

**BỘ KHOA HỌC VÀ CÔNG NGHỆ
VIỆN ĐỊA CHẤT**

**BÁO CÁO TỔNG KẾT NHIỆM VỤ NGHIÊN CỨU THEO NGHỊ
ĐỊNH THƯ VIỆT NAM – ITALY (2006 – 2008)**

**ÁP DỤNG CÔNG NGHỆ THĂM DÒ KHÔNG PHÁ
HỦY ĐỂ PHÁT HIỆN, ĐÁNH GIÁ HIỆN TRẠNG CÁC
ĐỐI TƯỢNG VĂN HOÁ CỔ BỊ VÙI LẤP TRONG KHU
VỰC HOÀNG THÀNH THĂNG LONG VÀ LÂN CẬN**

**CƠ QUAN CHỦ TRÌ
VIỆN ĐỊA CHẤT
TS. Trần Trọng Huệ**

**CHỦ NHIỆM NHIỆM VỤ
PGS.TS. Đinh Văn Toàn**

7286
15/4/2009

HÀ NỘI – 2008

BỘ KHOA HỌC VÀ CÔNG NGHỆ
VIỆN ĐỊA CHẤT

**BÁO CÁO TỔNG KẾT NHIỆM VỤ NGHIÊN CỨU THEO NGHỊ
ĐỊNH THƯ VIỆT NAM – ITALY (2006 – 2008)**

**ÁP DỤNG CÔNG NGHỆ THĂM DÒ KHÔNG PHÁ
HUỖ ĐỂ PHÁT HIỆN, ĐÁNH GIÁ HIỆN TRẠNG CÁC
ĐỐI TƯỢNG VĂN HOÁ CỔ BỊ VÙI LẤP TRONG KHU
VỰC HOÀNG THÀNH THĂNG LONG VÀ LÂN CẬN**

**Cơ quan chủ trì
VIỆN ĐỊA CHẤT**

TS. Trần Trọng Huệ

Những người thực hiện chính

1. PGS.TS. Đinh Văn Toàn (Chủ nhiệm)
2. TS. Đoàn Văn Tuyển
3. KS. Trịnh Việt Bắc
4. GS.TS. Mauro Cucarzi
5. PGS.TS. Nguyễn Địch Dĩ
6. TS. Phạm Văn Hùng
7. PGS.TS. Trần Cánh
8. KS. Lại Hợp Phòng
9. CN. Trần Anh Vũ
10. CN. Nguyễn Thị Hồng Quang
11. PGS.TS. Nguyễn Văn Giảng
12. KS. Vũ Văn Hà

HÀ NỘI – 2008

MỞ ĐẦU

Phương pháp Địa Vật lý đã bắt đầu được sử dụng trong xác định các đối tượng khảo cổ bị vùi lấp từ những năm 50 của thế kỷ trước. Do việc sử dụng các phương pháp Địa Vật lý ngày càng hiệu quả nên ở nhiều nước hiện nay việc áp dụng công nghệ và kỹ thuật Địa Vật lý trong các dự án khảo cổ đã trở thành phổ biến, tuy nhiên ở nước ta việc triển khai các phương pháp này phục vụ khảo cổ còn rất hạn chế. Trong thực tế các nhà Địa Vật lý ở nước ta tuy nắm bắt được các tiến bộ của công nghệ, kỹ thuật Địa Vật lý nhưng lại chưa có kinh nghiệm sử dụng chúng trong công tác khảo cổ. Mặt khác ta cũng chưa có nhiều cơ hội để liên kết các nhà nghiên cứu về khảo cổ với các nhà Địa Vật lý. Ưu điểm của phương pháp Địa Vật lý là các khảo sát nghiên cứu có thể cho ta được bức tranh khái quát về phân bố các di tích bị vùi lấp mà không cần đào bới, khai quật nhiều. Điều này có thể giúp các nhà khảo cổ có được chiến lược hợp lý hơn trong việc quy hoạch bảo tồn và phát huy các giá trị văn hoá của các di tích.

Italy là một trong những nước có nhiều kinh nghiệm về lĩnh vực này. Hoàng Thành Thăng Long là Thủ đô của nước Đại Việt có lịch sử tồn tại và phát triển nghìn năm nay. Kết quả khai quật và nghiên cứu về khảo cổ cho thấy trong khu Hoàng Thành có nhiều di tích khảo cổ rất có giá trị về văn hoá còn bị vùi lấp trong lòng đất, chưa được biết đến. Các di tích văn hoá và lịch sử ở nhiều địa phương trong cả nước cũng có tình trạng tương tự. Do công tác bảo tồn và phát huy giá trị văn hoá của các di tích ngày càng được quan tâm hơn nên trong khuôn khổ hợp tác khoa học theo Nghị định thư Việt Nam – Italy giai đoạn 2006 – 2008 hai bên đã thống nhất tạo điều kiện để các nhà khoa học hợp tác triển khai nhiệm vụ nghiên cứu: *“Áp dụng công nghệ thăm dò không phá huỷ phát hiện đánh giá hiện trạng các đối tượng văn hoá cổ bị vùi lấp trong khu vực hoàng thành Thăng Long và lân cận”*.

Theo đó, ngày 1/7/2006 Hợp đồng thực hiện nhiệm vụ hợp tác quốc tế về khoa học và công nghệ theo nghị định thư số 36/2006/HĐ-NĐT được ký kết giữa đại diện Bộ Khoa học và Công nghệ với đại diện của Viện Khoa học và Công nghệ Việt nam, trong đó Viện Địa chất được Bộ giao cho chủ trì nhiệm vụ.

Mục tiêu của công tác nghiên cứu này là: xây dựng quy trình công nghệ để phát hiện và nhận dạng có hiệu quả các đối tượng khảo cổ bị chôn vùi trong khu Hoàng Thành Thăng Long và lân cận. Theo các kết quả khảo sát nghiên cứu xây dựng sơ đồ phân bố các di tích văn hoá cổ bị vùi lấp .

Nhằm đạt các mục tiêu trên, một loạt các phương pháp Địa Vật lý đã được triển khai khảo sát thử nghiệm. Đối tác phía Italy cũng nhiều lần tham gia trực tiếp các khảo sát đo vẽ ngoài hiện trường và tư vấn trong khâu xử lý phân tích tài liệu. Trong khoảng thời gian từ giữa năm 2006 đến tháng 7/2008 trong khu Thành cổ Hà Nội và khu vực Cổ Loa đã tiến hành một khối lượng lớn các khảo sát thử nghiệm bằng các phương pháp Địa Vật lý. Trong đó, đo cắt lớp điện trở đến 236 điểm với 30 tuyến đo; đo địa chấn 66 điểm gồm 23 tuyến; đo từ 1600 điểm, đo radar xuyên đất 5242m. Phương pháp đo phóng xạ tia Gamma và Neutron được thực hiện trong 9 lỗ xuyên, phân bố tương đối đều trong khu khảo sát. Riêng phương pháp điện từ tần số thấp đo bằng thiết bị ERA, mặc dù không có trong kế hoạch nhưng đây là thiết bị mới, có nhiều ưu điểm cho khảo sát khu vực thành phố nên việc thử nghiệm vẫn được tiến hành với 23 tuyến đo. Để hỗ trợ cho việc lý giải các kết quả đo Địa Vật lý, trong nhiệm vụ này còn tiến hành các nghiên cứu về điều kiện địa chất - kiến tạo, khoan lấy mẫu phân tích tại 4 lỗ khoan với tổng chiều sâu 54 m, xác định địa tầng các lớp gần mặt đất. Nhóm tác giả cũng đã thực hiện nghiên cứu về trầm tích Đệ tứ, đặc biệt là trầm tích Holocen, một đối tượng có nhiều mối quan hệ với các di tích khảo cổ. Cho đến nay cả về khối lượng công việc lẫn các nội dung của nhiệm vụ nghiên cứu đã được thực hiện đầy đủ.

Kết quả khảo sát đã cho phép nghiên cứu tương đối chi tiết về điều kiện địa chất - kiến tạo khu vực Thành cổ. Đối với công tác đo Địa Vật lý thì môi trường ở đây rất phức tạp bởi các hệ thống hạ tầng hiện đại của thành phố nên việc thi công khó khăn và không phải phương pháp nào cũng đạt hiệu quả tốt. Việc giải quyết nhiệm vụ đặt ra, qua phân tích kết quả khảo sát thử nghiệm cho thấy, không thể sử dụng một phương pháp Địa Vật lý đơn lẻ nào mà phải sử dụng đến một tổ hợp phương pháp.

Các kết quả chính của nhiệm vụ nghiên cứu được trình bày trong báo cáo tổng kết gồm 4 chương như sau:

- Chương I: *Vài nét về ứng dụng các phương pháp Địa Vật lý trong khảo cổ và đặc điểm môi trường khảo cổ khu vực hoàng thành Thăng Long.*
- Chương II: *Khảo sát nghiên cứu thử nghiệm bằng các phương pháp điện từ.*
- Chương III: *Khảo sát thử nghiệm bằng các phương pháp Địa Vật lý khác.*
- Chương IV: *Khả năng sử dụng các phương pháp Địa Vật lý phát hiện các đối tượng*

văn hoá cổ bị vùi lấp trong khu thành cổ Hà Nội.

Các kết quả nghiên cứu cũng đã được công bố trong các tuyển tập của 4 hội thảo khoa học, trong đó có 3 hội thảo quốc tế và 1 hội thảo quốc gia. Ngoài ra, các kết quả liên quan cũng được công bố trong 2 bài báo do Đại học quốc gia Singapore xuất bản năm 2008.

Thông qua hợp tác nghiên cứu các cán bộ tham gia về phía Việt Nam đã học tập và tiếp thu được những kinh nghiệm sử dụng Địa Vật lý trong khảo cổ của các nhà Địa Vật lý Italy, về công nghệ, kỹ thuật cả khâu khảo sát lẫn xử lý phân tích số liệu. Trong suốt thời gian thực hiện nhiệm vụ, phía Việt nam chỉ có 2 cán bộ sang trao đổi kinh nghiệm tại Italy là do tính đặc thù của công tác nghiên cứu này. Trong thực tế ta không thiếu thiết bị mà là thiếu kinh nghiệm sử dụng Địa Vật lý trong khảo cổ. Phía bạn cũng hiểu điều này và thay vì các chuyến đi của cán bộ Việt Nam, phía Italy đã tham gia rất tích cực đến 6 lần, từ khâu khảo sát thực địa đến xử lý phân tích tài liệu tiến hành tại Hà Nội cùng các đồng nghiệp Việt Nam.

Báo cáo được hoàn thành với sự chủ trì của PGS.TS. Đinh Văn Toàn chủ nhiệm và các cán bộ tham gia gồm: TS. Đoàn Văn Tuyến, KS. Trịnh Việt Bắc, TS. Phạm Văn Hùng, PGS.TS. Nguyễn Địch Dĩ, KS. Lại Hợp Phòng, CN. Trần Anh Vũ, CN. Nguyễn Thị Hồng Quang, PGS.TS. Trần Cảnh, PGS.TS. Nguyễn Văn Giảng, KS. Vũ Văn Hà, KS. Nguyễn Bá Duẩn, KS. Lại Cao Khiêm, ThS. Nguyễn Trọng Vũ, KS. Trịnh Ngọc, KS. Đỗ Thị Hải.

Trong suốt thời gian thực hiện nhiệm vụ nghiên cứu tập thể tác giả luôn nhận được sự hỗ trợ về nhiều mặt của các cơ quan chức năng thuộc Bộ Khoa học và Công nghệ (Vụ quản lý Khoa học Xã hội và Tự nhiên, Vụ Hợp tác Quốc tế), các cơ quan chức năng thuộc Viện Khoa học và Công nghệ Việt Nam (Ban Kế hoạch - Tài Chính, Ban Hợp tác quốc tế) và lãnh đạo Viện Địa chất. Tập thể tác giả cũng được các đồng chí lãnh đạo và cán bộ của Trung tâm bảo tồn khu di tích Cổ Loa - Thành cổ Hà Nội tạo điều kiện thuận lợi cho tiến hành các khảo sát nghiên cứu thử nghiệm. Đáng ghi nhận là rất nhiều lần chủ nhiệm nhiệm vụ về phía Italy TS. Mauro Cucarzi đã tham gia trực tiếp công tác khảo sát trong khu Thành cổ, tham gia xử lý phân tích tài liệu và lý giải kết quả. Nhân dịp này tập thể tác giả xin được bày tỏ lòng biết ơn chân thành đến các cơ quan và cá nhân các đồng chí lãnh đạo và các cán bộ chuyên trách thuộc các cơ quan nói trên đã tạo điều kiện thuận lợi cho tập thể tác giả hoàn thành nhiệm vụ.

CHƯƠNG I

VÀI NÉT VỀ ỨNG DỤNG CÁC PHƯƠNG PHÁP ĐỊA VẬT LÝ TRONG KHẢO CỔ VÀ ĐẶC ĐIỂM MÔI TRƯỜNG KHẢO CỔ KHU VỰC HOÀNG THÀNH THĂNG LONG

1.1. VÀI NÉT VỀ ỨNG DỤNG PHƯƠNG PHÁP ĐỊA VẬT LÝ TRONG CÔNG TÁC KHẢO CỔ Ở NƯỚC NGOÀI

Việc bảo tồn các di sản văn hoá cổ của mỗi dân tộc là một công việc mang nhiều ý nghĩa nên đã được nhiều nước quan tâm chú trọng. Phụ thuộc và trình độ phát triển kinh tế - xã hội mà mỗi nước đều có chiến lược riêng của mình trong công tác bảo tồn và phát huy các giá trị của các di tích văn hoá cổ. Ở các nước phát triển do họ có điều kiện tốt hơn nên công tác bảo tồn huy động được sự tham gia tích cực và có hiệu quả của nhiều ngành khoa học liên quan, ý thức của người dân trong việc bảo tồn các di tích cổ cũng được nâng cao.

Nhiều di tích văn hoá cổ trải qua các thời kỳ lịch sử, do nhiều nguyên nhân có thể xuống cấp nghiêm trọng, cũng có thể bị phá huỷ. Nhiều di tích bị chôn vùi trong lòng đất tạo thành từng lớp mang những dấu ấn của các triều đại trong những giai đoạn lịch sử nhất định. Cũng chính đặc điểm này khiến cho công tác khảo cổ không chỉ cần tiến hành đối với các di tích còn quan sát được trên mặt đất mà rất nhiều công trình cần được tìm kiếm, phát hiện bởi chúng đã bị vùi lấp không hồ sơ trong lòng đất. Nhiều năm trước đây thì công việc này được tiến hành bằng cách đào bới, khai quật trên cơ sở dự đoán của các nhà nghiên cứu khảo cổ về đặc điểm của các quần thể kiến trúc của từng giai đoạn lịch sử. Do trong nhiều trường hợp các di tích này bị phá huỷ, bị vùi lấp và phân tán vào lòng đất không có quy luật nên công tác đào bới, khai quật nhiều khi đạt hiệu quả thấp. Hơn nữa các di tích một khi đã được khai quật thì công tác bảo tồn lại là một vấn đề không dễ, bởi vậy nếu chỉ sử dụng khai quật đơn thuần thì nhiều khi khó có thể thực hiện được mục tiêu của chiến lược bảo tồn di sản văn hoá cổ. Do đặc thù của công tác khảo cổ như trên nên các phương pháp Địa Vật Lý, là những công cụ nghiên cứu lòng đất đã tìm được chỗ đứng và ngày càng xâm nhập sâu hơn, hiệu quả hơn trong phục vụ nghiên cứu của các nhà khảo cổ. Kể từ sau khi các phương pháp Địa Vật Lý đạt được hiệu quả trong phát hiện các mỏ dầu và tìm kiếm các khoáng sản có ích khác, các

nhà nghiên cứu khảo cổ ở một số nước đã bắt đầu sử dụng chúng thử nghiệm tìm kiếm các di tích khảo cổ bị chôn vùi. Trong số các cơ sở đi đầu trong công tác này phải kể đến Phòng thí nghiệm khảo cổ của đại học Oxford của nước Anh (Oxford Archaeology Laboratory), Trung tâm thăm dò khảo cổ thuộc trường đại học Pennsylvania của Mỹ (Center of Archaeological Prospecting), Trung tâm nghiên cứu Địa Vật lý Garchy thuộc Trung tâm nghiên cứu khoa học Quốc gia Pháp (CNRS), Viện bảo tàng Hermitage Saint Petersburg và Viện hàn lâm Khoa học Liên Bang Xô Viết trước đây và Liên Bang Nga ngày nay, Viện bảo tàng Rheinisches Landesmuseum tại Bonn của Cộng hòa liên bang Đức. Ngoài ra, các khảo sát bằng phương pháp Địa Vật lý phục vụ công tác khảo cổ cũng được chú trọng ở Nhật và Trung Quốc [8]. Đáng lưu ý là năm 1947, sau chiến tranh thế giới thứ 2, sau khi Viện Địa Vật lý ứng dụng được thành lập tại Trường đại học Bách khoa Milano - Italy thì các ý tưởng sử dụng phương pháp Địa Vật lý tìm kiếm các di tích khảo cổ bị chôn vùi được đẩy mạnh lên rất nhiều. Viện nghiên cứu này đã hợp tác chặt chẽ với nhiều cơ sở có uy tín về khảo cổ ở Châu Âu và Mỹ. Tuy nhiên các ứng dụng có kết quả và gần như có ý nghĩa mở ra một trang mới cho ngành Địa Vật lý trong lĩnh vực khảo cổ cũng chỉ bắt đầu có được vào khoảng năm 1955 - 1956, sau khi tiến hành khảo sát và đã phát hiện nhiều ngôi mộ đã bị mất dấu vết trên bề mặt tại nghĩa địa cổ Tarquinia ở Italy [8]. Cũng từ đây phương pháp Địa Vật lý đã trở thành một trong những công cụ khảo sát phát hiện các đối tượng khảo cổ bị vùi lấp trong nhiều dự án bảo tồn ở nhiều nước [8]. Ưu điểm của việc áp dụng phương pháp này là, kết quả khảo sát trong những điều kiện thuận lợi có thể cho ta được bức tranh tổng thể về phân bố của các đối tượng bị vùi lấp mà không làm tổn hại đến đối tượng. Điều này giúp cho ngành khảo cổ có kế hoạch chủ động, thích hợp trong quy hoạch bảo tồn và phát huy giá trị các di tích cổ đảm bảo hiệu quả tốt hơn so với cách khai quật. Cũng từ đây hình thành một hướng nghiên cứu gọi là phương pháp hoặc công nghệ thăm dò không phá hủy và được áp dụng ngày càng nhiều trong công tác khảo cổ.

Nguyên lý chung để sử dụng phương pháp Địa Vật lý trong khảo cổ là tính chất vật lý của những vật liệu sử dụng các công trình cổ bị vùi lấp thường khác biệt với môi trường xung quanh. Công tác khảo sát liên quan đến khảo cổ thường chỉ cần thăm dò đến độ sâu khoảng 10 m, tuy nhiên các vật thể cần phát hiện thường có kích thước nhỏ, hơn nữa môi trường địa chất các lớp gần mặt đất thường rất phức tạp, tính bất đồng nhất rất cao nên việc khảo sát bằng phương pháp Địa Vật lý cũng không phải lúc nào cũng

đạt kết quả. Trong những năm đầu các phương pháp Địa Vật lý được áp dụng phần lớn là phương pháp đo từ và thăm dò điện, một số rất ít là đo địa chấn và trọng lực [8]. Do lúc bấy giờ các thiết bị Địa Vật lý chưa có độ phân giải cao, công nghệ xử lý phân tích tài liệu cũng chưa thật phát triển nên các khảo sát thường chỉ được tiến hành ở những nơi môi trường tương đối đơn giản như tại các vùng sa mạc, các vùng xa thành phố v.v... Vào những năm 1960 cũng chính nhờ các thiết bị như vừa nêu trên mà nhiều di tích khảo cổ tại Italy và nhiều nước ở vùng Trung Đông như ở Ai Cập, Giooc - Đa - Ni đã được phát hiện, bảo tồn và tôn tạo có hiệu quả [8]. Có thể thấy các thiết bị thăm dò thời bấy giờ độ phân giải không cao nhưng lại khá công kênh (hình 1.1).

Từ những năm 1980 nhờ các tiến bộ nhảy vọt của công nghệ điện tử và tin học mà các thiết bị Địa Vật lý có bước phát triển đáng kể về chất lượng. Các thiết bị ghi số có độ phân giải cao ra đời, cho phép ghi được các tín hiệu có ích biên độ nhỏ. Bên cạnh đó, các thiết bị có khả năng chống các nguồn nhiễu điện từ cũng được phát triển. Nhiều thiết bị tân số như thiết bị Radar và các dạng tương tự không bị nhiễu bởi hầu hết các dòng điện dân dụng bắt đầu được phổ biến. Đồng thời với tiến bộ về trang thiết bị, nhờ sự phát triển nhanh chóng của công nghệ và kỹ thuật máy tính ngành Địa Vật lý đã tạo ra được nhiều phần mềm ngày càng cho phép khai thác hiệu quả hơn tài liệu Địa Vật lý trong nghiên cứu lòng đất, bao gồm cả các phần mềm cho phép lọc nhiễu tốt hơn lẫn các phần mềm giải bài toán thuận và ngược đối với mô hình phức tạp [1-3,5]. Cũng từ giai đoạn này các loại thiết bị và công nghệ Địa Vật lý được sử dụng trong công tác khảo cổ đa dạng hơn nhiều so với giai đoạn trước. Kết quả vừa nêu không chỉ là lý do củng cố được vị trí của công tác Địa Vật lý trong khảo cổ mà việc áp dụng phương pháp này cũng bắt đầu có hiệu quả trong khu vực thành phố, nơi môi trường khảo sát có nhiều yếu tố làm phức tạp lên rất nhiều. Kể từ đó đến nay đã có đến hàng nghìn dự án khảo cổ có sự đóng góp rất tích cực của các khảo sát bằng phương pháp Địa Vật lý trên khắp các châu lục [2,8]. Riêng bộ phận nghiên cứu khảo cổ thuộc Trường đại học Bách khoa Milano trong vòng hơn 30 năm qua đã thực hiện đến hơn 500 dự án không chỉ ở nước Italy mà còn nhiều dự án ở nước ngoài như ở: Ma-rốc, Ai Cập, Giooc - Đa - Ni, Pháp, Nga, Hungary, Đan Mạch, Ba Lan, Tây Ban Nha, Iran, Pakistan, Israel, v.v... Kết quả của nhiều dự án đã giúp nhiều quốc gia bảo tồn và phát huy có hiệu quả các giá trị của các di sản văn hoá cổ [8]. Tại vùng Đông Nam Á với danh nghĩa là tổ chức của Liên

Hợp Quốc, Trung tâm khảo cổ Lerici của Trường đại học Milano đã và đang thực hiện có hiệu quả dự án Wat Phu ở Lào và dự án Mỹ Sơn ở Việt Nam [4,6].

