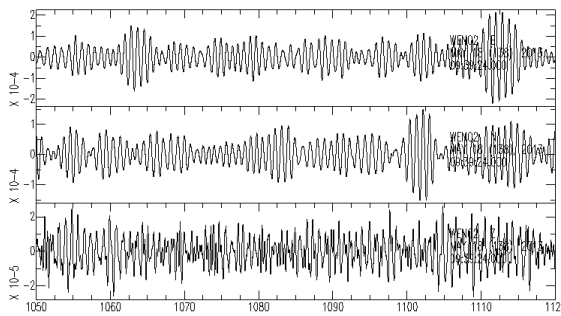
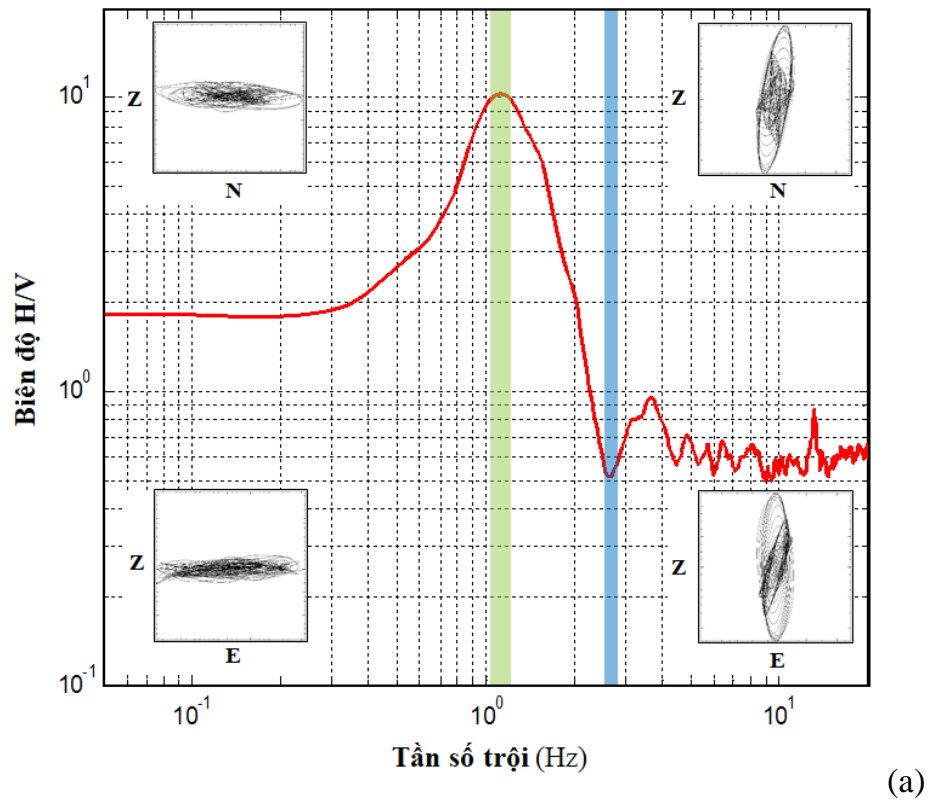
4.3. Đặc điểm dao động vi địa chấn trong miền tần số đặc biệt khu vực nttp. Hà Nội

Để nghiên cứu đặc điểm này được rõ ràng, một điểm kiểm nghiệm được lựa chọn sao cho hình dạng biểu đồ HVSR có cả đỉnh trội và điểm lõm. Trên cơ sở 834 hình dạng biểu đồ HVSR xây dựng ở mục 4.1, điểm đo 478 tại khách sạn Asean, Chùa Bộc, Đống Đa được chọn làm điểm kiểm nghiệm. Từ hình dạng biểu đồ HVSR của điểm đo này, áp dụng quy trình 3.3.2.3, các đặc điểm DDVĐC ở miền tần số đặc biệt đạt được như sau:

(1) Giá trị tần số đỉnh trội (F_{\max}) là 1,12 Hz, miền tần số đỉnh trội là từ 1,02 đến 1,22 Hz (vùng màu xanh lá cây); Giá trị tần số điểm lõm (F_{\min}) là 2,64 Hz, miền tần số điểm lõm là từ 2,59 đến 2,69 Hz (vùng màu xanh nước biển) (Hình 4.6a);

(2) Các dạng dao động phân cực theo phương đứng (Z) và phương ngang (N hay E) trong hai miền tần số đặc biệt được mô tả tại 04 hình nhỏ trên hình 4.6a (hai hình bên trái ứng với miền tần số đỉnh trội và hai hình bên phải ứng với miền tần số điểm lõm);

(3) Hình dạng các băng ghi sóng DDVĐC lọc trong hai miền tần số đặc biệt này được mô tả ở các hình 4.6b và 4.6c, tương ứng. Hình 4.6a cho thấy các dạng dao động phân cực trong hai miền tần số đặc biệt có sự khác nhau rõ ràng, cụ thể là: 1- Các dao động phân cực trong miền tần số đỉnh trội (hai hình nhỏ bên trái) chủ yếu dao động theo phương ngang (phương của trục N hay E) giống như dao động của sóng SH; 2- Ngược lại, các dao động phân cực trong miền tần số điểm lõm (hai hình nhỏ bên phải) chủ yếu dao động theo phương đứng (phương của trục Z) giống như dao động của sóng Rayleigh. Kết quả nghiên cứu này cũng phù hợp với các kết quả nghiên cứu trước [108-111]. Hình 4.6b cho thấy dạng sóng DDVĐC xung quanh miền tần số đỉnh trội giống với dao động của sóng SH. Ngược lại, hình 4.6c cho thấy dạng sóng DDVĐC xung quanh miền tần số điểm lõm giống với dao động của sóng Rayleigh (các bó sóng rất rõ ràng).



Hình 4.6. Các biểu đồ mô tả đặc điểm dao động vi địa chấn trong hai miền tần số đặc biệt khu vực nttp. Hà Nội. (a) Biểu đồ HVSR, các miền tần số đặc biệt (màu xanh lá cây là miền tần số đỉnh trội, màu xanh nước biển là miền tần số điểm lõm) và các dạng dao động phân cực theo phương đứng và phương ngang; (b) Băng ghi ĐĐVĐC được lọc trong miền tần số đỉnh trội và (c) Băng ghi ĐĐVĐC được lọc trong miền tần số điểm lõm.

4.4. Đặc điểm tương quan giữa tần số trội H/V (F_0) và chiều dày lớp phủ nông (D) khu vực nttp. Hà Nội

Từ 67 lỗ khoan sâu đến đá thu thập được trong các nghiên cứu trước đây [2-4], 67 giá trị chiều dày lớp phủ nông theo lỗ khoan (D_K) được xác định. Dựa vào các giá trị F_0 xác định ở mục 4.2, 67 giá trị F_0 tại các điểm đo ĐĐVĐC một trạm

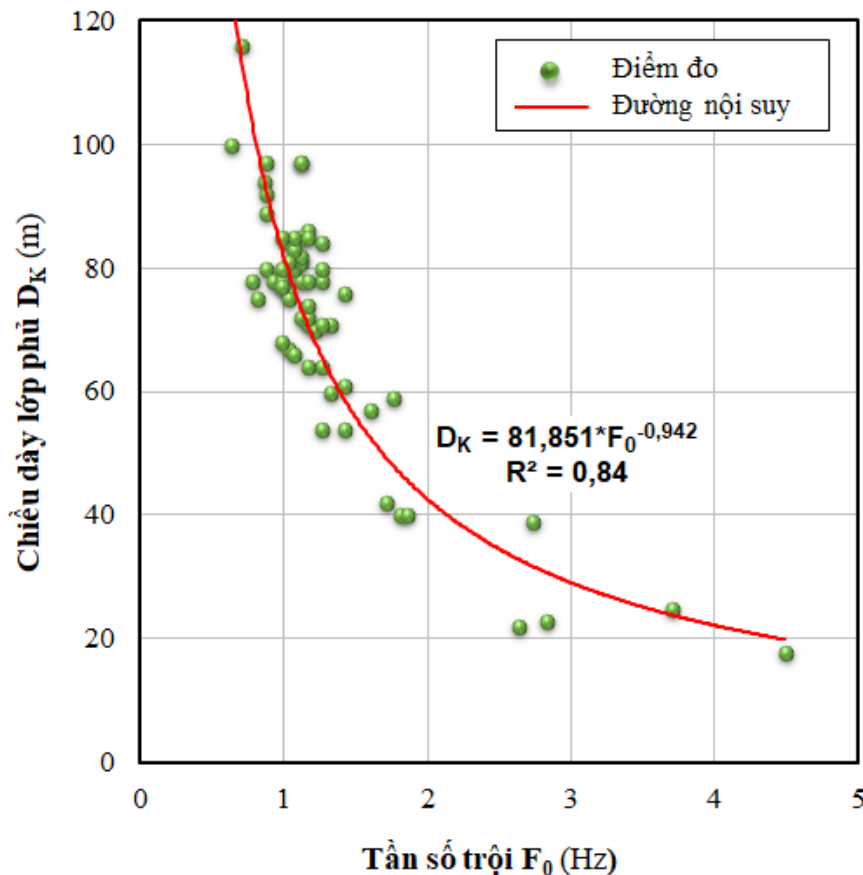
cạnh các lỗ khoan này cũng được lựa chọn. Áp dụng quy trình 3.3.2.4, kết quả đánh giá đặc điểm tương quan giữa F_0 và D đạt được như trình bày ở các mục dưới đây.

4.4.1. Hàm tương quan thực nghiệm giữa tần số trội H/V (F_0) và chiều dày lớp phủ nông (D) khu vực nttp. Hà Nội

Từ 67 cặp giá trị F_0 và D_K ở trên, 64 cặp giá trị F_0 và D_K tin cậy được lựa chọn (Phụ lục 1). Dựa vào 64 cặp giá trị F_0 và D_K này, các hệ số tương quan thực nghiệm của hàm dạng công thức (2.20) tìm được bằng phép hồi quy không tuyến tính lần lượt là $a=81,851$ và $b=-0,942$, hệ số tương quan giữa F_0 và D_K đạt 0,84 (Hình 4.7). Vậy hàm tương quan thực nghiệm giữa F_0 tính bằng Hz và D_K tính bằng m khu vực nttp. Hà Nội là:

$$D_K = 81,851 * F_0^{-0,942} \quad (4.1).$$

Hệ số tương quan giữa F_0 và D_K đạt 0,84 cho thấy hàm tương quan thực nghiệm giữa D_K và F_0 này là tin cậy. Do đó, công thức (4.1) được sử dụng để tìm giá trị chiều dày lớp phủ nông theo F_0 (D_T) tại các điểm đo ĐĐVĐC một trạm còn lại trong khu vực nttp. Hà Nội. Giá trị D_T tính được đạt 8 đến 160 m.



Hình 4.7. Biểu đồ tương quan giữa tần số trội H/V và chiều dày lớp phủ nông khu vực nttp. Hà Nội.

Từ các giá trị D_T tính được ở mục 4.4.1 và 64 giá trị D_K xác định được tại điểm đo DĐVĐC một trạm cách lỗ khoan (Phụ lục 1). Áp dụng công thức (2.58), 64 giá trị sai số chiều dày lớp phủ nông (sau đây viết tắt là Err) được xác định ở khu vực nttp. Hà Nội (Phụ lục 1).

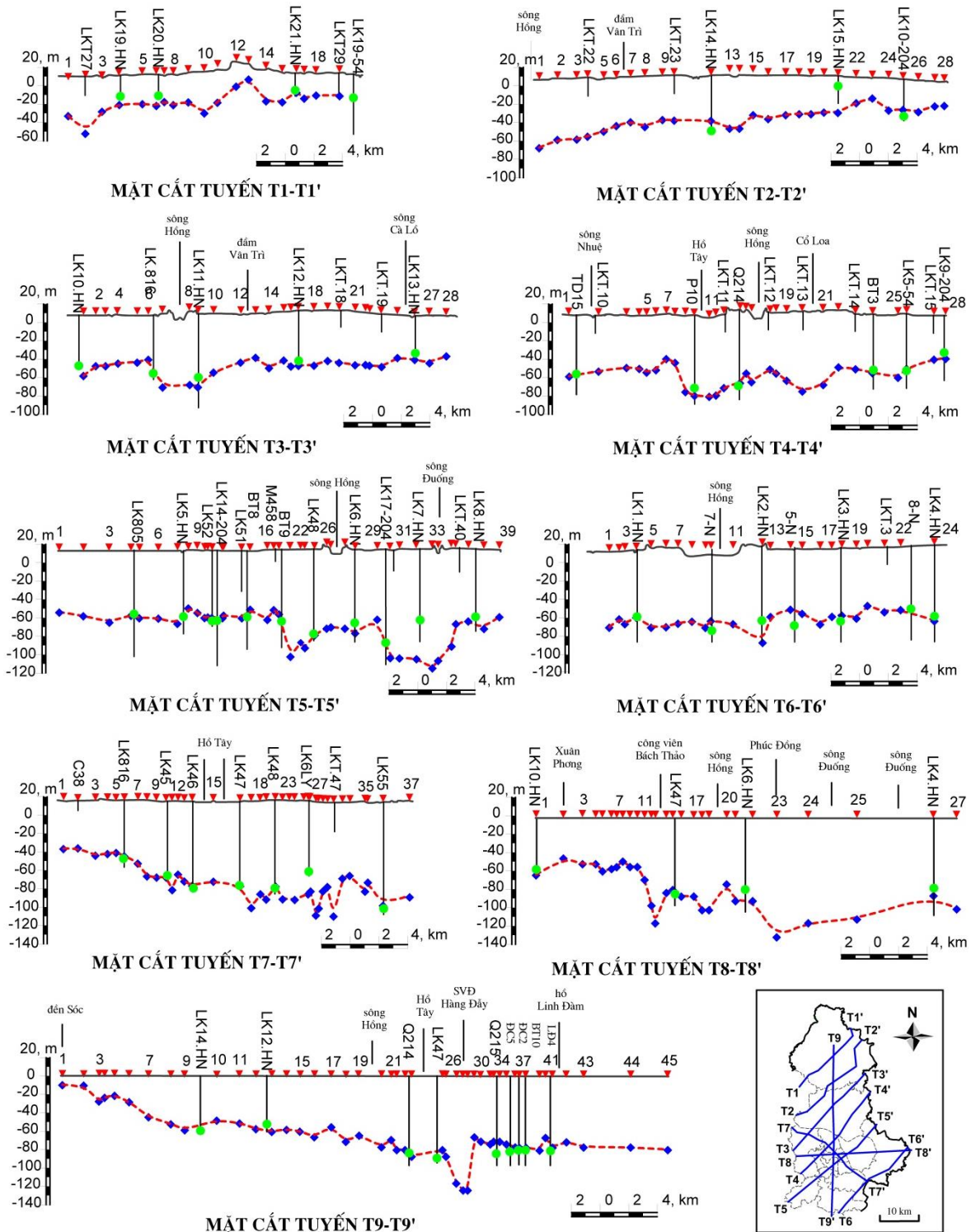
Phụ lục 1 cho thấy 38 trong tổng số 64 cặp giá trị D_T và D_K có Err nhỏ hơn hay bằng 10%, 15 trong tổng số 64 cặp giá trị D_T và D_K có Err từ 10 đến 20% và 11 trong tổng số 64 cặp giá trị D_T và D_K có Err lớn hơn 20%. Điều này chứng tỏ tương quan giữa giá trị D_T và D_K ở khu vực nttp. Hà Nội là tin cậy. Giới hạn tương quan giữa giá trị D_T và D_K tốt nhất là D_K từ 50 đến 100 m (ứng với khu vực phía Nam (Thanh Xuân, Hà Đông, Thanh Trì), huyện Đông Anh, dải dọc sông Hồng và vùng phía Nam huyện Gia Lâm) và kém nhất là D_K nhỏ hơn 25 m (ứng với vùng núi và vùng chân núi huyện Sóc Sơn).

4.4.2. Mặt cắt phân bố chiều dày lớp phủ nông khu vực nttp. Hà Nội

Sử dụng 258 giá trị D_T tại các điểm đo DĐVĐC một trạm phân bố trên 09 tuyến đo mô tả trong hình 3.4. Sự phân bố các giá trị D_T theo các mặt cắt này được mô tả ở hình 4.8.

Từ hình 4.8 có thể thấy rằng giá trị D_T (các biểu tượng hình thoi đặc màu xanh nước biển) khá phù hợp với giá trị D_K (hình tròn đặc màu xanh lá cây) của các nghiên cứu trước đây [2-4]. 42 trong tổng số 47 lỗ khoan có Err nhỏ hơn 25%. Sự khác nhau rõ ràng nhất tại 3 lỗ khoan (lỗ khoan LK15.HN, điểm đo 21 tuyến T2-T2'; lỗ khoan LK7.HN, điểm đo 32 tuyến T5-T5' và lỗ khoan LK6LY, điểm đo 26 tuyến T7-T7'). Sự khác nhau có thể là do kỹ thuật xác định giá trị chiều dày lớp phủ nông khác nhau. Theo lỗ khoan, giá trị D_K được xác định dựa vào đặc điểm thạch học bởi vậy giá trị này không bị ảnh hưởng bởi độ ẩm, độ chặt và độ bão hòa nước của các loại đất, đá bên dưới các tuyến đo, còn nghiên cứu này giá trị D_T được xác định chủ yếu dựa vào giá trị V_S nên bị ảnh hưởng bởi độ ẩm, độ chặt và độ bão hòa nước của các loại đất, đá bên dưới các tuyến đo. Do đó, sự khác nhau chủ yếu có thể là do hàm lượng nước bão hòa chứa trong các lớp đất, đá bị phong hóa, đập vỡ mạnh phủ phía trên đá rắn chắc. Lớp đá này làm giảm giá trị V_S dẫn tới F_0 bị khuếch đại bởi lớp đá cứng ở sâu hơn. Thực tế khảo sát tại lỗ khoan LK15.HN cho thấy đá lộ là đá phong hóa từ mạnh đến trung bình. Ngoài ra, việc tính giá trị D_T tại lỗ khoan LK15.HN (D_K đạt 11 m ứng với vị trí chiều dày lớp phủ nông nhỏ) bằng

công thức (4.1) cũng có thể gây ra sự khác nhau. Bởi vì công thức này vẫn chưa phù hợp cho vùng có lớp phủ nông nhỏ. Tại các lỗ khoan LK7.HN (D_K đạt 77 m) và LK6LY (D_K đạt 75 m) sự khác nhau có thể là do ảnh hưởng bởi sai số của thiết bị đo (điểm đo A7, đạt 11,1%, Hình 3.14). Do đó, để làm sáng tỏ sự khác nhau này cần bổ sung thêm phương pháp khảo sát địa vật lý khác, đặc biệt là phương pháp địa chấn lỗ khoan. Mặc dù vẫn tồn tại sự khác nhau ở một số lỗ khoan nhưng nhìn vào tổng thể các mặt cắt cho thấy có sự tương quan rõ ràng giữa bề mặt địa hình (đường liền màu đen phía trên) và bề mặt đá cứng xác định được trong nghiên cứu này (đường đứt màu đỏ phía dưới). Đó là, tại chỗ bề mặt địa hình nhô cao (vùng đồi núi), đoạn từ điểm đo 11 đến 14 tuyến đo T1-T1', tương ứng với bề mặt đá cứng cũng nhô lên. Ngược lại tại những chỗ bề mặt địa hình võng xuống (vùng sông hay hồ), các đoạn từ điểm đo 6 đến 10 tuyến đo T3-T3', từ điểm đo 8 đến 22 tuyến đo T4-T4' và từ điểm đo 25 đến 28 tuyến đo T5-T5', cũng tương ứng với bề mặt đá cứng bị võng xuống. Tại tuyến đo (T4-T4'), cắt ngang Hồ Tây, sông Hồng và Cổ Loa còn thấy rõ vùng Hồ Tây là một võng lòng chảo sâu (chiều dày lớp phủ nông đạt trên 100 m), tiếp theo là võng nhỏ sông Hồng và sau đó là võng lớn dạng lòng chảo tại vùng Cổ Loa. Tại các tuyến T3-T3', T4-T4' và T5-T5' (phương Đông Bắc-Tây Nam, cắt qua vùng trung tâm và sông Hồng) cho thấy bề mặt đá cứng phía trái sông Hồng (từ điểm đo 6 tới 7 tuyến đo T3-T3', từ điểm đo 7 đến 10 tuyến đo T4-T4' và từ điểm đo 17 đến 19 tuyến đo T5-T5') có xu hướng nghiêng khoảng 70^0 về phía Đông-Bắc.



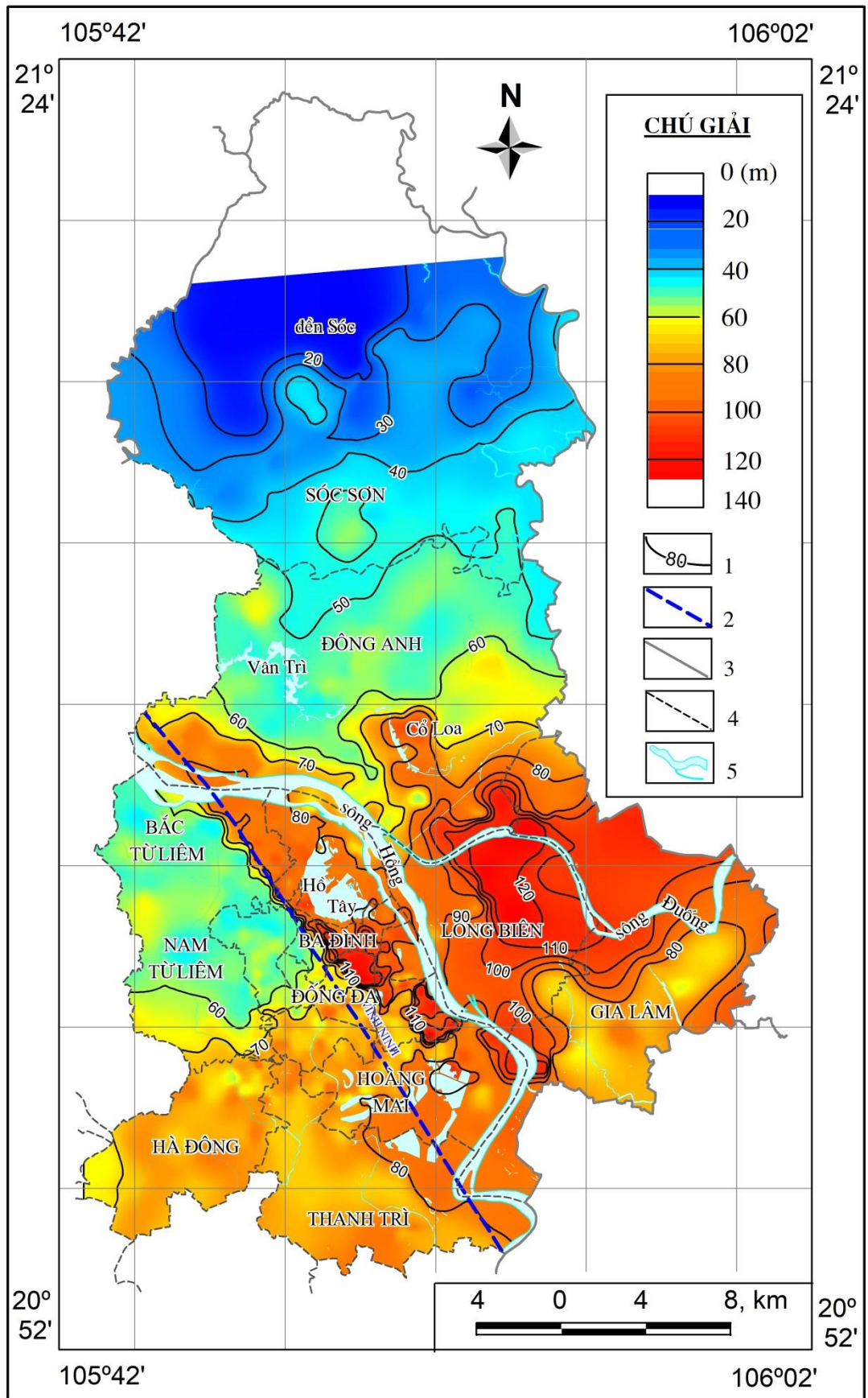
Hình 4.8. Biểu đồ các mặt cắt phân bố chiều dày lớp phủ nông theo tuyến khu vực nttp. Hà Nội. Hình tam giác màu đỏ phía trên là vị trí các điểm đo ĐDVDC một trạm; Hình thoi đặc màu xanh nước biển phía dưới là giá trị D_T ; Hình tròn đặc màu xanh lá cây là giá trị D_K của các nghiên cứu trước đây [2-4]; Các đường thẳng đứng màu đen là vị trí lỗ khoan với độ sâu tương ứng; Các đường gạch màu đỏ là ranh giới giữa lớp phủ và đá gốc tìm được trong nghiên cứu này, tên điểm đo ĐDVDC và tên lỗ khoan được mô tả ở phía trên mỗi mặt cắt.

4.4.3. Sơ đồ phân vùng chiều dày lớp phủ nông khu vực nttp. Hà Nội

Từ 834 giá trị D_T tính được ở mục 4.4.1, sơ đồ phân vùng giá trị D_T đã thành lập tại khu vực nttp. Hà Nội được mô tả ở hình 4.9.

Từ hình 1.8 và hình 4.9 cho thấy sự thay đổi giá trị D_T phù hợp cả về xu hướng và giá trị so với giá trị D_K của Vũ Nhật Thăng và nnk [3]. Giá trị D_T và D_K đều có xu hướng tăng dần từ phía Bắc xuống phía Nam (nhỏ hơn 20 m ở vùng núi huyện Sóc Sơn và hơn 110 m ở quận Hoàng Mai) và từ phía Tây sang phía Đông (nhỏ hơn 60 m ở quận Bắc Từ Liêm và hơn 100 m ở quận Long Biên). Các giá trị D_T và D_K của dải dọc sông Hồng đều tăng nhanh với bề mặt đá cứng có dạng thung lũng, phương Tây Bắc-Đông Nam, kéo dài từ Đông Anh đến Hoàng Mai và mở rộng đến hết quận Long Biên. Các giá trị D_T và D_K đều ít thay đổi (từ 70 đến 80 m) ở các quận, huyện phía Nam (Thanh Xuân, Hà Đông, Thanh Trì). Tuy nhiên, tại các ranh giới cấu trúc, giá trị D_T và D_K vẫn còn có sự khác nhau. Theo Vũ Nhật Thăng và nnk [3] thì giá trị D_K thay đổi đều còn theo nghiên cứu này giá trị D_T thay đổi đột ngột. Điều này là do số lượng điểm đo trong nghiên cứu này nhiều hơn và chi tiết hơn. Với mức độ chi tiết của nghiên cứu này đã chỉ rõ được vị trí và hình dạng bề mặt đá cứng tại một số ranh giới, cụ thể là: 1- Dải phía Tây-Nam Sông Hồng có dạng vách rất dốc (thay đổi từ 60 xuống 80 m), nghiêng về phía Đông-Bắc (khoảng 70^0 , xem tại hình 4.9), rất gần vị trí đứt gãy Vinh Ninh (đường đứt màu xanh nước biển); 2- Vùng núi phía Bắc huyện Sóc Sơn có sự thay đổi nhanh (từ 20 xuống 40 m), nghiêng về phía Nam (khoảng 30^0) tại vùng chân núi sau đó thay đổi từ từ tại vùng đồng bằng; 3- Vùng Cổ Loa có dạng thung lũng, phương Tây Bắc-Đông Nam, nghiêng về phía Đông Nam, còn của Vũ Nhật Thăng và nnk (2003) [3] xác định bằng số liệu đo sâu điện có dạng sông núi. So sánh địa hình thực tế ở vùng này cho thấy hệ thống sông hồ chủ yếu có dạng hình móng ngựa điều này chứng tỏ đây là vùng sụt lún. Vì vậy, kết quả của nghiên cứu này phù hợp với điều kiện thực tế hơn.

Dựa vào đặc điểm phân vùng trên cho thấy giá trị D_T nhỏ hơn 160 m trong khu vực nttp. Hà Nội, do đó giới hạn độ sâu tìm kiếm của phép mô phỏng biểu đồ HVSR bằng GA được lựa chọn là 200 m.



Hình 4.9. Sơ đồ phân vùng chiều dày lớp phủ nông khu vực ntp. Hà Nội. (1) đường đồng mức chiều dày lớp phủ nông và giá trị tính bằng m; (2) đứt gãy kiến tạo; (3) ranh giới tỉnh; (4) ranh giới huyện và (5) sông, hồ, suối.

4.5. Thảo luận chương 4

Trong nghiên cứu địa chấn công trình, các đặc điểm DDVĐC được quan tâm nhiều bởi nó phục vụ thiết kế công trình chống động đất. Hình dạng biểu đồ HVSR có thể cung cấp thông tin về tính chất cơ-lý của các lớp đất, đá ở phía dưới điểm đo còn tần số trội H/V (F_0) cho biết về tần số cộng hưởng dao động tại bề mặt hay chiều dày lớp phủ nông tại mỗi điểm khảo sát.