Khoảng 15 năm trở lại đây nhiều thiết bị thế hệ mới độ phân giải cao và nhiều tính năng vượt trội đã được đưa vào sử dụng. Hầu như tất cả các loại thiết bị Địa Vật lý có tính năng khảo sát nông đều được đưa vào thử nghiệm. Thông qua các kết quả khảo sát nghiên cứu thì cho đến thời điểm này tổ hợp các phương pháp được sử dụng nhiều nhất và tỏ ra phù hợp với nhiều loại môi trường gồm: phương pháp đo điện trở, phương pháp đo từ và phương pháp điện từ dùng thiết bị Radar. Phương pháp địa chấn và trọng lực vẫn là các phương pháp được sử dụng hạn chế. Các phần mềm xử lý phân tích cả 2 chiều và 3 chiều cũng đạt mức hoàn thiện hơn, cho phép giải bài toán ngược đối với môi trường phức tạp, khả năng thích ứng tốt hơn với môi trường thực tế.

Trong đó đối với phương pháp điện trở cũng có nhiều phương án đo, phụ thuộc vào cách bố trí hệ cực thu và phát. Thiết bị sử dụng trong phương pháp này cũng được cải tiến không ngừng và ngày càng phù hợp hơn cho các khảo sát nông chi tiết. Trong những năm gần đây thì đo điện trở bằng thiết bị đa cực đã được sử dụng ở nhiều nước. Thiết bị này được kết nối với máy tính với phần mềm điều khiển thay đổi các thông số đo đạc của thiết bị và cho phép người đo theo dõi các kết quả đo hiện trên màn hình máy tính. Tuy nhiên, thiết bị này vẫn bị nhiều khá mạnh do các vật dẫn có nguồn gốc nhân tạo như ống dẫn nước, gôn đường dây tải điện v.v... Do vậy, nhiều khi làm yếu đi tính định xứ của phép khảo sát, dẫn đến hiệu quả không cao.

Thiết bị Radar thường thu tín hiệu phản xạ của sóng điện từ trong khoảng tần số từ 10 đến 2000 MHz nên thường không bị các nguồn điện dân dụng gây nhiễu. Một số năm gần đây thiết bị thế hệ mới còn được cải tiến tránh được nhiễu do phản xạ sóng từ các công trình nhân tạo như nhà cửa, tường thành hay các vật thể tự nhiên như cây cối v.v.... Thiết bị như thế này đã sử dụng có hiệu quả trong một số phương án khảo cổ trong khu vực thành phố như ở Matscova - Nga năm 1996-1998, ở Gioóc - Đa - Ni năm 1999, ở Rome - Italy - 1998, ở thành phố Miyazaki - Nhật năm 2000 v.v.... Tuy nhiên phương pháp điện từ dùng thiết bị Radar đạt hiệu quả tốt chỉ đối với môi trường có độ dẫn điện thấp như cát khô, môi trường đá v.v..., nhưng lại kém hiệu quả với môi trường có độ dẫn cao như bùn, sét, môi trường bão hoà nước v.v...

Nhìn chung, với những kết quả đạt được trong nhiều năm qua có thể nói ngành Địa Vật lý đã có những đóng góp rất tích cực trong phát hiện các di tích khảo cổ bị chôn

vùi, góp phần rất đáng kể giúp các nhà khảo cổ hoạch định hiệu quả các phương án bảo tồn và phát huy giá trị các di sản văn hoá cổ ở nhiều quốc gia. Cho đến hiện nay ở nhiều nước gần như dự án khảo cổ nào có liên quan đến các di tích bị vùi lấp cũng đều có sử dụng Địa Vật lý trong khảo sát. Các kết quả khảo sát Địa Vật lý ngày càng đạt hiệu quả nhờ vào sự tiến bộ nhanh chóng của thiết bị và công nghệ phân tích xử lý. Tuy nhiên kết quả khả quan đạt được nhiều hơn ở những khu vực không có nhiều nguồn nhiễu như khu vực xa thành phố với môi trường tự nhiên không quá phức tạp. Trong các dự án tiến hành ở khu vực thành phố tuy cũng đạt nhiều kết quả nhưng vẫn còn nhiều yếu tố làm giảm hiệu quả, thậm chí có thể vô hiệu hoá một số loại thiết bị Địa Vật lý. Điều đáng lưu ý là cho đến nay các nhà nghiên cứu cũng không thấy phương pháp Địa Vật lý nào nổi trội hơn hẳn về hiệu quả trong khảo sát phát hiện các đối tượng khảo cổ, bởi vậy trong các phương án khảo sát thường phải sử dụng một tổ hợp các phương pháp đồng thời. Thường thì tổ hợp bao gồm phương pháp thăm dò điện, thăm dò từ kết hợp với Radar, hoặc điện từ tần số khác, cũng có thể với phương pháp trọng lực hoặc địa chấn nhưng 2 phương pháp này thường ít được sử dụng hơn.

Mặc dù các nhà nghiên cứu đã có nhiều công sức hoàn thiện từng bước khâu khảo sát Địa Vật lý phục vụ công tác khảo cổ nhưng cho đến nay vẫn còn những vấn đề vẫn chưa được giải quyết một cách thoả đáng. Trong thực tế tuy độ sâu khảo sát trong nghiên cứu đối tượng này nhỏ chỉ độ 10 - 15 m nhưng cũng chính môi trường các lớp gần mặt đất về bản chất tự nhiên đã phân dị mạnh lại chịu tác động của các hoạt động con người nên mức độ phức tạp càng cao. Hơn nữa các đối tượng khảo cổ thường có kích thước nhỏ, hiệu ứng vật lý nhỏ và thường phân tán tản mạn không có quy luật nên gây nhiều khó khăn cho khâu khảo sát.

1.2. TÌNH HÌNH ỨNG DỤNG PHƯƠNG PHÁP ĐỊA VẬT LÝ TRONG NƯỚC PHỤC VỤ CÔNG TÁC KHẢO CỔ

Nước ta có lịch sử và văn hóa phát triển lâu đời và rất phong phú. Do điều kiện tự nhiên khắc nghiệt lại trải qua nhiều cuộc chiến tranh kéo dài nên nhiều di tích bị phá hủy, bị vùi lấp. Cơ sở dữ liệu về di tích ở nhiều nơi cũng không được đầy đủ, gây nhiều khó khăn cho khâu quản lý, khai thác và bảo tồn các di tích văn hóa. Trong thực tế thì nước ta là một nước nghèo, hai cuộc chiến tranh chống Pháp và Mỹ lại kéo dài nên nhiều năm trước đây ta chưa có điều kiện quan tâm đầu tư lớn cho hướng nghiên cứu

bảo tồn và phát huy giá trị của di sản văn hóa cổ. Từ sau ngày nước nhà thống nhất nước ta mới thực sự có chiến lược rõ ràng cho công tác bảo tồn và phát huy giá trị các di sản văn hóa cổ. Thời kỳ đầu cũng còn nhiều khó khăn, đặc biệt là khó khăn về kinh tế, công tác bảo tồn chỉ triển khai tập trung vào một số công trình di sản có ý nghĩa quan trọng, còn quan sát được trên mặt đất và xuống cấp nghiêm trọng như quần thể cung đình Huế, một số công trình trong khu Hoàng Thành Thăng Long, Cổ Loa, di tích Tháp Chấm, v.v... Để làm các công việc này ngoài các đầu tư của Nhà nước, ta cũng đã tranh thủ được sự hỗ trợ của cộng đồng quốc tế, thông qua tổ chức của Liên hợp quốc UNESCO. Khoảng 15 năm trở lại đây công tác bảo tồn ngày càng được quan tâm đầu tư, nhiều di tích khảo cổ bị vùi lấp tại nhiều địa phương đã được phát hiện, khai quật và nghiên cứu. Các kết quả khảo sát nghiên cứu trong lĩnh vực khảo cổ thời gian qua đã làm cho số lượng di sản văn hóa cổ của ta đa dạng và phong phú lên rất nhiều. Tuy nhiên nhiều khu di tích sau khi được khai quật thì công tác bảo tồn gìn giữ chúng lại là một vấn đề nan giải.

Nếu như trước khi tiến hành khai quật ta có được bức tranh khái quát tổng thể về phân bố các đối tượng bị vùi lấp thì việc hoạch định công tác khai quật cũng như chiến lược bảo tồn sẽ hiệu quả hơn nhiều. Thông qua các văn liệu nước ngoài, các hội thảo quốc tế, nhiều nhà nghiên cứu đều thấy sự cần thiết phải sử dụng các công cụ thăm dò không phá hủy phát hiện các đối tượng bị chôn vùi, trong đó các thăm dò bằng phương pháp Địa Vật lý như ở nhiều nước đóng vai trò rất quan trọng. Muốn thực hiện công việc này ở nước ta cũng không phải dễ, bởi các nhà khảo cổ, bảo tồn cần biết rõ các phương pháp Địa Vật lý được sử dụng ở Việt Nam sẽ hiệu quả đến đâu. Điều này thì các nhà nghiên cứu Địa Vật lý cũng chưa thật sẵn sàng, bởi mặc dù các khảo sát nghiên cứu về Địa Vật lý ở nước ta đã được bắt đầu từ hơn nửa thế kỷ qua. Với thời gian phát triển một ngành khoa học tương đối dài như vậy, nhưng cũng như nhiều khoa học khác do chiến tranh, do nền kinh tế yếu kém ta không có điều kiện để triển khai các tiến bộ khoa học công nghệ, nhất là khoảng thời gian từ 15 năm trở về trước. Hơn nữa, ngành Địa Vật lý ở nước ta cho đến nay nhiệm vụ chính là đóng góp vào các lĩnh vực thăm dò tài nguyên khoáng sản, nghiên cứu thiên tai và môi trường là chính và cũng còn rất nhiều việc cần phải làm. Hướng nghiên cứu ứng dụng trong khảo cổ một mặt còn rất mới mẻ ta chưa có kinh nghiệm, mặt khác các ứng dụng này vẫn chỉ coi là công việc mang tính nghiệp dư đối với các nhà nghiên cứu Địa Vật lý. Cũng bởi vậy trong nhiều năm qua kết

quả đo Địa Vật lý phục vụ công tác khảo cổ còn quá ít ỏi. Trong thực tế thì một số năm gần đây trong các dự án khảo cổ trong nước, một vài kết quả đo bằng phương pháp Địa Vật lý thường không phải thực hiện để tìm kiếm phát hiện các di tích bị vùi lấp mà phục vụ cho nghiên cứu môi trường địa chất lớp đất trực tiếp tương tác với hoạt động của con người, còn gọi là tầng văn hóa. Phần lớn các đo đạc được thực hiện bằng phương pháp điện trở. Các kết quả đo thường chỉ được sử dụng như là tài liệu phụ trợ cho các nghiên cứu về tầng văn hóa [13]. Trong số những người thực hiện các công việc mang tính nghiệp dư này có các nhà chuyên môn Địa Vật lý của Viện Địa chất - VKHCNVN. Vào năm 2006 một vài kết quả đo thử nghiệm bằng thiết bị Radar tại khu Hậu Lâu của Thành cổ Hà Nội cũng được các nhà chuyên môn Địa Vật lý của trường ĐHKHTN Hà Nội thực hiện. Qua trao đổi trực tiếp với những người thực hiện cho thấy kết quả sử dụng phương pháp này có thể xác định được một số đối tượng như tường gạch, đá bị vùi lấp ở độ sâu nhỏ, v.v...

Cho đến nay, phép đo Địa Vật lý với mục đích phát hiện các đối tượng văn hoá cổ bị vùi lấp ở Việt Nam có lẽ được các nhà Địa Vật lý của Viện Địa chất - VKHCNVN tiến hành vẫn là nhiều nhất. Từ năm 1999 - 2001 trong khuôn khổ hợp tác giữa Viện Địa chất với các nhà khoa học của Cộng Hoà Liên Bang Đức, tuy không phải là tham gia dự án khảo cổ nào nhưng hai bên đã tiến hành đo thử nghiệm phương pháp điện trở bằng thiết bị đa cực tại nền điện Cần Chánh ở TP. Huế nhằm đánh giá khả năng phương pháp này trong xác định phân bố các chân cột của Toà Điện này, vốn không còn dấu vết trên bề mặt. Việc đo đạc đã được tiến hành trên 8 tuyến cắt qua nền Cung Điện với chiều dài 50 m mỗi tuyến. Thiết bị đo là máy điện cực Geosys 150 do CHLB Đức chế tạo (hình 1.2). Mỗi tuyến đo đã được sử dụng 50 điện cực, khoảng cách giữa các điện cực là 1m. Xử lý phân tích số liệu, các tác giả đã sử dụng chương trình giải bài toán ngược 2 chiều và 3 chiều do Axel Kampke xây dựng [3]. Kết quả cho thấy, dấu vết các chân cột phản ánh khá rõ trên cả mô hình 2 chiều và 3 chiều (hình 1.3, 1.4). Đáng lưu ý là trên mô hình 3 chiều dấu vết các chân cột phản ánh rõ tại các độ sâu 0,74m; 1,35m; 2,08m nhưng hầu như không còn thấy rõ tại độ sâu 2,95m. Điều này cho phép suy diễn được độ sâu phân bố các chân cột trong khoảng $2,08 < z < 2,95$ (hình 1.4). Sau khi có kết quả này các tác giả đã có kiểm chứng tại hiện trường bằng cách đào bới các khu vực được dự đoán phân bố chân cột và cho các kết quả rất tốt.

Hình 1.1: Những thiết bị địa vật lý đầu tiên sử dụng trong khảo cổ



Hình 1.1a: Thiết bị thăm dò điện của Lerici, Italy - 1956

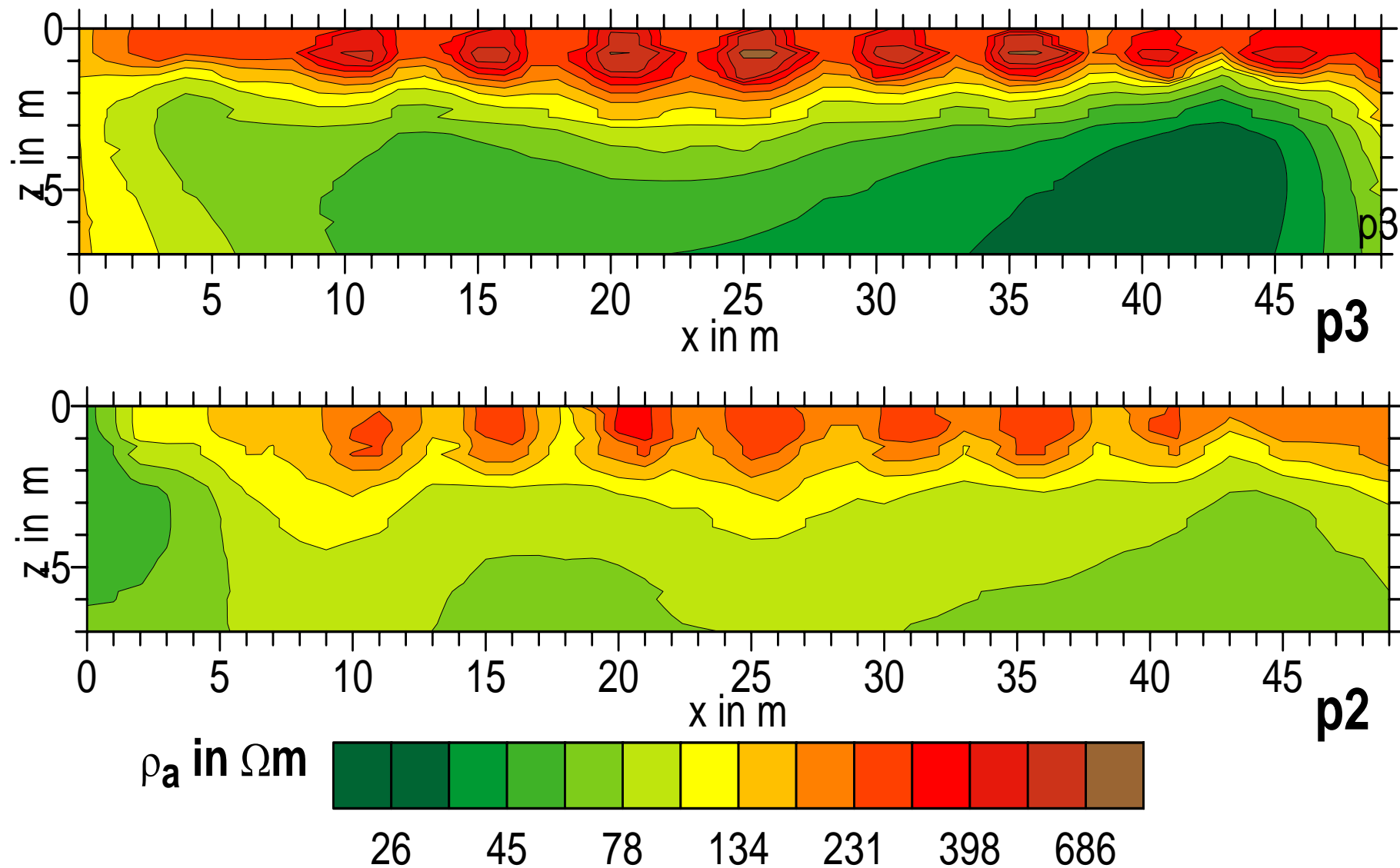


Hình 1.1b: Các nhà địa vật lý Italy đo từ ở Ai Cập năm 1960

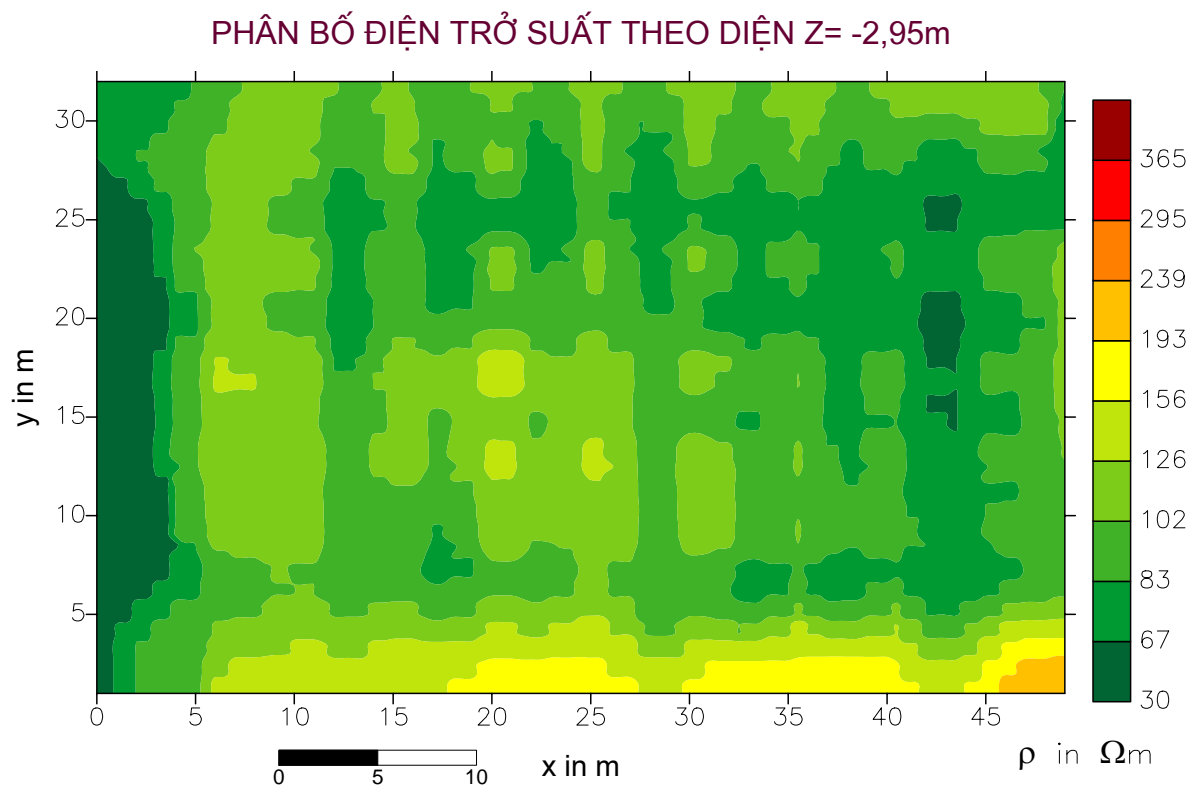
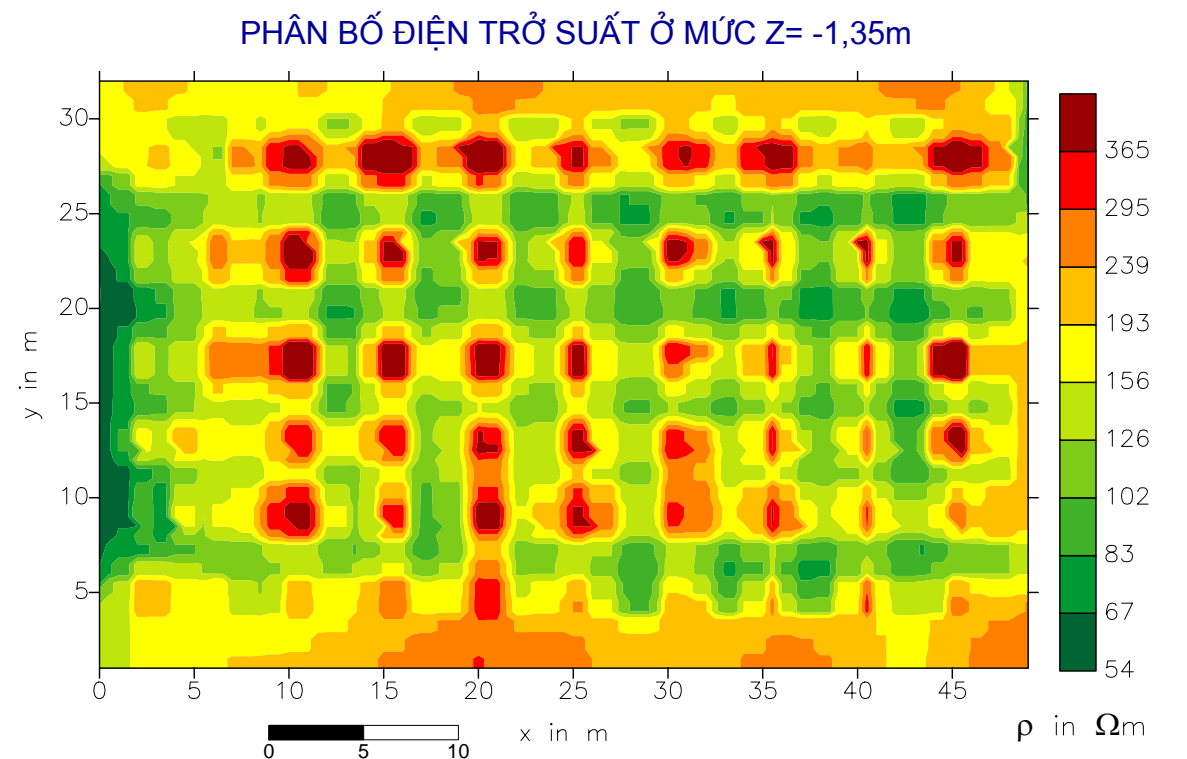
Hình 1. 2: Các bộ phận thiết bị điện đa cực GMS150



Hình 1.3: Mô hình 2 chiều 2 cắt lớp điện trở phát hiện chân cột tại Điện Cần Chánh – TP. Huế



HÌNH 1.4: MÔ HÌNH 3 CHIỀU CẮT LỚP ĐIỆN TRỞ TẠI ĐIỆN CẦN CHẤNH



Mặc dù công tác khảo sát ở đây chỉ tiến hành ở mức hạn chế về số lượng, lại chỉ sử dụng duy nhất phương pháp điện trở nhưng đây cũng là kết quả bước đầu có quy mô hơn cả về sử dụng phương pháp Địa Vật lý phát hiện các đối tượng khảo cổ bị vùi lấp. Kết quả này cũng đã được trình bày trong báo cáo tại hội nghị Quốc tế về vai trò khoa học và công nghệ đối với công tác bảo tồn, phục chế các di tích cổ (The Role of Science and Technology to the Conservation and Restoration of Ancient monuments) tổ chức tại Hà Nội tháng 10/2003 và đã được các nhà khảo cổ ít nhiều quan tâm đến kết quả.