Việc đánh giá đặc điểm hình dạng biểu đồ HVSR khu vực nttp. Hà Nội đã chỉ ra vùng đá lộ rắn chắc có biểu đồ HVSR dạng tuyến tính, vùng đất cứng đã ổn định và đồng nhất có biểu đồ HVSR dạng hình chuông còn vùng đất yếu hay vùng đá phong hóa, đập vỡ mạnh có biểu đồ HVSR dạng hình yên ngựa.

Kết quả đánh giá đặc điểm tần số trội H/V (F_0) đã xác định được 834 giá trị F_0 khu vực nttp. Hà Nội. Sự phân bố hay phân vùng chi tiết các giá trị F_0 này đã cung cấp thêm thông tin quan trọng trong nghiên cứu vi phân vùng động đất phục vụ công tác lập quy hoạch và xây dựng công trình kháng chấn cho khu vực nttp. Hà Nội.

Việc đánh giá đặc điểm DDVĐC trong miền tần số đặc biệt đã chỉ rõ sóng DDVĐC trong miền tần số đỉnh trội chủ yếu là các sóng dao động ngang giống như sóng SH còn sóng DDVĐC trong miền tần số điểm lõm chủ yếu là các sóng dao động đứng giống như sóng Rayleigh ở khu vực nttp. Hà Nội. Bởi vậy, việc mô phỏng hình dạng các đỉnh trội của biểu đồ HVSR bằng thuật toán di truyền phục vụ xây dựng biểu đồ cấu trúc V_S1D cần sử dụng hàm chuyển đổi sóng SH của Haskell [94, 95].

Hệ số tương quan thực nghiệm giữa tần số trội H/V (F_0) và chiều dày lớp phủ nông khu vực nttp. Hà Nội đạt 0,84 chứng tỏ F_0 chủ yếu liên quan đến chiều dày lớp phủ nông. Đây là phương pháp xác định chiều dày lớp phủ nông mới dễ thực hiện và ít tốn kém. Sơ đồ phân vùng chiều dày lớp phủ nông thành lập trong nghiên cứu này đã cung cấp thêm thông tin cho nghiên cứu cấu trúc nông phục vụ lập quy hoạch xây dựng các công trình cao tầng-siêu cao tầng của thành phố Hà Nội. Đặc biệt là giúp định hướng xây dựng các công trình ngầm cho thành phố Hà Nội. Một phần kết quả của nội dung nghiên cứu này đã được công bố trên tạp chí SCOPUS năm 2022 [112].

Kết luận chương 4

1/ Hình dạng biểu đồ tỷ số phổ H/V liên quan chủ yếu đến tính cơ-lý của các lớp đất, đá ở phía dưới điểm đo. Biểu đồ tỷ số phổ H/V dạng tuyến tính chỉ xuất hiện tại vùng đá lộ rắn chắc ở phía Bắc huyện Sóc Sơn. Biểu đồ tỷ số phổ H/V dạng hình chuông phân bố chủ yếu ở vùng đồng bằng đã ổn định phía Bắc, phía Nam và phía Tây của khu vực nghiên cứu. Biểu đồ tỷ số phổ H/V dạng hình yên ngựa phân bố chủ yếu tại vùng đồng bằng thấp chưa ổn định phía Đông, dải dọc sông Hồng, một vùng nhỏ thuộc quận Nam Từ Liêm hay vùng đất, đá phong hoá mạnh gần chân núi phía Bắc huyện Sóc Sơn.

2/ Tần số trội H/V (F_0) đạt 0,37 đến 11,67 Hz và được phân ra làm 4 vùng. Vùng F_0 nhỏ hơn 0,8 Hz xuất hiện ở phía Đông và một vài vùng nhỏ tại các quận trung tâm. Vùng F_0 từ 0,8 đến 1,3 Hz chủ yếu quan sát thấy tại dải dọc sông Hồng, vùng trung tâm và phía Nam của khu vực nghiên cứu, đây là vùng nhạy cảm với sóng động đất nhất. Vùng F_0 từ 1,3 đến 3,5 Hz chủ yếu tìm thấy ở đồng bằng phía Tây, phía Bắc của khu vực nghiên cứu. Vùng F_0 lớn hơn 3,5 Hz thuộc vùng chân núi và vùng núi phía Bắc huyện Sóc Sơn.

3/ Các dao động vi địa chấn xung quanh tần số đỉnh trội chủ yếu là dao động ngang giống như sóng SH còn các dao động vi địa chấn xung quanh tần số điểm lồi chủ yếu là dao động đứng giống như sóng Rayleigh.

4/ Hàm tương quan giữa tần số trội H/V (F_0) tính bằng Hz và chiều dày lớp phủ nông (D) tính bằng m khu vực nttp. Hà Nội là $D=81,851 * F_0^{-0,942}$. Sai số chiều dày lớp phủ nông của nghiên cứu này và lỗ khoan đạt dưới 10% tại các quận, huyện phía Nam, huyện Đông Anh, dải dọc sông Hồng và phía Nam huyện Gia Lâm, ứng với chiều dày lớp phủ nông từ 50 đến 100 m và đạt trên 30% ở vùng núi và chân núi huyện Sóc Sơn ứng với chiều dày lớp phủ nông nhỏ hơn 25 m.

5/ Giá trị chiều dày lớp phủ nông của nghiên cứu này đạt 8 đến 160 m. Giá trị nhỏ nhất đạt dưới 20 m tại vùng núi phía Bắc huyện Sóc Sơn và lớn nhất đạt trên 100 m tại vùng trung tâm và phía Đông của khu vực nghiên cứu.

CHƯƠNG 5

HIỆU ỨNG NỀN ĐẤT KHU VỰC NỘI THÀNH THÀNH PHỐ HÀ NỘI VÀ LÂN CẬN

Nền đất là đối tượng quan trọng trong nghiên cứu địa chấn công trình. Bởi vì nó là môi trường tương tác giữa sóng động đất và công trình xây dựng. Trước kia nền đất chủ yếu được phân loại theo đặc điểm thạch học, còn ngày nay nền đất được phân loại theo giá trị V_{S30} . Vì vậy, nền đất có tính định lượng và dễ tính được bằng các công thức toán học. Cho đến nay, giá trị V_{S30} đã được xác định bằng nhiều kỹ thuật khác nhau, mỗi kỹ thuật có ưu điểm hay nhược điểm riêng. Chương này thảo luận chi tiết về kỹ thuật xác định giá trị V_{S30} bằng mô phỏng biểu đồ HVSR và thuật toán di truyền. Từ đó, sơ đồ phân loại nền đất, sơ đồ phân vùng giá trị dao động nền theo phương ngang tại mặt đá cứng hay lớp phủ, sơ đồ phân vùng hệ số khuếch đại dao động nền và hệ số khuếch đại dao động các loại nền được xác định cho khu vực nttp. Hà Nội.

5.1. Các mô hình khởi tạo

5.1.1. Tham số mô hình khởi tạo các lớp đất gần bề mặt

Từ 39 lỗ khoan ĐCCT có chỉ số N_{SPT} của Nguyễn Huy Phương và nnk [71, 104], 11 loại đất chính (mô tả trong bảng 1.2) được lựa chọn, cụ thể là: (5), (6), (7), (9), (13), (14), (15), (17), (18), (19) và (22).

Dựa vào 11 loại đất chính này, các chỉ số N_{SPT} , chiều dày trung bình của mỗi loại đất chính được xác định. Áp dụng quy trình 3.3.3.1, các giá trị V_S và chiều dày trung bình của 11 loại đất chính cũng được xác định (Phụ lục 2, Bảng 5.1).

Bảng 5.1 cho thấy giá trị V_S trung bình được lựa chọn (V_{Ss}) của một số loại đất chính lân cận khác nhau không nhiều, do đó một số loại đất chính lân cận sẽ được gộp lại thành một loại đất chung với giá trị V_{Ss} là giá trị của loại đất chính chiếm ưu thế, chiều dày và đặc điểm thạch học là tổng hợp của các loại đất chính đó. Khi đó, các lớp đất gần bề mặt được rút gọn lại là: Lớp 1 - gộp lại từ các loại đất chính (5), (6) và (7); Lớp 2 - là loại đất chính (9); Lớp 3 - là loại đất chính (13); Lớp 1' - gộp lại từ các loại đất chính (14), (15) và (17); Lớp 4 - là loại đất chính (18); Lớp 5 - là loại đất chính (19) và Lớp 6 - là loại đất chính (22). Tham số mô hình của các lớp đất này được trình bày như trong bảng 5.2.

Bảng 5.1. Các giá trị trung bình của 11 loại đất chính gần bề mặt.

Loại đất	N_{SPT}	Chiều dày		Vận tốc sóng ngang			Ghi chú
		D_{min} (m)	D_{max} (m)	V_{Sk} (m/s)	V_{St} (m/s)	V_{Ss} (m/s)	
(5)	10	1,8	6,5	220	207	210	Theo V_{St}
(6)	10	1,5	13,8	210	-	210	Theo V_{Sk}
(7)	4,5	1,7	15,4	160	-	160	Theo V_{Sk}
(9)	14	1,7	32,5	230	257	230	Theo V_{Sk}
(13)	3	2,8	26,3	140	138	140	Theo V_{St}
(14)	11	2,5	9,5	220	245	245	Theo V_{St}
(15)	14	1,5	20	240	234	240	Theo V_{Sk}
(17)	14	2,8	10	240	-	240	Theo V_{Sk}
(18)	25	2,5	19,5	280	315	315	Theo V_{St}
(19)	35	2	18,5	340	380	380	Theo V_{St}
(22)	150	1	>20	560	550	560	Theo V_{Sk}

Ghi chú: N_{SPT} là số nhát đập trong thí nghiệm đâm xuyên tiêu chuẩn (SPT); D_{min} là giá trị chiều dày nhỏ nhất; D_{max} là giá trị chiều dày lớn nhất; V_{Sk} là giá trị V_S trung bình của mỗi loại đất tính theo chỉ số N_{SPT} bằng các hàm tương quan mô tả trong bảng 1.1 (Phụ lục 2); V_{St} là giá trị V_S trung bình của mỗi loại đất đo được trực tiếp trong lỗ khoan của Lại Hợp Phòng và nnk [93] và V_{Ss} là giá trị V_S trung bình của mỗi loại đất chính gần bề mặt.

Bảng 5.2. Tham số mô hình khởi tạo các lớp đất gần bề mặt.

Tên lớp	Hệ tầng	Đặc điểm thạch học	V_s (m/s)	D_{min} (m)	D_{max} (m)
Lớp 1	Thái Bình 1	Sét màu nâu vàng thái dẻo cứng-dẻo mềm; Sét pha màu nâu, nâu vàng, nâu xám trạng thái dẻo cứng-dẻo mềm.	210	1	40
Lớp 2	Thái Bình 1	Cát hạt nhỏ màu xám xanh trạng thái chặt vừa; Sét pha màu nâu xám trạng thái dẻo mềm.	230	1	40

Lớp 3	Hải Hưng	Bùn sét màu xám đen, xám xanh lẫn hữu cơ trạng thái dẻo chảy - chảy.	140	1	40
Lớp 1'	Vĩnh Phúc	Sét màu xám vàng, xám trắng trạng thái dẻo cứng-dẻo mềm; Sét pha màu nâu vàng, đỏ loang lổ trạng thái dẻo cứng-nửa cứng; Cát pha xen kẹp sét pha, cát màu xám vàng, trạng thái dẻo.	245	1	60
Lớp 4	Vĩnh Phúc	Cát hạt nhỏ màu nâu, nâu vàng, trạng thái chặt-chặt vừa.	315	1	40
Lớp 5	Vĩnh Phúc	Cát hạt trung lẫn sạn, sỏi màu xám vàng, xám trắng, trạng thái rất chặt.	380	1	40
Lớp 6	Hà Nội, Lệ Chi	Cuội sỏi lẫn cát màu xám, xám vàng, xám ghi, xám nâu trạng thái rất chặt.	560	1	-

5.1.2. Tham số mô hình khởi tạo các lớp đá sâu

Từ 09 biểu đồ cấu trúc V_S 1D (Hình 3.5) xây dựng được theo số liệu đo mảng ĐĐVĐC của các nghiên cứu trước đây [56, 78]. Giá trị V_S của mỗi lớp đất, đá đã xác định được mô tả ở bảng 5.3.

Bảng 5.3 cho thấy phía dưới các lớp đất gần bề mặt là bốn lớp (được gán tương ứng là A, B, C và D) xuất hiện tại tất cả các điểm đo chứng tỏ chúng phổ biến ở khu vực nghiên cứu. Về giá trị, V_S của lớp A đạt 578 m/s phù hợp với V_S của lớp 6 đạt 560 m/s (mô tả tại bảng 5.2). Như vậy có thể khẳng định rằng lớp A ở bảng 5.3 là lớp 6 ở bảng 5.2. Do đó, thông tin của các lớp đá sâu được gán lại như sau: Lớp A là lớp 6; Lớp B là lớp 7; Lớp C là lớp 8 và lớp D là lớp 9.

Bảng 5.4 mô tả giá trị V_S và chiều dày của các lớp đá sâu sử dụng cho xây dựng mô hình khởi tạo. Đối với tham số chiều dày, do điểm đo còn thưa, để mô phỏng được đầy đủ đặc điểm cấu trúc của các lớp đá trong khu vực nghiên cứu, giới hạn chiều dày của hai lớp đá sâu nhất (lớp 8 và lớp 9) được mở rộng hơn. Khi đó tham số mô hình khởi tạo của lớp đá sâu được mô tả ở bảng 5.5.

Bảng 5.3. Giá trị vận tốc sóng ngang của các lớp đất, đá tại các điểm đo mảng dao động vi địa chấn trong khu vực nghiên cứu [56, 78].

Tên lớp	V_s (m/s)									
	<i>Wen K.L và nnk [56]</i>				<i>Nguyễn Hồng Phương và nnk [78]</i>					<i>Trung bình</i>
	A1	A2	A3	A4	A7	A8	A9	A10	A11	
Các lớp đất gần bề mặt	104	-	121	-	123	104	102	-	91	-
	187	-	-	-	170	-	-	-	-	-
	-	-	-	255	-	-	-	280	279	-
	-	216	-	220	-	-	-	-	-	-
	-	-	286	-	-	-	-	-	-	-
	-	351	-	430	-	378	365	-	420	-
Lớp A	635	627	621	627	515	517	479	638	541	578
	563	510	490	-	422	-	-	-	-	-
Lớp B	829	786	810	913	785	813	823	708	701	797
	-	-	-	-	-	-	-	905	-	-
	-	-	-	-	-	-	-	1.046	-	-
Lớp C	1.195	1.177	1.178	1.378	1.201	1.244	1.218	1.161	1.108	1.207
	-	-	-	-	-	-	1.382	-	-	-
Lớp D	1.528	1.496	1.514	1.667	1.589	1.451	1.560	1.607	-	1.551

Bảng 5.4. Giá trị vận tốc sóng ngang trung bình và giới hạn chiều dày của các lớp đá sâu.

Tên lớp	V_s (m/s)	Chiều dày (m)	
		D_{\min} (m)	D_{\max} (m)
Lớp 6	578	7	75
Lớp 7	797	1	29
Lớp 8	1.207	8	71
Lớp 9	1.551	18	820

Bảng 5.5. Tham số mô hình khởi tạo các lớp đá sâu.

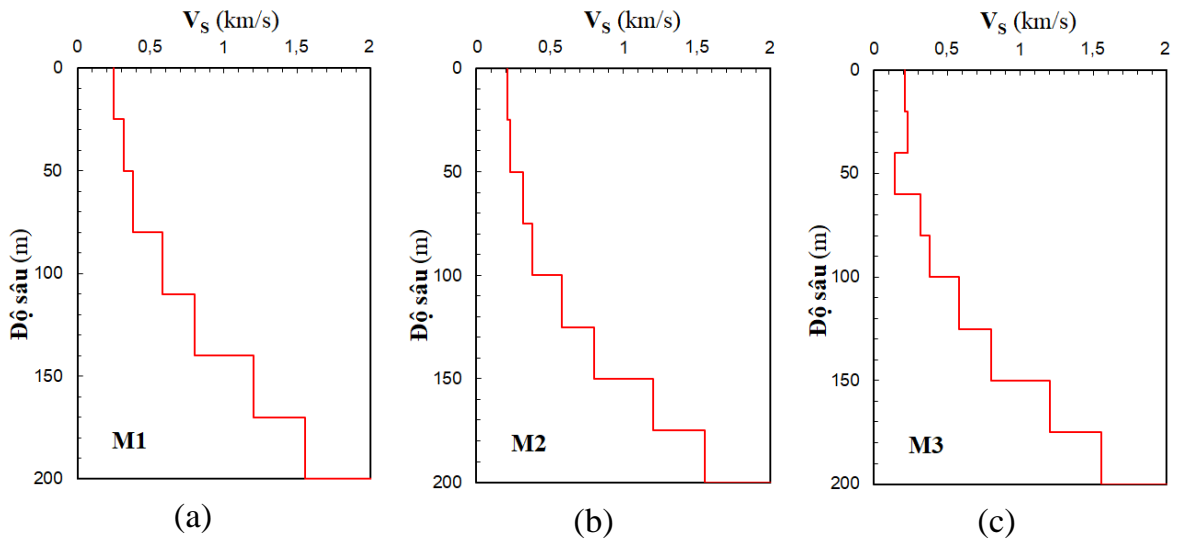
Tên lớp	Hệ tầng	Đặc điểm thạch học	Vs (m/s)	D _{min} (m)	D _{max} (m)	Ghi chú
Lớp 6	Hà Nội, Lệ Chi	Cuội sỏi lẫn cát màu xám, xám vàng, xám ghi, xám nâu trạng thái rất chặt.	580	1	80	Đo mảng
Lớp 7	Vĩnh Bảo	Đá phong hóa từ mạnh đến trung bình	800	1	60	Đo mảng
Lớp 8	Vĩnh Bảo	Đá góc mềm, ngậm nước thành phần gồm cuội kết, sạn kết, cát kết	1.200	5	1.000	Đo mảng
Lớp 9	Vĩnh Bảo, Tiên Hưng	Đá góc kết cấu rất chặt, thành phần gồm cuội kết, sạn kết, cát kết	1.550	15	1.000	Đo mảng

5.1.3. Tham số các mô hình khởi tạo

Từ các kết quả nghiên cứu ĐCCT trước đây [2, 104], khu vực nttp. Hà Nội được phân ra làm ba loại nền đất, đá đặc trưng, cụ thể là: 1- Nền loại 1, ở phía Bắc và quận Bắc Từ Liêm của khu vực nghiên cứu ứng với các hệ tầng từ trên xuống dưới lần lượt là Vĩnh Phúc, Hà Nội, Lệ Chi và đá cứng; 2- Nền loại 2, chủ yếu ở phía Tây, phía Nam và phía Đông của khu vực nghiên cứu ứng với các hệ tầng từ trên xuống dưới lần lượt là Thái Bình, Vĩnh Phúc, Hà Nội, Lệ Chi và đá cứng; 3- Nền loại 3, chủ yếu ở vùng trung tâm và quận Long Biên ứng với các hệ tầng từ trên xuống dưới lần lượt là Thái Bình, Hải Hưng, Vĩnh Phúc, Hà Nội, Lệ Chi và đá cứng. Vì vậy, để mô phỏng được đầy đủ các đặc điểm cấu trúc của khu vực nttp. Hà Nội, ba mô hình khởi tạo cũng được xây dựng tương ứng với ba loại nền đặc trưng này. Các tham số của ba mô hình khởi tạo được mô tả ở bảng 5.6, biểu đồ cấu trúc của ba mô hình khởi tạo được biểu diễn ở hình 5.1.

Bảng 5.6. Tham số các mô hình khởi tạo.

Mô hình khởi tạo 1			Mô hình khởi tạo 2			Mô hình khởi tạo 3		
Vs (m/s)	D _{min} (m)	D _{max} (m)	Vs (m/s)	D _{min} (m)	D _{max} (m)	Vs (m/s)	D _{min} (m)	D _{max} (m)
245	1	60	210	1	40	210	1	40
315	1	40	230	1	40	230	1	40
380	1	40	315	1	40	140	1	40
580	1	80	380	1	40	315	1	40
800	1	60	580	1	80	380	1	40
1.200	5	1.000	800	1	60	580	1	80
1.550	15	1.000	1.200	5	1.000	800	1	60
-	-	-	1.550	15	1.000	1.200	5	1.000
-	-	-	-	-	-	1.550	15	1.000



Hình 5.1. Các mô hình khởi tạo. (a) Mô hình khởi tạo 1; (b) Mô hình khởi tạo 2 và (c) Mô hình khởi tạo 3.

5.2. Biểu đồ cấu trúc vận tốc sóng ngang 1D lớp phủ nông khu vực ntp. Hà Nội

5.2.1. Các tham số chương trình mô phỏng

Tại mỗi điểm đo, các tham số được lựa chọn gồm:

- + Giới hạn tần số mô phỏng là miền tần số của các đỉnh trội, từ 0,1 đến 10 Hz;
- + Giá trị F_0 được xác định ở mục 4.2;

- + Độ sâu mô phỏng là 200 m;
- + Hệ số tương quan ban đầu là 0,75;
- + Mô hình khởi tạo được sử dụng tại mục 5.1.3;
- + Số lượng mô hình ngẫu nhiên là 50;
- + Số vòng lặp của một chu trình mô phỏng là 300;
- + Khoảng lấy mẫu số liệu là 0,005 giây/điểm;
- + Độ dài băng sóng mô phỏng 4096 điểm mẫu (20,48 giây);
- + Số lần làm trơn là 10.

5.2.2. *Biểu đồ cấu trúc vận tốc sóng ngang 1D tối ưu khu vực nttp. Hà Nội*

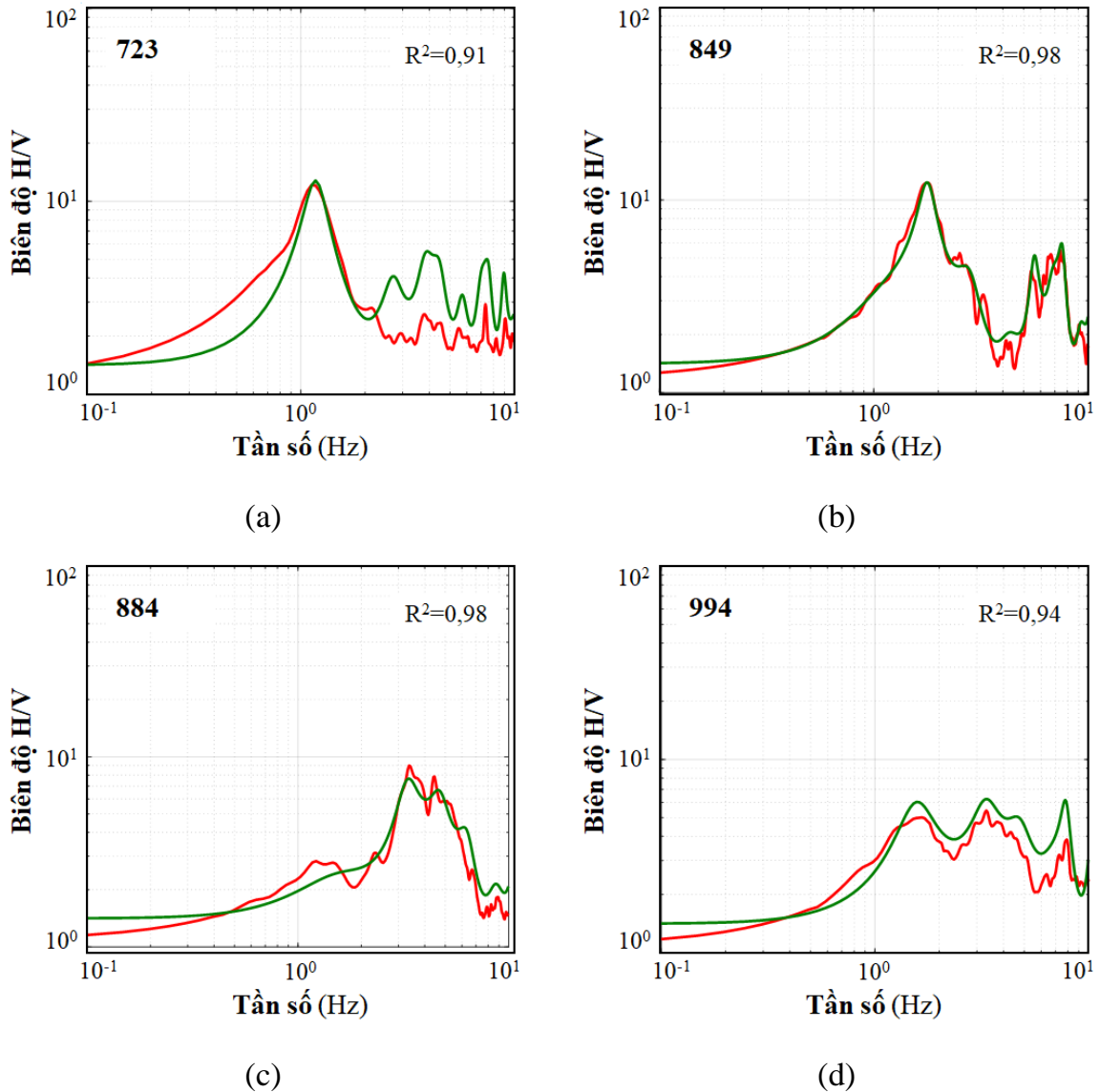
Từ 834 biểu đồ HVSR thành lập được ở mục 4.1 và 834 giá trị F_0 xác định được ở mục 4.2, 816 biểu đồ HVSR và 816 giá trị F_0 tương ứng với chất lượng tốt được lựa chọn. Dựa vào ba mô hình khởi tạo đã xây dựng ở mục 5.1.3 và áp dụng quy trình 3.3.3.2, 2448 biểu đồ cấu trúc V_S1D tối ưu được thành lập. Biểu đồ HVSR (đường cong màu đỏ) và biểu đồ sóng SH chuyển đổi (đường cong màu xanh lá cây) mô phỏng tại bốn điểm đo ĐĐVĐC một trạm điện hình (các hình vuông màu đen trong hình 3.3) được mô tả ở hình 5.2. Các biểu đồ cấu trúc V_S1D xây dựng theo ba mô hình khởi tạo tại một điểm đo ĐĐVĐC điểm hình (điểm đo 849 tại phường Minh Khai, quận Bắc Từ Liêm) được biểu diễn ở hình 5.3. Sơ đồ phân vùng hệ số tương quan giữa biểu đồ HVSR và biểu đồ sóng SH chuyển đổi được mô tả ở hình 5.4.

Hình 5.2 cho thấy kết quả mô phỏng đạt được là tốt. Đường cong màu xanh lá cây khớp với đường cong màu đỏ. Chúng không những khớp với nhau về hình dạng, vị trí đỉnh trội có biên độ lớn nhất (đỉnh trội F_0) mà còn ở các vị trí đỉnh trội có biên độ nhỏ hơn. Điều này chứng tỏ kết quả mô phỏng đạt được tại khu vực nttp. Hà Nội là tốt.

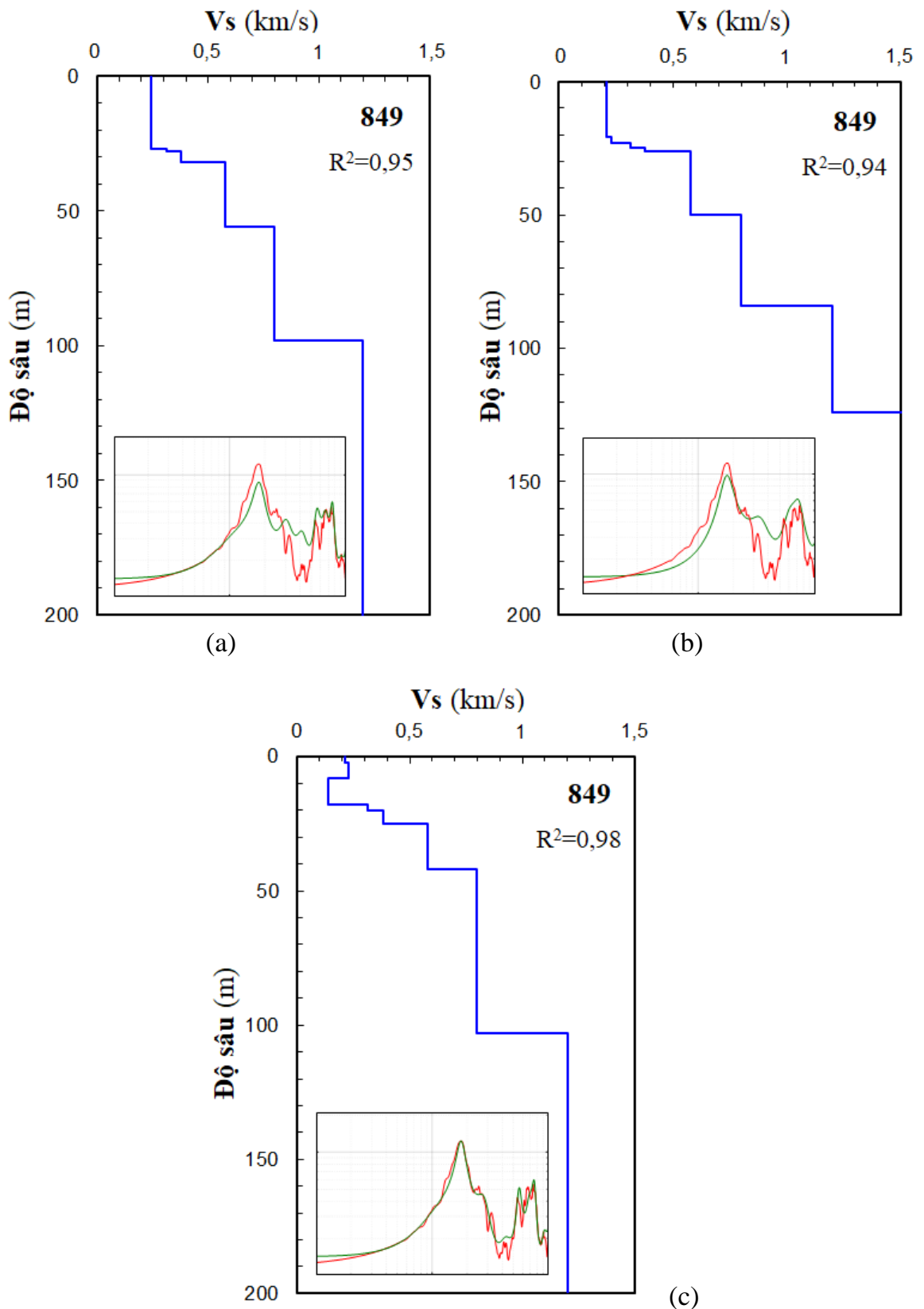
Hình 5.3 cho thấy kết quả mô phỏng theo cả ba mô hình khởi tạo đều có hệ số tương quan tốt (đạt lớn hơn 0,9), nhưng tốt nhất là mô phỏng theo mô hình khởi tạo 3 đạt 0,98, Hình 5.3c. Chiều dày lớp phủ xác định được theo các mô hình khởi tạo 1, 2 và 3 lần lượt là 56 m, 50 m và 42 m phù hợp với chiều dày theo lỗ khoan LK10.HN là 54 m (điểm đo số 2, mặt cắt tuyến đo T3-T3', Hình 4.8) ở gần đó.

Hình 5.4 cho thấy hệ số tương quan của kết quả mô phỏng tại hầu hết các vùng trong khu vực nghiên cứu đạt trên 0,80 chứng tỏ kết quả mô phỏng được là

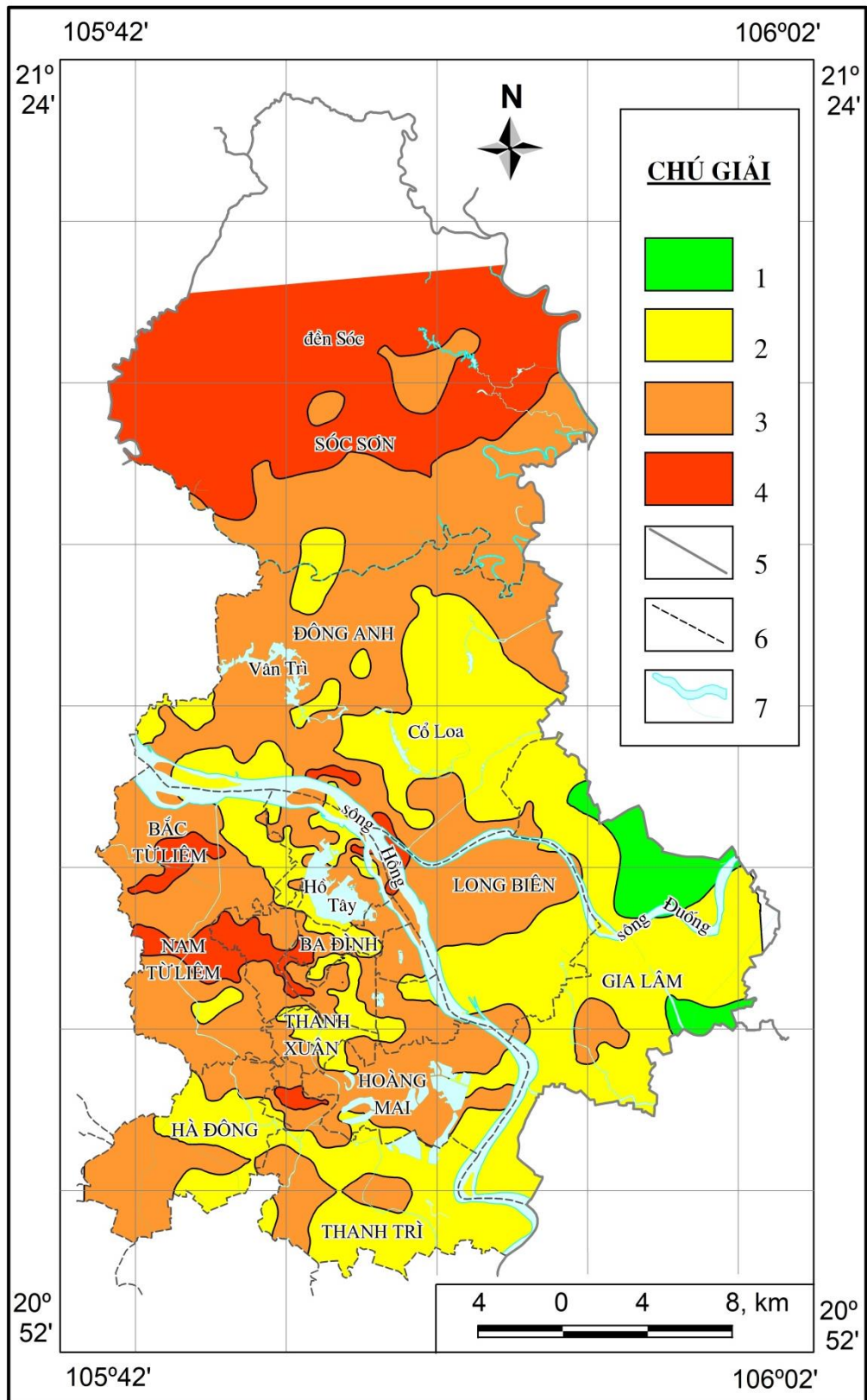
tốt. Hệ số tương quan tốt nhất đạt trên 0,90 ở phía Bắc, hệ số tương quan nhỏ nhất đạt dưới 0,70 ở phía Đông của khu vực nghiên cứu.



Hình 5.2. Các biểu đồ tỷ số phổ H/V (màu đỏ) và sóng SH chuyển đổi (màu xanh lá cây) tại bốn điểm đo dao động vi địa chấn điển hình trong khu vực nttp. Hà Nội. (a) Tại huyện Thanh Trì; (b) Tại quận Bắc Từ Liêm và (c, d) Tại huyện Sóc Sơn và R^2 là hệ số tương quan giữa biểu đồ HVSR và biểu đồ sóng SH chuyển đổi của mỗi điểm mô phỏng.



Hình 5.3. Các biểu đồ cấu trúc vận tốc sóng ngang 1D tối ưu tại một điểm đo dao động vi địa chấn một trạm điển hình mô phỏng được bằng ba mô hình khởi tạo khác nhau khu vực nttp. Hà Nội. (a) Theo mô hình khởi tạo 1; (b) Theo mô hình khởi tạo 2 và (c) Theo mô hình khởi tạo 3.



Hình 5.4. Sơ đồ phân vùng hệ số tương quan giữa biểu đồ tỷ số phổ H/V và biểu đồ sóng SH chuyển đổi khu vực nttp. Hà Nội. (1) vùng hệ số tương quan nhỏ hơn 0,7; (2) vùng hệ số tương quan từ 0,7 đến 0,8; (3) vùng hệ số tương quan từ 0,8 đến 0,9; (4) vùng hệ số tương quan lớn hơn 0,9; (5) ranh giới tỉnh; (6) ranh giới huyện và (7) sông, hồ, suối.

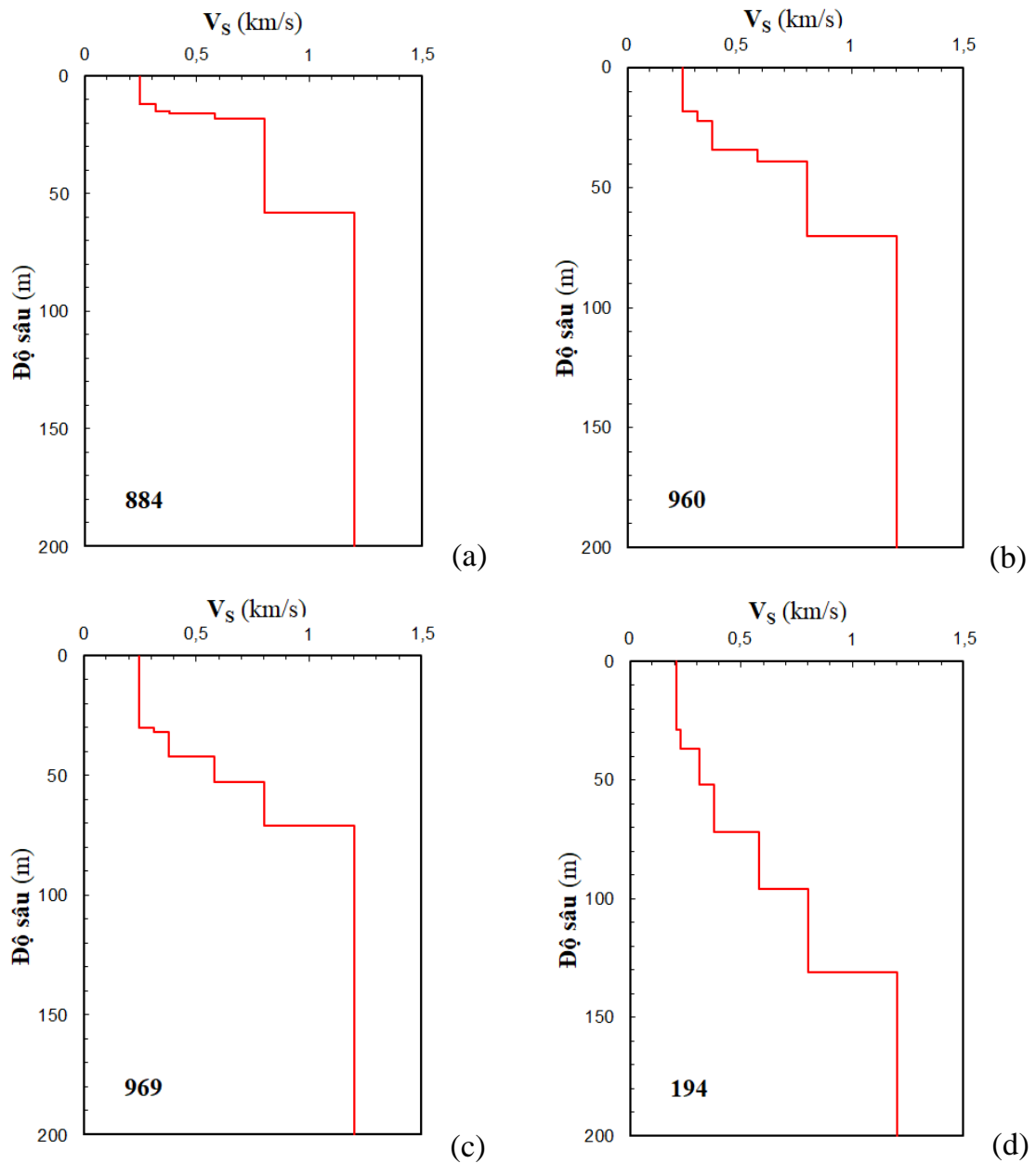
5.3. Các loại nền đất khu vực nttp. Hà Nội

5.3.1. Biểu đồ cấu trúc vận tốc sóng ngang 1D phù hợp khu vực nttp. Hà Nội

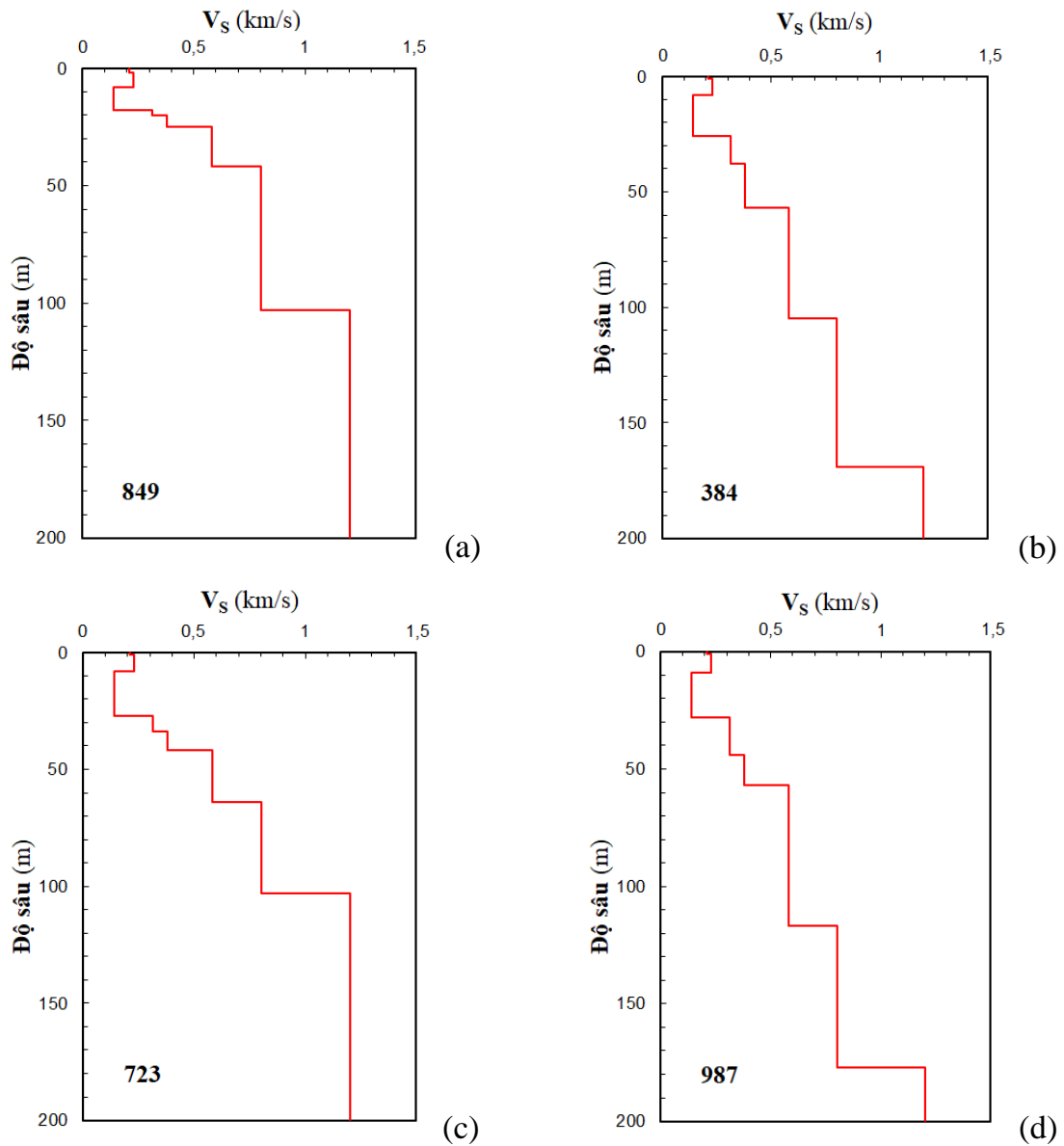
Từ 2448 biểu đồ cấu trúc V_S1D tối ưu xây dựng được ở mục 5.2.2, áp dụng quy trình 3.3.3.3, 816 biểu đồ cấu trúc V_S1D phù hợp được lựa chọn (sau đây viết tắt là biểu đồ cấu trúc V_S1D). Biểu đồ cấu trúc V_S1D đặc trưng tại vùng chân núi và vùng đồng bằng cao được mô tả ở hình 5.5 và biểu đồ cấu trúc V_S1D đặc trưng tại vùng đồng bằng thấp được mô tả ở hình 5.6.

Hình 5.5 cho thấy biểu đồ cấu trúc V_S1D tại các vùng chân núi và vùng đồng bằng cao phù hợp với mô hình khởi tạo 1 hay 2. Độ sâu ranh giới giữa lớp phủ và đá gốc xác định được phù hợp với giá trị lỗ khoan (D_K), cụ thể là: Tại điểm đo 884, độ sâu đạt 19 m, D_K đạt 14 m (điểm đo 22, tuyến đo T2-T2'); Tại điểm đo 960, độ sâu đạt 38 m, D_K đạt 30 m (điểm đo 18, tuyến đo T2-T2'); Tại điểm đo 969, độ sâu đạt 53 m, D_K đạt 50 m (điểm đo 15, tuyến đo T3-T3'); Tại điểm đo 194, độ sâu đạt 72 m, D_K đạt 70 m (điểm đo 10, tuyến đo T7-T7').

Hình 5.6 cho thấy biểu đồ cấu trúc V_S1D tại vùng đồng bằng thấp phù hợp với mô hình khởi tạo 3. Độ sâu ranh giới giữa lớp phủ và đá gốc xác định được phù hợp với giá trị lỗ khoan (D_K), cụ thể là: Tại điểm đo 849, độ sâu đạt 42 m, D_K đạt 54 m (điểm đo 2, tuyến đo T3-T3'); Tại điểm đo 384, độ sâu đạt 105 m, D_K đạt 94 m (điểm đo 20, tuyến đo T7-T7', gần lỗ khoan LK48); Tại điểm đo 723, độ sâu đạt 64 m, D_K đạt 71 m (điểm đo 9, tuyến đo T5-T5'); Tại điểm đo 987, độ sâu đạt 102 m, D_K đạt 78 m (điểm đo 18, tuyến đo T6-T6', gần lỗ khoan LK3.HN).



Hình 5.5. Các biểu đồ cấu trúc vận tốc sóng ngang 1D tại vùng chân núi và đồng bằng cao khu vực ntp. Hà Nội. (a) Vùng chân núi huyện Sóc Sơn; (b) Vùng đồng bằng cao huyện Sóc Sơn; (c) Vùng đồng bằng cao huyện Đông Anh và (d) Vùng đồng bằng cao khu Cổ Nhuế-Xuân Đình.



Hình 5.6. Các biểu đồ cấu trúc vận tốc sóng ngang 1D tại vùng đồng bằng thấp khu vực nttp. Hà Nội. (a) Vùng đồng bằng thấp quận Bắc Từ Liêm; (b) Vùng đồng bằng thấp quận Hoàn Kiếm; (c) Vùng đồng bằng thấp huyện Thanh Trì và (d) Vùng đồng bằng thấp huyện Gia Lâm.

5.3.2. Giá trị V_{S30} khu vực nttp. Hà Nội

Từ 816 biểu đồ cấu trúc V_S 1D xây dựng được ở mục 5.3.1, áp dụng quy trình 3.3.3.3, 816 giá trị V_{S30} được xác định. Giá trị V_{S30} đạt 144 đến 481 m/s. Sự phân bố giá trị V_{S30} được mô tả ở hình 5.7.

Hình 5.7 cho thấy: 1- Giá trị V_{S30} lớn nhất tại vùng núi phía Bắc huyện Sóc Sơn đạt trên 400 m/s ứng với vùng có lớp phủ nông mỏng, hay xung quanh vùng có đá gốc lộ; 2- Giá trị V_{S30} nhỏ nhất tại quận Thanh Xuân, phía Bắc quận Long Biên, dải dọc sông Hồng kéo dài từ Hồ Tây đến Yên Sở, đạt dưới 170 m/s. Kết quả này phù hợp với giá trị V_{S30} tính theo chỉ số N_{SPT} của các lỗ khoan, 28 trong tổng số 39

lỗ khoan có sai số (Err) nhỏ hơn hay bằng 10% (Phụ lục 3) và kết quả của các nghiên cứu khác [78, 80, 93, 105, 113], cụ thể là:

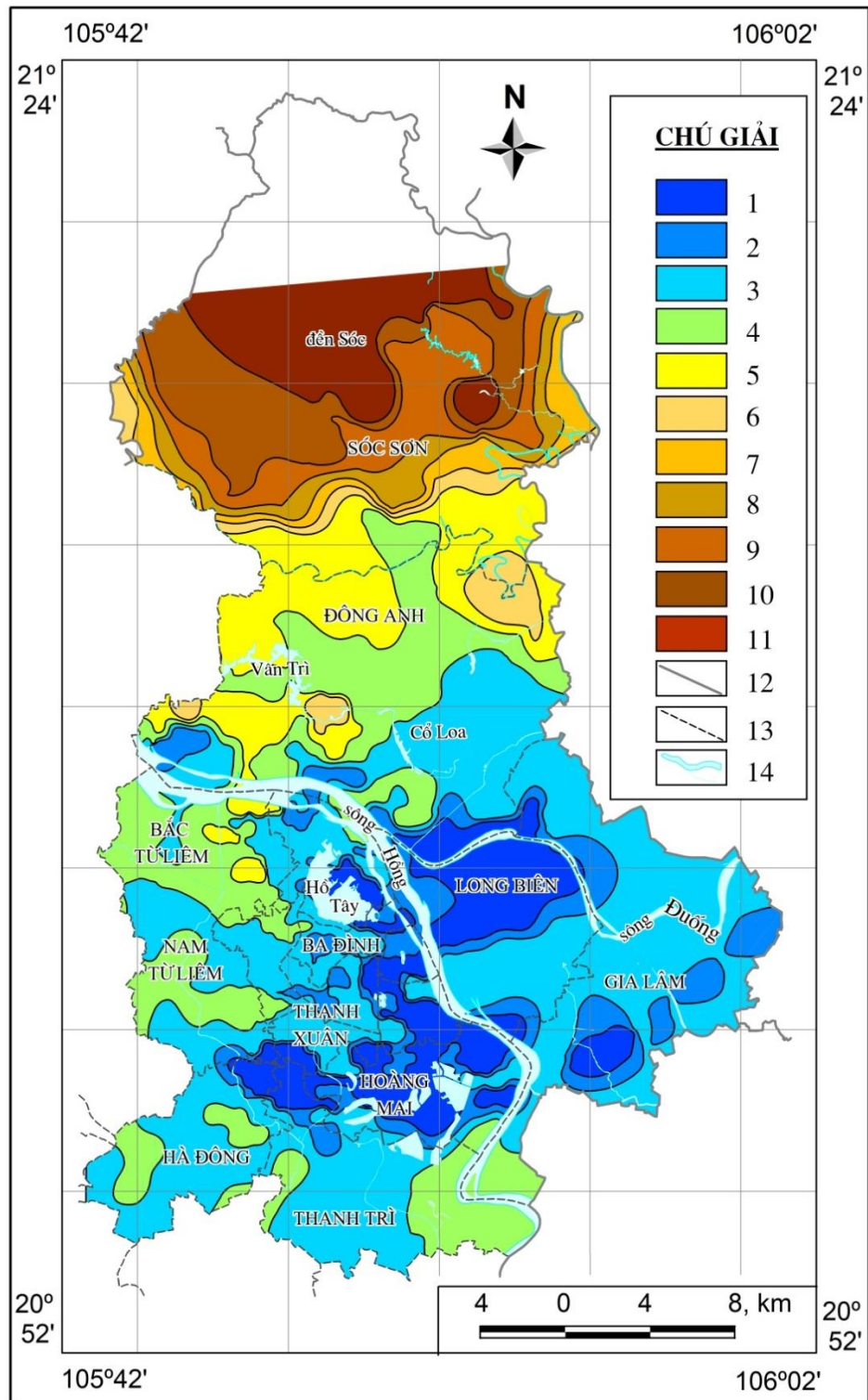
(1) Đối với kết quả của Nguyễn Hồng Phương và nnk [78], giá trị V_{S30} tính được theo kỹ thuật mô phỏng biểu đồ HVSR bằng GA, cho thấy hầu hết các giá trị là phù hợp. Sự khác nhau chủ yếu tại 20 điểm đo có giá trị V_S tăng nhanh bất thường tại một vài lớp đất gần bề mặt làm cho giá trị V_{S30} lớn (trên 500 m/s) ứng với nền loại B, còn ở nghiên cứu này giá trị V_{S30} nhỏ hơn (dưới 300 m/s) ứng với nền loại C hay D. Phần lớn các điểm đo này phân bố ở vùng trung tâm của khu vực nghiên cứu nơi có nền đất yếu, ứng với giá trị V_{S30} thấp. Do vậy, giá trị V_{S30} lớn hơn 500 m/s là không hợp lý. Sự gia tăng bất thường giá trị V_S là do việc lựa chọn dải tần số mô phỏng trong nghiên cứu của Nguyễn Hồng Phương và nnk [78] là quá rộng (từ 0,01 đến 30 Hz) và mô hình khởi tạo sử dụng vẫn chưa thực sự phù hợp với điều kiện ĐCCT của khu vực nghiên cứu. Vì vậy, giới hạn tần số mô phỏng và mô hình khởi tạo được xây dựng lại trong nghiên cứu này.

(2) Đối với kết quả của Nguyễn Sinh Minh và nnk [80], giá trị V_{S30} xác định được tại quận Hà Đông đạt 171 đến 254 m/s ứng với nền loại C và D cũng phù hợp với kết quả này đạt 165 đến 229 m/s ứng với nền loại C và D.

(3) Đối với nghiên cứu của Lại Hợp Phòng và nnk [93], giá trị V_{S30} đo tại khu đô thị Starlake-Tây Hồ và Mỹ Đình-Nam Từ Liêm lần lượt là 272 m/s và 186 m/s ứng với nền loại C phù hợp với kết quả này (lần lượt là 236 m/s và 207 m/s) cũng ứng với nền loại C.

(4) Đối với kết quả của Trịnh Việt Bắc và nnk [105], sự khác nhau chủ yếu tại 3 điểm thuộc khu vực Kim Mã-Ba Đình, Liễu Giai-Ba Đình và Chùa Bộc-Đống Đa giá trị V_{S30} của Trịnh Việt Bắc và nnk lần lượt đạt 379 m/s, 564 m/s và 407 m/s ứng với nền loại B còn kết quả này (lần lượt đạt 223 m/s, 205 m/s và 212 m/s) ứng với nền loại C. Để làm rõ sự khác nhau này, 03 lỗ khoan của Nguyễn Huy Phương và nnk [104] gần các điểm đo này được sử dụng. Giá trị V_{S30} tính được tại lỗ khoan BĐ-25 (cách điểm Kim Mã khoảng 280 m), BĐ-26 (cách điểm Liễu Giai khoảng 120 m) và ĐĐ-75 (cách điểm Chùa Bộc khoảng 620 m) lần lượt là 233 m/s, 251 m/s và 196 m/s (Phụ lục 3) ứng với nền loại C và phù hợp với nghiên cứu này. Tuy nhiên, để làm rõ được sự khác nhau này cần bổ sung thêm kỹ thuật khảo sát địa vật lý khác đặc biệt là đo địa chấn lỗ khoan hay PS-logging.

(5) Đối với kết quả của Trần Thị Mỹ Thành và nnk [113], giá trị V_{S30} đo tại xã Vân Nội huyện Đông Anh bằng kỹ thuật SPAC đạt 302 m/s ứng với nền loại C phù hợp với nghiên cứu này là 312 m/s cũng ứng với nền loại C.