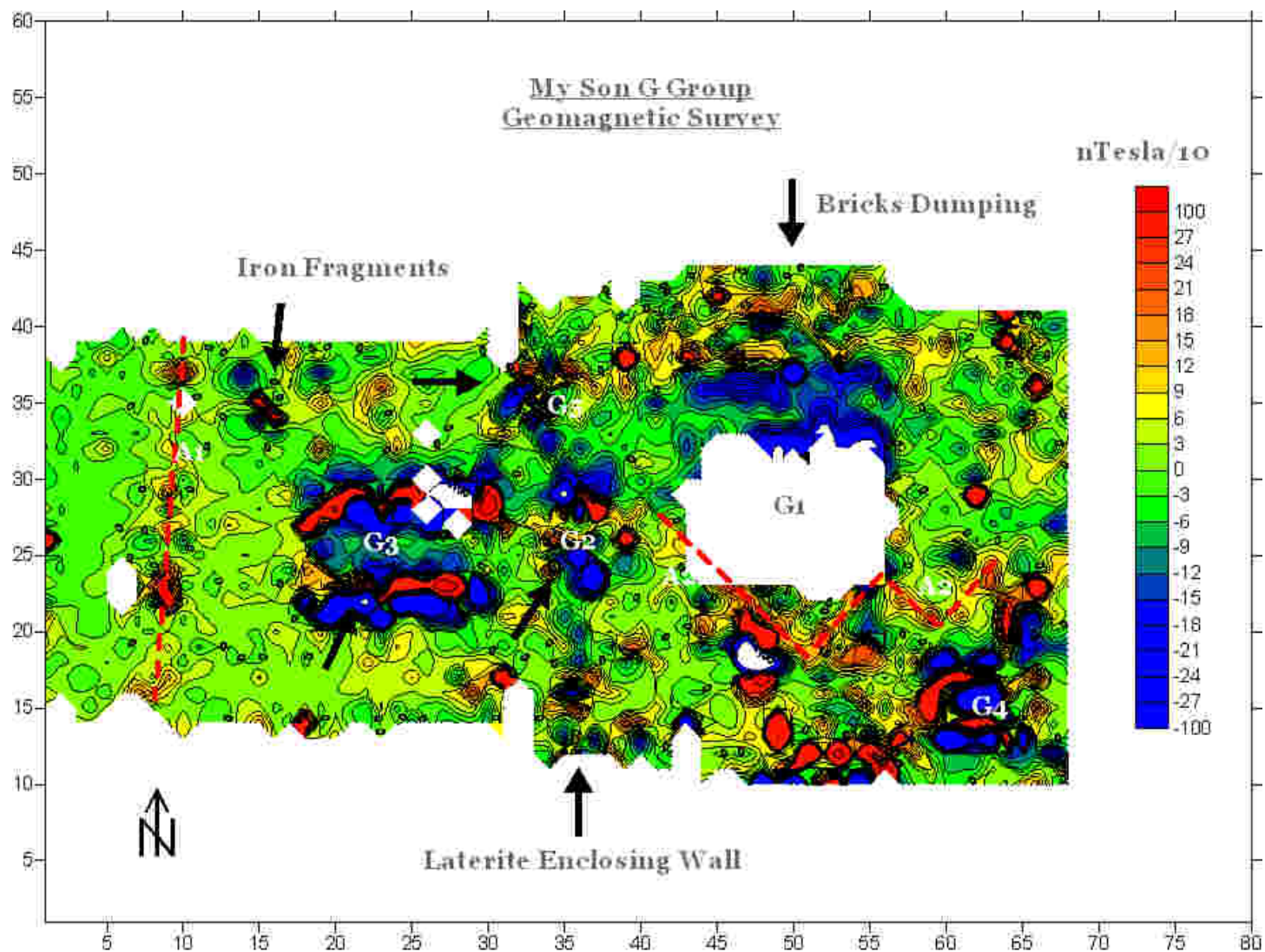
Trong khoảng thời gian 2003-2005 dưới danh nghĩa chủ trì dự án khảo cổ được Liên Hợp Quốc tài trợ, dự án bảo tồn khu di tích Chăm, Mỹ Sơn GS.TS. Mauro Curcazi đã tạo điều kiện cho các cán bộ của Viện Địa chất tham gia thực hiện khảo sát bằng phương pháp Địa Vật lý tại một số vị trí trong quần thể di tích khảo cổ ở Mỹ Sơn. Theo đó, các khảo sát được thực hiện bằng phương pháp đo dị thường từ bằng thiết bị G856 của hãng Geometrics - Mỹ, đo thăm dò điện bằng phương pháp điện trở sử dụng thiết bị đa cực của Đức như ở Huế và đo độ từ thẩm bằng thiết bị JH8 do Thụy Điển chế tạo. Đây là cơ hội để các tác giả có thể học được một phần kinh nghiệm sử dụng phương pháp Địa Vật lý trong khảo cổ của các nhà khoa học Italy. Công việc đo đạc ở đây được tiến hành bằng cả 3 phương pháp cho nhóm di tích G trong quần thể Mỹ Sơn (hình 1.5). Ở các khu vực khác chỉ tiến hành đo điện trở và độ từ thẩm của đất đá trên một số tuyến hạn chế. Nhóm di tích G được phân bố trên một ngọn đồi, độ cao tương đối khoảng 20m. Trên mặt đồi theo đặc điểm kiến trúc và dấu vết còn lại, dự đoán có đến 5 công trình di tích được xây dựng từ thế kỷ XI- XIII. Trong số đó chỉ còn di tích tháp G1 chưa bị phá huỷ hoàn toàn, các tháp khác hoặc bị vùi lấp, hoặc bị phá huỷ gần như toàn bộ, dấu vết không rõ ràng.

Nền đất khu vực khảo sát là đất phong hoá khá bờ rời, hàm lượng sét tương đối cao. Trong thời gian chiến tranh chống Mỹ, khu vực này cũng đã xảy ra giao tranh dữ dội, có nhiều hố bom và hầm đào đã được san lấp lại. Kết quả đo từ cho thấy các khu vực có vật liệu xây dựng phát tán vào lòng đất đều cho giá trị dị thường cao hơn (hình 1.6). Trong đó dấu vết móng tường của các di tích G3, G4 cũng phản ánh khá rõ bằng dị thường cao; các dấu hiệu tồn tại các đường hào và hố bom là những nơi dị thường khác. Kết quả này cũng đã được kiểm tra bằng khai quật cho thấy sự phù hợp khá tốt, và đã hỗ trợ tích cực cho các khảo cổ hoạch định phương án khai quật. Các kết quả đo thăm dò điện và từ thẩm cũng cho các bức tranh tương tự (hình 1.7, 1.8).

HÌNH 1.5: ĐO CẮT LỚP ĐIỆN TRỞ BẰNG THIẾT BỊ ĐA CỰC TẠI MỸ SƠN

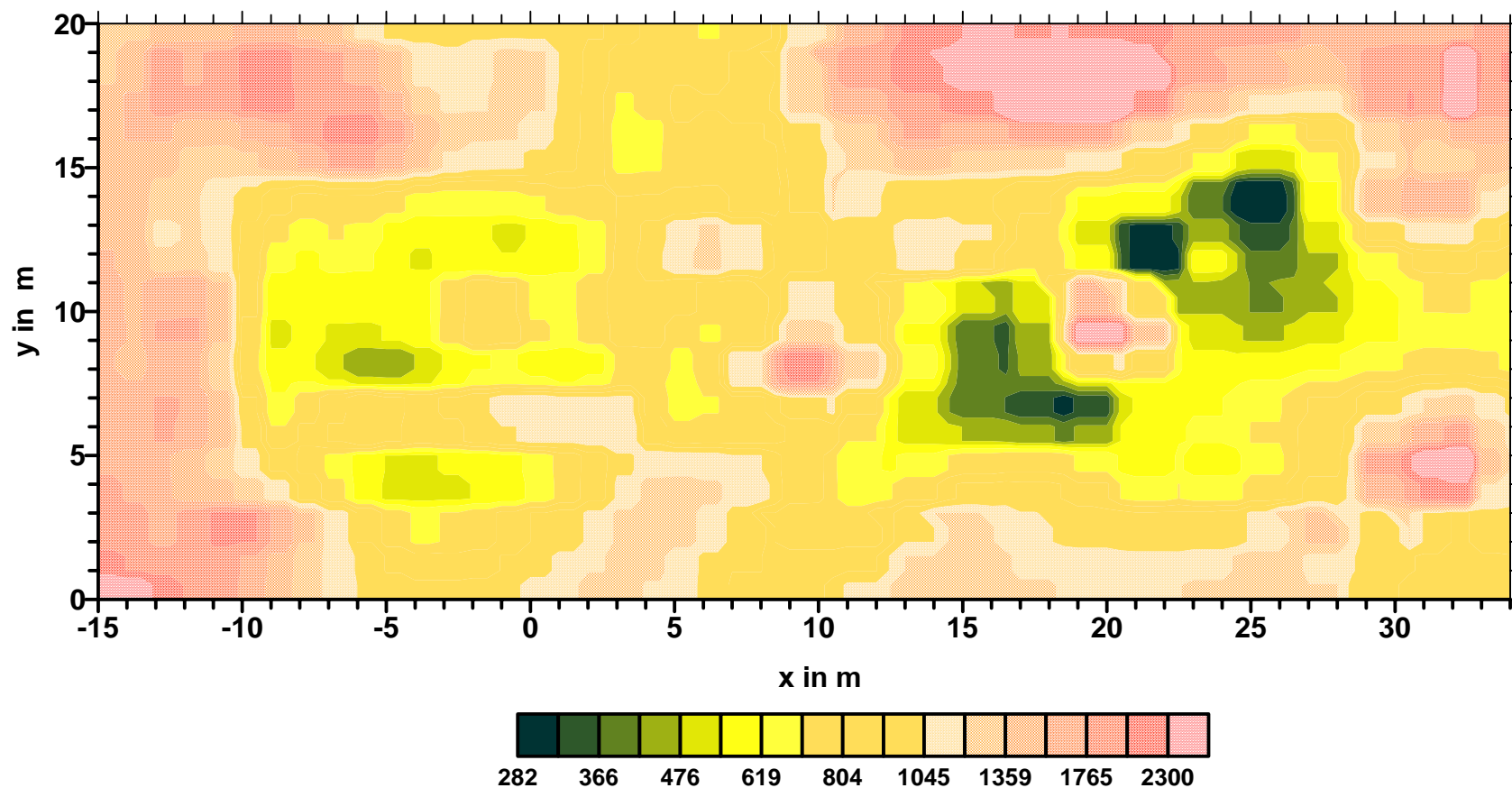


HÌNH 1.6: DỊ THƯỜNG TỪ ĐO ĐƯỢC TẠI NHÓM G MỸ SƠN

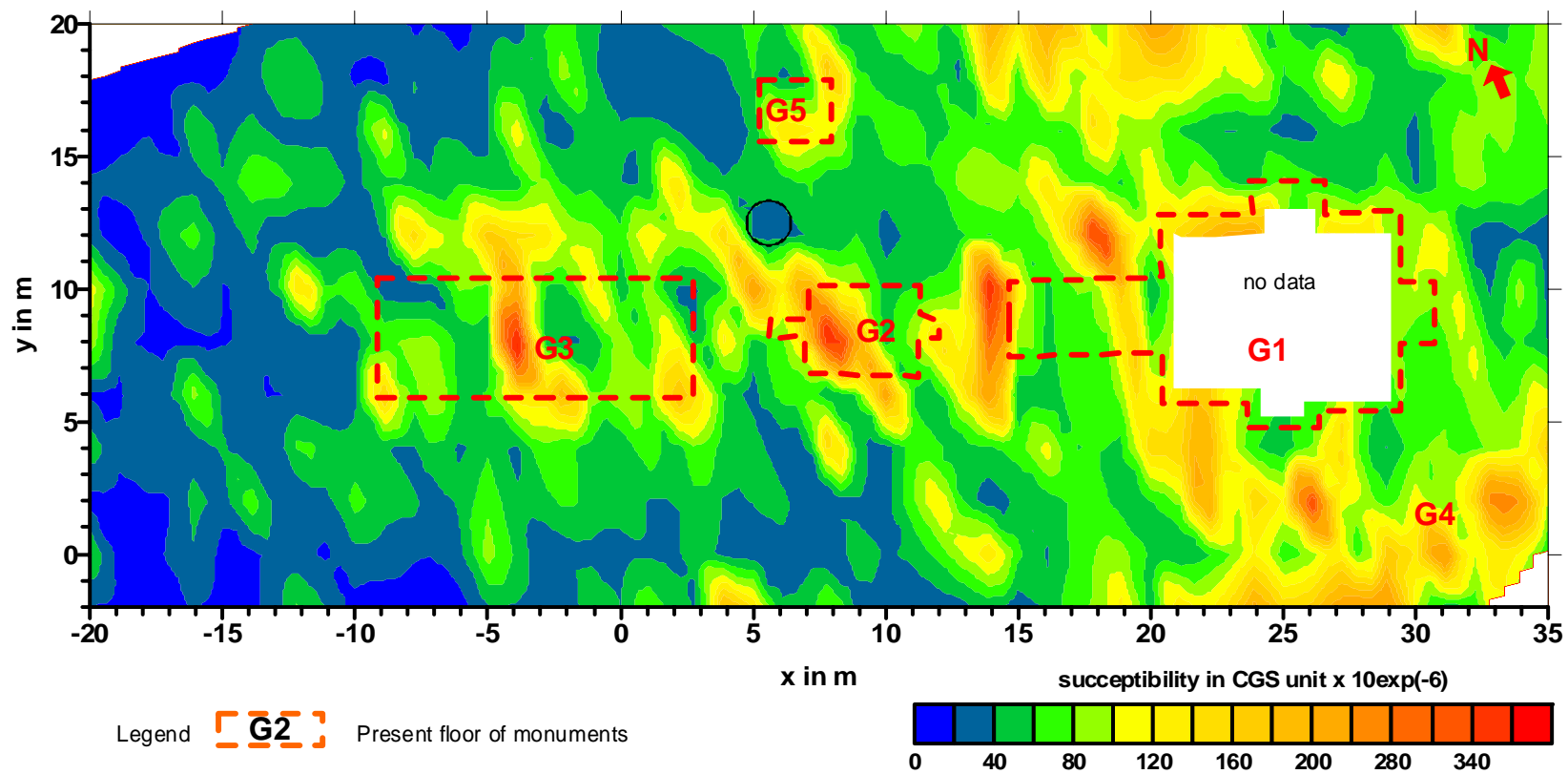


HÌNH 1.7: MÔ HÌNH 3D Ở ĐỘ SÂU $Z=1,17$ M THEO CẮT LỚP ĐIỆN TRỞ TẠI MỸ SƠN

$Z = -1.17\text{m}$



HÌNH 1.8: PHÂN BỐ ĐỘ TỪ THẨM TẠI NHÓM G – MỸ SƠN



Nhìn chung, các kết quả khảo sát bằng phương pháp Địa Vật lý tại quần thể di tích Mỹ Sơn đã có kết quả khả quan. Tuy nhiên cũng phải thấy rằng, môi trường khảo cổ tại đây khá thuận lợi không bị ảnh hưởng nhiều của nguồn nhiễu nhân tạo, gần như không có các công trình hiện đại xâm lấn, không có các hệ thống hạ tầng như đường dây tải điện và đường ống nước... Kết quả của các khảo sát như vừa nêu trên cũng đã được đăng trong tuyển tập báo cáo hội nghị khoa học toàn quốc về Địa chất công trình và môi trường tháng 4/2005 [17]. Được trình bày tại hội thảo khoa học Quốc tế do Đại Sứ quán Italy tại Hà Nội tổ chức tháng 5/2007 với tiêu đề hãy cứu vãn quá khứ (Rescue the Past) và đã được sắp xếp xuất bản vào tháng 11/2008 trong cuốn sách: “Champa and The Archaeology of My Son (Vietnam)” do Đại học Quốc gia Singapore xuất bản [7]. Việc tiến hành khảo sát trong khu vực thành phố như khu Hoàng Thành Thăng Long sẽ khó khăn hơn rất nhiều bởi môi trường khảo sát ở đây rất phức tạp cả về mặt địa chất lẫn các công trình hiện đại.

1.3. MỘT SỐ ĐẶC ĐIỂM MÔI TRƯỜNG KHẢO CỔ KHU VỰC HOÀNG THÀNH THĂNG LONG

Trước khi triển khai đo đạc bằng các phương pháp Địa Vật lý thường bao giờ cũng có bước xem xét đánh giá sơ bộ khả năng ảnh hưởng đến kết quả đo đạc của các yếu tố tồn tại trong môi trường khảo sát. Các thông tin này giúp ta có thể lựa chọn bước đầu cách thức tiến hành, thiết kế mạng lưới điểm đo cũng như lựa chọn các thiết bị sao cho tránh được tối đa những ảnh hưởng tiêu cực của các yếu tố trong môi trường khảo sát lên kết quả đo đạc. Các khảo sát Địa Vật lý trong khu Hoàng Thành có lẽ liên quan nhiều nhất đến các lớp đất gần bề mặt, bởi hầu hết các đối tượng khảo cổ bị vùi lấp thường phân bố trong khoảng độ sâu đến 5 - 6 m. Ngoài ra, các hệ thống hạ tầng kinh tế - xã hội do con người tạo ra nhiều khi cũng gây nhiều khó khăn cho sử dụng các phương pháp Địa Vật lý, đặc biệt phức tạp ở những khu vực thành phố như thành phố Hà Nội.

Phạm vi thử nghiệm khảo sát là khu vực được dự đoán là Cấm Thành xưa kia của khu Hoàng Thành Thăng Long. Các nhóm di tích tại đây bao gồm di tích Đoan Môn ở phía nam, khu vực Kính Thiên ở trung tâm, phần phía bắc là khu di tích Hậu Lâu. Như vậy khu vực khảo sát có hình dạng gần như hình chữ nhật được giới hạn ở

phía tây là đường Hoàng Diệu, phía đông là đường Nguyễn Tri Phương, phía nam là khu thể thao quân đội, phía bắc là đường Phan Đình Phùng (hình 1. 9).

1.3.1. Đặc điểm môi trường địa chất các lớp gần bề mặt

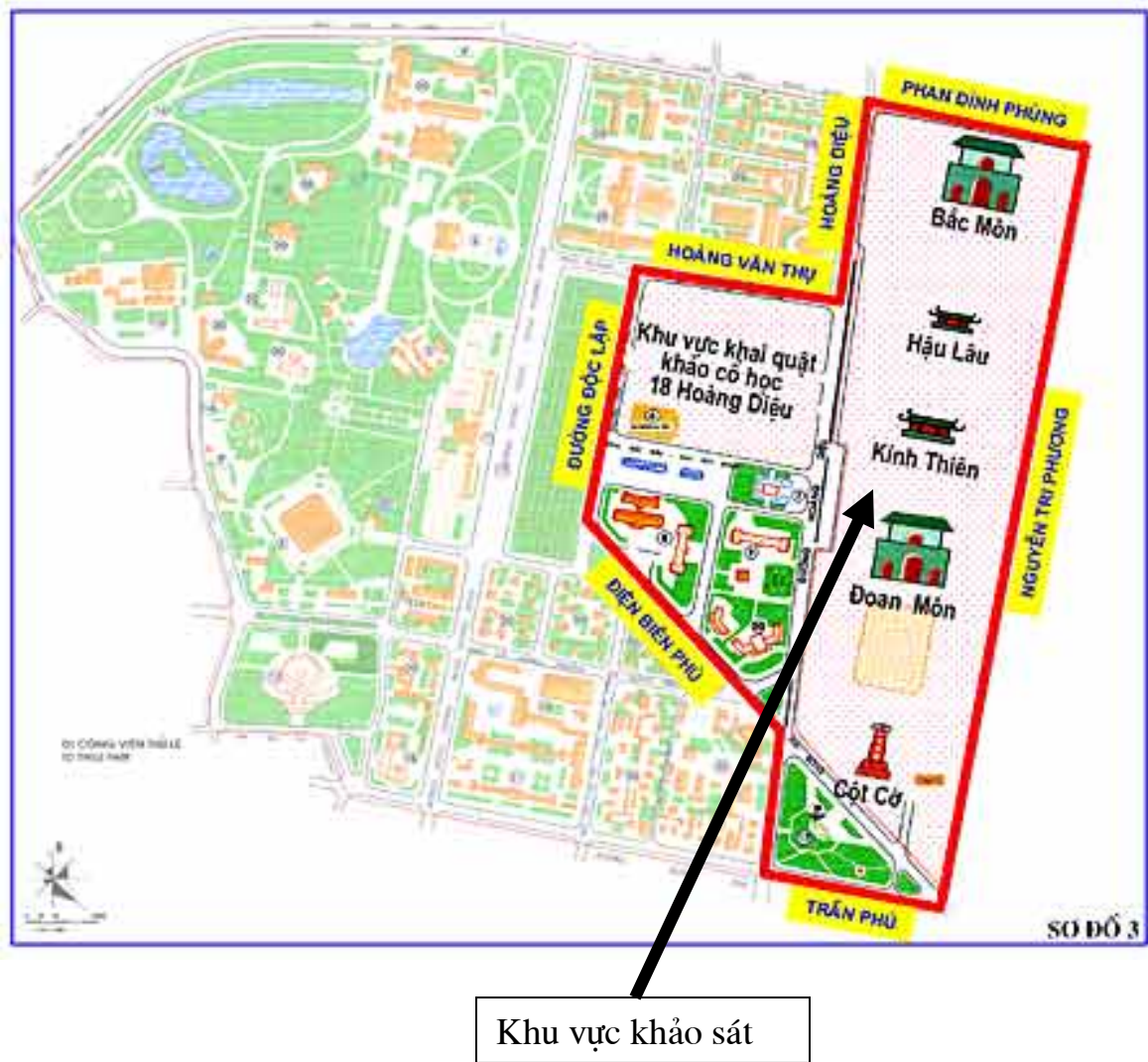
1.3.1.1. Đặc điểm địa hình

Thành phố Hà Nội nằm trong khối kiến trúc sụt lún mạnh mẽ trong Tân kiến tạo, hình thành và phát triển trong bối cảnh địa động lực hoạt động mạnh mẽ của các đứt gãy Sông Hồng, Sông Chảy và Sông Lô. Trong giai đoạn Đệ tứ - Hiện đại, hoạt động kiến tạo của chúng cũng khá mạnh mẽ, gây nên sự phân dị rõ rệt không chỉ trên bình đồ kiến trúc, mà cả trong biên độ và tốc độ dịch chuyển của các đứt gãy kiến tạo. Hậu quả của các hoạt động này là nguyên nhân tạo nên các lớp trầm tích trẻ khá dày trong nhiều khu vực của châu thổ Sông Hồng nói chung và thành phố Hà Nội nói riêng. Các công trình của Hà Nội nằm trên nền là các thành tạo địa chất trẻ, bỏ rời, đa nguồn gốc, kém bền vững.