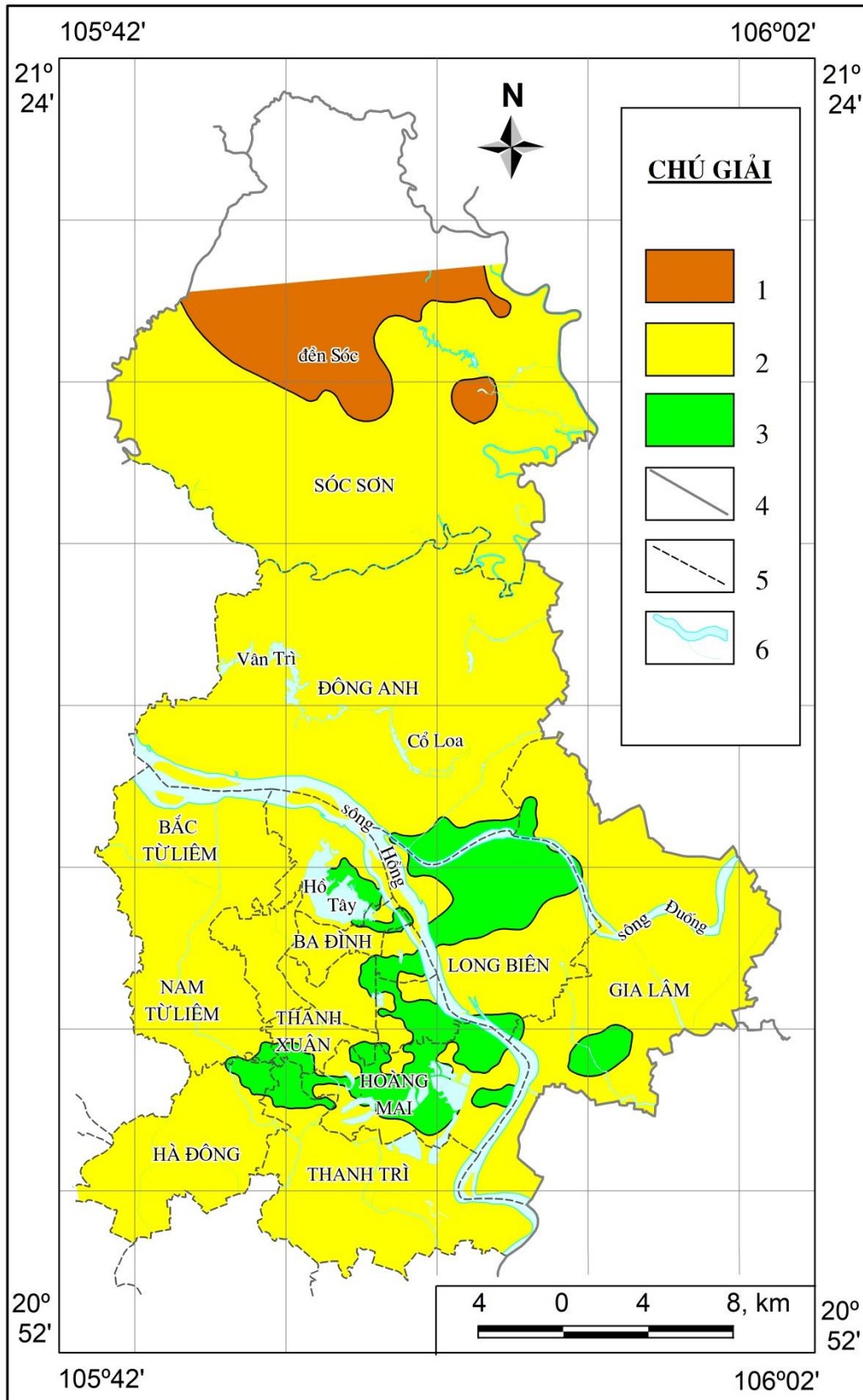


Hình 5.7. Sơ đồ phân vùng giá trị V_{S30} khu vực ntp. Hà Nội. (1) vùng V_{S30} nhỏ hơn 180 m/s; (2) vùng V_{S30} từ 180 đến 200 m/s; (3) vùng V_{S30} từ 200 đến 220 m/s; (4) vùng V_{S30} từ 220 đến 240 m/s; (5) vùng V_{S30} từ 240 đến 260 m/s; (6) vùng V_{S30} từ 260 đến 280 m/s; (7) vùng V_{S30} từ 280 đến 300 m/s; (8) vùng V_{S30} từ 300 đến 320 m/s; (9) vùng V_{S30} từ 320 đến 340 m/s; (10) vùng V_{S30} từ 340 đến 360 m/s; (11) vùng V_{S30} lớn hơn 360 m/s; (12) ranh giới tỉnh; (13) ranh giới huyện và (14) sông, hồ, suối.

5.3.3. Sơ đồ phân loại nền đất khu vực nttp. Hà Nội

Từ 816 giá trị V_{S30} xác định được ở mục 5.3.2, áp dụng quy trình 3.3.3.3, khu vực nghiên cứu được chia ra làm ba loại nền đất khác nhau: 1- Nền đất loại B ứng với vùng có V_{S30} từ 360 đến 800 m/s; 2- Nền đất loại C ứng với vùng có V_{S30} từ 180 đến 360 m/s và 3- Nền đất loại D ứng với vùng có V_{S30} nhỏ hơn 180 m/s (Hình 5.8).

Hình 5.8 cho thấy: 1- Nền đất loại B, xuất hiện tại các vùng núi và đồng bằng rìa chân núi ở phía Bắc huyện Sóc Sơn, ứng với vùng có đá lộ, đá phong hóa đập vỡ mạnh hay vùng có chiều dày lớp phủ nông nhỏ hơn 30 m; 2- Nền đất loại C, chiếm hầu hết vùng đồng bằng, ứng với vùng có chiều dày lớp phủ nông lớn hơn 30 m; 3- Nền đất loại D, xuất hiện tại phía Bắc quận Long Biên, phía Nam quận Thanh Xuân, dải dọc sông Hồng kéo dài từ Hồ Tây đến Yên Sở và một vùng nhỏ thuộc huyện Đông Anh, ứng với vùng có lớp đất yếu dày thuộc hệ tầng Hải Hưng. Kết quả nghiên cứu này cơ bản phù hợp với kết quả phân loại nền đất dựa vào hay liên quan đến số liệu, tài liệu ĐCCT trong các nghiên cứu trước đây [6, 71, 78, 81, 105, 113, 114] đó là khu vực phía Bắc là vùng đất, đá cứng ứng với giá trị V_{S30} cao, các quận trung tâm gồm Ba Đình, Hoàn Kiếm, Đống Đa, Hai Bà Trưng, Thanh Xuân, Hoàng Mai và Long Biên là vùng đất yếu ứng với V_{S30} thấp. Tuy nhiên, khi xét đến nền đất của một vùng cụ thể thì kết quả này lại khác khá nhiều. Sự khác nhau là do các nghiên cứu trước đây [6, 71, 81, 105, 114] phân chia nền đất theo quan điểm ĐCCT đó là dựa vào đặc điểm thạch học và trạng thái của các loại đất, đá để phân chúng ra thành các khu, phân khu (thuận lợi cho việc xây dựng) hay thực hiện phép đo cho một loại đất đặc trưng rồi gán giá trị đó cho các loại đất có tính chất tương đồng, còn nghiên cứu này nền đất được phân loại theo giá trị V_{S30} . Đây là cách phân loại mới, thuận lợi cho tính toán số. Với cách phân loại mới này dễ dàng ước lượng HUND hay đánh giá rủi ro động đất theo định lượng.



Hình 5.8. Sơ đồ phân loại nền đất khu vực ntp. Hà Nội. (1) nền loại B ứng với V_{S30} từ 360 đến 800 m/s; (2) nền loại C ứng với V_{S30} từ 180 đến 360 m/s; (3) nền loại D ứng với V_{S30} nhỏ hơn 180 m/s; (4) ranh giới tỉnh; (5) ranh giới huyện và (6) sông, hồ, suối.

5.4. Hệ số khuếch đại dao động nền khu vực nttp. Hà Nội

5.4.1. Tham số các kịch bản động đất

Nghiên cứu này chủ yếu tập trung vào nghiên cứu HUNĐ, vì thế các trận động đất sử dụng làm kịch bản phải có vị trí chấn tâm (vùng cực động) nằm ngoài khu vực nghiên cứu nhưng cường độ chấn động của nó vẫn còn gây ảnh hưởng đến khu vực nghiên cứu. Ngoài ra, để thuận lợi cho tính toán sự khuếch đại dao động nền, mô hình tính toán áp dụng là nguồn điểm. Trên cơ sở danh mục động đất của các nghiên cứu trước đây [65, 67] và cập nhật thêm đến năm 2019, ba trận động đất được chọn là động đất Thanh Hóa 1635, động đất Vĩnh Phúc 1958 và động đất Bắc Giang 1961 (Hình 5.9).

Hình 5.9 cho thấy vị trí chấn tâm của các trận động đất này nằm về ba phía của khu vực nghiên cứu. Vì vậy, giá trị dao động nền (cường độ chấn động) tính được sẽ phản ánh rõ hơn HUNĐ trong khu vực nghiên cứu. Các thông tin của ba trận động đất này được sử dụng để xây dựng các kịch bản động đất phục vụ tính hệ số khuếch đại dao động nền (K) khu vực nttp. Hà Nội.

- *Tham số kịch bản động đất 1*

Động đất Thanh Hóa 1635, thuộc phía Nam của khu vực nghiên cứu, cách trung tâm vùng nghiên cứu khoảng 104 km (Hình 5.9). Chấn động của nó có thể gây ra trong khu vực nghiên cứu đạt cấp V-VI (thang MSK-64), xu hướng giảm dần từ phía Nam lên phía Bắc. Các tham số kịch bản động đất gồm:

1/ Thông tin trận động đất: Từ M_S là 6,7, áp dụng công thức (2.50) tìm được M_W là 6,8, áp dụng công thức (2.51) tìm được Z_{TOR} là 1 km, tọa độ chấn tâm (vĩ độ $20,12^{\circ}N$ kinh độ $105,65^{\circ}E$) [65, 67].

2/ Tham số vùng nguồn: Từ các tham số độ sâu đứt gãy (h_F) là 30 km, góc dốc (δ) là 80° [115, 116] và mô hình áp dụng là đứt gãy trượt bằng thuận với điểm đo nằm trên cánh treo (Hình 2.7a).

3/ Đối với tham số độ sâu chấn tiêu (h_E) là 24 km [65, 67], tham số này chưa được xác định bằng máy nên cần phải được hiệu chỉnh. Để hiệu chỉnh, cường độ chấn động của một trận động đất tương tự sẽ được so sánh với cường độ chấn động tính theo các độ sâu chấn tiêu giả định khác nhau (từ mặt đất đến đáy đứt gãy). Trận động đất tương tự được lựa chọn là động đất Tuần Giáo 1983 với M_S là 6,8, cường độ chấn động đạt cấp V đến VI (thang MSK-64) ở khu vực với khoảng cách tương

đương với khu vực nghiên cứu (Hình 1.6). Cường độ chấn động tính bằng công thức (2.38) tại 05 điểm kiểm nghiệm trong hình 5.9 ứng với các độ sâu chấn tiêu giả định khác nhau được mô tả ở bảng 5.7. Bảng 5.7 cho thấy, tất cả các giá trị tính toán theo các độ sâu chấn tiêu giả định khác nhau đều phù hợp. Do đó, tham số h_E trong kịch bản động đất là giá trị trung bình của các độ sâu chấn tiêu này tương ứng với 18 km.

4/ Từ tham số h_E , tọa độ chấn tâm và tọa độ điểm đo, áp dụng công thức (2.52) các giá trị R_X , R_{RUP} , R_{JB} được xác định cho mỗi điểm đo DĐVĐC một trạm tương ứng.

- *Tham số kịch bản động đất 2*

Động đất Vĩnh Phúc 1958, xác định được từ mạng trạm địa chấn phía Nam của Trung Quốc, nằm ở phía Tây Bắc của khu vực nghiên cứu, cách trung tâm vùng nghiên cứu khoảng 43 km (Hình 5.9). Chấn động của nó gây ra trong khu vực nghiên cứu đạt cấp V (thang MSK-64), với xu hướng giảm dần từ phía Tây Bắc sang phía Đông Nam. Các tham số kịch bản động đất gồm:

1/ Thông tin trận động đất: Từ M_S là 5,3, áp dụng công thức (2.50) tìm được M_W là 5,6 và công thức (2.51) tìm được Z_{TOR} là 5 km, tọa độ chấn tâm (vĩ độ $21,25^0N$ kinh độ $105,50^0E$) [6, 67].

2/ Tham số vùng nguồn: Từ các tham số độ sâu đứt gãy (h_F) là 30 km, góc dốc (δ) là 75^0 [6] và mô hình áp dụng là đứt gãy trượt bằng với điểm đo nằm trên cánh treo (Hình 2.7c).

3/ Đối với tham số độ sâu chấn tiêu (h_E) là 20 km [6, 67], tham số này được xác định bằng mạng trạm địa chấn cách xa vị trí chấn tâm nên nó cũng cần phải được hiệu chỉnh. Cường độ chấn động theo điều tra thực tế [6] đạt cấp V (thang MSK-64) (Hình 1.4). Cường độ chấn động tính bằng công thức (2.38) tại 05 điểm kiểm nghiệm trong hình 5.9 theo các độ sâu chấn tiêu giả định khác nhau được mô tả ở bảng 5.7. Bảng 5.7 cho thấy, hầu hết các giá trị tính được theo độ sâu chấn tiêu giả định từ 15 đến 30 km là phù hợp. Do đó, tham số h_E trong kịch bản động đất 2 sử dụng là giá trị trung bình của giới hạn độ sâu này tương ứng với 22 km.

4/ Từ tham số h_E , tọa độ chấn tâm và tọa độ điểm đo, áp dụng công thức (2.54) các giá trị R_X , R_{RUP} , R_{JB} được xác định cho mỗi điểm đo DĐVĐC một trạm tương ứng.

- *Tham số kịch bản động đất 3*

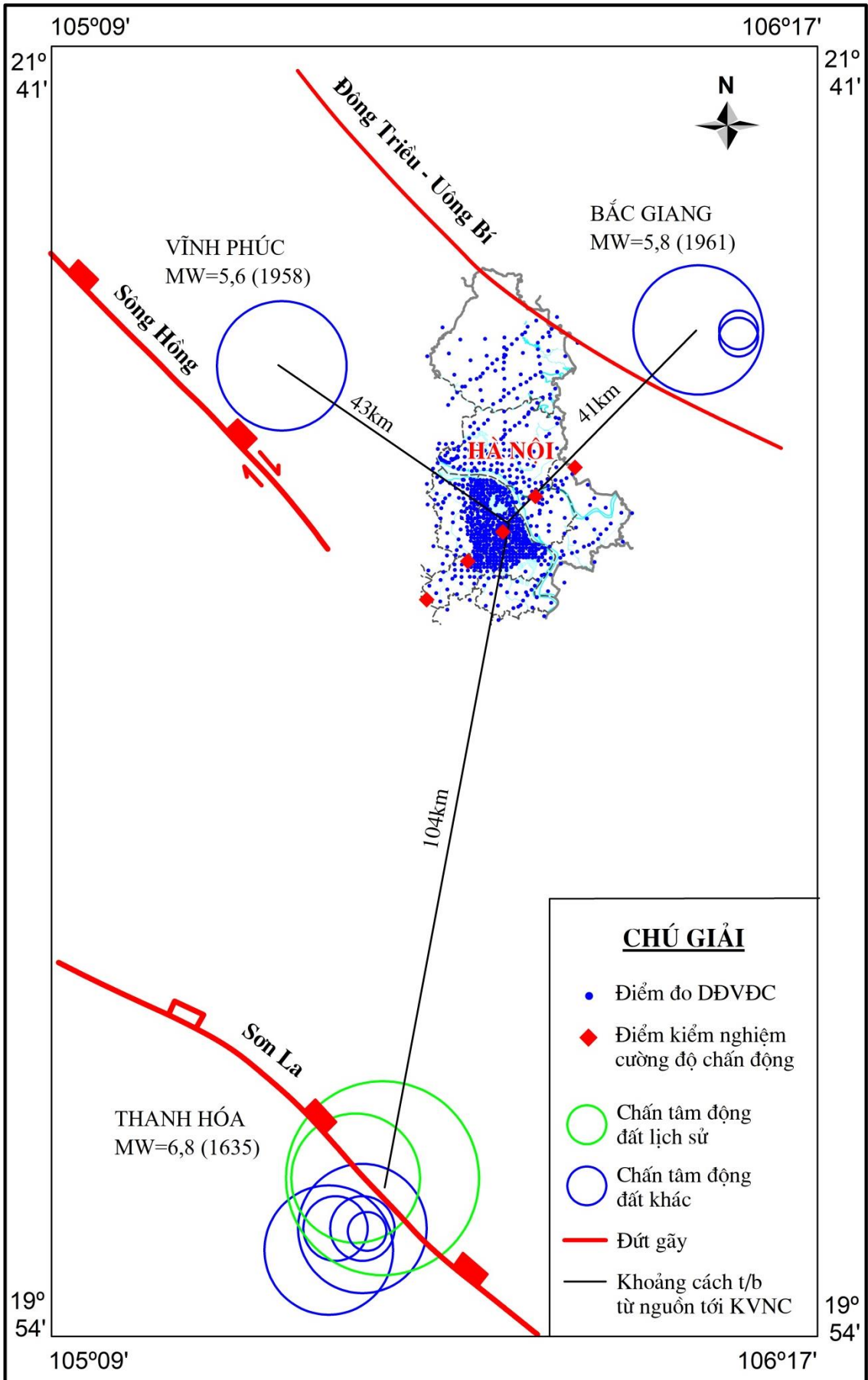
Động đất Bắc Giang 1961, xác định từ mạng trạm địa chấn của Trung Quốc và các trạm quốc tế khác, nằm ở phía Đông Bắc của khu vực nghiên cứu, cách trung tâm vùng nghiên cứu khoảng 41 km (Hình 5.9). Chấn động của nó gây ra trong khu vực nghiên cứu đạt cấp VI-VII (thang MSK-64), xu hướng giảm dần từ Đông Bắc xuống Tây Nam (Hình 1.5). Các tham số kịch bản động đất gồm:

1/ Thông tin trận động đất: Từ M_S là 5,6, áp dụng công thức (2.50) tìm được M_W là 5,8 và công thức (2.51) tìm được Z_{TOR} là 5 km, tọa độ chấn tâm (vĩ độ $21,30^0N$, kinh độ $106,12^0E$) [65, 67].

2/ Tham số vùng nguồn: Từ các tham số độ sâu đứt gãy (h_F) là 24 km, góc dốc (δ) là 60^0 [115, 116], mô hình áp dụng là đứt gãy nghịch với điểm đo nằm trên cánh nằm (Hình 2.7b).

3/ Đối với tham số độ sâu chấn tiêu (h_E) là 28 km [65, 67], tham số này được xác định bằng mạng trạm địa chấn cách xa vị trí chấn tâm nên nó cũng cần được hiệu chỉnh. Cường độ chấn động theo điều tra thực tế [65] trong khu vực nghiên cứu đạt cấp VI (thang MSK-64) (Hình 3.11). Cường độ chấn động tính bằng công thức (2.38) tại 05 điểm kiểm nghiệm theo các độ sâu chấn tiêu giả định khác nhau được mô tả ở bảng 5.7. Bảng 5.7 cho thấy, các giá trị tính theo các độ sâu chấn tiêu giả định từ 5 đến 11 km là phù hợp. Do đó, tham số h_E trong kịch bản động đất 3 sử dụng là giá trị trung bình của giới hạn độ sâu này tương ứng là 8 km.

4/ Từ tham số h_E , tọa độ chấn tâm và tọa độ điểm đo, áp dụng công thức (2.53) các giá trị R_X , R_{RUP} , R_{JB} được xác định cho mỗi điểm đo ĐĐVĐC một trạm tương ứng.



Hình 5.9. Sơ đồ phân bố các vùng nguồn phát sinh động đất, vị trí chấn tâm và vị trí điểm kiểm nghiệm cường độ chấn động.

Bảng 5.7: Các giá trị dao động nền và cấp chấn động tại 05 điểm kiểm nghiệm tính bằng 03 kịch bản động đất theo độ sâu chấn tiêu giả định khác nhau.

Độ sâu chấn tiêu (km)	915 (Sóc Sơn)		203 (Long Biên)		426 (Đống Đa)		667 (Thanh Xuân)		808 (Hà Đông)	
	GM _R	I	GM _R	I	GM _R	I	GM _R	I	GM _R	I
	(g)		(g)		(g)		(g)		(g)	
Kịch bản động đất 1										
5	0,027	V	0,028	V	0,030	VI	0,032	VI	0,034	VI
10	0,027	V	0,028	V	0,030	VI	0,031	VI	0,033	VI
18	0,026	V	0,028	V	0,029	V	0,031	VI	0,033	VI
24	0,026	V	0,028	V	0,029	V	0,031	VI	0,033	VI
Kịch bản động đất 2										
5	0,031	VI	0,034	VI	0,035	VI	0,036	VI	0,036	VI
10	0,030	VI	0,033	VI	0,034	VI	0,035	VI	0,034	VI
15	0,029	V	0,032	VI	0,033	VI	0,034	VI	0,033	VI
20	0,028	V	0,031	VI	0,032	VI	0,033	VI	0,032	VI
22	0,028	V	0,031	VI	0,032	VI	0,032	VI	0,032	VI
25	0,028	V	0,030	VI	0,031	VI	0,032	VI	0,031	VI
30	0,027	V	0,029	V	0,030	VI	0,031	VI	0,030	VI
Kịch bản động đất 3										
5	0,063	VII	0,049	VI	0,039	VI	0,033	VI	0,028	V
6	0,063	VII	0,049	VI	0,039	VI	0,033	VI	0,028	V
8	0,065	VII	0,050	VI	0,041	VI	0,034	VI	0,029	V
11	0,070	VII	0,053	VI	0,043	VI	0,036	VI	0,030	VI
17	0,082	VII	0,060	VII	0,047	VI	0,039	VI	0,032	VI
28	0,114	VII	0,078	VII	0,058	VI	0,046	VI	0,037	VI

Ghi chú: GM_R là giá trị dao động nền theo phương ngang tại mặt đá cứng có V_{S30} là 800 m/s tính được bằng công thức (2.38); I là cường độ chấn động theo thang MSK-64.

5.4.2. Hệ số khuếch đại dao động nền của kịch bản động đất 1 khu vực nttp. Hà Nội

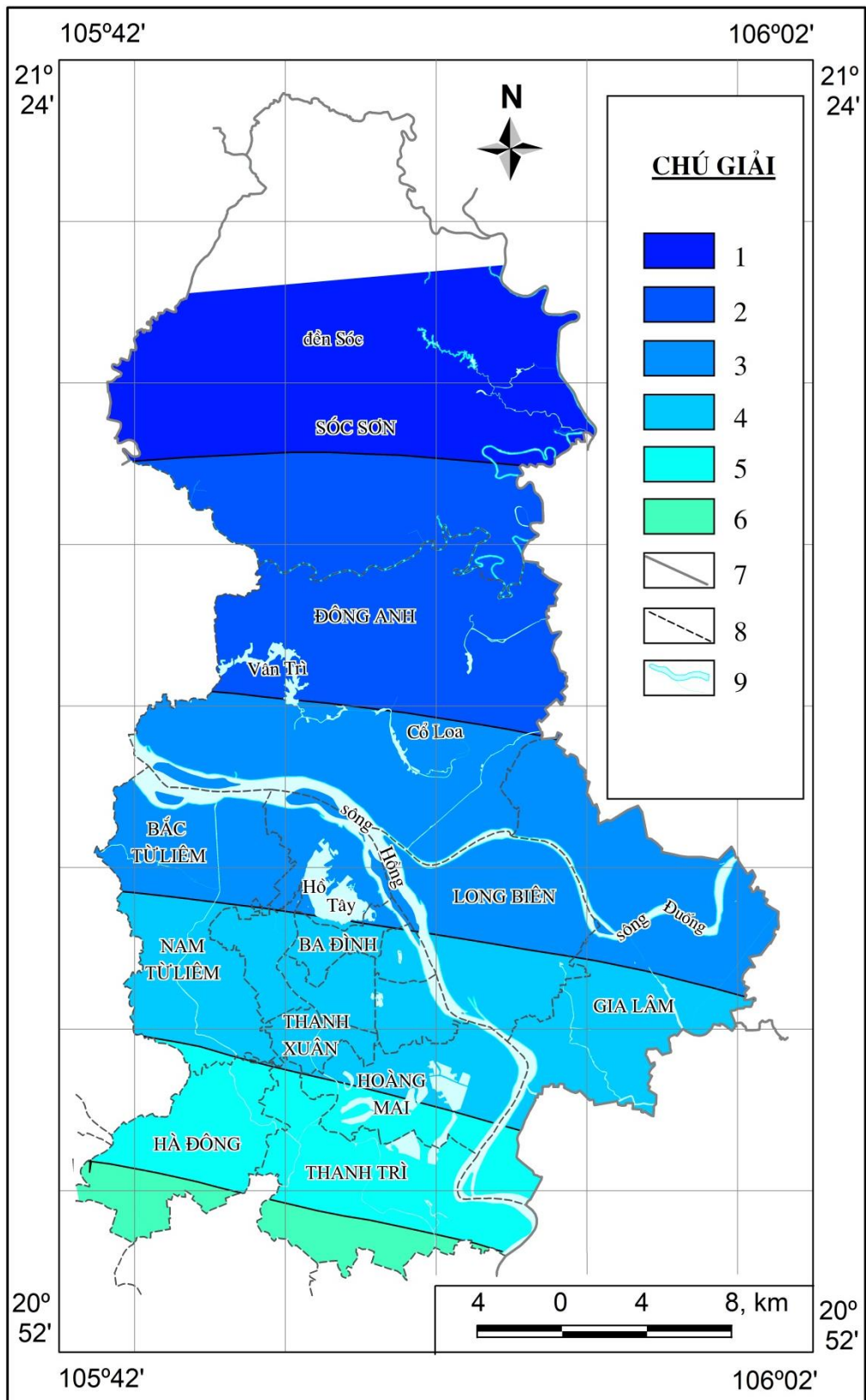
Từ các tham số của kịch bản động đất 1 tìm được ở mục 5.4.1, áp dụng quy trình 3.3.3.4, 816 giá trị GM_R của kịch bản động đất 1 (GM_{R1}) và 816 giá trị GM_S của kịch bản động đất 1 (GM_{S1}) tính được tại mỗi điểm đo ĐĐVĐC một trạm. Sơ đồ phân vùng các giá trị GM_{R1} và GM_{S1} được mô tả ở hình 5.10 và 5.11. Từ 816 cặp giá trị GM_{R1} và GM_{S1} , 816 giá trị hệ số khuếch đại dao động nền của kịch bản động đất 1 (K_1) tính được tại mỗi điểm đo ĐĐVĐC một trạm tương ứng. Sơ đồ phân vùng các giá trị K_1 được mô tả ở hình 5.12. Từ 816 giá trị K_1 và các loại nền đất được phân loại ở mục 5.3.3, giá trị K_1 trung bình của kịch bản động đất 1 (K_{1tb}) tính được cho các loại nền B, C, D lần lượt là 1,28, 1,48, 1,68 (Bảng 5.8). Dựa vào 816 giá trị V_{S30} tính được ở mục 5.3.2 và 816 giá trị K_1 , biểu đồ tương quan giữa V_{S30} và K_1 đã xây dựng được mô tả ở hình 5.13.

Hình 5.10 cho thấy giá trị GM_{R1} lớn nhất tại vùng phía Nam (vùng gần chấn tâm) đạt trên 30 cm/s^2 tương ứng với cấp VI (thang MSK-64), sau đó giảm đều lên phía Bắc đạt dưới 23 cm/s^2 tương ứng với cấp V (thang MSK-64). Sự thay đổi này cũng phù hợp với kết quả điều tra động đất Tuần Giáo 1983 [65] có đặc điểm tương tự như kịch bản động đất này đó là chấn động đạt cấp V đến VI (thang MSK-64) ở vùng cách chấn tâm khoảng 100 km.