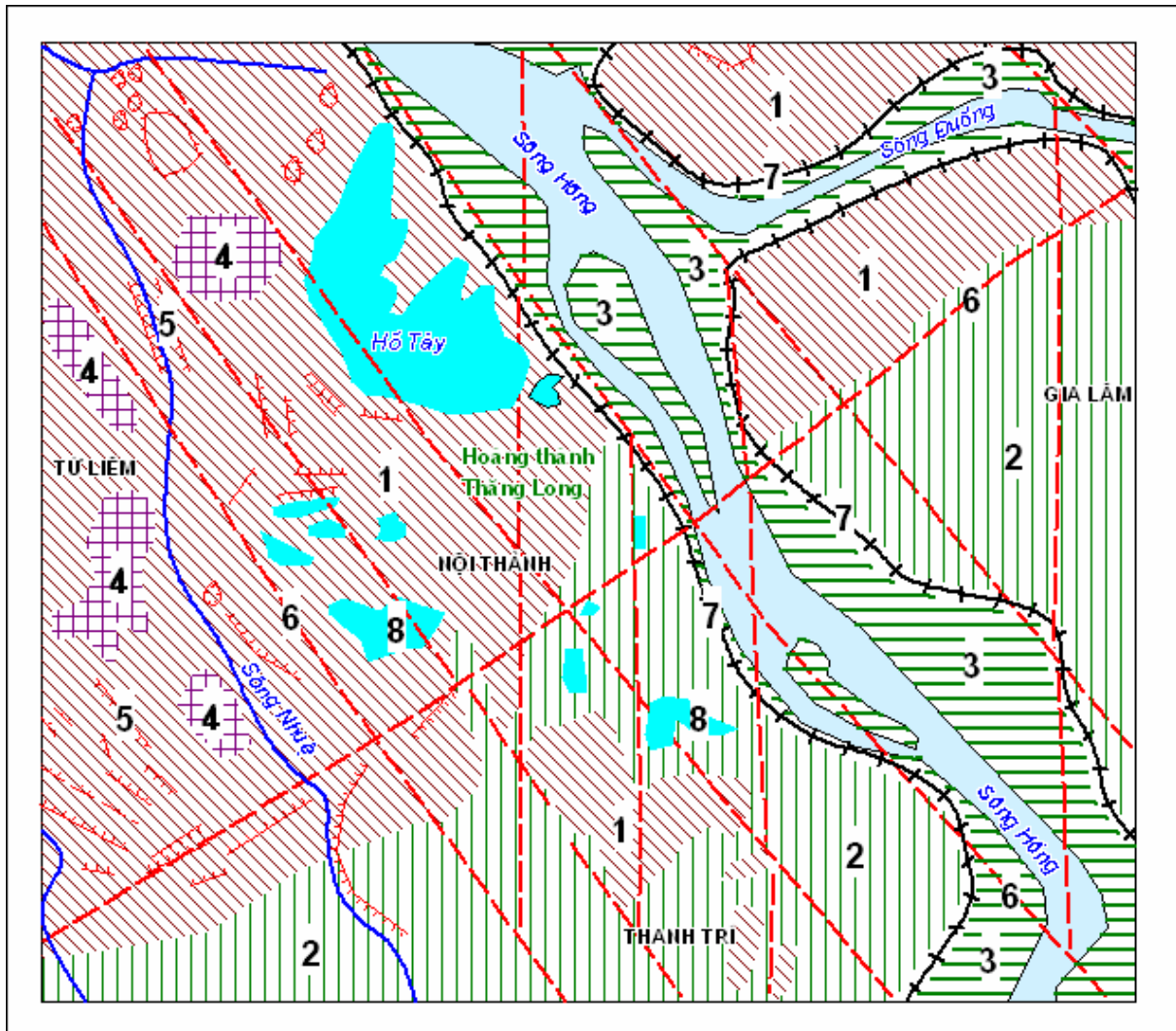
Về mặt địa hình, khu vực Hoàng Thành Thăng Long và lân cận nằm trên dải địa hình đồng bằng tích tụ có độ cao tuyệt đối khoảng >5 m. Nhìn một cách tổng thể cho cả khu vực thành phố thì địa hình đồng bằng tương đối bằng phẳng, nghiêng thoải về phía nam thành phố. Cấu tạo nên đồng bằng này bao gồm chủ yếu là trầm tích bỏ rời có nguồn gốc sông, biển hỗn hợp. Trên bề mặt địa hình phát triển nhiều các dạng vi địa hình có nguồn gốc tự nhiên và nhân tạo như: gò cao, ao, hồ, đầm lầy và các dải địa hình trũng thấp, v.v... (hình 1.10).

Mạng thủy văn: trong khu vực nghiên cứu có sông Hồng, sông Nhuệ, sông Đuống chảy qua. Trong đó sông Hồng là lớn nhất, đóng vai trò quan trọng nhất, quyết định chế độ dòng chảy cũng như điều kiện địa chất thủy văn trong vùng nghiên cứu. Theo các kết quả nghiên cứu thì các sông suối trong vùng đều có nguồn gốc kiến tạo. Mọi sự hoạt động và phát triển của sông đều bị các đứt gãy hiện đại khống chế và chi phối. Chính vì vậy, trong lịch sử phát triển của chúng đều để lại những dấu ấn của các đứt gãy hoạt động. Như vậy, sự hình thành và phát triển của mạng lưới sông, suối ở khu vực nghiên cứu có mối liên quan chặt chẽ với kiến trúc kiến tạo hiện đại của khu vực (hình 1.11). Chính mối liên hệ này là nguyên nhân làm thay đổi vị trí trong không gian theo lịch sử phát triển của các lòng sông. Vào thời kỳ Pleistocen sớm-muộn, lòng sông Hồng uốn khúc và dịch chuyển lòng về phía bắc thuộc huyện Mê Linh và Đông

HÌNH 1.9: SƠ ĐỒ KHU VỰC KHẢO SÁT TRONG
KHU THÀNH CỔ HÀ NỘI

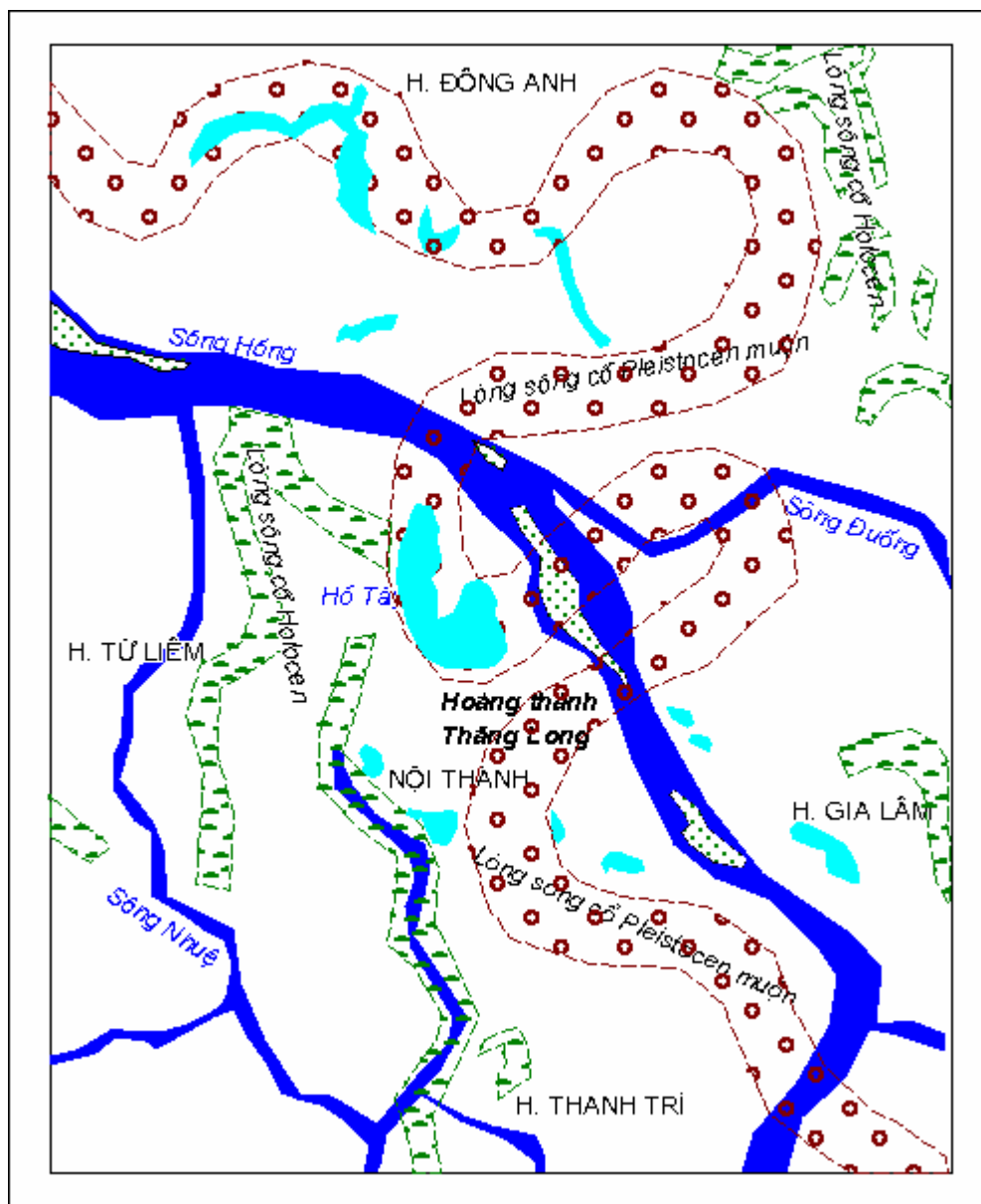


Hình 1.10: Sơ đồ địa hình - địa mạo khu vực Thành cổ và lân cận



Chú thích: đồng bằng tích tụ sông biển, cao >5 m (1), đồng bằng tích tụ sông, cao <5 m (2), bãi bồi ven sông (3), gò đồi bóc mòn cao >10 m (4), vách xâm thực (5), đứt gãy xác định theo dấu hiệu địa mạo (6), đê sông (7), hồ (8).

Hình 1.11: Dấu tích lòng sông cổ của hệ thống sông Hồng, đoạn qua khu Thành cổ và lân cận



Anh. Trên cơ sở những phân tích địa chất, địa mạo và viễn thám đã xác định sự phân bố dấu tích lòng sông cổ có tuổi Pleistocen muộn [13]. Trong đó, khu Hoàng Thành Thăng Long hiện nay nằm trong khu vực lân cận lòng sông Hồng cổ ở thời kỳ Pleistocen, còn Hồ Tây chính là dấu tích của lòng sông Hồng cổ có tuổi Pleistocen muộn. Những dấu tích lòng sông Hồng cổ có tuổi Holocen phân bố rộng rãi hơn cả ở cả huyện Từ Liêm, Đông Anh và Gia Lâm và ở phía tây nam thành phố Hà Nội. Hiện nay, sông Hồng chảy ở phía đông nội thành Hà Nội.

Những đặc điểm vừa nêu cho thấy lớp đất gần ngay bề mặt khu vực thành phố Hà Nội thuộc loại lớp đất yếu, các công trình xây dựng trên nó dễ bị huỷ hoại, dễ bị chôn vùi, thậm chí dễ di chuyển khi có những tác động của ngoại lực.

1.3.1.2. Đặc điểm địa tầng các lớp đất gần bề mặt

Theo các kết quả nghiên cứu của một số tác giả [13] thì hầu hết các đối tượng khảo cổ bị vùi lấp chủ yếu liên quan đến tầng trầm tích có tuổi Holocen, bởi vậy lát cắt địa tầng được xem xét trong nghiên cứu này chủ yếu phản ánh các lớp trầm tích tuổi Holocen và một phần các trầm tích tuổi trước Holocen. Tầng đất có tương tác với hoạt động của con người được gọi là tầng nhân sinh. Để tách được địa tầng nhân sinh từ cột địa tầng hiện đại, các nghiên cứu cần phải xem xét chung tầng trầm tích Đệ Tứ và đặc biệt tập trung nghiên cứu chi tiết tầng Holocen. Tập thể tác giả tham gia giải quyết nhiệm vụ như vừa nêu đã tích lũy được khá nhiều kinh nghiệm thông qua trực tiếp giải quyết các vấn đề tương tự trong các dự án của ngành khảo cổ trên địa bàn Hà Nội. Theo đó, tầng nhân sinh phần lớn liên quan trực tiếp đến lớp trầm tích thuộc hệ tầng Thái Bình, một tỉ lệ nhỏ có thể liên quan đến cả hệ tầng Hải Hưng nằm dưới nó [13].

Các kết quả nghiên cứu địa chất Đệ Tứ muộn cho khu vực khai quật khảo cổ tại khu 18 đường Hoàng Diệu - Ba Đình Hà Nội cũng cho thấy trật tự trầm tích ở đây cũng phù hợp với trật tự chung của vùng trũng Hà Nội [13]. Trong đó trầm tích lót đáy của thống Holocen là các thành tạo thuộc hệ tầng Vĩnh Phúc (Q_1^{3vp}) gồm cát, bột sét có màu sắc loang lổ, nguồn gốc trầm tích sông. Phân bố ở độ sâu lớn hơn 7 m. Các thành tạo Holocen được phân chia thành hai hệ tầng: Dưới là hệ tầng Hải Hưng, trên cùng là hệ tầng Thái Bình. Thành phần thạch học của hệ tầng Hải Hưng (Q_2^{1-2hh}) gồm sét màu xanh xám, xám trắng phân bố ở độ sâu từ 4 đến khoảng 7 m. Hệ tầng Thái Bình (Q_2^{3tb})

phủ lên trên là các thành tạo bột, sét màu nâu và các thành tạo trầm tích nhân sinh (đất lấp và gạch ngói).

Cột địa tầng trong khu Thành Cổ (Kính Thiên) được xác định trên cơ sở liên kết tài liệu lỗ khoan với các kết quả nghiên cứu như vừa nêu trên. Có 4 lỗ khoan đã được thực hiện trong khu vực nghiên cứu (hình 1.12). Trong đó lỗ khoan HK1 sâu 15m, nằm giữa khu nhà số 49 và 50 phía nam khu di tích Hậu Lâu khoảng 50m; lỗ khoan HK2 sâu 9 m nằm cạnh nhà số 44, ngay sát tường ra đường Nguyễn Tri Phương; lỗ khoan HK3 và HK4 đều sâu 15 mét nằm trước nhà N17 và góc đông nam khu Kính Thiên tương ứng. Kết quả khoan và phân tích mẫu trong các lỗ khoan có thể tóm tắt như sau:

+ **Lỗ khoan HK1:** được khoan sâu 15m, địa tầng được mô tả từ dưới lên trên như sau:

- Độ sâu từ 15-12,2m: sét màu xám đen, xám ghi trạng thái dẻo mềm, có lẫn vật chất hữu cơ
- Độ sâu từ 12,2 - 10,0m: sét pha màu xám vàng, xám ghi trạng thái dẻo mềm
- Độ sâu từ 10 - 7,0m: sét màu xám nâu, xám vàng, xám xanh, trạng thái nửa cứng.
- Độ sâu từ 7,0 - 4,6m: sét pha màu nâu gụ, nâu xám, trạng thái dẻo mềm, đôi chỗ có rễ cây, gạch vụn nằm hỗn tạp.
- Độ sâu từ 4,6 - 0m: đất lấp gồm sét pha màu nâu gụ, nâu xám, trạng thái dẻo mềm, đôi chỗ lẫn rễ cây, gạch vụn...

Thông qua đặc điểm địa chất vùng nghiên cứu và thành phần trầm tích, lỗ khoan 1 có thể phân chia như sau:

Trầm tích thuộc hệ tầng Vĩnh Phúc (Q_1^{3vp}) phân bố ở độ sâu 15m đến 7,0m: Trầm tích gồm sét màu vàng loang lổ. Trong tập trầm tích này được lấy và phân tích 6 mẫu độ hạt và cho thấy thành phần cát chiếm 24,4-52%; bột 19,7-29,3%; sét 18,9-54,3%.

Các trầm tích thuộc hệ tầng Hải Hưng (Q_2^{1-2hh}) phân bố từ độ sâu 7m đến 4,6m: thành phần đất đá gồm bùn sét pha màu nâu, xám đen chứa vật chất hữu cơ, kết quả phân tích 2 mẫu độ hạt trong tập trầm tích này cho kết quả như sau: cát chiếm từ 51,3-62%, bột chiếm 20,1-21,4%; sét chiếm 17,9-27,3%.

Trầm tích thuộc hệ tầng Thái Bình (Q_2^{3tb}) phân bố từ độ sâu 4,6m - 0m: đất lấp có thành phần hỗn độn, chủ yếu là cát. Kết quả phân tích thành phần hạt: cát chiếm 58,1-61,7%; bột chiếm 21-22,7%; sét chiếm 13,7 - 19,2% (bảng 1.1).

+ **Lỗ khoan HK2:** được khoan sâu 9m; mô tả địa tầng từ dưới lên như sau:

Các trầm tích thuộc hệ tầng Vĩnh Phúc (Q_1^3vp) phân bố ở độ sâu từ 9 - 6,9m: sét pha màu nâu vàng, nâu đỏ, trạng thái dẻo cứng. Thành phần độ hạt: cát chiếm 60,4 - 61,5%; bột chiếm 23,3%; sét chiếm 15,2 - 16,3%.

Các trầm tích thuộc hệ tầng Hải Hưng ($Q_2^{1-2}hh$) phân bố ở độ sâu từ 6,9-4,8m: Bùn sét pha màu xám xanh, xám nâu, xám đen chứa vật chất hữu cơ. Thành phần độ hạt: cát chiếm 56,1%; bột chiếm 22,7%; sét chiếm 21,2% (bảng 1.2).

Các trầm tích thuộc hệ tầng Thái Bình (Q_2^3tb) phân bố ở độ sâu từ 4,8 - 0m: đất lấp gồm sét pha màu nâu vàng, nâu đỏ lẫn phế thải xây dựng, trạng thái dẻo cứng. Thành phần độ hạt: Cát chiếm 57,5 - 65,3%; bột chiếm - 16,4 - 19,4%; sét chiếm 18,3 - 22,9%. Tập trầm tích nói trên có nguồn gốc nhân sinh.

+ **Lỗ khoan HK3:** có độ sâu 15m, mô tả địa tầng từ dưới lên như sau:

- Độ sâu từ 15 - 14,4m: sét pha màu nâu vàng, xám vàng, trạng thái dẻo mềm.
- Độ sâu 14,4m - 11,7m: sét màu xám nâu, nâu hồng, trạng thái dẻo cứng
- Độ sâu từ 11,7 - 7,8m: sét pha màu xám nâu, xám xanh, nâu vàng, trạng thái dẻo cứng.
- Độ sâu từ 7,8 - 3,0m: sét pha màu xám nâu, nâu vàng, nâu đỏ, trạng thái dẻo cứng.
- Độ sâu từ 3,0 - 0m: đất lấp gồm sét pha màu nâu vàng, nâu đỏ lẫn phế thải xây dựng, trạng thái dẻo cứng.

Dựa vào đặc điểm trầm tích lỗ khoan, kết quả phân tích và đối sánh với vùng lân cận, địa tầng tại hố khoan 3 được phân chia như sau:

Trầm tích thuộc hệ tầng Vĩnh Phúc (Q_1^3vp) phân bố ở độ sâu dưới 7,8m. Thành phần gồm các trầm tích cát, bột, sét có màu sắc loang lổ màu vàng, trắng, nâu xám. Thành phần độ hạt: cát chiếm 37,4-58,9%; bột chiếm 21,6-26,6%; sét chiếm 19-37,3%.

Các thành tạo thuộc hệ tầng Hải Hưng ($Q_2^{1-2}hh$) phân bố từ độ sâu 3-7,8m. Thành phần gồm cát, bột, sét màu xám xanh, xám trắng. Kết quả phân tích thành phần hạt: cát chiếm 61,5-67,5%; bột chiếm 15,6-19,6%; sét chiếm 16,9-19,2% (bảng 1.3).

Các thành tạo thuộc hệ tầng Thái Bình chủ yếu là các trầm tích nhân sinh (đất lấp) phân bố ở độ sâu 0-3m.

+ **Lỗ khoan HK4:** với độ sâu 15m, mô tả địa tầng từ dưới lên như sau:

- Độ sâu từ 15 - 13,2m: sét pha màu xám ghi, xám đen, trạng thái dẻo mềm lẫn tàn tích thực vật.
- Độ sâu từ 13,2 - 11,0m: sét pha màu xám ghi trạng thái dẻo mềm
- Độ sâu từ 11,0 - 3,0m: sét pha lẫn sét màu nâu vàng, nâu đỏ loang lổ màu xám trắng, trạng thái dẻo cứng đến nửa cứng.
- Độ sâu từ 3,0 - 0m: đất lấp gồm sét pha màu nâu vàng, nâu đỏ lẫn phế thải xây dựng, trạng thái dẻo cứng.

Từ kết quả khoan, phân tích mẫu và tổng hợp tài liệu. Địa tầng tại lỗ khoan 4 được phân chia như sau:

Các trầm tích thuộc hệ tầng Vĩnh Phúc (Q_1^{3vp}) tại lỗ khoan 4 phân bố ở độ sâu từ 8m trở xuống, có thành phần cát, bột, sét màu sắc loang lổ, màu xám vàng, xám trắng, nâu xám nằm có thành phần độ hạt như sau: cát chiếm 28,8-65,2%; bột chiếm 17,3-20,2%; sét chiếm 17,5-52,1% (bảng 1.4).

Trầm tích thuộc hệ tầng Hải Hưng phân bố ở độ sâu 3-8m. Thành phần trầm tích là cát, bột, sét màu xám xanh, xám trắng. Thành phần độ hạt: cát chiếm 24-58,3%; bột chiếm 21-21,7%; sét chiếm 20,2-54,3%.

Trầm tích thuộc hệ tầng Thái Bình phân bố từ độ sâu 0-3m. Thành phần chủ yếu là đất lấp (các thành tạo địa chất nhân sinh).

Bảng 1.1: Kết quả phân tích thành phần độ hạt tại lỗ khoan HK1

STT	Độ sâu (m)	Kết quả phân tích thành phần độ hạt (%)						
		Cát				Bột		Sét
1	0.8-1.0	14.1	12.8	10.7	24.1	13.2	7.8	17.3
2	2.0-2.2	11.4	10.7	12.3	23.7	14.5	8.2	19.2
3	3.2-3.4	13.8	12.8	10.7	24.7	12.3	7.8	17.9
4	4.8-5.0	15.7	10.7	12.3	12.6	13.2	8.2	27.3
5	7.2-7.4	5.6	4.8	6.3	13.5	10.2	9.5	50.1
6	8.9-9.1	7.8	5.6	10.2	13.7	12.2	14.3	36.2
7	10.2-10.4	12.3	10.7	9.5	19.5	18.2	10.9	18.9
8	12.5-12.7	6.2	8.9	12.3	12.1	14.5	13.8	32.2
9	13.8-14.0	5.9	7.5	9.1	12.0	15.2	14.1	36.2
10	14.5-14.7	6.2	5.9	7.5	4.8	9.0	12.3	54.3

Bảng 1.2: Kết quả phân tích thành phần độ hạt tại lỗ khoan HK2

STT	Độ sâu (m)	Kết quả phân tích thành phần độ hạt (%)						
		Cát				Bột		Sét
1	1.0-1.2	12.8	14.3	11.2	27.0	10.5	5.9	18.3
2	2.3-2.5	13.8	12.5	15.2	16.0	13.7	5.9	22.9
3	3.6-3.8	12.8	14.3	11.2	26.2	11.2	5.9	18.4
4	5.3-5.5	13.8	12.5	10.2	19.6	15.3	7.4	21.2
5	7.2-7.4	12.7	13.3	14.6	20.9	11.2	12.1	15.2
6	8.8-9.0	12.7	13.3	14.6	19.8	11.2	12.1	16.3

Bảng 1.3: Kết quả phân tích thành phần độ hạt tại lỗ khoan HK3

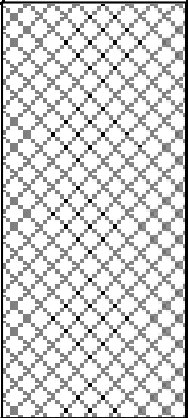
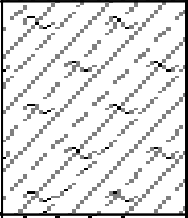
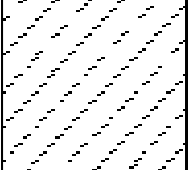
STT	Độ sâu (m)	Kết quả phân tích thành phần độ hạt (%)						
		Cát				Bột		Sét
1	0.8-1.0	11.2	10.7	8.5	27.3	12.5	10.5	19.3
2	2.5-2.7	12.9	11.3	9.6	26.9	9.4	10.5	19.4
3	3.2-3.4	12.9	10.2	13.1	25.3	10.5	9.1	18.9
4	4.6-4.8	13.2	14.9	15.5	19.0	10.0	9.3	18.1
5	5.0-5.2	12.8	14.3	11.2	29.2	8.7	6.9	16.9
6	6.8-7.0	12.8	14.3	11.2	26.9	8.7	6.9	19.2
7	8.0-8.2	13.7	9.3	14.6	20.1	11.2	13.1	19.0
8	9.8-10.0	12.7	9.3	14.6	19.8	11.2	13.1	19.3
9	11.8-12.0	6.8	5.3	7.8	18.7	12.7	13.9	34.8
10	13.6-13.8	8.9	8.4	5.5	14.6	12.2	13.1	37.3
11	14.8-15.0	12.8	14.3	10.8	21.0	8.7	12.9	19.5

Bảng 1.4: Kết quả phân tích thành phần độ hạt tại lỗ khoan HK4

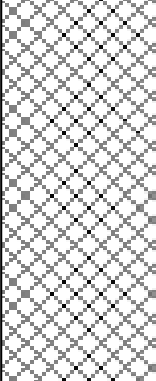
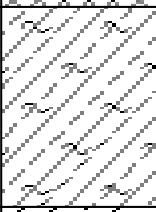
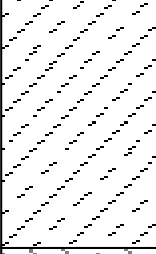
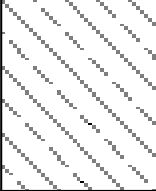
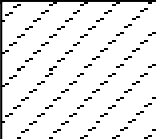

STT	Độ sâu (m)	Kết quả phân tích thành phần độ hạt (%)						
		Cát				Bột		Sét
1	1.8-2.0	8.7	12.3	14.6	23.2	11.2	10.8	19.2
2	3.0-3.2	8.7	12.3	14.6	7.8	11.2	10.8	34.6
3	5.0-5.2	5.1	6.2	5.3	7.4	12.2	9.5	54.3
4	6.8-7.0	12.1	13.8	15.8	16.6	10.2	11.3	20.2
5	9.0-9.2	11.5	15.7	14.9	18.8	9.8	10.4	18.9
6	10.3-10.5	11.5	15.7	14.9	17.8	9.8	10.4	19.9
7	11.4-11.6	14.6	18.7	13.3	18.6	8.2	9.1	17.5

8	13.0-13.2	14.6	18.7	13.3	18.6	8.2	9.1	17.5
9	14.0-14.2	5.3	6.9	10.1	5.9	9.5	10.2	52.1

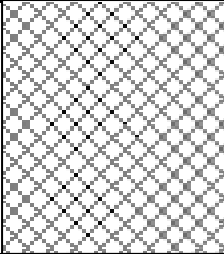
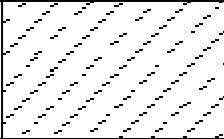
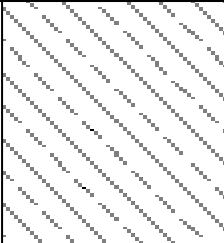
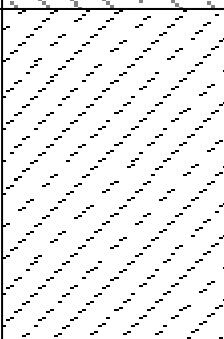
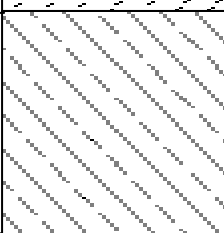

Liên kết tài liệu phân tích lỗ khoan với kết quả nghiên cứu tại khu khai quật 18 đường Hoàng Diệu có thể mô tả địa tầng theo hình trụ các lỗ khoan như sau:

<p style="text-align: center;">ĐỊA TẦNG LỖ KHOAN H K2</p> <p>Chiều sâu: 9m Công trình: KHU DI TÍCH THÀNH CỔ HÀ NỘI Vị trí: BA ĐÌNH - HÀ NỘI Ngày khoan: 03/10/2006</p>					
MÔ TẢ	Độ sâu (m)	Hệ tầng	Bề dày	Địa tầng	
Đất lấp: Bê tông, gạch vụn, cát lấp...	4.80	Hệ tầng Thái Bình	4.80		1
					2
					3
					4
Bùn sét pha màu xám nâu, xám đen chứa vật chất hữu cơ	6.90	Hệ tầng Hải Hưng	2.10		5
					6
					7
Sét pha màu nâu vàng, nâu đỏ, trạng thái dẻo mềm đến dẻo cứng	9.00	Hệ tầng Vĩnh Phúc	2.10		8
					9

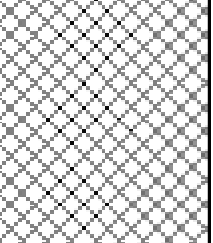
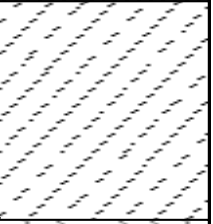
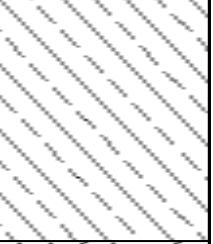

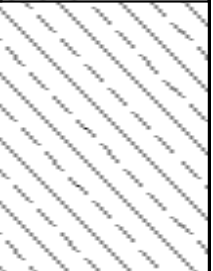

Hình 1.12a: Địa tầng lỗ khoan HK2

<p style="text-align: center;">ĐỊA TẦNG LỖ KHOAN H K1</p> <p>Chiều sâu 15m</p> <p>Công trình: KHU DI TÍCH THÀNH CỔ HÀ NỘI</p> <p>Vị trí: BA ĐÌNH - HÀ NỘI</p> <p>Ngày khoan: 03/10/2006</p>					
MÔ TẢ	Độ sâu (m)	Địa tầng	Bề dày	Địa tầng	
Đất lấp: Bê tông, gạch vụn, cát lấp...	4.60	Hệ tầng Thái Bình	4.60		1 2 3 4
Bùn sét pha màu xám nâu, xám đen chứa vật chất hữu cơ	7.00	Hệ tầng Hải Hưng	2.40		5 6 7
Sét pha màu xám nâu, xám vàng, xám xanh,, trạng thái dẻo mềm đến dẻo cứng	10.00	Hệ tầng Vĩnh Phúc	3.00		8 9 10
Sét pha màu xám vàng, xám ghi, trạng thái dẻo mềm xen kẹp các dải cát hạt mịn	12.20		2.20		11 12
Sét kẹp sét pha màu xám ghi, xám trắng, trạng thái dẻo mềm	14.00		1.80		13 14
Sét pha màu xám đen, xám tro lẫn tàn tích thực vật, trạng thái dẻo mềm	15.00		1.00		15

Hình 1.12b: Địa tầng lỗ khoan HK1

<p style="text-align: center;">ĐỊA TẦNG LỖ KHOAN H K3</p> <p>Chiều sâu 15m Công trình: KHU DI TÍCH THÀNH CỔ HÀ NỘI Vị trí: BA ĐÌNH - HÀ NỘI Ngày khoan: 04/10/2006</p>					
MÔ TẢ	Độ sâu (m)	Hệ tầng	Bề dày	Địa tầng	
Đất lấp: Bê tông, gạch vụn, cát lấp...	3.00	Hệ tầng Thái Bình	3.00		1 2 3
Sét pha màu xám nâu, nâu vàng, trạng thái dẻo mềm lẫn ít sạn	4.80	Hệ tầng Hải Hưng	1.80		4
Sét pha màu xám nâu, xám trắng, xám xanh, nâu vàng, trạng thái dẻo cứng	7.80		3.00		5 6 7
Sét pha màu xám vàng, xám trắng, trạng thái dẻo mềm xen kẽ các dải cát hạt mịn	11.70	Hệ tầng Vĩnh Phúc	3.90		8 9 10 11
Sét pha màu nâu hồng, trạng thái dẻo cứng	14.40		2.70		12 13 14
Sét pha màu nâu hồng, tím gụ, trạng thái dẻo mềm đến dẻo chảy	15.00		0.60		15

Hình 1.12c: Địa tầng lỗ khoan HK3

<p style="text-align: center;">ĐỊA TẦNG LỖ KHOAN HK4</p> <p>Chiều sâu 15m</p> <p>Công trình: KHU DI TÍCH THÀNH CỔ HÀ NỘI</p> <p>Vị trí: BA ĐÌNH - HÀ NỘI</p> <p>Ngày khoan: 04/10/2006</p>					
MÔ TẢ	Độ sâu (m)	Hệ tầng	Bề dày	Địa tầng	
Đất lấp: Bê tông, gạch vụn, cát lấp...	3.00	Hệ tầng Thái Bình	3.00		1 2 3
Sét pha màu xám nâu, nâu vàng, trạng thái dẻo mềm	5.40	Hệ tầng Hải Hưng	2.40		4 5
Sét pha màu xám nâu, xám trắng, xám xanh, trạng thái dẻo cứng	8.00		3.10		6 7 8
Sét pha màu xám vàng, nâu đỏ, trạng thái dẻo mềm xen kẽ các dải cát hạt mịn	10.00	Hệ tầng Vĩnh Phúc	1.50		9 10
Sét pha lẫn sét màu xám xanh, xám trắng, trạng thái dẻo mềm	13.20		3.20		11 12 13
Sét pha màu xám ghi, xám đen, trạng thái dẻo mềm lẫn tàn tích thực vật	15.00		1.80		14 15

Hình 1.12d: Địa tầng lỗ khoan HK4

Kết luận sơ bộ:

Đặc điểm địa chất Holocen trong khu Thành cổ Hà Nội được nghiên cứu thông qua việc tổng hợp một số các nghiên cứu ở vùng lân cận trong phạm vi Hà Nội và kết quả khảo sát, khoan và những kết quả phân tích mẫu. Thông qua các kết quả nghiên cứu nêu trên, tập thể tác giả đưa ra một số những kết luận về đặc điểm địa chất Holocen trong khu Thành cổ Hà Nội như sau:

Phần trầm tích lót đáy của các trầm tích Holocen là các thành tạo thuộc hệ tầng Vĩnh Phúc có tuổi Pleistocen muộn (Q_1^{3vp}), phân bố ở độ sâu lớn hơn 6,8m, đôi chỗ khoan ở độ sâu 8m (tại lỗ khoan 4) mới gặp trầm tích của hệ tầng Vĩnh Phúc. Thành phần trầm tích bao gồm cát, bột, sét có màu vàng, trắng, nâu loang lổ có nguồn gốc sông bị phong hóa tạo nên màu sắc loang lổ.

Trầm tích Holocen tại khu Thành cổ Hà Nội gồm các trầm tích có nguồn gốc sông, hồ -đầm lầy thuộc hệ tầng Hải Hưng (Q_2^{1-2hh}) và hệ tầng Thái Bình (Q_2^3tb).

Các thành tạo thuộc hệ tầng Hải Hưng (Q_2^{1-2hh}) phân bố ở độ sâu từ 3m đến 6,8-8m. Thành phần trầm tích gồm sét màu xám xanh, xám ghi, xám trắng; bùn sét màu đen lẫn cát. Trầm tích có nguồn gốc hồ, đầm lầy.

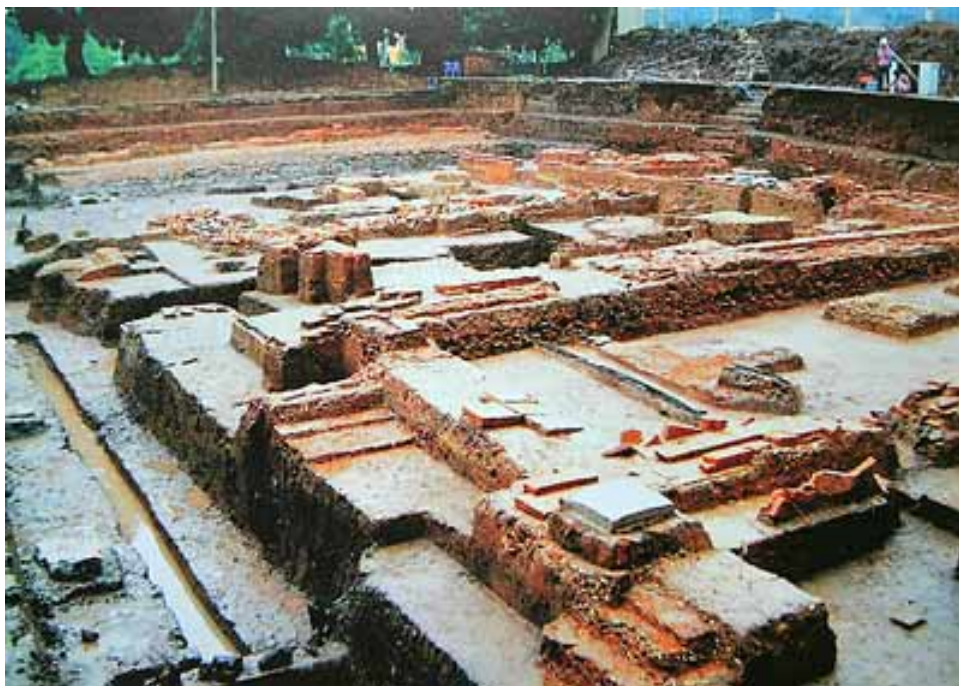
Các thành tạo thuộc hệ tầng Thái Bình phân bố ở độ sâu từ 0-3m. Trầm tích thuộc hệ tầng Thái Bình tại khu thành cổ Hà Nội chủ yếu là đất lấp (trầm tích nhân sinh) ít chỗ còn nguyên vẹn các lớp trầm tích tự nhiên được thành tạo trong Holocen muộn thuộc hệ tầng Thái Bình. Các trầm tích tự nhiên thuộc hệ tầng Thái Bình bao gồm cát, bột, sét màu nâu có nguồn gốc sông.

Kết quả khảo sát nghiên cứu địa tầng cho thấy các thành tạo địa chất ngay gần bề mặt thuộc loại trầm tích bờ rời, khá đồng nhất về thành phần thạch học, có tính phân lớp khá rõ. Đặc điểm môi trường địa chất như vậy là điểm thuận lợi cho triển khai công tác Địa Vật lý. Tuy nhiên lớp trầm tích Holocen chứa nước làm cho mực nước ngầm dâng rất cao, trong khu vực khảo sát có lẽ mực nước ngầm chỉ sâu vài mét. Đây là dấu hiệu không thuận lợi cho triển khai đo đạc bằng phương pháp Radar xuyên đất. Ngoài các yếu tố môi trường địa chất như trên, môi trường nhân sinh cũng chứa đựng nhiều yếu tố có thể ảnh hưởng lớn đến kết quả đo đạc bằng các phương pháp Địa Vật lý.

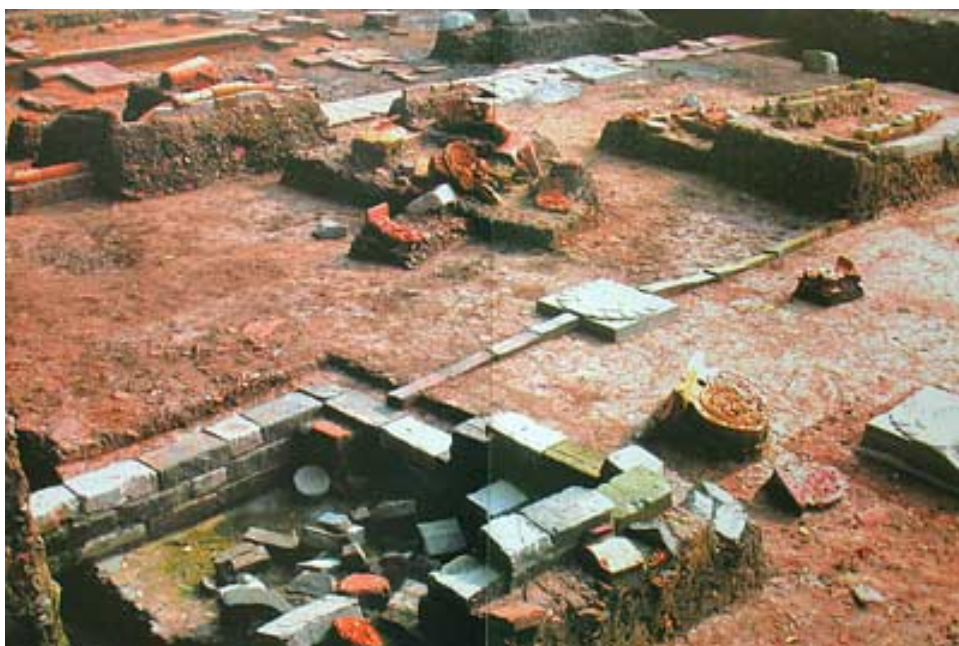
1.3.2. Một số yếu tố khác có thể ảnh hưởng đến kết quả đo đạc bằng phương pháp Địa Vật lý

- Về các di tích khảo cổ bị vùi lấp trong khu Hoàng Thành Thăng Long: sau khi tiến hành khai quật khu vực quanh số nhà 18 đường Hoàng Diệu có nhiều ý kiến của các nhà sử học khá thống nhất cho rằng, khu khai quật thuộc phạm vi của Cấm thành Thăng Long và Điện Kính Thiên - Đoan Môn - Hậu Lâu chính là trục trung tâm của Cấm thành. Trải qua thăng trầm lịch sử vị trí Hoàng Thành Thăng Long có thể thay đổi nhưng vị trí và quy mô của Cấm thành được các nhà sử học cho là không thay đổi [10,12]. Như vậy, khu vực được lựa chọn để tiến hành khảo sát bằng các phương pháp Địa Vật lý là trung tâm của Cấm thành. Có thể thấy các di vật cổ tìm được trong khu khai quật của Cấm thành rất phong phú. Trong số các di tích bị vùi lấp có khá nhiều nền các kiến trúc trong quần thể cung điện cổ (hình 1.13, 1.14). Có thể thấy nền các ngôi nhà trải qua nhiều giai đoạn lịch sử được đào đi, xây lại nên thường có nhiều lớp gạch sỏi chồng xếp lên nhau, tạo thành lớp vật liệu khá dày. Bao quanh các nền cung điện đã phát hiện nhiều móng chân tường bằng gạch nung còn khá nguyên vẹn. Kích thước các tường bao có khi dày đến 30 - 40 cm. Một số giếng nước được xây bằng gạch vẫn còn giữ được hình dáng buổi sơ khai, trong đó có cả giếng cổ hơn nghìn năm trước vào thời Đại La (hình 1.15a, 1.15 b). Nhiều chân tảng bằng đá hoa văn in đậm nét văn hoá của từng thời kỳ lịch sử cũng đã tìm thấy. Trong khu khai quật còn tìm thấy một số hệ thống cống thoát nước được xây bằng gạch, kích thước cũng không nhỏ (hình 1.16). Hầu hết các di tích đều phân bố trong khoảng độ sâu từ khoảng 1,5 m đến 4 m. Tại khu vực Đoan Môn khai quật cũng đã phát hiện được con đường lát gạch hoa chân từ độ sâu gần 1,5 m. Đường rộng đến gần 2 m và đáng lưu ý là nó có nhiều lớp (hình 1.17). Theo các nhà sử học thì đây là đường dành cho nhà vua đi (ngự đạo), nó nối liền Đoan Môn với thềm Rồng trước Điện Kính Thiên. Nhiều nhà sử học cho rằng, cứ tìm ở quanh đó sẽ tìm thấy các cung điện, tuy nhiên theo PGS.TS. Tống Trung Tín thì nếu suy luận theo tài liệu lịch sử ở đó chỉ có điện Kính Thiên, Đoan Môn, điện Thị Triều, sân Rồng và Ngự đạo [12]. Các thông tin vừa nêu trên cần được quan tâm trong thực hiện các nhiệm vụ thử nghiệm tại khu vực đã lựa chọn khảo sát.