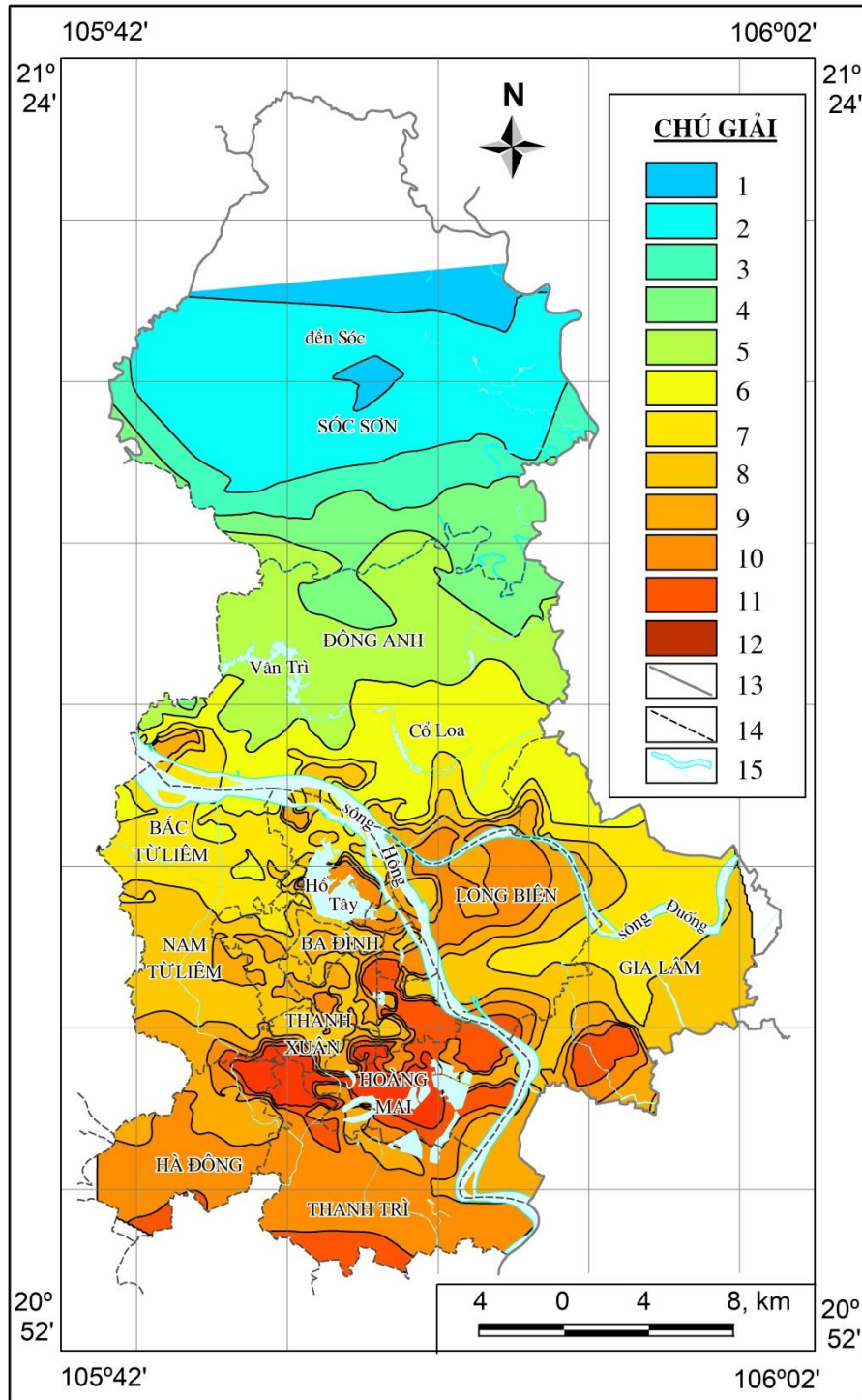
Hình 5.11 cho thấy giá trị GM_{S1} lớn nhất tại khu vực quận Thanh Xuân, quận Hoàng Mai, dải dọc sông Hồng kéo dài từ Hồ Tây đến Yên Sở và phần phía Bắc quận Long Biên đạt trên 45 cm/s^2 tương ứng với cấp VI (thang MSK-64) sau đó giảm dần lên phía Bắc đạt dưới 30 cm/s^2 tương ứng với cấp V (thang MSK-64). HUNĐ nhận thấy rõ tại vùng đất yếu thuộc quận Thanh Xuân, Hoàng Mai và phía Bắc quận Long Biên cách xa hơn quận Hà Đông và huyện Thanh Trì nhưng giá trị GM_{S1} lại lớn hơn (khoảng 4 cm/s^2).

Hình 5.12 cho thấy K_1 lớn nhất tại khu vực trung tâm gồm quận Thanh Xuân, quận Hoàng Mai, quận Long Biên và dải dọc sông Hồng kéo dài từ Hồ Tây đến Yên Sở đạt trên 1,6 lần, khu vực vùng núi phía Bắc có K_1 nhỏ nhất đạt dưới 1,3 lần. Kết quả này cũng phù hợp với các tiêu chuẩn xây dựng [84, 99, 100] đó là ở các khu vực là đá, đất chặt (ở phía Bắc) có K_1 nhỏ hơn khu vực là đất yếu (ở các quận trung tâm).

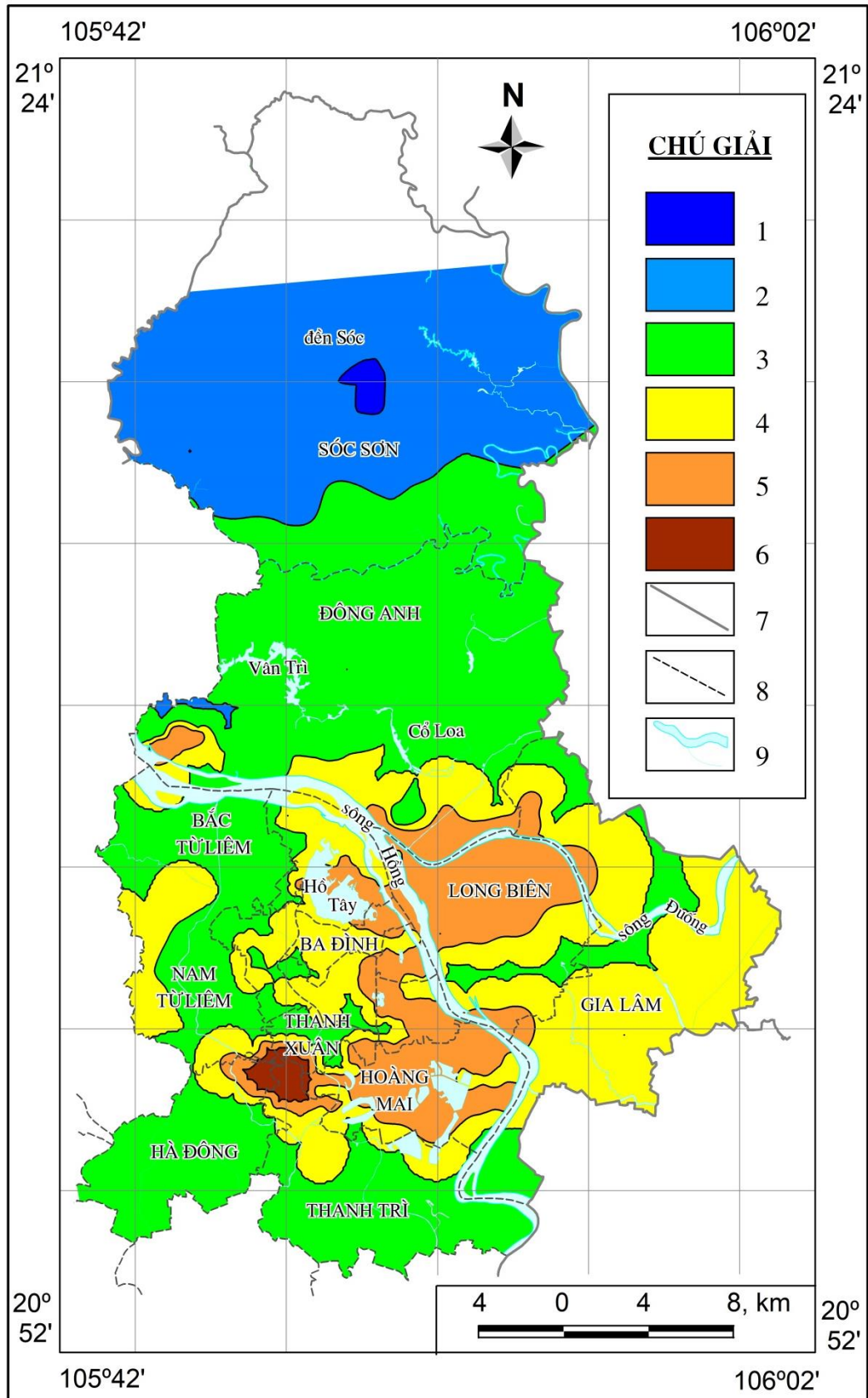
Hình 5.13 cho thấy hệ số tương quan giữa V_{S30} và K_1 đạt 0,94 khẳng định sự khuếch đại dao động nền của kịch bản động đất 1 khu vực nttp. Hà Nội chủ yếu là do ảnh hưởng ĐKNĐ địa phương.



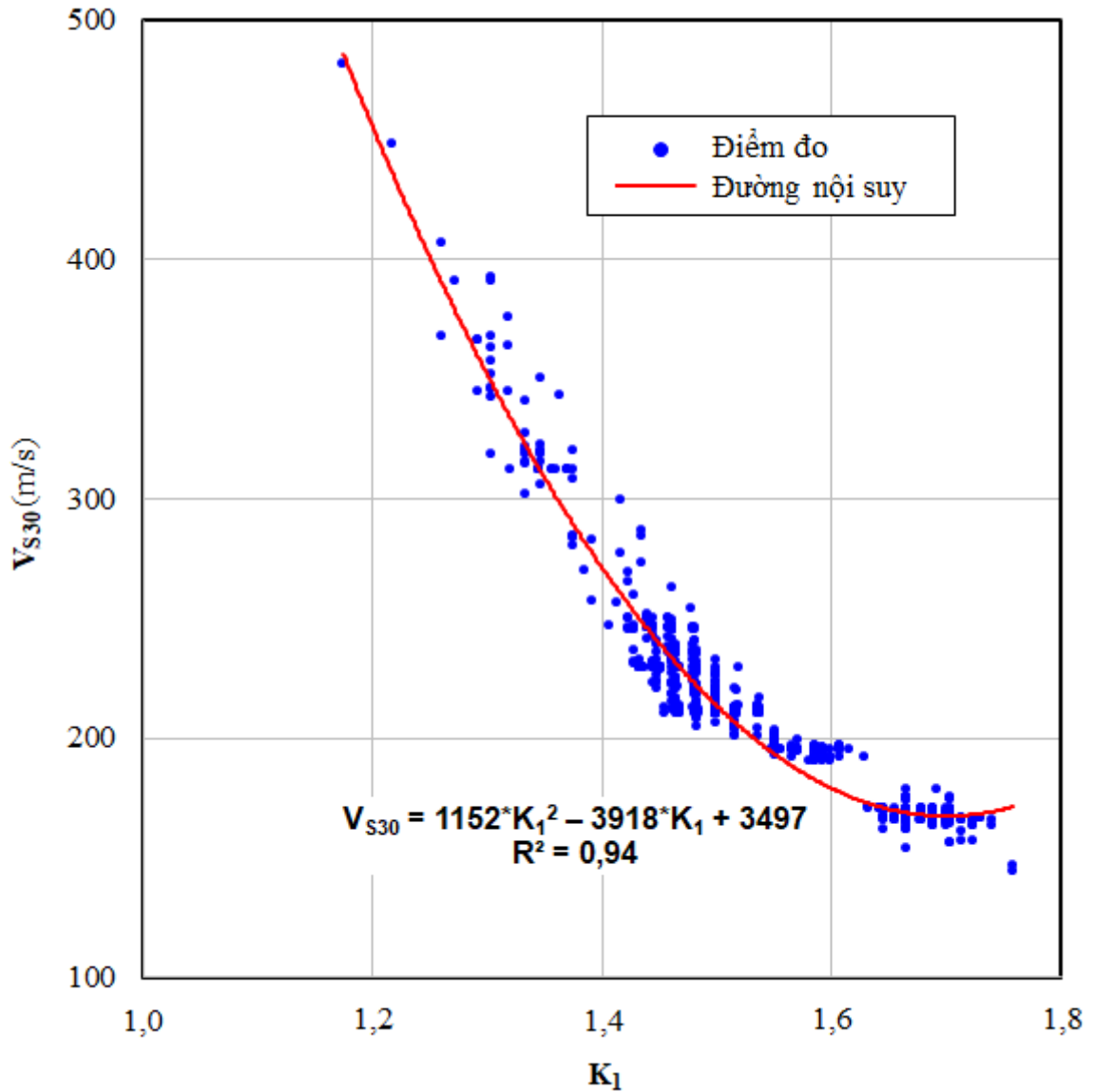
Hình 5.10. Sơ đồ phân vùng giá trị dao động nền theo phương ngang tại mặt đá cứng của kịch bản động đất 1 khu vực ntp. Hà Nội. (1) vùng GM_{R1} nhỏ hơn 24 cm/s^2 ; (2) vùng GM_{R1} từ 24 đến 26 cm/s^2 ; (3) vùng GM_{R1} từ 26 đến 28 cm/s^2 ; (4) vùng GM_{R1} từ 28 đến 30 cm/s^2 ; (5) vùng GM_{R1} từ 30 đến 32 cm/s^2 ; (6) vùng GM_{R1} lớn hơn 32 cm/s^2 ; (7) ranh giới tỉnh; (8) ranh giới huyện và (9) sông, hồ, suối.



Hình 5.11. Sơ đồ phân vùng giá trị dao động nền theo phương ngang tại mặt lớp phủ của kịch bản động đất 1 khu vực ntp. Hà Nội. (1) vùng GM_{S1} nhỏ hơn 30 cm/s^2 ; (2) vùng GM_{S1} từ 30 đến 32 cm/s^2 ; (3) vùng GM_{S1} từ 32 đến 34 cm/s^2 ; (4) vùng GM_{S1} từ 34 đến 36 cm/s^2 ; (5) vùng GM_{S1} từ 36 đến 38 cm/s^2 ; (6) vùng GM_{S1} từ 38 đến 40 cm/s^2 ; (7) vùng GM_{S1} từ 40 đến 42 cm/s^2 ; (8) vùng GM_{S1} từ 42 đến 44 cm/s^2 ; (9) vùng GM_{S1} từ 44 đến 46 cm/s^2 ; (10) vùng GM_{S1} từ 46 đến 48 cm/s^2 ; (11) vùng GM_{S1} từ 48 đến 50 cm/s^2 ; (12) vùng GM_{S1} lớn hơn 50 cm/s^2 ; (13) ranh giới tỉnh; (14) ranh giới huyện và (15) sông, hồ, suối.



Hình 5.12. Sơ đồ phân vùng hệ số khuếch đại dao động nền của kịch bản động đất 1 khu vực ntp. Hà Nội. (1) K_1 nhỏ hơn 1,3; (2) K_1 từ 1,3 đến 1,4; (3) K_1 từ 1,4 đến 1,5; (4) K_1 từ 1,5 đến 1,6; (5) K_1 từ 1,6 đến 1,7; (6) K_1 lớn hơn 1,7; (7) ranh giới tỉnh; (8) ranh giới huyện và (9) sông, hồ, suối.



Hình 5.13. Biểu đồ tương quan giữa hệ số khuếch đại dao động nền của kích bản động đất 1 và giá trị V_{S30} khu vực ntp. Hà Nội.

5.4.3. Hệ số khuếch đại dao động nền của kích bản động đất 2 khu vực ntp. Hà Nội

Từ các tham số của kích bản động đất 2 tìm được ở mục 5.4.1, áp dụng quy trình 3.3.3.4, 816 giá trị GM_R của kích bản động đất 2 (GM_{R2}) và 816 giá trị GM_S của kích bản động đất 2 (GM_{S2}) tính được tại mỗi điểm đo ĐĐVĐC một trạm. Sơ đồ phân vùng các giá trị GM_{R2} và GM_{S2} được mô tả ở hình 5.14 và 5.15. Từ 816 cặp giá trị GM_{R2} và GM_{S2} , 816 giá trị hệ số khuếch đại dao động nền của kích bản động đất 2 (K_2) tính được tại mỗi điểm đo ĐĐVĐC một trạm. Sơ đồ phân vùng các giá trị K_2 được mô tả ở hình 5.16. Từ 816 giá trị K_2 và các loại nền đất được phân

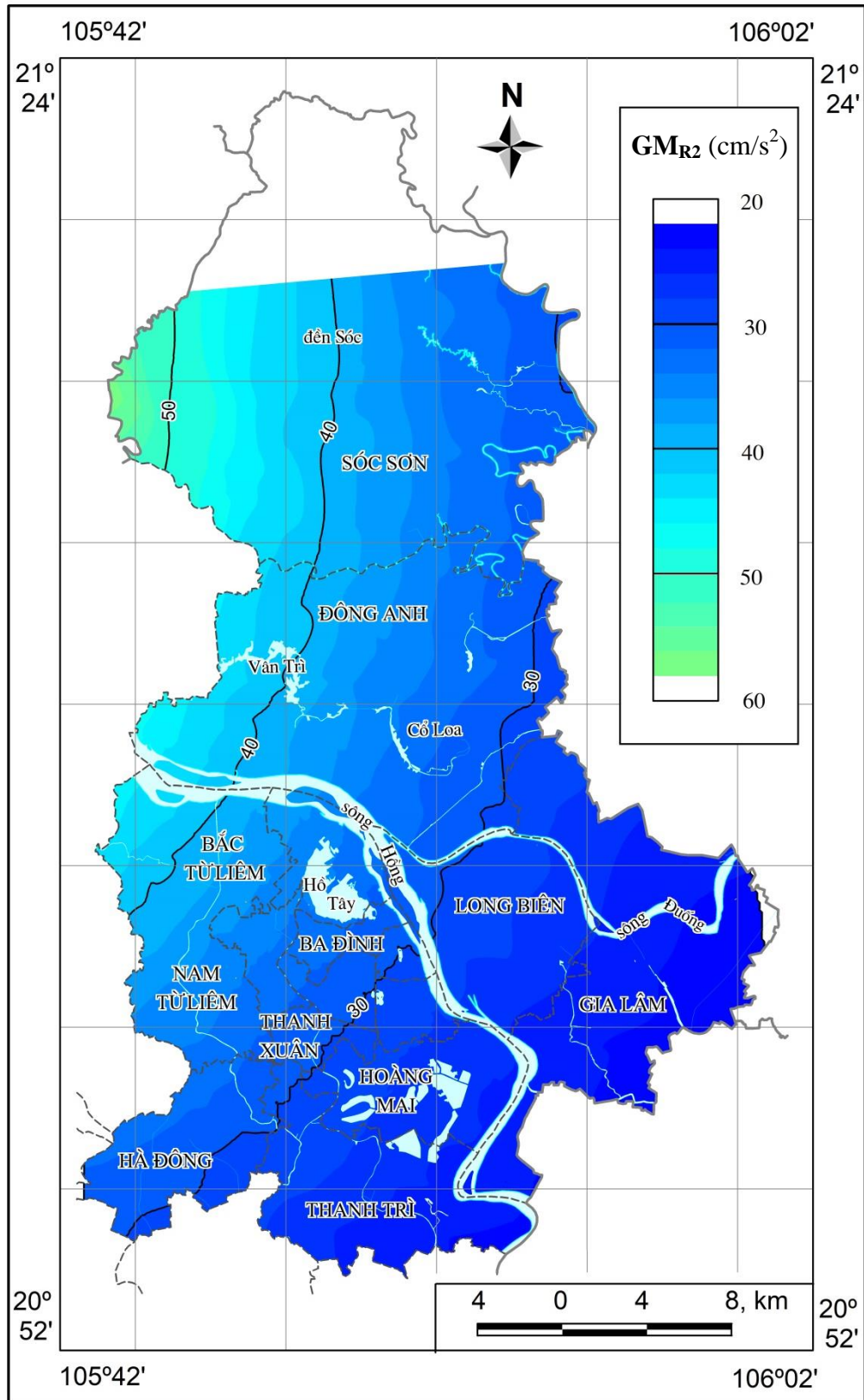
loại ở mục 5.3.3, giá trị K_2 trung bình của kịch bản động đất 2 (K_{2tb}) tính được cho các loại nền B, C, D lần lượt là 1,27, 1,47, 1,68 (Bảng 5.8). Dựa vào 816 giá trị V_{S30} tính được ở mục 5.3.2 và 816 giá trị K_2 , biểu đồ tương quan giữa V_{S30} và K_2 đã xây dựng được mô tả ở hình 5.17.

Hình 5.14 cho thấy giá trị GM_{R2} lớn nhất tại vùng phía Tây-Bắc (vùng gần chân tâm) đạt trên 56 cm/s^2 tương ứng với cấp VI (thang MSK-64), sau đó giảm đều về phía Đông-Nam đạt dưới 24 cm/s^2 tương ứng với cấp V (thang MSK-64). Sự thay đổi này cũng phù hợp với kết quả điều tra động đất Vĩnh Phúc 1958 của nghiên cứu trước đây [6] đạt cấp V đến VI (thang MSK-64).

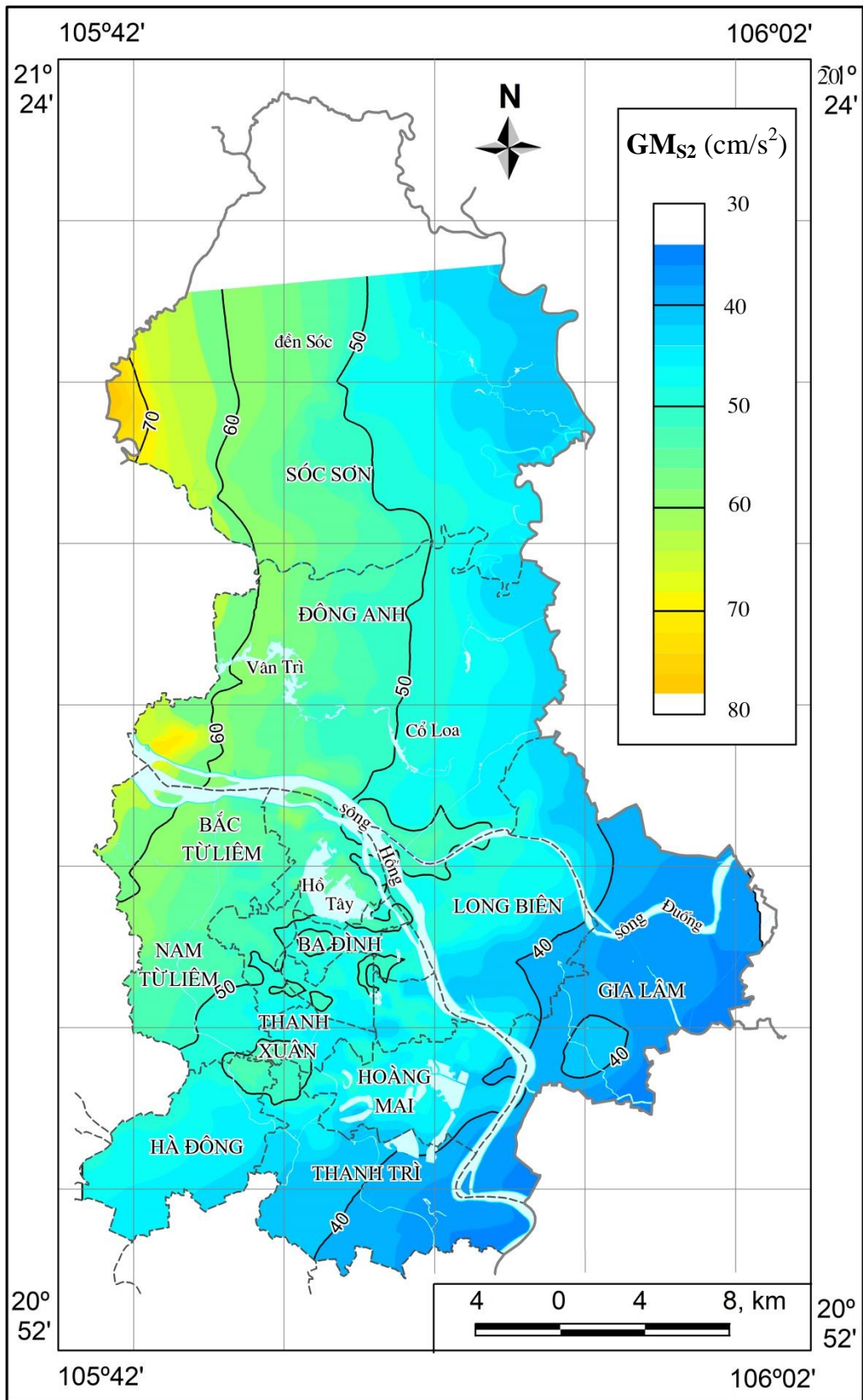
Hình 5.15 cho thấy giá trị GM_{S2} lớn nhất tại vùng phía Tây-Bắc đạt trên 76 cm/s^2 tương ứng với cấp VI (thang MSK-64) sau đó giảm dần về phía Đông-Nam đạt dưới 36 cm/s^2 tương ứng với cấp V (thang MSK-64). Ở khu vực quận Thanh Xuân, quận Hoàng Mai, dải dọc theo sông Hồng kéo dài từ Hồ Tây đến Yên Sở và phần phía Bắc quận Long Biên đạt trên 50 cm/s^2 tương ứng với cấp VI (thang MSK-64) sau đó giảm dần về phía Đông-Nam đạt dưới 36 cm/s^2 tương ứng với cấp V (thang MSK-64) tại huyện Gia Lâm và huyện Thanh Trì. HƯNG cũng nhận thấy rõ ở khu vực có nền đất yếu thuộc quận Thanh Xuân với khoảng cách xa hơn so với quận Nam Từ Liêm nhưng giá trị GM_{S2} lại lớn hơn (khoảng 10 cm/s^2).




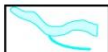
Hình 5.16 cho thấy giá trị K_2 lớn nhất tại khu vực trung tâm gồm quận Thanh Xuân, quận Hoàng Mai, quận Long Biên và dải dọc sông Hồng kéo dài từ Hồ Tây đến Yên Sở đạt trên 1,6 lần. Khu vực vùng núi phía Bắc có giá trị K_2 nhỏ nhất đạt dưới 1,3 lần. Kết quả này cũng phù hợp với các tiêu chuẩn xây dựng [84, 99, 100] đó là ở các khu vực là đá, đất chặt (ở phía Bắc) có K nhỏ hơn khu vực là đất yếu (ở các quận trung tâm).

Hình 5.17 cho thấy hệ số tương quan giữa V_{S30} và K_2 đạt 0,94 khẳng định sự khuếch đại dao động nền của kịch bản động đất 2 khu vực nttp. Hà Nội chủ yếu là do ảnh hưởng ĐKNĐ địa phương.

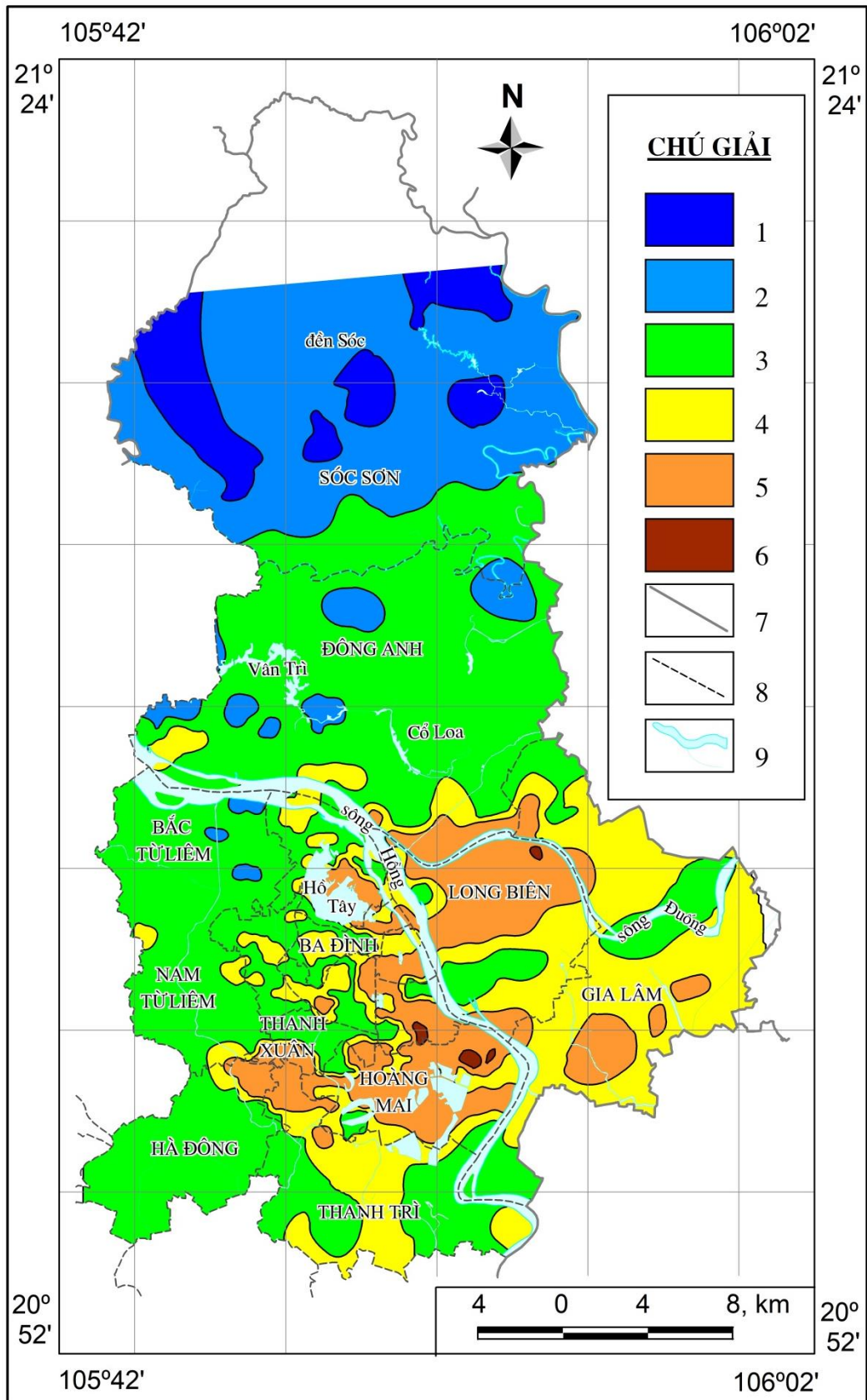


Hình 5.14. Sơ đồ phân vùng giá trị dao động nền theo phương ngang tại mặt đá cứng của kịch bản động đất 2 khu vực ntp. Hà Nội. (1) đường đồng mức giá trị GM_{R2} tính bằng cm/s^2 ; (2) ranh giới tỉnh; (3) ranh giới huyện và (4) sông, hồ, suối.