Theo tính toán lý thuyết và kinh nghiệm tích lũy được thông qua thực hiện các dự án khảo cổ [2-6] thì nhiều tính chất vật lý của vật liệu xây dựng với môi



Hình 1.13: Dấu tích kiến trúc thời Lý – Trần ở hố D4-D6



Hình 1.14: Dấu vết nền cung điện thời Lý – hố A20

Hình 1.15a: Giếng nước cổ thời Đại la – hố B9



Hình 1.15b: Giếng nước cổ thời Lê hố A6





Hình 1.16: Hệ thống cống thoát nước phía đông kiến trúc nhiều gian tại khu A – 18 đường Hoàng Diệu



Hình 1.17: Con đường lát gạch hoa chanh – Di tích Đoan Môn

trường đất xung quanh có sự khác biệt đáng kể. Các di tích bị vùi lấp trong khu Hoàng Thành có khá nhiều đối tượng là gạch nung, hỗn hợp sỏi - gạch, một số ít được tạo ra từ vật liệu đá. Kích thước các đối tượng bị vùi lấp rất khác nhau nhưng cũng có nhiều di vật kích thước không quá nhỏ như: các chân tường, giếng nước, đường gạch. Độ sâu phân bố thường không lớn chỉ từ hơn 1 m đến khoảng 4 m. Các đặc điểm trên xem ra có thể coi là tiền đề tốt cho sử dụng các phương pháp Địa Vật lý. Tuy nhiên, hiệu quả sử dụng các phương pháp này còn phụ thuộc khá nhiều vào các yếu tố khác, trong trường hợp này thì các yếu tố hạ tầng đô thị chính là những trở ngại lớn nhất cho công tác đo Địa Vật lý ở đây. Khu dự kiến khảo sát như đã nêu ở trên có mật độ nhà cửa rất cao, nhiều khoảng không gian giữa các nhà là đường nhựa hoặc sân bê tông gây khó khăn cho các phương pháp Địa Vật lý cần phải tiếp đất khi đo. Ngoài ra, hiệu ứng vật lý gây ra do kích thước và vật liệu xây dựng nên các công trình, hệ thống đường dây tải điện, cấp thoát nước v.v... nhiều khi lấn át cả tín hiệu từ các đối tượng cần quan tâm, làm cho việc tách tín hiệu có ích rất khó khăn. Đáng lưu ý là trong phạm vi khảo sát, ngoài các hệ thống công trình đô thị nêu trên còn có cả một hệ thống hầm ngầm được xây dựng trong thời gian hai cuộc kháng chiến. Hệ thống này một mặt gây tín hiệu nhiễu cho các phép đo Địa Vật lý, mặt khác có thể nhiều di tích khảo cổ có khả năng bị đào mất, bị huỷ hoại phát tán trong quá trình xây dựng các hệ thống công trình.

Nhìn chung các yếu tố liên quan đến môi trường tại đó sẽ tiến hành các phép đo Địa Vật lý trong khu Thành cổ là không đơn giản. Tuy nhiên, ở nhiều nước công tác Địa Vật lý sử dụng cho các dự án khảo cổ trong khu vực thành phố cũng đã được thực hiện có hiệu quả [8]. Qua thảo luận trao đổi và xem xét hiện trường cùng các nhà khoa học Italy, thì việc khảo sát thử nghiệm bằng một tổ hợp các phương pháp Địa Vật lý thường dùng trong khảo cổ là một việc làm cần thiết.

CHƯƠNG II

KHẢO SÁT NGHIÊN CỨU THỬ NGHIỆM BẰNG CÁC PHƯƠNG PHÁP ĐIỆN TỬ

Như đã nêu ở phần trên, các phương pháp điện tử được sử dụng khá phổ biến trong xác định phân bố các di tích khảo cổ bị vùi lấp ở nhiều nước trên thế giới. Trong số các phương pháp điện tử thì phương pháp điện trở và phương pháp điện trở tần số cao dùng thiết bị Radar được sử dụng nhiều hơn cả. Trong những năm gần đây các thiết bị điện tử ở các dải tần số thấp hơn cũng đã được sử dụng, tuy không phổ biến như thiết bị tần số Radar. Có thể nói nhóm các phương pháp điện tử phát triển rất đa dạng và được sử dụng giải quyết hiệu quả nhiều vấn đề ứng dụng trong lĩnh vực Địa Vật lý. Cho đến nay các phương pháp điện tử được sử dụng trong khảo cổ chủ yếu dùng điện trường nhân tạo, trong đó phương pháp điện trở dùng nguồn phát dòng một chiều, còn các phương pháp tần số dùng dòng xoay chiều. Các phương pháp sử dụng dòng một chiều thì việc phát dòng và thu tín hiệu sau khi đã thấm vào lòng đất đều phải sử dụng các điện cực tiếp đất. Trong khi các phương pháp tần số việc phát và thu tín hiệu trường điện từ lại không cần tiếp địa mà chỉ cần dùng các ăngten phát và thu đặt gần mặt đất. Do việc thu và phát tín hiệu điện thông qua điện cực tiếp địa nên phương pháp điện trở cho ta thông tin trực tiếp phản ánh đặc điểm phân bố nguồn của trường điện từ trong môi trường. Cũng bởi vậy nên số liệu thu được bằng sử dụng phương pháp điện trở thường cho độ phân giải cao, tuy nhiên do phải tiếp địa bằng các điện cực nên phép đo này thường không thực hiện được trên nền gạch, nền bê tông, asphalt v.v...

Đối với các phương pháp điện trở tần số thì các tín hiệu đo được có thể là sóng phản xạ từ các ranh giới phân chia các vùng có tính chất điện từ khác nhau, hoặc là thành phần thứ cấp của trường điện từ cảm ứng nên thường độ phân giải không cao như số liệu thu được từ phép đo theo phương pháp điện trở. Đối lại các phương pháp này dễ thực hiện trên các đối tượng như nền gạch, sân xi măng, mặt đường nhựa v.v... vốn rất khó thực hiện nếu ta sử dụng phương pháp đo điện trở.

Cho dù sử dụng các phương pháp dùng dòng một chiều hay xoay chiều thì tiền đề để ứng dụng các phương pháp điện tử vẫn có điểm chung là dựa vào sự khác biệt về điện trở (tính chất dẫn điện) của các thực thể địa chất khác nhau trong môi trường. Các di vật khảo cổ do con người tạo ra bao gồm các công trình kiến trúc văn hoá cổ, các đồ dùng

bằng gốm, sành, sứ, v.v... thường cũng có giá trị điện trở suất khác biệt so với môi trường địa chất vây quanh. Các yếu tố chính gây nên sự khác biệt về tính chất dẫn điện trong môi trường tự nhiên có thể kể đến như: 1) Thành phần và nguồn gốc đất đá khác nhau: đất đá rắn thường có điện trở suất cao hơn sét bột kết; các đá có chứa vật chất dẫn điện (kim loại, sulphua,...) thường có điện trở suất rất thấp; đá có nguồn gốc macma, biến chất có điện trở suất cao hơn trầm tích; 2) Trạng thái đất đá khác nhau: Với cùng thành phần như nhau thì đá gốc rắn chắc, nguyên khối, đá nứt nẻ, bỏ rời khô, hang hốc không chứa nước có điện trở suất cao hơn đất đá nứt nẻ, hang hốc chứa nước, đặc biệt trong nước chứa muối và các khoáng hoá có điện trở suất rất thấp; 3) Khi nhiệt độ tăng thì vật chất cũng có độ dẫn điện tăng lên.

Các di tích khảo cổ bị chôn vùi thường được xây dựng bằng các loại gạch nung hoặc không nung, đôi khi bằng đá khai thác từ các nơi khác mang về. Do nguồn gốc các vật liệu như vừa nêu trên nên thường chúng cũng có tính chất vật lý khác biệt so với đất đá tự nhiên, nơi có các công trình cổ bị vùi lấp. Dấu hiệu như vừa nêu là cơ sở để ta nghĩ đến sử dụng phương pháp điện từ trong tìm kiếm phát hiện các di tích khảo cổ bị chôn vùi. Trong thực tế thì ở nhiều nước phương pháp điện thăm dò đã được sử dụng khá phổ biến và từ khá lâu vào công tác khảo cổ và ngày càng đạt hiệu quả tốt hơn do những tiến bộ về khoa học công nghệ và máy móc thiết bị mang lại. Italy là một trong những nước giàu kinh nghiệm trong việc sử dụng các phương pháp Địa Vật lý vào công tác khảo cổ. Việc tiến hành lần này công tác thăm dò điện trong khu Thành cổ Hà Nội cũng dựa trên sự hợp tác của các nhà Khoa học Italy. Các phương pháp điện từ đã sử dụng khảo sát thử nghiệm nhằm phát hiện các đối tượng khảo cổ bị vùi lấp lần này gồm: phương pháp đo cắt lớp điện trở, phương pháp điện từ dùng thiết bị tần số Radar và phương pháp điện từ tần số thấp dùng thiết bị ERA-MAX.

2.1. PHƯƠNG PHÁP ĐO CẮT LỚP ĐIỆN TRỞ

2.1.1. Cơ sở lý thuyết của phương pháp

Cắt lớp điện trở là phương pháp được phát triển trên cơ sở phương pháp đo sâu điện và gần đây được ứng dụng rộng rãi trong nhiều ứng dụng bởi tính hiệu quả của nó. Từ cắt lớp được sử dụng cũng khá đồng nghĩa với các công nghệ cắt lớp trong y học. Theo đó, môi trường địa chất trong mặt cắt thẳng đứng được chia ra các ô lưới nhỏ tùy ý và phép mô hình hoá được tiến hành trên cơ sở tính toán phân bố điện trở suất tại các

ô lưới nêu trên. Mô hình được lựa chọn là mô hình có độ lệch nhỏ đến mức có thể chấp nhận được giữa phân bố điện trở suất lý thuyết và giá trị quan sát. Cách làm như trên cho phép ta mô hình hoá được cả những môi trường có tính phân lớp phức tạp. Đây cũng chính là mấu chốt làm cho phương pháp cắt lớp điện trở có hiệu quả hơn trong giải quyết các vấn đề nghiên cứu về môi trường địa chất. Song song với công nghệ phân tích tài liệu như trên cũng đã phát triển thêm các thiết bị như thiết bị đa cực, cho phép thu thập số liệu phù hợp hơn với công nghệ phân tích.

Nguyên lý chung của phương pháp dựa trên bài toán vật lý về mối quan hệ giữa sự phân bố mật độ dòng điện trong môi trường từ một nguồn điện phát vào môi trường đó với độ dẫn điện của môi trường. Nó được mô tả bằng phương trình toán học như sau:

$$-div[\sigma(x, y, z)gradU(x, y, z)] = \frac{I}{\Delta V} \delta(x - x_s) \delta(y - y_s) \delta(z - z_s) \quad (2.1)$$

Trong đó: *div*, *grad* là các ký hiệu toán học (toán tử); σ - là hàm số mô tả sự phân bố độ dẫn điện (trong thực tế thường dùng tham số điện trở suất là giá trị ngược của độ dẫn $\rho = 1/\sigma$ đo bằng đơn vị *ôm.mét -Omm*) trong môi trường theo tọa độ x, y, z ; U - là hàm điện thế mô tả sự phân bố điện thế trong môi trường theo tọa độ x, y, z ; I - là cường độ dòng điện phát vào môi trường; δ - là một hàm số toán học được gọi là hàm Dirac mô tả tính chất phân bố nguồn điện trong môi trường ở tọa độ x_s, y_s, z_s ; ΔV - là thể tích cực phát của nguồn điện.

Trong phương trình trên dòng điện I là nguồn phát chủ động luôn có cường độ xác định; giá trị điện thế U trong môi trường cũng xác định được bằng thiết bị đo trên thực địa. Còn hàm phân bố độ dẫn điện của môi trường σ là điều ta cần biết có thể xác định được bằng cách giải phương trình trên khi đã biết các tham số I, U . Tuy nhiên việc giải phương trình nêu trên trong môi trường địa chất phức tạp là cả một vấn đề lớn có tính chuyên môn sâu sẽ không trình bày ở đây, công việc đó chỉ thực hiện được bằng các chương trình chuyên dụng trên máy tính điện tử.

Quy trình ứng dụng phương pháp này gồm hai công đoạn: 1)Đo thực địa và 2)Xử lý phân tích số liệu.

2. Quy trình đo đạc:

Để thu số liệu nhờ một hệ thiết bị chuyên dụng gồm bộ phận phát dòng (từ máy nổ hay acqui) và một bộ đo hiệu điện thế từ các cặp điện cực tiếp xúc với môi trường. Từ đó xác định được giá trị điện trở suất biểu kiến. Khâu đo đạc thực địa trong đề tài

này được tiến hành song song với phương pháp địa chấn, nhờ thiết bị điện đa cực do Cộng hoà liên bang Đức chế tạo GEOSYS -150. Thiết bị số cho phép ghi tự động các số liệu đo đạc vào bộ nhớ của máy và sau đó được tự động chuyển vào máy tính qua cổng truyền tín hiệu RS-232 nhờ một phần mềm chuyên dụng.

Để theo dõi sự biến đổi điện trở suất theo chiều sâu nếu dùng lỗ khoan là tốt nhất nhưng rất tốn kém, nên thường sử dụng nguyên lý khoảng cách: tăng độ sâu khảo sát bằng cách mở rộng khoảng cách từ nguồn phát dòng đến điểm thu hiệu điện thế. Với mỗi khoảng cách (r_i) sẽ nhận được một giá trị điện trở suất biểu kiến ρ_k tương ứng một độ sâu giả định tính bằng công thức sau:

$$\rho_k(r_i) = K(r_i) \Delta U(r_i) / I(r_i) \quad (2.2)$$

Trong đó $K(r_i)$ - là tham số mô tả khoảng cách các cực thu (ký hiệu MN) và các cực phát (ký hiệu AB) được tính bằng công thức (2.3) như sau:

$$K(r_i) = 2\pi [1/r_{AM} - 1/r_{AN} - 1/r_{BM} + 1/r_{BN}] \quad (2.3)$$

Kết quả đo thực địa trên tuyến nhận được mảng số liệu phân bố điện trở suất theo chiều sâu giả định có dạng mặt cắt như sau: (hình 2.1)

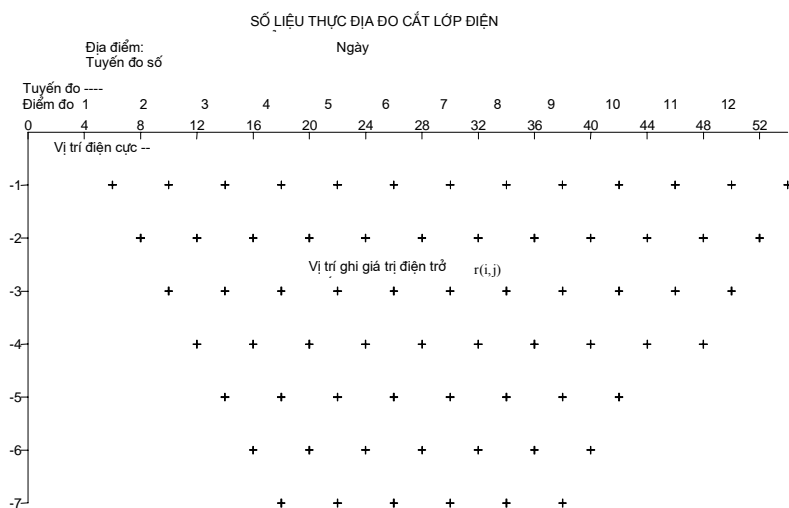
Để có thông tin về sự phân bố điện trở suất phản ánh cấu trúc của môi trường và các bất đồng nhất bị vùi lấp trong lòng đất cần thiết phải bố trí mạng lưới điểm đo phủ kín diện tích khảo sát. Điều đó cho phép theo dõi thông tin chi tiết về các yếu tố cấu trúc và bất đồng nhất nhưng chi phí cho thực địa rất tốn kém chỉ thực hiện được ở giai đoạn tìm kiếm khai thác. Trong phạm vi đề tài này việc đo đạc được tiến hành theo các tuyến, nhưng tại khu vực dự kiến quy hoạch xây dựng, các tuyến khảo sát cũng tương đối đầy đủ cho sử dụng giải quyết các nhiệm vụ đặt ra.

3. Phân tích tài liệu:

Số liệu đo thực địa là giá trị điện trở suất biểu kiến nhận được bằng phép đo trên mặt đất bao gồm các hiệu ứng tổng cộng của nhiều yếu tố cấu trúc khác nhau kể cả các di tích bị vùi lấp trong môi trường. Để xác định được phân bố điện trở suất thực của môi trường cần thiết phải thực hiện một quy trình phân tích tài liệu, thực chất là tìm lời giải (bài toán ngược) phương trình cơ bản nêu trên bằng cách so sánh, lựa chọn tham số mô hình lý thuyết phù hợp với số liệu quan sát thực tế. Việc thực hiện quy trình phân tích này cần một khối lượng tính toán lớn trên máy tính điện tử. Phần mềm xử lý phân tích

như trên được phát triển ở các nước Châu Âu và Mỹ: RES2D và DC2DSIRT được phổ biến rộng rãi và cũng được sử dụng phân tích tài liệu trong đề tài này.

Với kỹ thuật hiện nay, kết quả phân tích được thể hiện ở dạng ảnh màu mô tả đặc trưng phân bố điện trở suất của môi trường dưới tuyến khảo sát.



Hình 2.1: Sơ đồ giải bài toán đo sâu điện đa cực

2.1.2. Khối lượng khảo sát và kết quả đo đạc

2.1.2.1. Thiết bị, quy trình khảo sát và khối lượng công việc

- Thiết bị sử dụng là máy đo điện trở đa cực GMS 150 do CHLB Đức chế tạo có thể nối tối đa 100 cực đo để thực hiện tự động quy trình cắt lớp, số liệu đo được ghi vào ổ cứng, kết quả đo hiển thị trên màn hình máy tính cho phép theo dõi thuận tiện và xác định vị trí các dị thường ngay trên thực địa.

- Hệ cực đo được chọn là Wenner - Schlumberger phù hợp với các đối tượng cần quan tâm

có kích thước nhỏ, phong nhiễu lớn bởi các công trình hiện tại: đường bê tông, nhà cửa, hầm ngầm, cống ngầm, đường ống nước,... và cho khả năng định xứ cao hơn.

- Vị trí các tuyến đo bên trong phạm vi khu di tích thành cổ được lựa chọn và bố trí theo phương Đông - Tây là phù hợp: theo các dữ liệu lịch sử các công trình cổ bố trí trên chiều dài theo phương Bắc - Nam, vì thế các tuyến đo theo phương đông tây sẽ có khả năng gặp các cấu trúc vùi lấp tốt hơn; điều kiện thực tế hiện nay cũng khó thực hiện các tuyến đo theo phương bắc nam vì vướng các công trình nhà cửa xây dựng từ thời

Pháp thuộc. Khoảng cách các tuyến đo không đều vì chỉ thực hiện được ở dọc các đường đi và vườn trồng giữa các ngôi nhà (hình 2.2).

- Đa số các tuyến đo có độ dài để bố trí khoảng cách điện cực là 2m cho phép khảo sát tới độ sâu 9 - 10 m; một số tuyến có độ dài hạn chế phép đo được thực hiện với khoảng cách giữa các điện cực là 1m và độ sâu khảo sát chỉ đạt tới 4m so với mặt đất hiện nay tại .

Khu thành cổ được chia thành các khu vực nhỏ, hiện tại có tường rào phân chia ranh giới, gồm: 1- Đoạn Môn; 2- khu Kính Thiên; 3- Khu tập thể Quân đội K75; 4- Hậu Lâu; 3 - dọc phố Hoàng Diệu; 6- Dọc phố Nguyễn Tri Phương. Số tuyến đo tại Đoạn Môn: 4 tuyến; Kính Thiên: 14 tuyến; Tập thể K75: 6 tuyến; Hậu Lâu: 4 tuyến; Dọc phố Hoàng Diệu: 1 tuyến; Dọc phố Nguyễn Tri Phương: 1 tuyến. Tổng cộng 29 tuyến đo trên diện tích khu di tích thành cổ Hà Nội, với tổng chiều dài đạt 2.641 m.

2.1.2.2. Kết quả khảo sát bằng phương pháp điện trở

Mặt cắt điện trở suất biểu kiến dưới mỗi tuyến đo thể hiện tính chất bất đồng nhất của môi trường nói chung, bao gồm: nền đường bê tông, nền móng nhà hiện đại, đường cống ngầm, các loại đất, tầng đất khác nhau, các vật liệu của các công trình cổ bị phá huỷ và cấu trúc bị vùi lấp. Nghĩa là, thông tin về các đối tượng cần quan tâm là các vật liệu và công trình cổ khác bị vùi lấp thể hiện cùng với hàng loạt thông tin về các đối tượng khác. Vì vậy, để nhận biết đối tượng khảo cổ cần phải hiểu biết và phân loại tính chất của các đối tượng khác nhau để từ đó đưa ra các giải pháp xử lý phân tích cho khả năng thể hiện rõ thông tin về đối tượng khảo cổ.