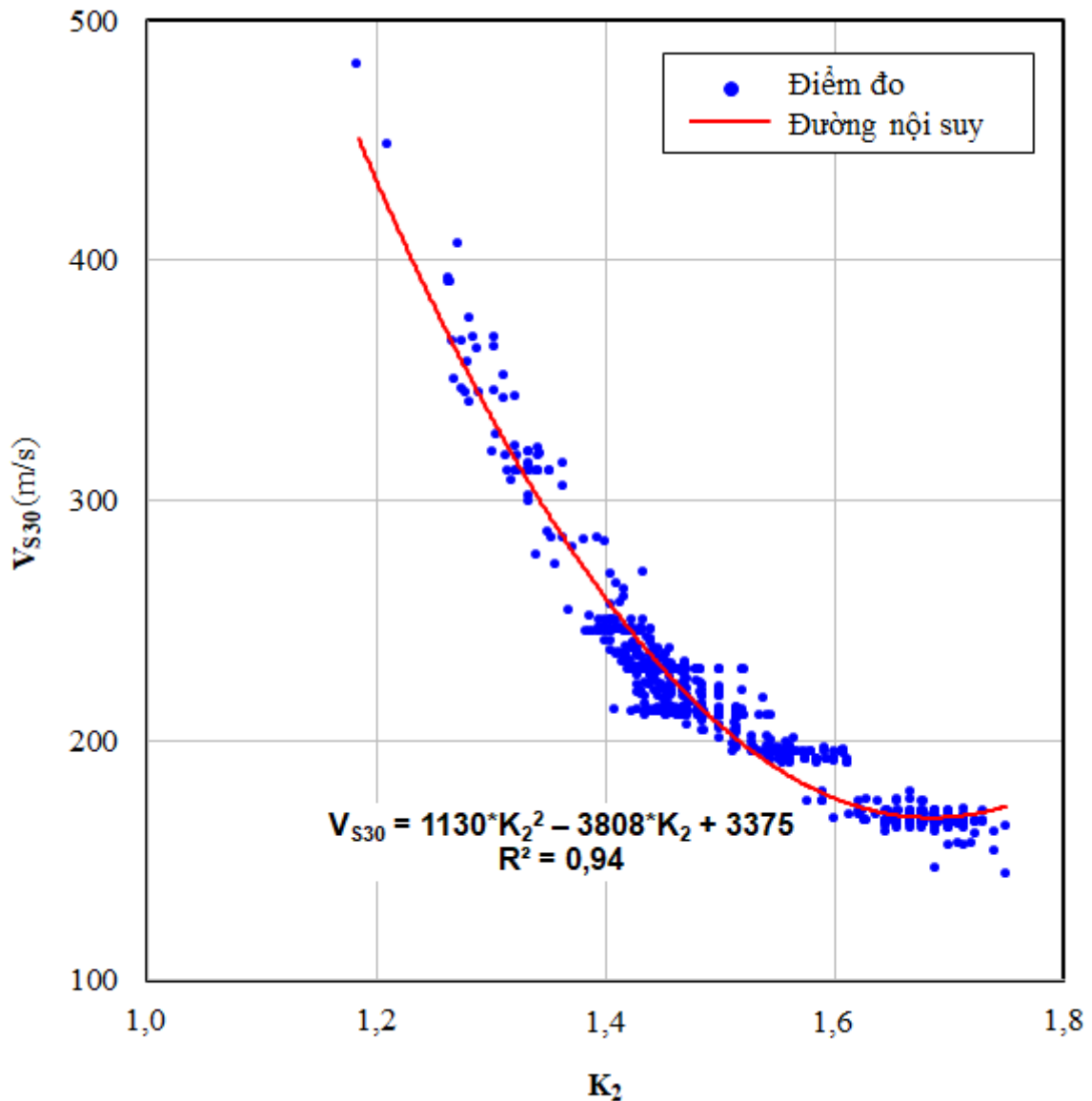


-  1
-  2
-  3
-  4

Hình 5.15. Sơ đồ phân vùng giá trị dao động nền theo phương ngang tại mặt lớp phủ của kịch bản động đất 2 khu vực nttp. Hà Nội. (1) đường đồng mức giá trị GM_{S2} tính bằng cm/s^2 ; (2) ranh giới tỉnh; (3) ranh giới huyện và (4) sông, hồ, suối.



Hình 5.16. Sơ đồ phân vùng hệ số khuếch đại dao động nền của kịch bản động đất 2 khu vực ntp. Hà Nội. (1) K_2 nhỏ hơn 1,3; (2) K_2 từ 1,3 đến 1,4; (3) K_2 từ 1,4 đến 1,5; (4) K_2 từ 1,5 đến 1,6; (5) K_2 từ 1,6 đến 1,7; (6) K_2 lớn hơn 1,7; (7) ranh giới tỉnh; (8) ranh giới huyện và (9) sông, hồ, suối.



Hình 5.17. Biểu đồ tương quan giữa hệ số khuếch đại dao động nền của kịch bản động đất 2 và giá trị V_{S30} khu vực nttp. Hà Nội.

5.4.4. Hệ số khuếch đại dao động nền của kịch bản động đất 3 khu vực nttp. Hà Nội

Từ các tham số của kịch bản động đất 3 tìm được ở mục 5.4.1, áp dụng quy trình 3.3.3.4, 816 giá trị GM_R của kịch bản động đất 3 (GM_{R3}) và 816 giá trị GM_S của kịch bản động đất 3 (GM_{S3}) tính được tại mỗi điểm đo ĐĐVĐC một trạm. Sơ đồ phân vùng các giá trị GM_{R3} và GM_{S3} được mô tả ở hình 5.18 và 5.19. Từ 816 cặp giá trị GM_{R3} và GM_{S3} , 816 giá trị hệ số khuếch đại dao động nền của kịch bản động đất 3 (K_3) tính được tại mỗi điểm đo ĐĐVĐC một trạm. Sơ đồ phân vùng các giá trị K_3 được mô tả ở hình 5.20. Từ 816 giá trị K_3 và các loại nền đất được phân

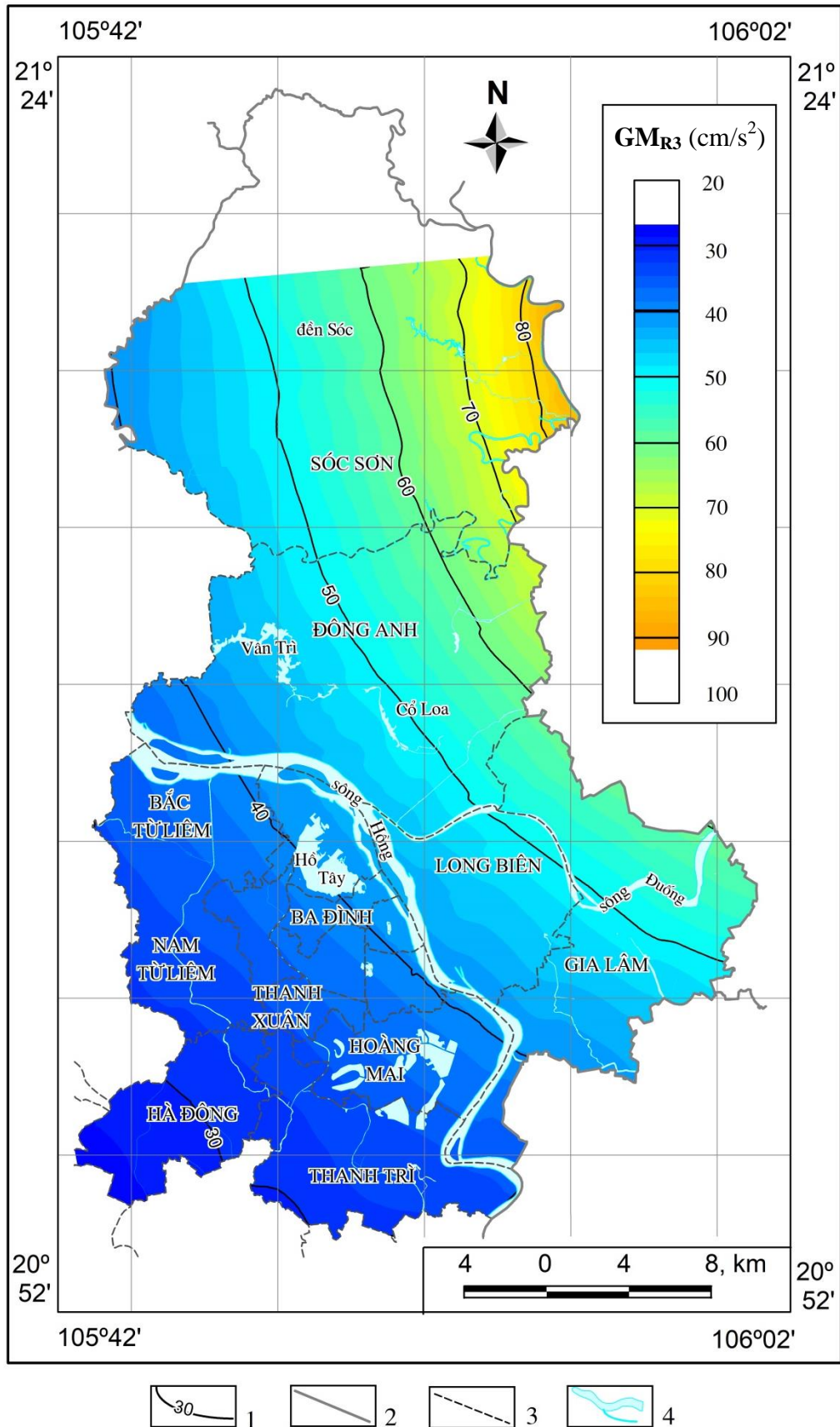
loại ở mục 5.3.3, giá trị K_3 trung bình của kịch bản động đất 3 (K_{3tb}) tính được cho các loại nền B, C, D lần lượt là 1,24, 1,45, 1,63 (Bảng 5.8). Dựa vào 816 giá trị V_{S30} tính được ở mục 5.3.2 và 816 giá trị K_3 , biểu đồ tương quan giữa V_{S30} và K_3 đã xây dựng được mô tả ở hình 5.21.

Hình 5.18 cho thấy giá trị GM_{R3} lớn nhất tại vùng phía Đông-Bắc (vùng gần chân tâm) đạt trên 70 cm/s^2 tương ứng với cấp VI (thang MSK-64), sau đó giảm đều xuống phía Tây-Nam đạt dưới 30 cm/s^2 tương ứng với cấp V (thang MSK-64). Sự thay đổi này cũng phù hợp với kết quả khảo sát động đất [65] đó là chấn động cấp VI (thang MSK-64).

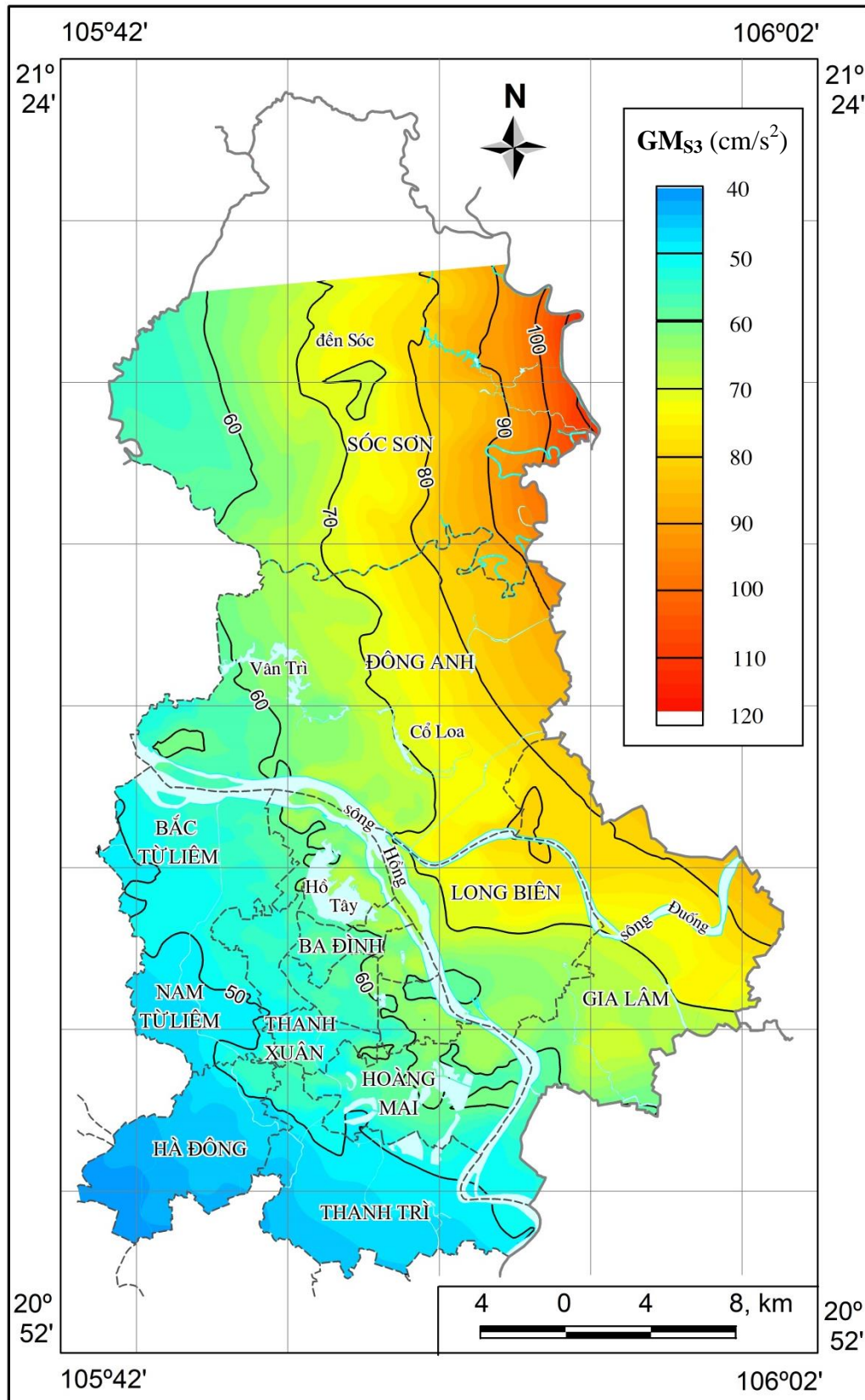
Hình 5.19 cho thấy giá trị GM_{S3} lớn nhất tại vùng phía Đông-Bắc đạt trên 90 cm/s^2 tương ứng với cấp VI (thang MSK-64), sau đó giảm dần sang phía Tây-Nam đạt dưới 45 cm/s^2 tương ứng với cấp VI (thang MSK-64). HƯNĐ cũng được nhận thấy rõ ở khu vực quận Thanh Xuân với khoảng cách xa hơn quận Đống Đa nhưng giá trị GM_{S3} lại lớn hơn (khoảng 10 cm/s^2).

Hình 5.20 cho thấy giá trị K_3 lớn nhất tại quận Thanh Xuân đạt trên 1,6 lần. Ở khu vực các quận Hoàng Mai, quận Long Biên và dải dọc sông Hồng kéo dài từ Hồ Tây đến Yên Sở đạt trên 1,4 lần. Khu vực vùng núi phía Bắc có giá trị K_3 nhỏ nhất đạt dưới 1,3 lần. Kết quả này cũng phù hợp với các tiêu chuẩn xây dựng [84, 99, 100] đó là ở các khu vực là đá, đất chặt (ở phía Bắc) có giá trị K nhỏ hơn khu vực là đất yếu (ở các quận trung tâm).

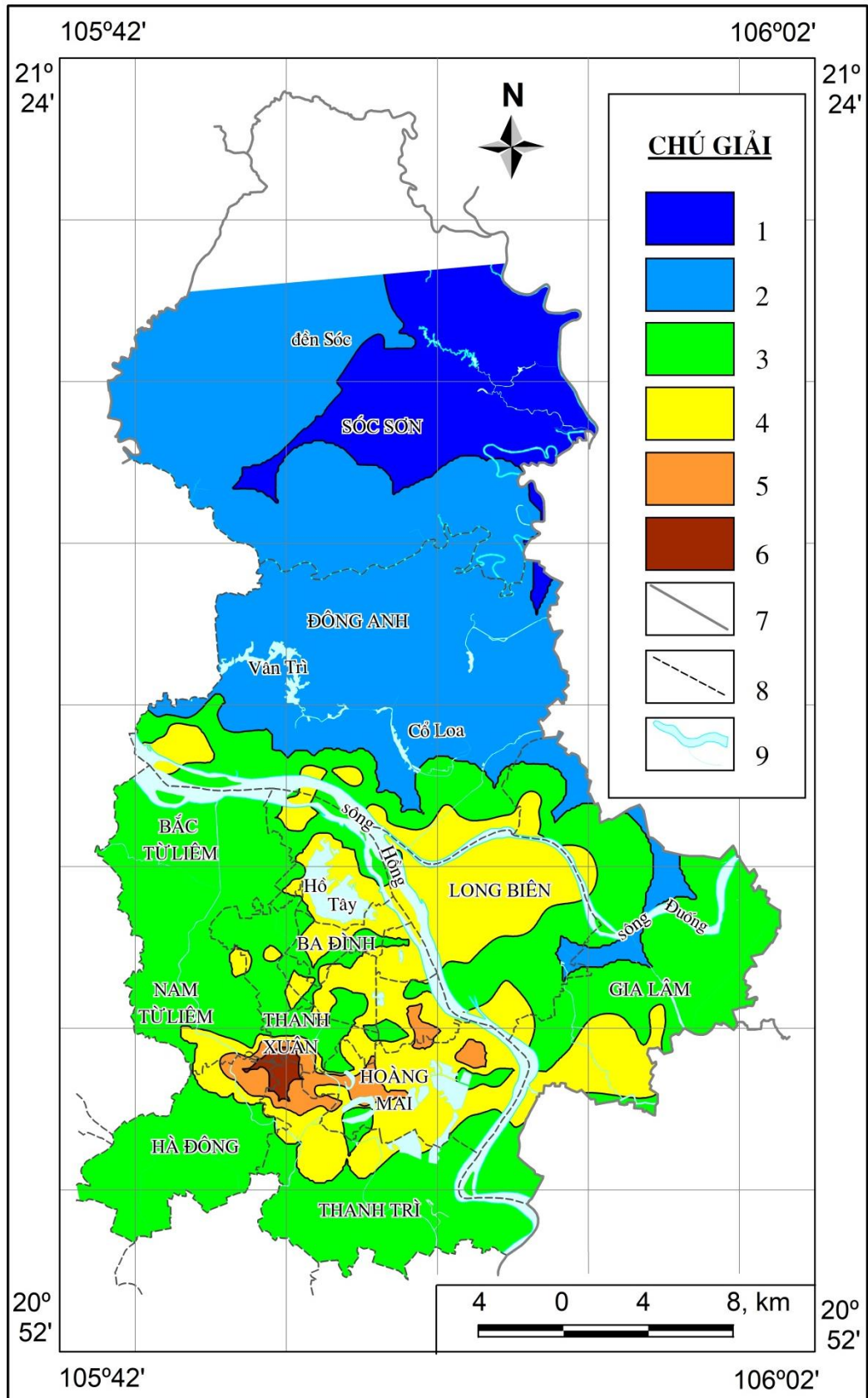
Hình 5.21 cho thấy hệ số tương quan giữa V_{S30} và K_3 đạt 0,93 khẳng định sự khuếch đại dao động nền của kịch bản động đất 3 chủ yếu là do ảnh hưởng ĐKNĐ địa phương.



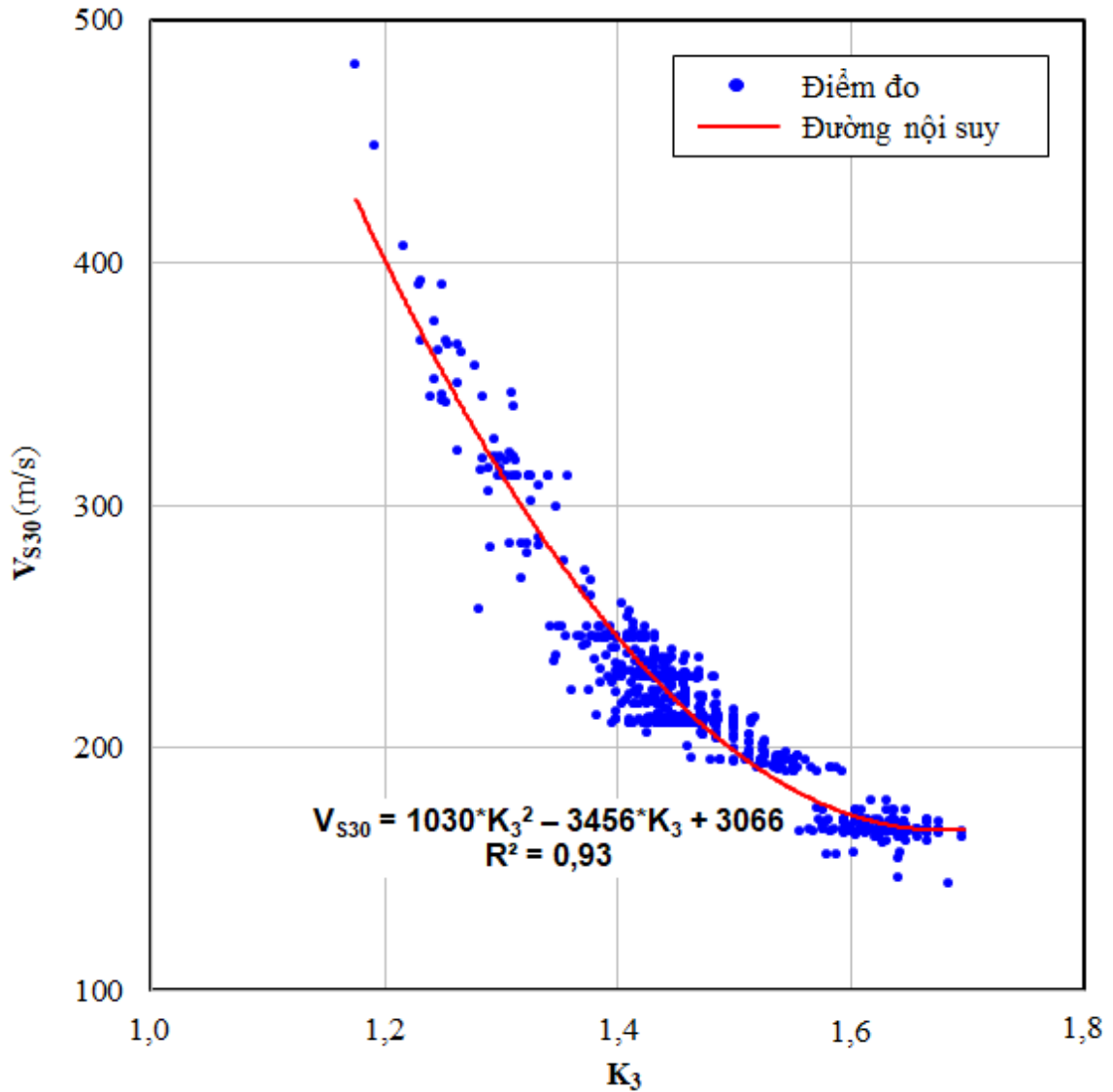
Hình 5.18. Sơ đồ phân vùng giá trị dao động nền theo phương ngang tại mặt đá cứng của kịch bản động đất 3 khu vực ntp. Hà Nội. (1) đường đồng mức giá trị GM_{R3} tính bằng cm/s^2 ; (2) ranh giới tỉnh; (3) ranh giới huyện và (4) sông, hồ, suối.



Hình 5.19. Sơ đồ phân vùng giá trị dao động nền theo phương ngang tại mặt lớp phủ của kịch bản động đất 3 khu vực ntp. Hà Nội. (1) đường đồng mức giá trị GM_{S3} tính bằng cm/s^2 ; (2) ranh giới tỉnh; (3) ranh giới huyện và (4) sông, hồ, suối.



Hình 5.20. Sơ đồ phân vùng hệ số khuếch đại dao động nền của kịch bản động đất 3 khu vực ntp. Hà Nội. (1) K_3 nhỏ hơn 1,3; (2) K_3 từ 1,3 đến 1,4; (3) K_3 từ 1,4 đến 1,5; (4) K_3 từ 1,5 đến 1,6; (5) K_3 từ 1,6 đến 1,7; (6) K_3 lớn hơn 1,7 và (7) ranh giới tỉnh; (8) ranh giới huyện và (9) sông, hồ, suối.



Hình 5.21. Biểu đồ tương quan giữa hệ số khuếch đại dao động nền của kịch bản động đất 3 và giá trị V_{S30} khu vực nttp. Hà Nội.

5.4.5. Hệ số khuếch đại dao động các loại nền khu vực nttp. Hà Nội

Từ các giá trị K_{1tb} , K_{2tb} và K_{3tb} tìm được ở trên, hệ số khuếch đại dao động nền trung bình của các kịch bản động đất (K_{tb}) tính được cho các loại nền B, C, D ở khu vực nttp. Hà Nội lần lượt là 1,26, 1,47, 1,66 (Bảng 5.8). Biểu đồ tương quan giữa các hệ số khuếch đại dao động nền của kịch bản động đất khu vực nttp. Hà Nội được mô tả ở hình 5.22.

Bảng 5.8 cho thấy, giá trị K_{tb} của nền loại B phù hợp với hệ số nền (S) của tiêu chuẩn Việt Nam (đạt 1.2) [84] và tiêu chuẩn của Mỹ trong dải chu kỳ từ 0,1 đến 0,15 s (đạt 1,25 đến 1,29) [99]. Giá trị K_{tb} của nền loại C lại lớn hơn giá trị S của tiêu chuẩn Việt Nam (đạt 1.15) [84] nhưng lại phù hợp với tiêu chuẩn của Mỹ tại

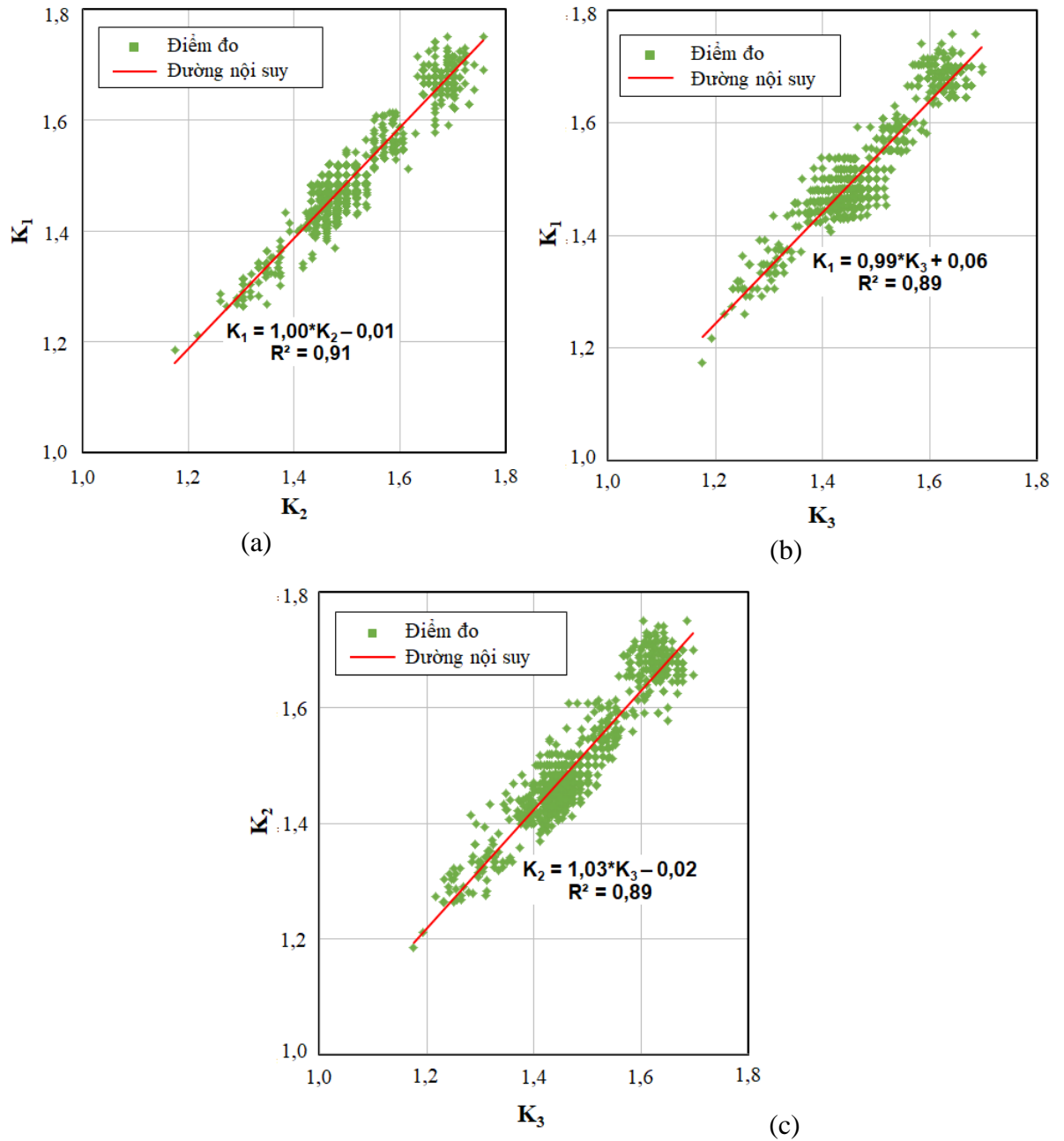
dải chu kỳ từ 0,1 đến 0,15 s (đạt 1,37 đến 1,61) [99]. Sự lớn hơn về giá trị K_{tb} của loại nền này cũng tìm thấy trong nghiên cứu của Tran Ngoc Long và nnk [83]. Giá trị K_{tb} của nền loại D lớn hơn giá trị S của tiêu chuẩn Việt Nam (đạt 1.35) [84] nhưng lại nhỏ hơn giá trị S của loại thiết kế công trình hạn chế hư hỏng bởi động đất của liên minh Châu Âu (đạt 1.8) [100] và phù hợp với tiêu chuẩn của Mỹ tại dải chu kỳ từ 0,25 đến 0,3 s (đạt 1,58 đến 1,71) [99].

Hình 5.22 cho thấy hàm tương quan giữa các hệ số khuếch đại dao động nền của kịch bản động đất khu vực nttp. Hà Nội là tuyến tính. Hệ số tương quan giữa chúng đạt trên 0,89 cho thấy mối tương quan giữa chúng tại khu vực nttp. Hà Nội là tốt. Điều này khẳng định rằng sự khuếch đại dao động nền khu vực nttp. Hà Nội ít phụ thuộc vào nguồn phát sinh động đất và hướng lan truyền chấn động.

Bảng 5.8. Hệ số khuếch đại dao động các loại nền khu vực nttp. Hà Nội.

LOẠI NỀN ĐẤT	HỆ SỐ KHUẾCH ĐẠI DAO ĐỘNG			
	K_{1tb}	K_{2tb}	K_{3tb}	K_{tb}
B	1,28	1,27	1,24	1,26
C	1,48	1,47	1,45	1,47
D	1,68	1,68	1,63	1,66

Ghi chú: K_{1tb} là hệ số khuếch đại dao động nền trung bình của kịch bản động đất 1;
 K_{2tb} là hệ số khuếch đại dao động nền trung bình của kịch bản động đất 2;
 K_{3tb} là hệ số khuếch đại dao động nền trung bình của kịch bản động đất 3;
 K_{tb} là hệ số khuếch đại dao động nền trung bình khu vực nttp. Hà Nội.



Hình 5.22. Các biểu đồ tương quan giữa các hệ số khuếch đại dao động nền khu vực ntp. Hà Nội. (a) Tương quan giữa K_1 và K_2 ; (b) Tương quan giữa K_1 và K_3 và (c) Tương quan giữa K_2 và K_3 .

5.5. Thảo luận chương 5

Nền đất đóng vai trò quan trọng trong nghiên cứu địa chấn công trình. Các kết quả nghiên cứu đã chỉ ra nền đất yếu khuếch đại sóng động đất mạnh hơn nền đất cứng. Bởi vậy, việc nghiên cứu cấu trúc nền đất, phân loại nền đất và xác định hệ số khuếch đại dao động nền là việc làm bắt buộc khi xây dựng công trình kháng chấn trong vùng hoạt động động đất. Điều này nhằm làm giảm thiệt hại về người và của gây ra bởi các trận động đất mạnh xảy ra trong tương lai.

Việc xây dựng mô hình khởi tạo bằng cách kết hợp giữa số liệu lỗ khoan, đo V_S trong lỗ khoan và đo mảng ĐDVĐC sẽ cho kết quả phù hợp với điều kiện ĐCCT thực tế hơn.

Kết quả nghiên cứu xây dựng biểu đồ cấu trúc V_S1D lớp phủ nông đã cung cấp thêm thông tin về giá trị V_S và chiều dày của các lớp đất, đã đạt độ sâu 200 m khu vực nttp. Hà Nội. Đây là các thông tin quan trọng trong nghiên cứu ĐCCT, ước lượng hiệu ứng nền đất và đánh giá độ nguy hiểm động đất.

Kết quả nghiên cứu phân loại nền đất đã cung cấp thêm các thông tin về giá trị V_{S30} khu vực nttp. Hà Nội phục vụ phân loại nền đất và xác định hệ số khuếch đại dao động nền. Các sơ đồ phân vùng chi tiết giá trị V_{S30} , phân loại nền đất theo tiêu chuẩn 9386:2012 [84] đóng một vai trò quan trọng trong việc lựa chọn và lập quy hoạch trong lĩnh vực xây dựng.

Kết quả nghiên cứu xác định hệ số khuếch đại dao động nền cung cấp thêm các thông tin chi tiết về giá trị khuếch đại dao động nền của các kịch bản động đất đã xảy ra xung quanh khu vực nttp. Hà Nội. Đây là cơ sở để lập các tiêu chuẩn, quy chuẩn trong thiết kế công trình chịu động đất cho thành phố Hà Nội. Các sơ đồ phân vùng giá trị dao động tính cho nền thực tế và nền đá cứng đã minh họa rõ ràng sự tác động của động đất đến các vùng khác nhau trong khu vực nghiên cứu. Các biểu đồ tương quan là cơ sở để khẳng định sự khuếch đại dao động nền khu vực nttp. Hà Nội chủ yếu là do ảnh hưởng của điều kiện nền địa phương và sự khuếch đại này ít phụ thuộc vào nguồn phát sinh chấn động và hướng lan truyền chấn động. Bởi vậy, việc thiết kế các công trình xây dựng tại thành phố Hà Nội cần phải chú trọng đến sự khuếch đại gây ra do nền đất yếu.

Kết luận chương 5

1/ Đã xây dựng được 03 mô hình khởi tạo tương ứng với 03 nền đất đặc trưng của khu vực nttp. Hà Nội bằng cách kết hợp giữa số liệu lỗ khoan, đo địa vật lý nông và đo mảng dao động vi địa chấn.

2/ Xây dựng được 816 biểu đồ cấu trúc V_s1D theo kỹ thuật mô phỏng biểu đồ tỷ số phổ H/V bằng thuật toán di truyền. Giá trị V_{S30} đạt 144 tới 481 m/s. Giá trị thấp nhất đạt dưới 170 m/s tại quận Thanh Xuân, phía Bắc quận Long Biên, dải dọc sông Hồng kéo dài từ Hồ Tây đến Yên Sở và cao nhất đạt trên 400 m/s tại vùng núi phía Bắc huyện Sóc Sơn.

3/ Thành lập được sơ đồ phân loại nền đất theo giá trị V_{S30} của tiêu chuẩn quốc gia TCVN 9386:2012. Nền B ứng với V_{S30} từ 360 đến 800 m/s xuất hiện tại các vùng núi, vùng chân núi và vùng đồng bằng rìa chân núi phía Bắc huyện Sóc Sơn. Nền C ứng với V_{S30} từ 180 đến 360 m/s chiếm hầu hết vùng đồng bằng. Nền D ứng với V_{S30} dưới 180 m/s phân bố tại các vùng phía Bắc quận Long Biên, phía Nam quận Thanh Xuân, dải dọc sông Hồng kéo dài từ Hồ Tây đến Yên Sở và một vùng nhỏ thuộc huyện Đông Anh.

4/ Hiệu ứng nền đất xảy ra mạnh nhất tại các vùng đất yếu thuộc quận Thanh Xuân, quận Hoàng Mai, dải dọc theo sông Hồng kéo dài từ Hồ Tây đến Yên Sở và phía Bắc quận Long Biên. Hệ số khuếch đại dao động nền nhỏ nhất đạt dưới 1,3 lần ở vùng núi phía Bắc huyện Sóc Sơn và lớn nhất tại quận Thanh Xuân đạt trên 1,6 lần. Sự khuếch đại dao động nền khu vực nttp. Hà Nội chủ yếu là do ảnh hưởng của điều kiện nền đất địa phương. Hệ số khuếch đại dao động các loại nền B, C, D khu vực nttp. Hà Nội lượt là 1,26, 1,47, 1,66. Sự khuếch đại dao động nền ở đây ít phụ thuộc vào nguồn phát sinh chấn động và hướng lan truyền chấn động của trận động đất.

KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

Kết luận

Việc nghiên cứu ước lượng hiệu ứng nền đất đã thực hiện dựa vào 834 điểm đo dao động vi địa chấn một trạm và ba kịch bản động đất ở khu vực nttp. Hà Nội. Trên cơ sở các kết quả nêu trên có thể rút ra những kết luận sau:

1/ Luận án đã xây dựng hoàn thiện quy trình ước lượng hiệu ứng nền đất trên cơ sở nguồn số liệu đo dao động vi địa chấn và địa chất công trình khu vực thành phố Hà Nội kết hợp với các phương pháp phân tích tỷ số phổ H/V, mô phỏng biểu đồ tỷ số phổ H/V bằng thuật toán di truyền và xác định hệ số khuếch đại dao động nền đang được sử dụng phổ biến trên thế giới và Việt Nam.

2/ Kết quả đánh giá đặc điểm dao động vi địa chấn đã làm rõ được các mối liên quan giữa đặc điểm dao động vi địa chấn và điều kiện nền đất địa phương khu vực nttp. Hà Nội. Đặc điểm hình dạng biểu đồ tỷ số phổ H/V của dao động vi địa chấn liên quan chủ yếu đến tính chất cơ-lý của các lớp đất, đá ở phía dưới điểm đo. Đặc điểm tần số trội H/V liên quan chủ yếu đến chiều dày lớp đất phủ nằm ở phía trên mặt đá cứng. Hàm tương quan giữa tần số trội H/V (F_0) tính bằng Hz và chiều dày lớp đất phủ nằm ở phía trên mặt đá cứng (D) tính bằng m ở khu vực nttp. Hà Nội là $D = 81,851 * F_0^{-0.942}$. Các dao động vi địa chấn xung quanh tần số đỉnh trội chủ yếu là dao động ngang giống như sóng SH còn các dao động vi địa chấn xung quanh tần số đỉnh lõm chủ yếu là dao động đứng giống như sóng Rayleigh.

3/ Việc phân loại nền đất đã thành lập được sơ đồ phân loại nền đất khu vực nttp. Hà Nội trên cơ sở 834 điểm đo dao động vi địa chấn một trạm khảo sát thực tế. Sơ đồ phân loại nền đất đã chỉ rõ được mối liên quan giữa các loại nền và đặc điểm của các loại đất, đá trong khu vực nttp. Hà Nội. Nền loại B phân bố tại các vùng núi, vùng chân núi và vùng đồng bằng rìa chân núi phía Bắc huyện Sóc Sơn. Nền loại C chiếm hầu hết vùng đồng bằng ổn định của khu vực nttp. Hà Nội. Nền loại D xuất hiện rải rác tại các vùng đồng bằng thấp chứa lớp đất yếu dày ở phía Bắc quận Long Biên, phía Nam quận Thanh Xuân, dải dọc sông Hồng kéo dài từ Hồ Tây đến Yên Sở và một vùng nhỏ thuộc huyện Đông Anh.

4/ Kết quả đánh giá hiệu ứng nền đất đã chỉ ra sự khuếch đại dao động nền mạnh (đạt trên 1,6 lần) tại các vùng đất yếu (nền loại D) thuộc quận Thanh Xuân, quận Hoàng Mai, dải dọc sông Hồng kéo dài từ Hồ Tây đến Yên Sở và phía Bắc quận Long Biên. Sự khuếch đại dao động nền này chủ yếu là do ảnh hưởng của điều kiện nền đất địa phương của khu vực nttp. Hà Nội. Hệ số khuếch đại dao động các loại nền B, C, D của khu vực nttp. Hà Nội tính được lần lượt là 1,26, 1,47, 1,66. Hệ số khuếch đại dao động này ít phụ thuộc vào nguồn phát sinh và hướng lan truyền chấn động gây ra bởi trận động đất.

Kiến nghị

1/ Nghiên cứu này chủ yếu tập trung vào cấu trúc các lớp đất, đá trong giới hạn 30 m phía trên cùng phục vụ thiết kế công trình chịu động đất dân dụng. Để áp dụng cho các công trình ngầm, công trình đặc biệt, cao tầng và siêu cao tầng cần tiếp tục mở rộng giới hạn độ sâu nghiên cứu.

2/ Với tập các biểu đồ cấu trúc V_S1D đạt độ sâu đến 200 m sẽ tiếp tục được khai thác phục vụ nghiên cứu theo các mặt cắt cấu trúc nền 2D, 3D trong các giai đoạn nghiên cứu tiếp theo.

3/ Việc tiếp tục triển khai nghiên cứu hiệu ứng nền đất bằng kỹ thuật đo dao động vi địa chấn ở các khu vực đông dân cư, các thành phố lớn khác là hết sức cần thiết nhằm giảm thiểu thiệt hại gây ra do động đất trong tương lai.

DANH MỤC CÔNG TRÌNH ĐÃ CÔNG BỐ

- 1) **Hung Nguyen-Tien**, Phuong Nguyen-Hong, Minh Nguyen-Le, Lin Che-Min, Nguyen Tran-An, Truyen Pham-The, Duong Nguyen-Van, Establishment of the correlation between the near-surface sedimentary thickness and the microtremor dominant frequency in the Hanoi area, Vietnam Journal of earth sciences, 1-17, <https://doi.org/10.15625/2615-9783/17569>.
- 2) **Hung Nguyen-Tien**, Phuong Nguyen-Hong, Minh Nguyen-Le, Wen Kuo-Liang, Nguyen Tran-An, Investigation of microtremor motion variation by Nakamura's H/V spectral ratio method, Journal of Marine Science and Technology; Vol. 17, No. 4B; 2017: 68-74 DOI: 10.15625/1859-3097/17/4B/12994.
- 3) **Nguyễn Tiến Hùng**, Hà Thị Giang, Nguyễn Lê Minh, Satoru Tanaka, Yasushi Ishihara, Hà Vĩnh Long, Lê Quang Khôi, Xác định vận tốc nhóm sóng Rayleigh lớp vỏ và manti thượng dựa trên số liệu địa chấn dải rộng khu vực biển Đông, Tạp chí Khoa học và Công nghệ Biển; Tập 17, Số 4B; 2017: 198-207 DOI: 10.15625/1859-3097/17/4B/13008.
- 4) Nguyen Cong Nghia, Nguyen Van Duong, Ha Thi Giang, Dinh Quoc Van, Nguyen Le Minh, Bor-Shouh Huang, Pham The Truyen, **Nguyen Tien Hung**, Le Quang Khoi, Nguyen Huu Hung (2022), Automatic earthquake detection and phase picking in Muong Te, Lai Chau region: an application of machine learning in observational seismology in Vietnam, *Vietnam Journal of Earth Sciences*, 1-17, <https://doi.org/10.15625/2615-9783/17253>.

DANH MỤC TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Quyết định số 1259/QĐ-TTG, ngày 26/7/2011 của Thủ tướng Chính phủ, phê duyệt Quy hoạch chung xây dựng Thủ đô Hà Nội đến năm 2030 và tầm nhìn đến năm 2050.
2. Nguyễn Đức Đại (chủ nhiệm), *Kết quả “Báo cáo điều tra địa chất đô thị thành phố Hà Nội”*, Cục Địa chất Việt Nam, 1996.
3. Vũ Nhật Thăng, Châu Văn Quỳnh, Đặng Văn Đội, La Văn Xuân, Ngô Quang Toàn, Nguyễn Công Lượng, Nguyễn Văn Can, Nguyễn Văn Đản, Phạm Văn Mẫn, Phan Hồng Dân, *Địa chất và Tài nguyên khoáng sản thành phố Hà Nội*, Cục Địa chất và Khoáng sản Việt Nam, 2003, 290 trang.
4. Nguyễn Đình Thông, Nguyễn Bá Bình, Đoàn Thị Dự, Trịnh Thị Thúy Hằng, Lê Thị Hân, Nguyễn Thị Thanh Hương, Đặng Ngọc Thùy, Phạm Duy Trịnh, *Báo cáo điều tra, đánh giá nguồn nước dưới đất tầng Neogen vùng thành phố Hà Nội*, 2012.
5. Phan Trong Trinh, Ngo Van Liem, Nguyen Van Huong, Hoang Quang Vinh, Bui Van Thom, Bui Thi Thao, Mai Thanh Tan, Nguyen Hoang, *Late Quaternary tectonics and seismotectonics along the Red River fault zone, North Vietnam*, Earth-Science Reviews, 2012, 114, 224–235.
6. Nguyễn Đình Xuyên, Nguyễn Ngọc Thủy, Đoàn Thế Tường, *Báo cáo tổng kết Đề tài “Hoàn chỉnh bản đồ phân vùng nhỏ động đất nội thành thành phố Hà Nội và ven nội tỷ lệ 1:25.000” thuộc chương trình “Phòng lún và chống lún các công trình xây dựng trên nền đất yếu của Hà Nội”*, Viện Kỹ thuật xây dựng và Viện Vật lý địa cầu, 1994, 118 trang.
7. Pham The Truyen, Nguyen Hong Phuong, *Probabilistic seismic hazard assessment for Hanoi city*, Vietnam Journal of Earth Sciences, 2019, 41(4) 321-338.
8. J. Milne, *Seismology*, Kegan Paul, Trench, Trubner, & Co., London, 1st ed, 1898, 320 pp.
9. K Kanai and T. Tanaka, *On microtremors VIII*, Bulletin of the Earthquake Research Institute, 1961, 39 (1961), 97-114.
10. Y. Ohta, N. Goto, *Empirical shear wave velocity equations In terms of characteristics soil indexes*, Earthq Eng Struct Dyn, 1978, 6, 167–187.

11. H.S, Lew, *Performance of Structures During the Loma Prieta Earthquake of October 17, 1989*. NIST Special Publication 778, 1990, 212 trang.
12. S. K. Singh, E. Mena and R, Castro *Some aspects of source characteristics of the 19 September Michoacan earthquake and ground amplification in and near Mexico City from strong ground motions data*, Bull. Seism. Soc. Am, 1988, 78(2), 451-457.
13. M. Celebi, *Topographical and geological amplification: Case studies and engineering implications*, Structural safety, 1991, 10, 199-217.
14. J. B. Fletcher and K. L. Wen, *Strong ground motion in Taipei basin from the 1999 Chi Chi, Taiwan, earthquake*, Bulletin of the Seismological Society of America, 2005, 95(4), 1428-1446.
15. H. S. Sandra and J. A. Ralph, *Site amplification and attenuation of strong ground motion*, Bulletin of the Seismological Society of America, 1989, 39(6), 1673-1696.
16. J. G. Anderson, Y. Lee, Y. Zeng and S. Day, *Control of strong motion by the upper 30 meters*, Bulletin of the Seismological Society of America, 1996, 86(6), 1749-1759.
17. R. Dorbry, R. D. Borcherdt, C. B. Crouse, I. M. Idriss, W. B. Joyner, G. R. Martin, M. S. Power, E. E. Rinne and R. B. Seed, *New site coefficients and site classification system used in recent building seismic code provisions*, Earthquake Spectra, 2000, 16(1), 41-67.
18. B. B. Redpath, *Downhole Measurements of Shear- and Compression-Wave Velocities in Boreholes C4993, C4996, C4997 and C4998 at the Waste Treatment Plant DOE Hanford Site*, Pacific Northwest National Laboratory (U.S.), 2007, 23.
19. O. Atae, N. H. Moghaddas, G. R. Lashkaripour, *Estimating shear wave velocity of soil using standard penetration test (SPT) blow counts in Mashhad city*, J. Earth Syst. Sci, 2019, 128, 66, 1-25.
20. E. S. Bang and D. S. Kim, *Evaluation shear wave velocity profile using SPT based uphole method*, Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 2007, 27(8), 741-758.
21. R. A. A. Pedrini, B. P. Rocha, H. L. Giacheti, *The Up-Hole Seismic Test Together with the SPT: Description of the System and Method*, Soils and Rocks, São Paulo, 2018, 41(2), 133-148.

22. D. K. Butle, *Crosshole seismic testing- Procedures and pitfalls*, Geophysics, 1981, 46(1), 23-29.
23. Pham Hong Trang, Lai Hop Phong, Pham Ngoc Dat, Kieu Duy Thong, Duong Thi Ninh, Dinh Van Toan, *Determination of dynamic elastic moduli by integration of geophysical, geotechnical and rock physics diagnostic techniques for construction at Ba Na, Da Nang City, Vietnam*, Journal of Applied Geophysics, 2022, <https://doi.org/10.1016/j.jappgeo.2022.104773>.
24. C. T. Lee, B. R. Tsai, *Mapping V_{S30} in Taiwan*, Terrestrial Atmospheric and Oceanic Sciences, 2008, 19(6), 671-682.
25. C. H. Kuo, K. L. Wen, H. H. Hsieh, C. M. Lin, T. M. Chang, K. W. Kuo, *Site classification and V_{S30} estimation of free-field TSMIP stations using the logging data of EGDT*, Engineering Geology, 2012, 129-130, 68-75.
26. Y. Ohsaki and R. Iwasaki, *On dynamic shear moduli and Poisson's ratio of soil deposits*, Soils and Foundations, 1973, 13(4), 61-73.
27. T. Imai, *P and S wave velocities of the ground in Japan*, Proceedings of 6th International, Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, 1977, 2, 257-260.
28. T. Imai, K. Tonouchi, *Correlation of N value with S wave velocity and shear modulus* In: Proceedings: 2nd European symposium on penetration testing. Amsterdam, 1982, 57-72.
29. S. H. Lee, *Regression models of shear wave velocities in Taipei basin*, J Chin Inst Eng, 1990, 13, 519-532.
30. K. Yokota, T. Imai, M. Konno, *Dynamic deformation characteristics of soils determined by laboratory tests*, OYO Tee Reply, 1991, 3, 13.
31. G. A. Athanasopoulos, *Empirical correlations Vs-NSPT for soils of Greece: a comparative study of reliability*, Proceedings: 7th international conference in soil dynamics earthquake engineering. Comput. Mech. Publ. Southampton, Boston, 1995, 19-25.
32. M. K. Jafari, A. Shafiee, A. Razmkhah, *Dynamic properties of fine grained soils in south of Tehran*, Soil Dyn Earthq Eng, 2002, 4(1), 25-35.
33. N. Hasancebi and R. Ulusay, *Empirical correlations between shear wave velocity and penetration resistance for ground shaking assessments*. Bulletin of Engineering Geology and Environment, 2007, 66, 203-213.
34. C. Hanumanthrao, G. V. Ramana, *Dynamic soil properties for microzonation of Delhi. India*, J Earth Syst Sci, 2008, 117, 719-730.

35. M. R. Uma, A. Boominathan, G. R. Dodagoudar, *Use of surface waves in statistical correlations of shear wave velocity and penetration resistance of Chennai soils*, Geotech Geol Eng, 2010, 28, 119–137.
36. G. Tsiambaos, N. Sabatakakis, *Empirical estimation of shear wave velocity from in situ tests on soil formations in Greece*, Bull Eng Geol Environ, 2011, 70, 291–297
37. P. Anbazhagan, A. Parihar, H. N. Rashmi, *Review of correlations between SPT N and shear modulus: a new correlation applicable to any region*, Soil Dyn Earthq Eng, 2012, 36, 52–69.
38. A. Fauzi, M. Irsyam, U. J. Fauzi, *Empirical corelation of shear wave velocity and N-SPT value for Jakarta*, Int. J. of GEOMATE, 2014, 7(1), 980-984.
39. B. K. Kirar, B. K. Maheshwari, P. Muley, *Correlation Between Shear Wave Velocity (V_s) and SPT Resistance (N) for Roorkee Region*. Int. J. of Geosynth. and Ground En, 2016, 2, 9.
40. D. Shukla and C. H. Solanki, *Estimated Empirical Correlations Between Shear Wave Velocity and SPT-N Value for Indore City Using NLR and ANN*, Indian Geotech J, 2020, <https://doi.org/10.1007/s40098-020-00417-3>.
41. J. A. Hunter, B. Benjumea, J. B. Harris, R. D. Miller, S. E. Pullan, R. A. Burns, R. L. Good, *Surface and downhole shear wave seismic methods for thick soil site investigations*. Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 2002, 22, 931–941.
42. Van-Toan Dinh, S. Harder, B. S. Huang, Viet-Bac Trinh, Van-Tuyen Doan, Hop-Phong Lai, Anh-Vu Tran, Hong Quan-Thi Nguyen, and Van-Duong Nguyen, *An overview of northern Vietnam deep crustal structures from integrated geophysical observations*. Terr. Atmos. Ocean. Sci., 2018, 29(4), 371-386.
43. J. N. Louie, *Faster, better: shear-wave velocity to 100 meters depth from refraction microtremor arrays*, Bulletin of the Seismological Society of America, 2001, 91(2), 347-364.
44. A. Pancha, J. G. Anderson, J. N. Louie and S. K. Pullammanappallil, *Measurement of shallow shear wave velocities at a rock site using the ReMi technique*, Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 2008, 28, 522-535.
45. M. A. Ismail, K. A. M. Nayan, A. R. Samsudin, A. A. Rafek, *Spectral-Analysis-of-Surface-Waves method: An initial assessment and its potential use*

- in geology*. Geological Society of Malaysia Annual Geological Conference 2001, 2001, 185-190.
46. C. P. Lin, T. S. Chang, *Multi-station analysis of surface wave dispersion*, Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 2004, 24, 877–886.
 47. J. Xia, R. D. Miller, C. B. Park, J. A. Hunter, J. B. Harris, J. Ivanov, *Comparing shear-wave velocity profiles inverted from multichannel surface wave with borehole measurements*, Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 2002, 22, 181-190.
 48. M. Gorstein and M. Ezersky, *Combination of HVSR and MASW Methods to Obtain Shear Wave Velocity Model of Subsurface in Israel*, International Journal of Geohazards and Environment, 2015, 1(1), 20-41.
 49. K. Aki, *Space and time spectra of stationary stochastic waves, with special reference to microtremors*, Bulletin of Earthquake Research Institute of Tokyo University, 1957, 35(3), 415-456.
 50. J. Capon, *High-resolution frequency-wavenumber spectrum analysis*, Proceedings of the IEEE, 1969, 57(8), 1408-1418.
 51. Y. Ohsaki and R. Iwasaki, *On dynamic shear moduli and Poisson's ratio of soil deposits*, Soils and Foundations, 1973, 13(4), 61-73.
 52. H. P. Liu, D. M. Boore, W. B. Joyner, D. H. Oppenheimer, R. E. Warrick, W. Zhang, J. C. Hamilton and L. T. Brown, *Comparison of phase velocities from array measurements of Rayleigh waves associated with microtremor and results calculated from borehole shear-wave velocity profiles*, Bulletin of the Seismological Society of America, 2000, 90(3), 666-678.
 53. C. H. Kuo, D. S. Cheng, H. H. Hsieh, T. M. Chang, H. J. Chiang, C. M. Lin and K. L. Wen, *Comparison of three different methods in investigating shallow shear-wave velocity structures in Ilan, Taiwan*, Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 2009, 29(1), 133-143.
 54. C. M. Lin, T. M. Chang, Y. C. Huang, H. J. Chiang, C. H. Kuo and K. L. Wen, *Shallow S-Wave Velocity Structures in the Western Coastal Plain of Taiwan*, Terr. Atmos. Ocean. Sci, 2009, 20(2), 299-308.
 55. C. H. Kuo, C. T. Chen, C. M. Lin, K. L. Wen, J. Y. Huang, S. C. Chang, *S-wave velocity structure and site effect parameters derived from microtremor arrays in the Western Plain of Taiwan*, Journal of Asian Earth Sciences, 2016, 128, 27–41.