Trên cơ sở khảo sát hiện trường khu vực di tích Thành cổ, dấu hiệu các công trình ngầm thể hiện trên số liệu đo, vật liệu khảo cổ đã khai quật và hiện trạng môi trường tại các hố khai quật và sự hiểu biết về quy luật phân bố và tính chất dẫn điện của đất và các vật liệu khác cho phép nhận dạng các thông tin chính thể hiện qua phổ màu trên mặt cắt (ảnh) điện trở suất trong vùng nghiên cứu như sau:

- Giá trị điện trở suất phổ biến đặc trưng cho môi trường ở đây tới độ sâu khảo sát $H = 10\text{m}$ có giá trị thay đổi từ 5-10 Ωm đến 80 - 100 Ωm . Những nơi có nhiều kim loại mạnh (khung mái đường hầm, ống dẫn nước) sẽ có giá trị điện trở suất giảm xuống $< 5 \Omega\text{m}$. Những cấu trúc xây dựng bằng bê tông và asphalt có giá trị điện trở suất tăng cao $> 100 \Omega\text{m}$. Trong đó: Mặt cắt (ảnh) điện trở suất thể hiện màu xanh cho cấu trúc điện trở có

giá trị $< 25 \Omega m$, màu xanh càng đậm chỉ thị điện trở suất càng thấp. Vùng điện trở suất này chủ yếu liên quan đến các lớp đất sét ẩm, cát pha chứa nước, nơi có giá trị điện trở suất thấp hơn liên quan đến bùn sét và kim loại.

Mặt cắt (ảnh) điện trở suất thể hiện màu đỏ cho cấu trúc điện trở có giá trị $> 25 \Omega m$, màu đỏ càng đậm chỉ thị điện trở suất càng cao. Vùng điện trở suất này ở gần bề mặt là nền đường bê tông, nền móng nhà, cống hiện tại. Còn ở sâu $> 1 m$ liên quan đến đất chứa nước kém (sét pha cát) hay đất có chứa các vật liệu khô xốp, rắn như đá, gạch nung,...

- Hình thái các cấu trúc điện trở suất trên mặt cắt phản ánh nguồn gốc các lớp đất và vật liệu: Đất tạo thành do quá trình tự nhiên thường có ranh giới phân lớp khá phẳng, các lớp đất có tính đồng nhất cao. Ngược lại, đất và vật liệu do quá trình nhân tạo: san lấp, đào, xây cất thường có ranh giới cấu trúc không ổn định, tính đồng nhất kém. Đó chính là những dấu hiệu quan trọng để nhận biết và giải đoán các thông tin về môi trường (địa chất) và các vị trí có khả năng liên quan đến công trình ngầm và đối tượng khảo cổ cần quan tâm.

1. Kết quả đo điện trở tại khu Hậu Lâu

Trong khu Hậu Lâu đã tiến hành đo 4 tuyến, các tuyến đều chạy dọc theo phương tây - đông. Tại đây các nhà khảo cổ cũng đã tiến hành khai quật với hố đào kích thước dài đến hơn 20 m, rộng hơn 12 m. Các hiện vật tìm được ở các độ sâu khoảng 1 m đến 4 m gồm chủ yếu là các đồ gốm, sứ và gạch nung. Do khu này vẫn chủ yếu để các vườn cảnh trồng cỏ, hoa nên điều kiện tiếp địa của các điện cực tại đây tương đối tốt. Khoảng cách giữa các điện cực dọc tuyến đo là 1 m.

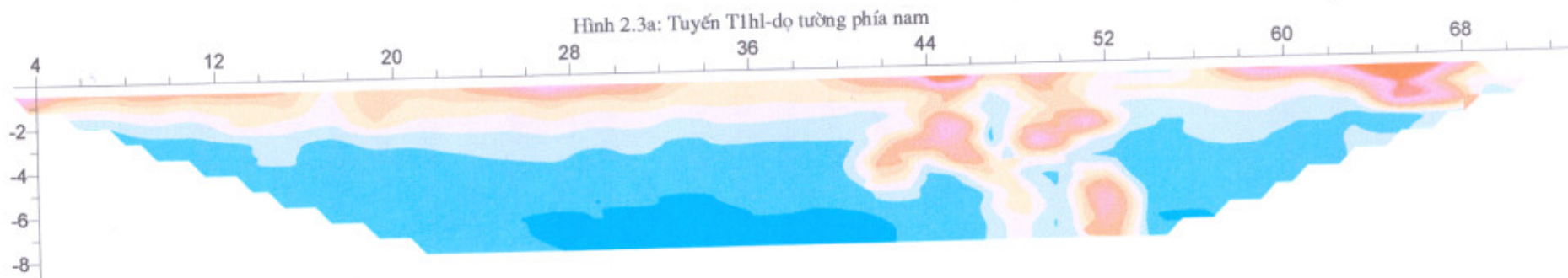
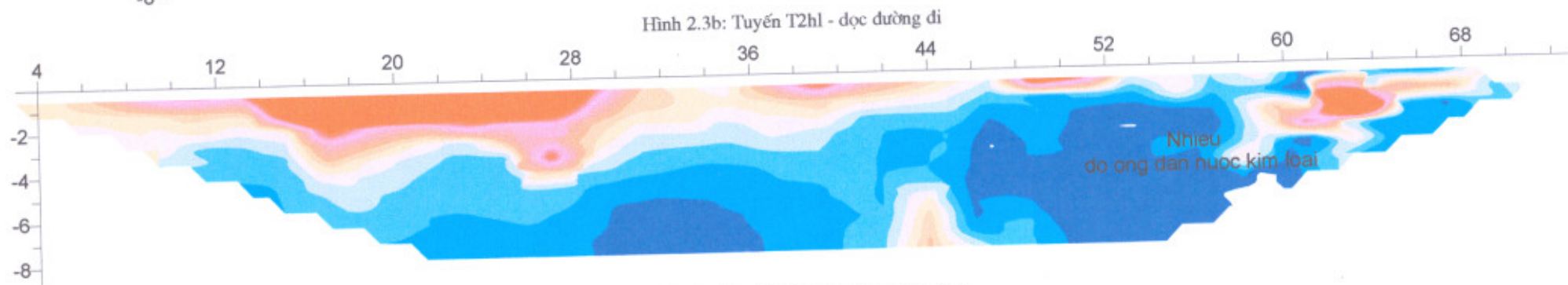
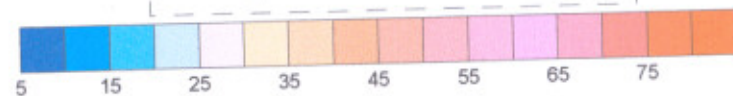
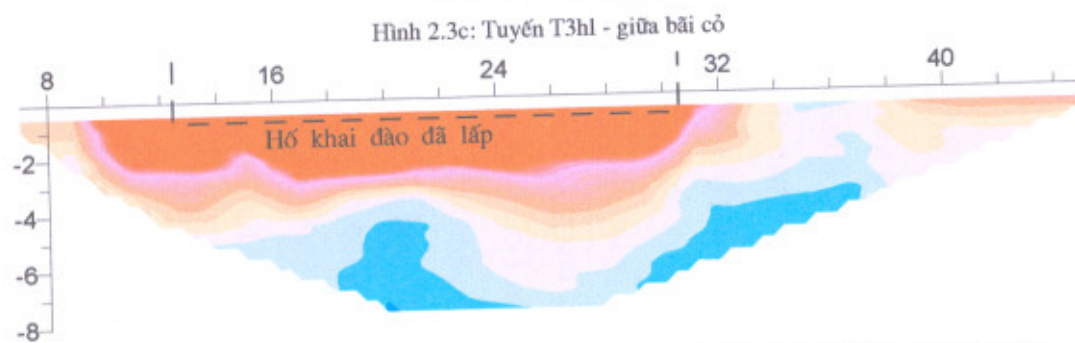
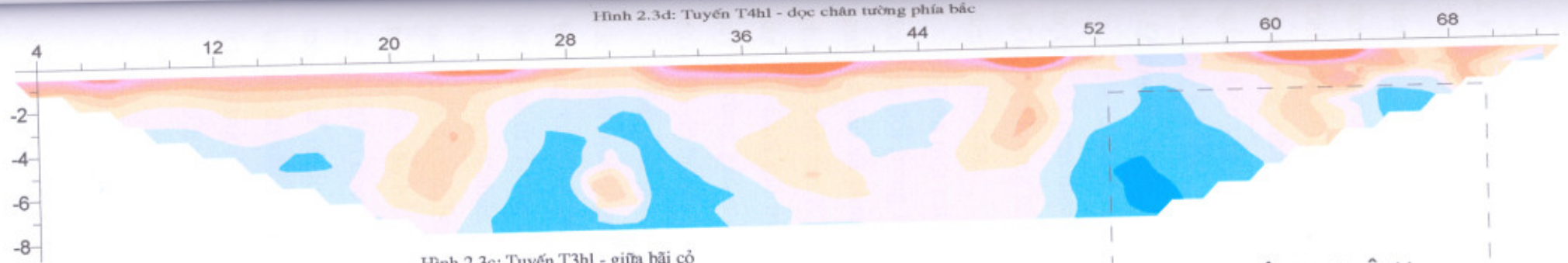
- *Tuyến T1hl Hậu Lâu:* tuyến này chạy dọc men theo tường phía nam khu Hậu Lâu, dài gần 70 m. Lát cắt địa điện trong kết quả cho thấy điện trở suất dưới tuyến đo thay đổi trong khoảng từ khoảng 15 đến hơn 80 Ωm (hình 2.3a). Lớp đất bề mặt dày khoảng hơn 1 m được phản ánh bằng điện trở suất cao hơn trong khoảng 35 đến 65 Ωm . Đây là lớp đất đắp có độ tơi xốp, bờ rời cao. Tiếp theo lớp thứ 2 có điện trở suất thay đổi trong khoảng từ 20 đến 35 Ωm . Bề dày lớp này thay đổi trong khoảng 2 - 4 m. Lớp đất này có thể một phần là đất đắp lẫn lộn với trầm tích sét lắng đọng. Phần lớn các di tích khảo cổ bị vùi lấp tìm thấy trong hai lớp nêu trên. Phần phía dưới khoảng từ độ sâu 3,5 - 4 m trở lên phản ánh bằng tầng có điện trở suất khá thấp, dưới 20 Ωm . Tầng này tương đối đồng nhất gần cho cả tuyến. Theo các dấu hiệu trong hố đào ghi chép lại thì đây là tầng đất tự

nhiên, tỉ lệ bùn, sét ẩm khá cao. Riêng đoạn từ điểm 42 m đến 52 m dọc tuyến đo phát hiện được vùng có điện trở suất cao từ trên xuống dưới. Dấu hiệu bất đồng nhất với giá trị điện trở suất như vừa nêu có thể liên quan đến các di tích khảo cổ bị vùi lấp.

- *Tuyến T2hl*: tuyến đo này chạy men theo mép phía bắc đường gạch từ cổng đường Hoàng Diệu đi vào khu Hậu Lâu, dài 67 m. Lớp đất bờ rời ngay bề mặt khá mỏng chỉ dưới 1 m phân bố dọc theo tuyến tương đối đều. Riêng tại đoạn từ điểm 10 m đến 28 m lớp điện trở suất cao ăn sâu vào lòng đất đến độ sâu 3,5 - 4 m (hình 2.3b). Vị trí này là dấu vết của hố đào khai quật đã được tiến hành trong năm 2004 - 2006. Đoạn từ điểm 46 m đến điểm 57 m, mặt cắt phản ánh vùng điện trở suất thấp chỉ 5 - 7 Ω m ăn sâu vào lòng đất. Khảo sát bằng mắt ngoài hiện trường thì tín hiệu này là nhiễu do ống nước kim loại gây nên. Đoạn cuối tuyến từ điểm 59 đến 65 m lại bắt gặp vùng điện trở suất cao ăn sâu vào lòng đất đến khoảng 4 m. Có thể đây cũng là dấu hiệu phản ánh các vật thể bị chôn vùi. Từ độ sâu 3,5 - 4 m trở xuống là lớp đất tự nhiên bùn sét ẩm nên phản ánh bằng điện trở suất thấp. Riêng tại đoạn từ 29 đến 36 m phát hiện được vùng điện trở suất rất thấp chỉ 5 - 7 Ω m, phân bố từ độ sâu >6 m. Dấu hiệu này chỉ có thể liên hệ với ao hồ hoặc kênh rạch cổ.

- *Tuyến T3 hl*: tuyến đo này cắt qua giữa vườn trong khu Hậu Lâu, chỉ dài 46 m. Ngay từ đoạn đầu tuyến sát với nhà gác cổng đã cho thấy lớp điện trở suất cao ăn sâu vào lòng đất đến khoảng 4 m (hình 2.3c). Đoạn như thế này kéo dài từ điểm 12 m đến điểm 30 m dọc theo tuyến. Vị trí này trùng vào khu vực giữa hố khai quật. Đất lấp vào sau khi khai quật có tính bờ rời cao nên có điện trở suất lớn hơn. Kích thước phản ánh trong mặt cắt điện trở suất cũng tương ứng với kích thước thực của hố đào. Từ độ sâu lớn hơn 4 m là lớp đất tự nhiên có điện trở suất thấp hơn và cũng gần giống như 2 tuyến trước.

- *Tuyến T4hl*: tuyến đo chạy men theo chân tường rào phía bắc của khu Hậu Lâu, dài xấp xỉ 70 m. Cũng như các tuyến nêu trên dưới tuyến đo này bắt gặp lớp bờ rời ngay dưới mặt đất với bề dày khoảng 1 m (hình 2.3d). Lớp sét tiếp theo có bề dày khoảng hơn 2 m. Phân dưới sâu là lớp đất bùn sét. Tại đoạn từ điểm 26 đến 34 m và đoạn từ 49 đến 58 m bắt gặp các khối điện trở suất thấp từ độ sâu khoảng 2 m ăn sâu vào lòng đất. Dấu hiệu này có thể liên quan đến bùn sét độ ẩm cao, có thể là vị trí của ao hồ, kênh rạch cổ. Tại các đoạn từ điểm 21 m đến 25 m; điểm 47 - 50 m và 60 - 63 m tồn tại vùng điện trở suất khá cao ăn vào lòng đất đến độ sâu 4 - 5m. Các vị trí này cũng là những điểm đáng lưu ý, có thể liên quan đến các vật thể bị vùi lấp.



2. Về kết quả đo trong khu Kinh Thiên

Trong khu Kinh Thiên đã thực hiện 14 tuyến đo, trong đó có 3 tuyến đo trực tiếp trên nền sân sau thềm Rộng. Phần lớn các tuyến đo còn lại phân bố trong khu vực phía nam thềm rộng đến tường rào ngăn cách với Đoan Môn. Do khu vực này có nhiều công trình hiện đại, phần lớn các đường nội bộ đều là đường nhựa nên việc tiếp đất các điện cực không thuận lợi như khu Hậu Lâu. Ngoài ra, trong khu này còn có hệ thống hầm ngầm xây dựng trong thời gian chiến tranh, hệ thống đường ống cấp và thoát nước cũng là những trở ngại cho việc thực hiện phép đo điện trở tại đây.

- Kết quả đo 3 tuyến trên nền sân sau thềm rộng:

Ba tuyến đo đều có chiều dài khoảng 46 m, cách nhau 5,5 m, tuyến KT1 ở giữa, tuyến KT2 men theo rìa nam và tuyến KT3 men theo rìa bắc của sân. Các điện cực được bố trí với khoảng cách giữa chúng 1 m. Theo kết quả xử lý phân tích tài liệu có thể nêu tóm tắt như sau:

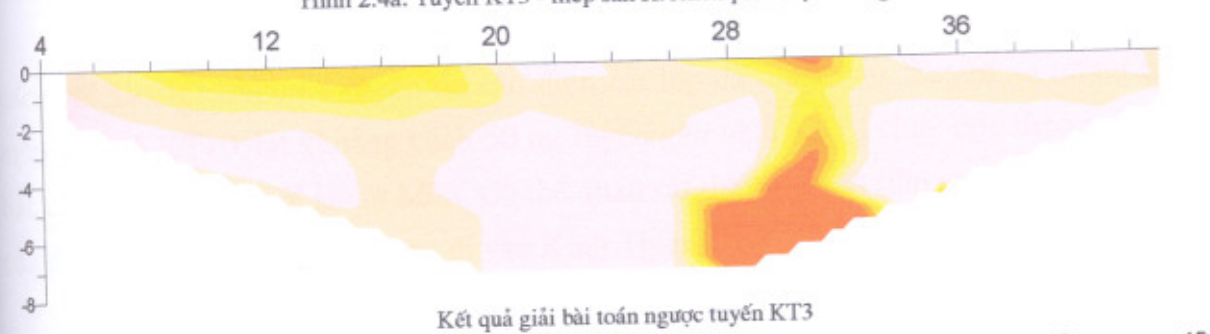
Trên mặt cắt phân bố điện trở suất dựng theo số liệu đo đạc, chưa qua xử lý phân tích thay đổi trong khoảng từ 15 - 80 Ω m. Mức độ đồng nhất trong từng lát cắt điện trở suất khá cao và phân bố điện trở suất dưới tuyến đo giữa sân KT1 với tuyến đo dọc mép phía bắc của sân KT3 khá giống nhau về giá trị, riêng dưới tuyến KT2 dọc theo mép sân phía nam giá trị điện trở suất phản ánh thấp hơn (hình 2.4). Dấu hiệu trên có thể suy ra, vùng gần mép sân phía nam là vùng đất đắp, được vận chuyển từ nơi khác đến, độ ẩm và độ bờ rời cao hơn phần liên thổ còn lại.

Kết quả phân tích xử lý bằng sử dụng bài toán ngược RES2D cho phép xem xét các lát cắt định lượng hơn. Theo đó, tại vị trí xung quanh điểm 25 m trên tuyến KT3 tồn tại vùng có điện trở suất thấp từ độ sâu > 1 m đến khoảng 6 m. Dị thường này theo thông tin từ Trung tâm khu di tích Cổ Loa - Thành cổ Hà Nội phản ánh vị trí gần một hầm ngầm có chứa sắt thép. Về hai phía của tuyến đo này còn 2 vùng cũng có điện trở suất thấp có thể liên quan đến vật liệu chứa sắt hoặc gần các ống nước. Trên mặt cắt tuyến giữa sân hầm ngầm phản ánh bằng vùng điện trở suất thấp còn rõ hơn tại đoạn từ 15 đến 20 m dọc tuyến đo. Trên tuyến dọc mép sân phía nam phần có điện trở suất thấp mờ đi khá rõ do xa vị trí hầm ngầm. Lớp đất nguyên thổ tại khu vực sân có lẽ bắt đầu từ khoảng độ sâu 4 m, tương ứng với vùng điện trở suất tăng lên. Nhìn chung trong khu sân ít khả năng tồn tại các di tích văn hoá cổ mà chủ yếu là công trình ngầm hiện đại.

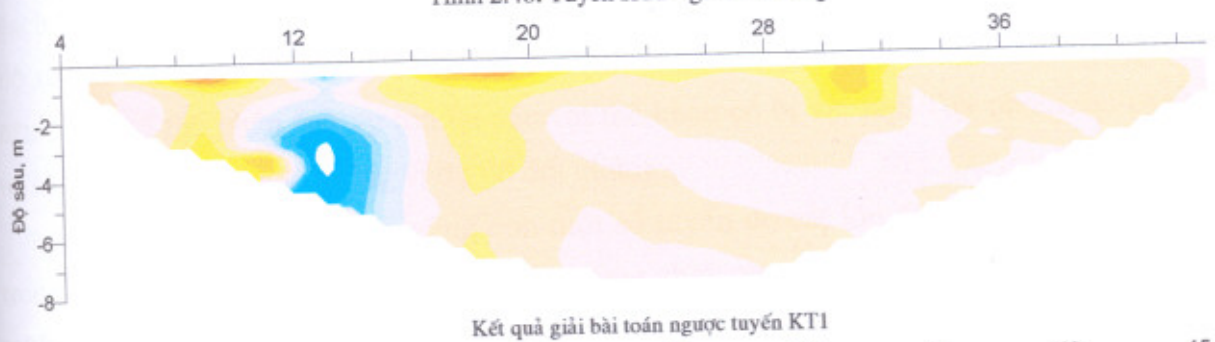
- Một số tuyến đo cắt lớp điện trở phần phía nam Kinh Thiên:

HÌNH 2.4: MẶT CẮT ĐIỆN TRỞ SUẤT CÁC TUYẾN SÂN RỒNG - KÍNH THIÊN

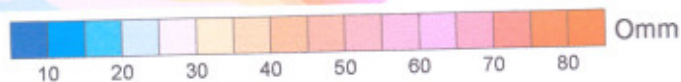
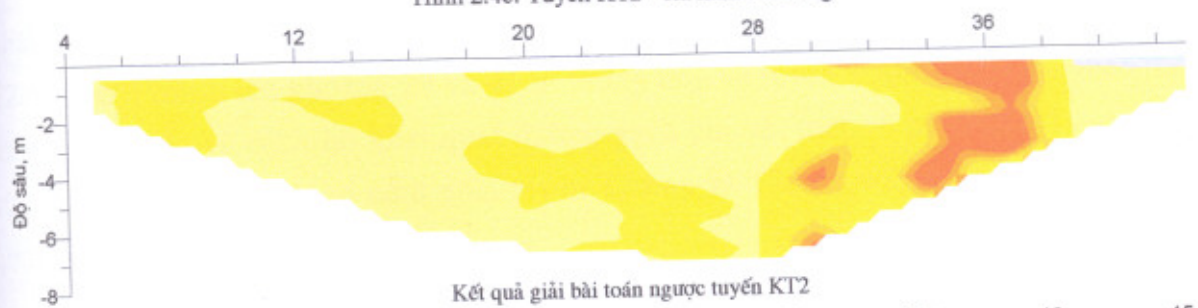
Hình 2.4a: Tuyến KT3 - mép sân K.Thiên phía Hội trường



Hình 2.4b: Tuyến KT1 - giữa sân rồng



Hình 2.4c: Tuyến KT2 - rìa nam sân rồng



Tại khu vực từ sau nhà của Cục tác chiến trước đây (nhà N16) đến tường ngăn cách với Đoan Môn có 4 tuyến đo sâu điện cắt lớp đã thực hiện. Tuyến xa tường đoan môn nhất là KT10 đạt khoảng cách 50 m; tuyến gần nhất KT14 chạy dọc theo mép phía bắc của tường ngăn với Đoan Môn. Có thể quan sát thấy dấu vết tiếp tục đi về phía bắc của đường lát gạch từ Đoan Môn đi vào Kính Thiên trên một số tuyến đo này (hình 2.5)

Trên tuyến KT13 dị thường điện trở suất cao tại đoạn 38 - 45 m phân bố từ độ sâu khoảng 2,5 m là phần tiếp tục đi về Kính Thiên của đường lát gạch phát hiện trong hố đào ở Đoan Môn, bởi vị trí này chỉ cách hố đào khoảng 12 m lại chiếu thẳng với đường lát gạch. Dấu vết này còn tiếp tục theo dõi được tại đoạn 44 - 48 m trên tuyến KT12, nhưng nằm sâu hơn và rất rõ tại đoạn 32 - 36 m trên tuyến KT10. Riêng trong mặt cắt tuyến đo KT11 phân bố dọc rìa phía bắc của nhà N6 dấu vết này thể hiện không thật rõ tại đoạn 24 - 26 m dọc tuyến đo. Ngoài dấu vết có thể liên quan đến đường lát gạch nêu trên thì trong mặt cắt của tuyến KT12 và KT13 còn có nhiều vị trí phân bố ở độ sâu từ vài mét đến 6 mét có giá trị điện trở suất cao (hình 2.5a-2.5d). Dấu hiệu vừa nêu cũng có thể phản ánh sự tồn tại các vật thể khảo cổ bị vùi lấp. Tuy nhiên, tại các vị trí này ta chưa có được những ví dụ để đối chứng.