56. Kuo-Liang Wen, Che-Min Lin, Chun-Hsiang Kuo, Nguyen Hong Phuong, Nguyen Tien Hung, and Le Tu Son, *Site response analysis from microtremor in Hanoi, Vietnam*, Tuyển tập báo cáo hội nghị khoa học quốc tế, Nhà xuất bản Khoa học tự nhiên và công nghệ, 2012, 138-146.
57. T. Satoh, H. Kawase, T. Iwata, S. Higashi, T. Sato, K. Irikura and H. C. Huang, *S-wave velocity structure of the Taichung Basin, Taiwan, estimated from array and single-station records of microtremors*, Bulletin of the Seismological Society of America, 2001a, 91(5), 1267-1282.
58. H. Arai and K. Tokimatsu, *S-wave velocity profiling by joint inversion of Microtremor dispersion curve and horizontal-to-vertical (H/V) spectrum*, Bulletin of the Seismological Society of America, 2005, 95(5), 1766-1778.
59. J. C. Tokeshi, M. B. Karkee, Y. Sugimura, *Reliability of rayleigh wave dispersion curve obtained from $f-k$ spectral analysis of microtremor array measurement*, Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 2006, 26, 163-174.
60. A. García-Jerez, M. Navarro, F. J. Alcalá, F. Luzon, J. A. Perez-Ruiz, T. Enomoto, F. Vidal and E. Ocana, *Shallow velocity structure using joint inversion of array and h/v spectral ratio of ambient noise: The case of Mula town (SE of Spain)*, Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 2007, 27, 907-919.
61. C. M. Lin, K. L. Wen, C. H. Kuo, C. Y. Lin, *S-wave velocity model of Taipei basin*, The 5th Asia Conference on Earthquake Engineering, 2014, 16-18.
62. C. H. Kuo, K. L. Wen, C. M. Lin, S. Wen, J. Y. Huang, *Investigating Near Surface S-Wave Velocity Properties Using Ambient Noise in Southwestern Taiwan*, Terr. Atmos. Ocean. Sci, 2015, 26(2), 205-211.
63. S. Fatimah, *S-Wave Structure in the Ilan Basin from Microtremor Analysis*, Master Thesis, Department of Earth Sciences, National Central University, Taiwan, 2016, 161 trang.
64. C. M. Lin, K. L. Wen, S. Fatimah, *S-wave velocity structure of the Ilan Basin using the microtremor H/V spectral ratio modeling*, 5th IASPEI / IAEE International Symposium: Effects of Surface Geology on Seismic Motion August 15-17, 2016.
65. Nguyễn Đình Xuyên (chủ nhiệm), *Báo cáo tổng kết đề tài “Cơ sở dữ liệu cho các giải pháp giảm nhẹ hậu quả động đất ở Việt Nam” thuộc Đề tài độc cấp Nhà nước, mã số KT-ĐL 92-97*, Viện Vật lý địa cầu, 1996, 103 trang.

66. Lê Tử Sơn, Nguyễn Quốc Dũng, Nguyễn Quốc Cường, Nguyễn Tiến Hùng, *Vi phân vùng động đất thành phố Điện Biên*, Tạp chí các khoa học về Trái đất, 2007, 29(1), 68 - 82.
67. Nguyễn Đình Xuyên (Chủ nhiệm), *Báo cáo tổng kết đề tài “Nghiên cứu dự báo động đất và dao động nền lãnh thổ Việt Nam” thuộc Đề tài độc cấp Nhà nước*, Viện Vật lý địa cầu, 2004, 209 trang.
68. Nguyễn Hồng Phương (chủ nhiệm), *Báo cáo tổng kết đề tài “Ứng dụng công nghệ GIS để xây dựng mô hình đánh giá độ rủi ro động đất cho thành phố Hà Nội”*, mã số Đ1/02-2006-2, Viện Vật lý địa cầu, 2006.
69. Thái Anh Tuấn, Lê Văn Dũng, Mai Xuân Bách, *Đánh giá độ nguy hiểm động đất khu vực thành phố Hà Nội và lân cận trên cơ sở thuật toán tái định mới*. Tạp chí Các Khoa học về Trái đất, 2011, 33(2), 200-208.
70. Phạm Đình Nguyên, Nguyễn Đình Xuyên, Nguyễn Ngọc Thuỷ, Lê Tử Sơn, Nguyễn Quốc Dũng, Nguyễn Thanh Tùng, Trần Thị Mỹ Thành, Phạm Quang Hùng, Nguyễn Ánh Dương, Bùi Văn Duẩn, Vũ Minh Tuấn, Trần Thị An, Trần Thị Ngọc Ánh, *Một số kết quả nghiên cứu, đánh giá độ nguy hiểm động đất và dao động nền phục vụ công tác quy hoạch và thiết kế chống động đất cho các công trình xây dựng ở khu vực Tây Bắc Việt Nam*, Tuyển tập báo cáo tại Hội nghị Khoa học Quốc tế kỷ niệm 55 năm ngành Vật lý Địa cầu Việt Nam và 25 năm Viện Vật lý địa cầu, 2012, 130-137, Hà Nội.
71. Nguyễn Ngọc Thuỷ và Nguyễn Sinh Minh (chủ nhiệm), *Báo cáo tổng kết Đề tài “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”*. Viện Kỹ thuật xây dựng và Viện Vật lý địa cầu, 2004.
72. Trần Thị Mỹ Thành, *Mô phỏng trận động đất Điện Biên, M=5.3*, Tạp chí các khoa học về Trái đất, 2007, 29(4), 342 - 349.
73. Tran Thi My Thanh, Nguyen Le Minh, Vi Van Vung, Kojiro Irikura, *Values for peak ground acceleration and peak ground velocity using in seismic hazard assessment for Song Tranh 2 hydropower region*, Vietnam Journal of Earth Sciences, 2014, 36(4), 462-469.
74. Nguyễn Mạnh Tuấn, Viện Vật lý địa cầu, *Phân vùng nhỏ động đất thành phố Hà Nội*, Nhà xuất bản khoa học và kỹ thuật, 1990, 106 trang.
75. Nguyễn Ngọc Thuỷ, *Bản đồ phân vùng nhỏ động đất Hà Nội tỉ lệ 1:25.00*. Tạp chí Các Khoa học về Trái đất, 1997, 19(4), 249-255.

76. Y. Nakamura, *A method for dynamic characteristics estimation of subsurface using microtremor on the ground surface*, Quarterly Report of RTRI, 1989, 30(1), 25-33.
77. R. Tulandhar, N. N. H. Cuong, F. Yamazaki, *Seismic microzonation of Hanoi, Vietnam using microtremor observations*. 13th World Conference on Earthquake Engineering, Vancouver, B.C., Canada, August 1-6 2004.
78. Nguyễn Hồng Phương (chủ nhiệm), *Báo cáo tổng kết đề tài “Ước lượng các hiệu ứng nền đất và đánh giá rủi ro động đất đô thị cho khu vực thành phố Hà Nội” thuộc Nhiệm vụ HTQT về KH&CN theo Nghị định thư cấp Quốc gia*, Viện Vật lý địa cầu, 2014, 119 trang.
79. Nguyễn Tiến Hùng, K. L. Wen, *Sơ đồ vi phân vùng động đất Hà Nội trên cơ sở các kết quả đo ĐDVĐC*, Tạp chí Các khoa học về trái đất, 2011, 33(2), 175-184.
80. Nguyễn Sinh Minh và Phạm Đình Nguyên (chủ nhiệm), *Báo cáo tổng kết đề tài “Đánh giá độ nguy hiểm động đất cho thành phố Hà Nội mở rộng, lập bản đồ phân vùng động đất chi tiết khu vực Hà Đông, Sơn Tây, Hòa Lạc, tỷ lệ 1/25.000, lập cơ sở dữ liệu về đặc trưng dao động nền đất ứng với bản đồ nêu trên”, mã số 01C-04/04-2011-2 thuộc chương trình: Quy hoạch – Xây dựng – Giao thông vận tải và Quản lý cơ sở hạ tầng, Mã số: 01C-04, Sở Xây dựng Hà Nội*, 2015, 154 trang.
81. Bùi Thị Nhung, *Đánh giá khả năng phá huỷ nền do động đất cho khu vực nội thành thành phố Hà Nội phục vụ công tác quy hoạch và quản lý rủi ro đô thị*, Luận án tiến sĩ vật lý, Đại học Khoa học tự nhiên, Đại học quốc gia Hà Nội, 2017, 133 trang.
82. Phạm Thế Truyền, *Nghiên cứu đánh giá rủi ro động đất khu vực đô thị thành phố Hà Nội*, Luận án tiến sĩ vật lý địa cầu, Học Viện khoa học và công nghệ, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam, 2020, 146 trang.
83. Tran Ngoc-Long, Muhammad Aaqib, Nguyen Ba-Phu, Nguyen Duy-Duan, Tran Viet-Linh, and Nguyen Van-Quang, *Evaluation of Seismic Site Amplification Using 1D Site Response Analyses at Ba Dinh Square Area, Vietnam*, Advances in Civil Engineering. 2021, Article ID 3919281, 1-11, <https://doi.org/10.1155/2021/3919281>.
84. Tiêu chuẩn quốc gia TCVN 9386:2012, *Thiết kế công trình chịu động đất*.
85. Giang Kien Trung, Pham Dinh Nguyen, Nguyen Duc Vinh, *Effect of Local Site Conditions on Earthquake Ground Motions in Hanoi: Results from*

- Numerical Simulations*, VNU Journal of Science: Mathematics – Physics, 2022, 38(2), 82-90.
86. H. Okada, *The microtremor survey method (translated by Koya Suto)*, Geophysical Monograph Series, No. 12, Society of Exploration Geophysicists, 2003, 135 trang.
 87. C. Lachet, D. Hatzfeld, P. Y. Bard, N. Theodulidis, C. Papaioannou, A. Savvaidis, *Site Effects and Microzonation in the City of Thessaloniki (Greece) Comparison of Different Approaches*, Bulletin of the Seismological Society of America, 1996, 86(6), 1692-1703.
 88. B. V. Dinesh, G. J. Nair, A. G. V. Prasad, P. V. Nakkeeran, M. C. Radhakrishna, *Estimation of sedimentary layer shear wave velocity using micro-tremor H/V ratio measurements for Bangalore city*, Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 2010, 30, 1377-1382.
 89. R. Biswas, S. Baruah, D. K. Bora, *Mapping Sediment Thickness in Shillong City of Northeast India through Empirical Relationship*, Journal of Earthquakes, 2015, 1-8.
 90. K. Abd, *New relationship between fundamental site frequency and thickness of soft sediments from seismic ambient noise*, J Seismol, 2018, 22, 1315–1323.
 91. M. I. Seht and J. Wohlenberg, *Microtremor Measurements Used to Map Thickness of Soft Sediments*, Bulletin of the Seismological Society of America, 1999, 89(1), 250-259.
 92. Lương Duyên Bình, Vũ Quang, Nguyễn Thượng Chung, Tô Giang, Trần Chí Minh, Ngô Quốc Quỳnh, *Vật Lý 12*, Nhà xuất bản Giáo dục Việt Nam, 2021, 232 trang.
 93. Lại Hợp Phòng, *Tổng hợp kết quả báo cáo đo địa chấn trong lỗ khoan tại một số công trình xây dựng giai đoạn 2019-2020*, 2020.
 94. N. A. Haskell, *The Dispersion of surface waves on multilayered media*, Bulletin of the Seismological Society of America, 1953, 43(1), 17-34.
 95. N. A. Haskell, *Crustal reflection of plane SH waves*, Journal of Geophysical Research, 1960, 65, 4147-4150.
 96. J. H. Holland, *Adaptation in Natural and Artificial Systems: An Introductory Analysis with Applications to Biology, Control, and Artificial Intelligence*, University of Michigan Press, 1975, 183 trang.
 97. K. W. Campbell and Y. Bozorgnia, *NGA Ground Motion Model for the Geometric Mean Horizontal Component of PGA, PGV, PGD and 5% Damped*

- Linear Elastic Response Spectra for Periods Ranging from 0.01 to 10s*, Earthquake Spectra, 2008, 24(1):139.
98. E. M. Scordilis, *Empirical global relations converting M_S and m_b to moment magnitude*, Journal of Seismology, 2006, 10, 225–236.
 99. Federal Emergency Management Agency, *NEHRP recommended Seismic provisions for New Buildings and other structures*, Washington, D. C, 2020, 555 trang.
 100. European standard, *Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance - Part 1: General rules, seismic actions and rules for buildings*, 2004, 229 trang.
 101. Tiêu chuẩn xây dựng Việt Nam TCXDVN 375:2006, *Thiết kế công trình chịu động đất*, Nhà xuất bản xây dựng, 2006, 296 trang.
 102. J. D. Bray and A. Rodríguez-Marek, *Geotechnical site categories, Proceedings of the First PEER-PG&E Workshop on Seismic Reliability of Utility Lifelines*, San Francisco/California, 1997.
 103. DIN 4149:2005, *Buildings in German earthquake regions – Design loads, analysis, and structural design of buildings*, Normenausschuss Bauwesen (NABau) im Deutschen Institut für Normung e.V. (DIN), 2005, 84 trang.
 104. Nguyễn Huy Phương (chủ nhiệm), *Báo cáo tổng kết 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”*, mã số TC-ĐT/06-02-3, Trường Đại học Mỏ địa chất, 2004.
 105. Trịnh Việt Bắc, Đinh Văn Toàn, Lại Hợp Phòng, Trần Anh Vũ, *ĐKND ảnh hưởng bởi tác động động đất khu vực phía Tây nội thành Hà Nội*, Tạp chí Các Khoa học về Trái đất, 2011, 33(3ĐB), 567-572.
 106. Nguyễn Đình Xuyên (chủ nhiệm nhánh), *Báo cáo tổng kết nhánh “Phân vùng nhỏ động đất thành phố Hồ Chí Minh” thuộc Đề tài Phân vùng nhỏ động đất thành phố Hồ Chí Minh*, Sở Khoa học và Công nghệ thành phố Hồ Chí Minh, 2009.
 107. Hung Nguyen-Tien, Phuong Nguyen-Hong, Minh Nguyen-Le, Wen Kuo-Liang, Nguyen Tran-An, *Investigation of microtremor motion variation by Nakamura’s H/V spectral ratio method*, Journal of Marine Science and Technology; 2017, 17(4B): 68-74.

108. C. H. Kuo, *Study and application of the microtremor characteristics*. Ph.D. Dissertation, Department of Earth Sciences, National Central University, Taiwan. 2007, 151 trang.
109. Y. Nakamura, *Clear Identification of Fundamental Idea of Nakamura's Technique and its Applications*, 12WCEE, 2000, 2656.
110. Y. Nakamura, *On the H/V spectrum*, The 14th World Conference on Earthquake Engineering, October 12-17, 2008, Beijing, China.
111. G. Giulio, C. Cornou, M. Ohrnberger, M. Wathelet and A. Rovelli, *Deriving wavefield characteristics and shear-velocity profiles from two-dimensional small-aperture arrays analysis of ambient vibrations in a small-size alluvial basin, Colfiorito, Italy*, Bulletin of the Seismological Society of America, 2006, 96(5), 1915-1933.
112. Hung Nguyen-Tien, Phuong Nguyen-Hong, Minh Nguyen-Le, Lin Che-Min, Nguyen Tran-An, Truyen Pham-The, Duong Nguyen-Van, *Establishment of the correlation between the near-surface sedimentary thickness and the microtremor dominant frequency in the Hanoi area*, Vietnam Journal of earth sciences, 2022, 1-17, <https://doi.org/10.15625/2615-9783/17569>.
113. Trần Thị Mỹ Thành, Nguyễn Ánh Dương, Nguyễn Lê Minh, Nguyễn Thanh Tùng, Phạm Quang Hùng, *Thử nghiệm áp dụng phương pháp SPAC trong xử lý số liệu đo vi địa chấn ở Việt Nam*, Tạp chí Địa chất, 2006, loạt A, số 297, 57-64.
114. Bùi Thị Nhung, Nguyễn Hồng Phương, *Phân loại nền đất địa phương khu vực nội thành Hà Nội theo các tài liệu ĐCCT, địa vật lý dựa trên tiêu chuẩn NEHRP*, Tạp chí Các Khoa học về Trái đất, 2015, 37(4), 363-372.
115. Nguyễn Văn Hùng, *Những đặc điểm cơ bản đứt gãy tân kiến tạo Tây Bắc*, Luận án tiến sĩ địa chất, Viện Địa Chất, Viện Hàn Lâm Khoa học và công nghệ Việt Nam, 2002, 127 trang.
116. Lê Huy Minh, Võ Thanh Sơn, Nguyễn Chiên Thắng, Nguyễn Trọng Vũ, Nguyễn Đình Xuyên, G. Marquis, Trần Văn Thắng, *Mặt cắt cấu trúc địa điện đới đứt gãy Sơn La theo kết quả đo sâu từ Lelua*, Tạp chí Các khoa học về trái đất, 2008, 30(4), 491-502.

PHỤ LỤC 1

Tên điểm đo, lỗ khoan và các giá trị tính được tại 64 lỗ khoan có độ sâu tới đá.

TT	Tên điểm đo	Tên lỗ khoan	Tọa độ		F ₀ (Hz)	D _K (m)	D _T (m)	Err (%)	Ghi chú
			X	Y					
1	T104	LK19.HN	579801	2347000	2,83	23	31	34	(1)
2	T106	LK20.HN	582180	2348146	2,64	22	33	49	(1)
3	T116	LK21.HN	589139	2354891	4,49	18	20	10	(1)
4	T119	LK19-54	590842	2358039	3,71	25	24	5	(1)
5	T212	LK14.HN	584602	2344185	1,76	59	48	19	(1)
6	T225	LK10-204	591529	2353825	2,73	39	32	19	(1)
7	T301	LK10.HN	576229	2328070	1,27	54	65	21	(1)
8	T309	LK11.HN	581797	2334361	1,03	67	80	19	(1)
9	T317	LK12.HN	586439	2339655	1,42	54	59	9	(1)
10	T326	LK13.HN	592333	2345154	1,81	40	47	17	(1)
11	T401	TD15	578417	2321997	1,27	64	65	2	(3)
12	T414	Q214	586994	2329325	1,03	84	80	5	(3)
13	T424	BT3	591097	2338536	1,32	60	63	5	(2)
14	T426	LK5-54	593325	2339633	1,42	61	59	4	(1)
15	T428	LK9-204	594833	2341622	1,86	40	46	14	(1)
16	T504	805	578730	2317294	1,17	71	71	1	(3)
17	T508	LK5.HN	581003	2319471	1,32	71	63	11	(1)
18	T513	LK.14-204	582844	2321248	1,03	76	80	5	(1)
19	T524	LK48	588069	2325477	0,86	94	94	0	(1)
20	T527	LK6.HN	590411	2327181	0,88	80	92	15	(1)
21	T530	LK.17-204	592247	2328393	0,63	100	126	26	(1)
22	T538	LK8.HN	596229	2333277	0,93	78	88	12	(1)
23	T539	9-63	597766	2335162	1,12	97	74	24	(3)
24	T604	LK1.HN	589312	2313824	1,12	72	74	2	(1)
25	T615	5-N	597417	2320914	1,17	86	71	18	(3)
26	T618	LK3.HN	600450	2322751	1,12	78	74	6	(1)
27	T622	8-N	603674	2326127	1,22	70	68	3	(3)

28	T624	LK4.HN	604617	2327714	0,98	77	83	8	(1)
29	T706	LK.816	579931	2331662	1,17	64	71	10	(1)
30	T710	LK45	582377	2330254	0,98	78	83	7	(1)
31	T714	LK46	584004	2329623	0,88	92	92	0	(1)
32	T716	LK47	586345	2327266	0,88	89	92	4	(1)
33	T726	LK6LY	589431	2323570	0,81	75	100	33	(1)
34	T736	LK55	593631	2320516	0,70	116	115	1	(1)
35	969	BT1	592158	2341558	1,61	57	52	8	(2)
36	61	BT4	579146	2334899	1,07	81	77	5	(2)
37	924	BT6	597548	2326145	0,78	78	103	33	(2)
38	412	BT7	577070	2323402	1,42	76	59	23	(2)
39	499	BT8	584022	2323102	1,17	72	71	2	(2)
40	481	BT9	587170	2323619	1,27	78	65	16	(2)
41	650	BT10	585848	2320382	1,07	81	77	5	(2)
42	655	BT11	588384	2320662	1,12	85	74	13	(2)
43	175	CD10	582289	2330462	0,98	68	83	23	(3)
44	252	P10	583646	2328602	0,98	79	83	6	(3)
45	518	P44	577780	2322955	1,27	84	65	22	(3)
46	588	ĐC1	585982	2321361	1,07	80	77	4	(3)
47	617	ĐC2	585922	2320995	1,12	81	74	9	(3)
48	587	ĐC3	585630	2321148	1,17	78	71	9	(3)
49	555	ĐC4	585654	2321775	1,17	74	71	5	(3)
50	556	ĐC5	586140	2321709	1,12	82	74	10	(3)
51	739	LĐ1	585198	2318272	1,07	83	77	7	(3)
42	740	LĐ2	585806	2318424	1,07	66	77	16	(3)
53	726	LĐ3	585516	2318682	1,03	81	80	2	(3)
54	728	LĐ4	586104	2319099	1,27	71	65	8	(3)
55	706	LĐ5	586613	2319277	1,03	75	80	6	(3)
56	707	LĐ6	587010	2319343	1,27	80	65	18	(3)
57	741	LĐ7	586772	2318523	1,07	85	77	10	(3)
58	729	LĐ8	586388	2318642	0,98	85	83	2	(3)

59	663	4-63	592583	2320458	0,98	80	83	4	(3)
60	915	9-63	597766	2335162	1,12	97	74	24	(3)
61	766	7-N	593483	2317375	0,88	97	92	5	(3)
62	132	Q213	574361	2332076	1,71	42	49	18	(3)
63	533	Q215	586384	2322701	1,17	85	71	17	(3)
64	781	PV2	588653	2317039	0,98	77	83	8	(3)

Ghi chú: F_0 là tần số trội H/V; D_K là chiều dày lớp phủ nông tìm được từ lỗ khoan; D_T là chiều dày lớp phủ nông tính được theo giá trị F_0 ; Err là sai số chiều dày lớp phủ nông; 1- Theo Nguyễn Đức Đại và nnk (1996) [2]; 2- Theo Vũ Nhật Thăng và nnk (2003) [3] và 3- Theo Nguyễn Đình Thông và nnk (2012) [4].

PHỤ LỤC 2

Giá trị V_S của các loại đất chính tính theo chỉ số N_{SPT} bằng các hàm tương quan thực nghiệm phù hợp với điều kiện nền đất khu vực nghiên cứu

Loại đất	N_{SPT}	V_S (m/s)															V_{Sk} (m/s)	
		<i>O&I</i> [26]	<i>Ima</i> [27]	<i>O&G</i> [10]	<i>I&T</i> [28]	<i>Lee</i> [29]	<i>Yo</i> [30]	<i>Ath</i> [31]	<i>Jaf</i> [32]	<i>H&U</i> [33]	<i>H&R</i> [34]	<i>Uma</i> [35]	<i>T&S</i> [36]	<i>Anb</i> [37]	<i>Fau</i> [38]	<i>Kir</i> [39]		<i>Shu</i> [40]
(5)	10	201	200	190	200	234	225	246	215	182	226	204	224	223	203	220	199	220
(6)	10	201	198	190	200	234	225	246	215	183	222	222	224	223	203	220	199	210
(7)	4,5	147	151	144	156	182	182	185	165	143	158	158	173	149	162	167	143	160
(9)	14	230	193	214	222	209	247	278	193	211	248	202	251	265	223	247	229	230
(13)	3	126	141	125	137	161	163	160	144	132	136	132	151	121	144	145	122	140
(14)	11	209	205	197	206	241	231	255	222	187	235	211	232	234	209	228	207	220
(15)	14	230	221	214	222	259	247	278	241	203	257	257	251	265	223	247	229	240
(17)	14	230	221	214	222	259	247	278	241	203	257	257	251	265	223	247	229	240
(18)	25	288	234	262	267	278	289	343	234	254	319	236	303	356	264	302	290	280
(19)	35	328	261	294	296	328	316	387	262	282	370	258	338	423	290	339	333	340
(22)	150	579	423	488	468	669	468	653	425	449	695	379	544	888	440	560	604	560

Ghi chú: V_S là giá trị vận tốc sóng ngang tính theo chỉ số N_{SPT} bằng các công thức phù hợp với điều kiện nền đất khu vực nghiên cứu.

V_{Sk} là giá trị vận tốc sóng ngang trung bình lựa chọn từ các giá trị V_S .

PHỤ LỤC 3

Giá trị V_{S30} xác định được tại các lỗ khoan của Nguyễn Huy Phương và nnk [104]

Tên lỗ khoan	V_{S30} (m/s)																V_{S30P} (m/s)	V_{S30h} (m/s)	Err (%)
	<i>O&I</i> [26]	<i>Ima</i> [27]	<i>O&G</i> [10]	<i>I&T</i> [28]	<i>Lee</i> [29]	<i>Yo</i> [30]	<i>Ath</i> [31]	<i>Jaf</i> [32]	<i>H&U</i> [33]	<i>H&R</i> [34]	<i>Uma</i> [35]	<i>T&S</i> [36]	<i>Anb</i> [37]	<i>Fau</i> [38]	<i>Kir</i> [39]	<i>Shu</i> [40]			
ĐĐ-14CL	201	191	191	202	220	228	248	197	190	222	227	191	226	219	205	221	211	223	6
BĐ-22	239	211	222	230	238	254	289	219	212	265	270	221	260	278	231	257	244	228	7
BĐ-25	224	212	210	220	253	246	273	221	205	250	252	211	247	249	222	243	234	220	6
BĐ26	243	224	227	236	271	262	296	231	222	271	275	221	266	275	237	263	251	195	22
BĐ-31	194	193	184	195	227	221	238	203	181	216	218	191	218	209	199	214	206	191	7
BĐ-X	175	179	168	179	207	205	217	189	166	194	178	200	186	184	195	172	187	211	13
ĐĐ-75	185	183	176	187	209	213	228	193	173	204	208	185	209	198	191	204	197	192	3
ĐĐ-87	224	194	209	218	212	243	272	197	204	244	253	204	245	257	219	242	227	212	7
ĐĐ-88	216	195	203	212	219	237	264	199	199	237	244	200	239	244	214	235	222	200	10
ĐĐ-94	167	167	162	173	188	200	208	171	164	182	188	165	193	172	178	187	179	212	18
HBT-19	183	184	175	186	211	212	226	195	172	203	207	185	208	196	190	203	196	192	2
HBT-35	200	187	190	199	209	225	245	192	187	220	226	191	224	221	203	219	209	210	0
HBT-40	182	171	174	184	182	210	225	175	172	197	205	178	206	195	189	201	190	165	13

HBT-73	182	171	174	184	181	210	224	175	173	197	205	178	206	194	189	201	190	209	10
HBT-74	204	184	193	202	200	228	250	188	189	222	231	193	227	227	205	223	210	229	9
HBT-75	180	168	173	183	174	209	223	172	171	194	203	178	205	193	188	200	188	210	12
HK-53	183	184	176	187	214	215	227	191	176	201	206	181	209	189	192	204	196	210	7
HK-105	153	159	150	162	176	189	192	163	154	166	173	156	180	153	168	174	167	170	2
HK-106	245	224	227	236	266	261	296	236	217	274	276	228	266	282	236	263	252	166	34
HM-62	88	108	91	103	122	128	115	107	103	93	99	96	113	75	111	106	104	166	60
HM-64	94	113	96	108	127	133	122	112	107	99	105	101	118	82	116	112	109	173	59
HM-65	155	166	151	163	191	190	194	173	154	169	174	161	181	154	169	176	170	165	3
HM-68	167	160	162	174	172	201	208	160	167	179	188	161	193	170	179	188	177	165	7
HM-70	203	183	192	202	200	227	248	186	190	220	229	190	226	224	205	222	209	210	0
HM-74	221	188	207	217	198	242	269	187	205	237	250	199	244	249	219	240	223	210	6
LB-35	194	196	185	195	229	222	239	210	179	217	219	198	219	210	199	214	208	210	1
LB-36	185	180	178	189	206	216	229	183	180	202	209	178	211	194	193	206	196	210	7
LB-38	203	187	192	202	208	228	249	191	191	222	229	191	227	223	205	222	211	210	0
LB56	221	206	207	216	240	241	269	214	201	246	249	208	243	250	218	240	229	160	30
SS-74	248	214	229	237	246	261	299	219	221	274	280	221	267	292	237	265	251	312	24
TL-43	172	172	166	177	196	204	213	178	167	188	194	170	197	179	182	192	184	231	26
TL-51	200	185	189	199	198	225	245	192	184	218	225	195	223	219	202	219	207	213	3

TH-39	218	193	205	214	216	240	266	195	203	238	246	197	241	246	216	237	223	210	6
TX-7	229	200	213	221	223	246	277	205	207	251	258	209	250	263	223	246	233	211	9
TX-12	226	200	211	220	226	245	275	204	207	248	255	206	248	258	222	244	231	211	9
TX-22	137	150	135	147	172	173	173	155	140	149	154	143	163	133	153	157	152	167	10
TX-28	159	160	155	166	176	192	199	165	156	173	180	161	185	164	171	179	171	165	4
TX-30	237	200	220	228	222	253	287	200	217	258	268	207	258	276	229	255	238	229	4
TX-46	163	157	158	170	165	196	204	159	161	175	184	161	189	169	175	183	173	166	4

Ghi chú: V_{S30} là giá trị vận tốc sóng ngang trung bình trong 30 m phía trên cùng tính theo chỉ số N_{SPT} bằng các hàm tương quan thực nghiệm phù hợp với điều kiện nền đất khu vực nhiên cứu.

V_{S30p} là giá trị V_{S30} trung bình tính theo chỉ số N_{SPT} .

V_{S30h} là giá trị V_{S30} tìm được tại các điểm đo ĐĐVĐC lân cận các lỗ khoan trên.

Err là sai số giữa các giá trị V_{S30p} và V_{S30h} tại mỗi lỗ khoan tương ứng.