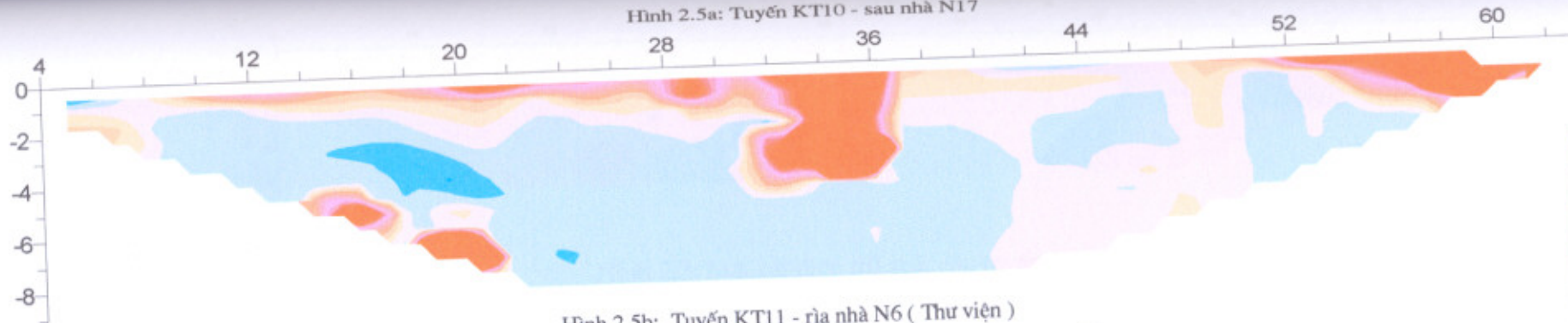
Trong khu Kính Thiên cũng còn một số tuyến đo cắt lớp điện trở khác, phân bố trong đoạn từ khu nhà Cục tác chiến đến đường chạy qua thềm rồng và một vài tuyến đo tại khu sân trước nhà D67. Nhìn chung các tuyến này cũng có kết quả tương tự, nhưng tại các khu vực này mật độ các công trình ngầm hiện đại tăng lên nhanh chóng. Một số công trình ngầm có hàm lượng sắt thép cao phản ánh rất rõ bằng vùng có điện trở rất thấp đến dưới $5 \Omega\text{m}$ như dưới tuyến KT5 sau nhà con rồng (hình 2.6).

3. Một số kết quả đo cắt lớp điện trở tại khu vực Đoan Môn

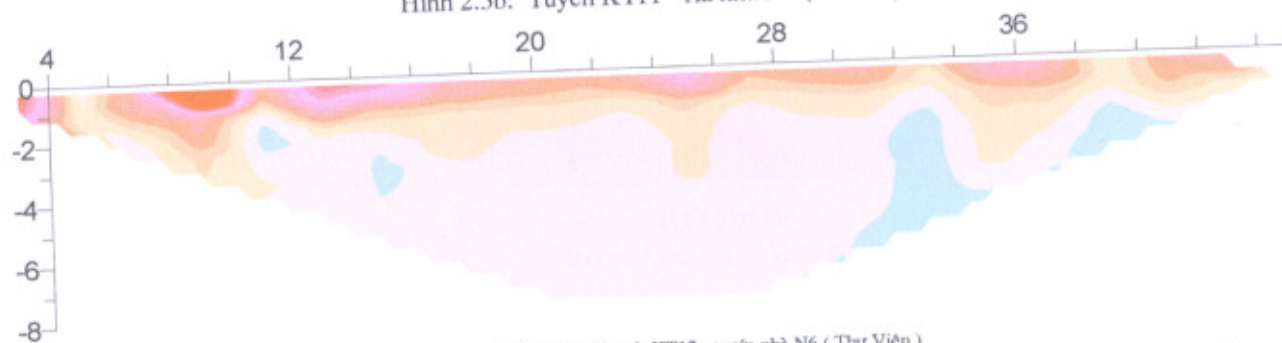
Trong phạm vi khu vực Đoan Môn chỉ tiến hành đo 5 tuyến. Trong đó tuyến dài nhất khoảng 103 m là tuyến T1dm chạy dọc mép tường phía nam Đoan Môn. Tuyến T2dma và T2dmb dài khoảng 29 và 41 m tương ứng và tuyến T3dm chạy dọc theo mép tường phía bắc và cách hố khai quật đường gạch chỉ vài mét về phía bắc. Tuyến cuối cùng T2dm ngắn chỉ 24 m nằm giữa tuyến T2dma và T2dmb về phía nam hố đào khai quật.

Có thể thấy cả trên mặt cắt tuyến T3dm phía bắc và tuyến T2 dm phía nam hố đào đều phản ánh khá tốt dấu hiệu của đường lát gạch (hình 2.7) bằng vùng có điện trở suất cao ở đoạn giữa tuyến đo. Trên mặt cắt tuyến T1dm và tuyến T2dmb nhiều vị trí có

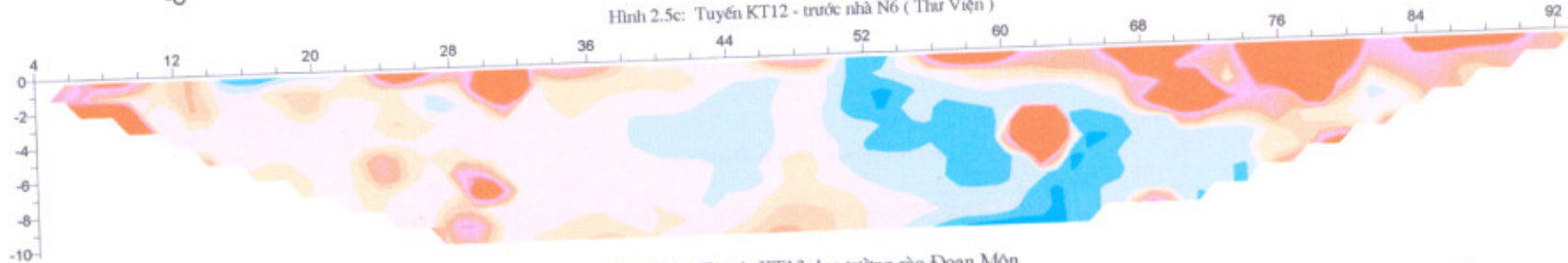
Hình 2.5a: Tuyến KT10 sau nhà N17



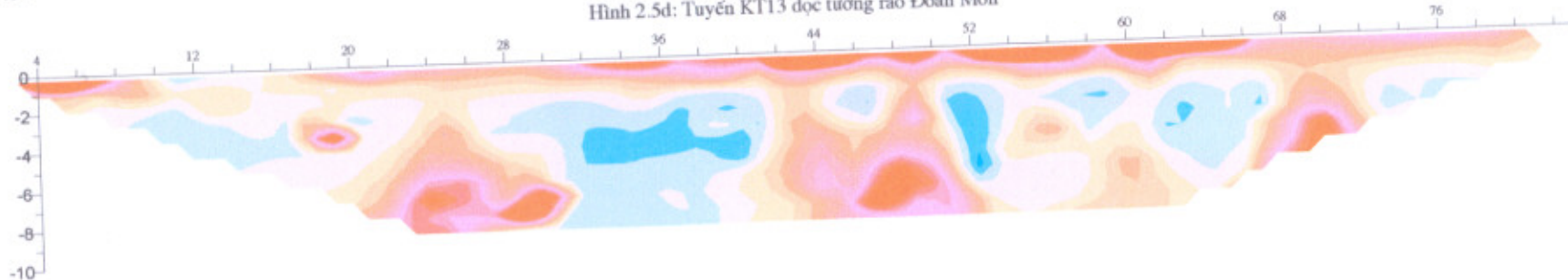
Hình 2.5b: Tuyến KT11 - rìa nhà N6 (Thư viện)

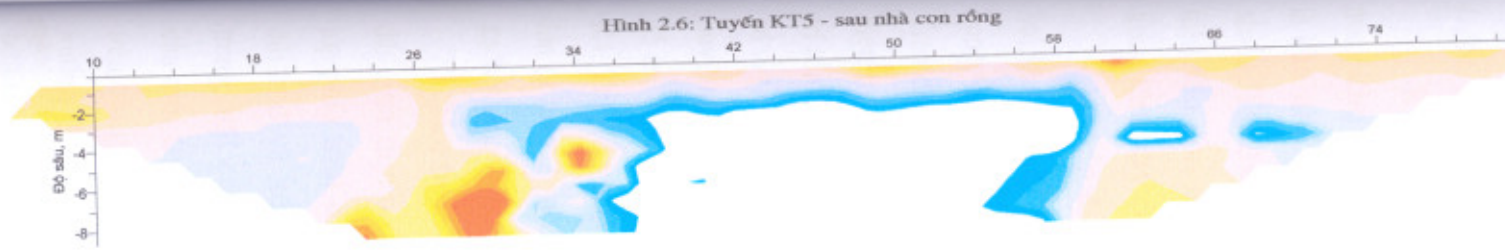


Hình 2.5c: Tuyến KT12 - trước nhà N6 (Thư Viện)



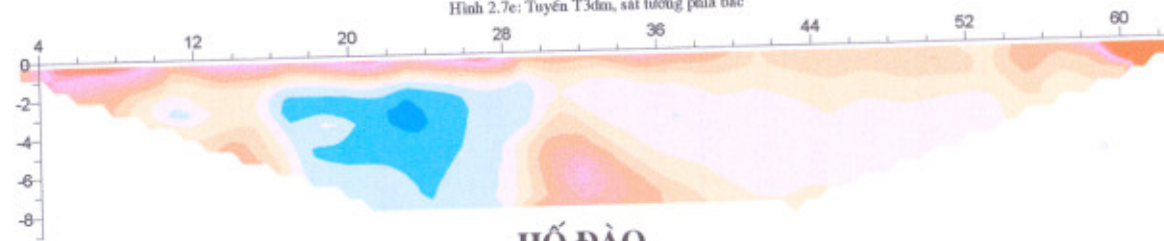
Hình 2.5d: Tuyến KT13 dọc tường rào Đoàn Môn





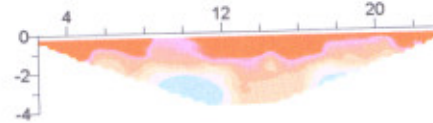
Hình 2.7: Mặt cắt điện trở suất các tuyến ở Đoan Môn

Hình 2.7a: Tuyến T3đm, sát tường phía bắc

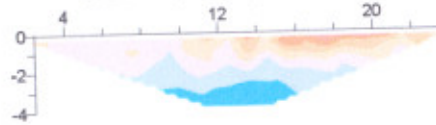


HỒ ĐÀO

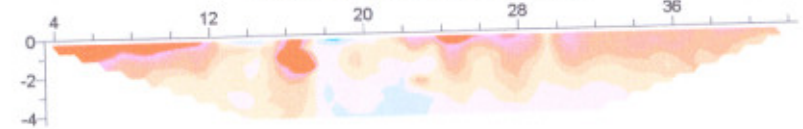
Hình 2.7b: Tuyến T2đm, phía nam hồ đào



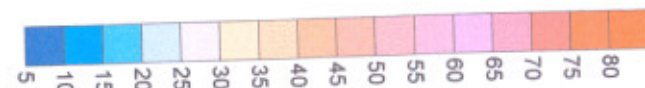
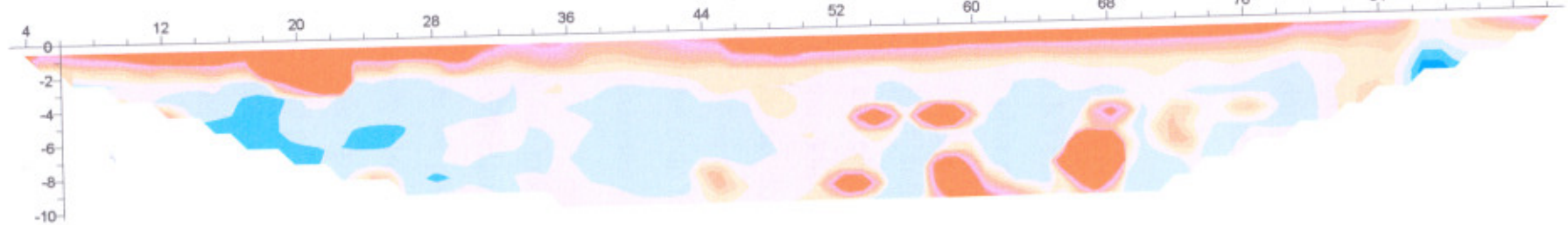
Hình 2.7c: Tuyến T2đm, phía tây Đoan Môn



Hình 2.7d: Tuyến T2đm, phía đông Đoan Môn



Hình 2.7e: Tuyến T1đm - sát tường phía nam



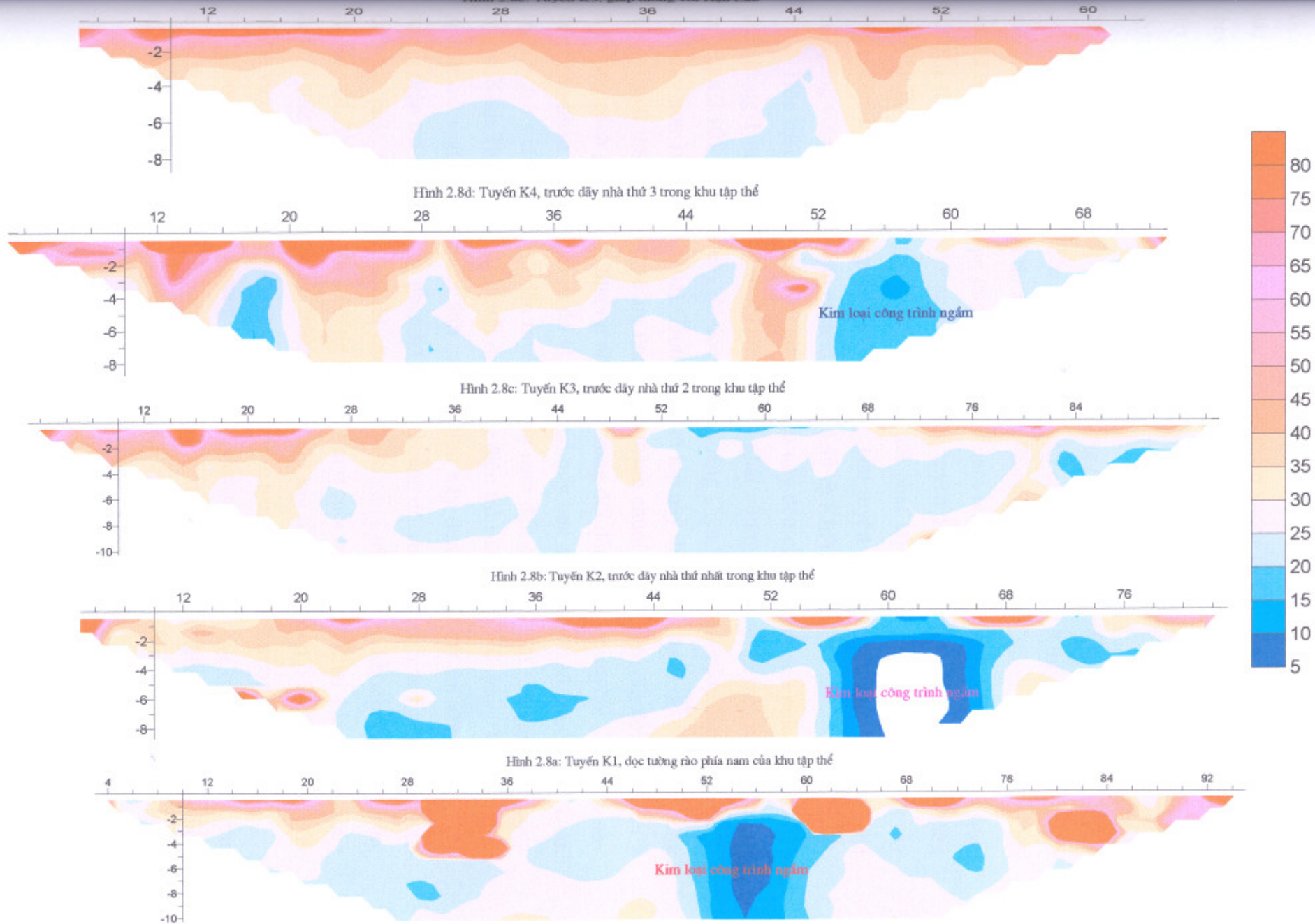
giá trị điện trở suất cao, hình dạng nhiều dị thường tương đối đẳng thước, phân bố từ độ sâu một vài mét đến 6-7 mét (hình 2.7a, 2.7b). Dấu hiệu bất thường này có thể xem xét khả năng phản ánh các di tích văn hoá cổ bị vùi lấp.

4. Một số kết quả đo cắt lớp điện trở trong khu tập thể quân đội K75

Khu này chiếm diện tích gần 1 hécta, nằm xen giữa khu vực Hậu Lâu và nhà D67 trong khu Kính Thiên. Có đến 8 tuyến đo cắt lớp điện trở được thực hiện tại đây. Do đây là khu nhà ở được sử dụng trong nhiều năm qua nên môi trường lòng đất bị xáo trộn nhiều. Tại đây cũng có hệ thống hầm ngầm được xây dựng trong thời gian chiến tranh, hiện vẫn còn những cửa hầm lộ thiên có thể quan sát được. Kết quả đo cắt lớp điện trở trong khu này có thể tóm tắt như sau:

- Phần diện tích phía tây của khu tập thể từ sau nhà D67 đến tường rào ngăn cách với khu Hậu Lâu có đến 5 tuyến đo đã được thực hiện, trong đó tuyến K5 chạy song song và rất gần với tường ngăn, các tuyến từ K4 đến K1 phân bố dần về phía nhà D67. Trên các mặt cắt điện trở suất dưới các tuyến đo K1, K2 và K4 đều phát hiện được vùng điện trở suất rất thấp (hình 2.8a, 2.8b, 2.8d). Có thể coi đây là dấu hiệu phản ánh các vị trí tồn tại công trình ngầm có chứa kim loại. Ngoài ra, trên cả 3 mặt cắt trên còn có một số vị trí phản ánh vùng điện trở suất cao phân bố tại các vị trí khá bất thường không theo quy luật, có thể là dấu hiệu tồn tại các vật thể văn hoá cổ bị vùi lấp. Đó là các đoạn 29-35 m, 80-84 m trên tuyến K1; đoạn 46 - 52 m trên tuyến K2; đoạn 47 - 51 m trên tuyến K4. Tại đó vùng có điện trở suất cao đạt đến giá trị 80 - 90 Ω m, lại phân bố ở độ sâu khá lớn từ hơn 2 m đến 7 - 8 m nên có khả năng liên quan đến các vật liệu nhân tạo rắn như gạch nung v.v...

Hai tuyến đo còn lại K5 và K3 mặt cắt điện trở suất chủ yếu phản ánh môi trường đất dưới tuyến đo (hình 2.8e, 2.8c). Trong đó tuyến K5 ngay sát tường với Hậu Lâu có lớp phía trên dày khoảng 3 mét phân bố tương đối đều dọc tuyến, là lớp sét pha tương đối khô và xốp, lớp dưới là lớp sét ẩm với giá trị điện trở suất thấp hơn cũng bắt gặp trong mặt cắt toàn tuyến. Có thể coi đây là mặt cắt khá đại diện cho các lớp phía trên của môi trường địa chất trong khu vực khảo sát. Mặt cắt dưới tuyến đo K3 phản ánh lớp trên cùng không thật đồng nhất, đặc biệt là đoạn giữa tuyến. Giá trị điện trở suất giảm xuống 20 - 25 Ω m tại đoạn khoảng 52 - 75 m ăn sâu vào lòng đất có thể phản ánh lớp bùn sét, độ ẩm cao có nguồn gốc ao, hồ.



Tại phần phía đông của khu tập thể còn có 3 tuyến đo tương đối ngắn, mỗi tuyến khoảng hơn 40 m chiều dài. Theo đặc điểm phân bố điện trở suất dưới 3 tuyến này thì dấu hiệu rõ nhất là các vùng có điện trở suất giảm xuống rất thấp đến $< 10 \Omega\text{m}$ phát hiện được cả trong 3 mặt cắt (hình 2.9a-2.9c). Liên kết với các khảo sát khác thì dấu hiệu này nhiều khả năng liên quan đến các công trình ngầm chứa kim loại, là đối tượng khá phát triển trong phạm vi khảo sát.

5. Các tuyến đo cắt lớp điện trở dọc theo đường Hoàng Diệu và Nguyễn Tri Phương

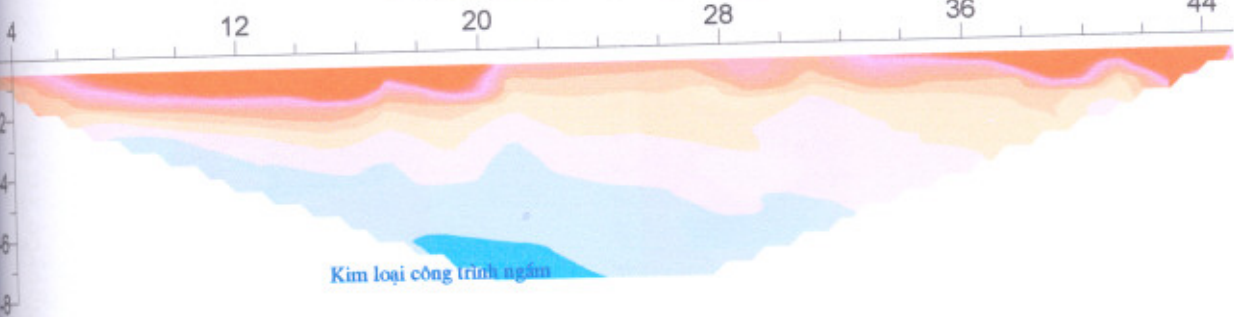
Hai tuyến đo này đều chạy dọc theo gần chân tường khu Kinh Thiên, trên vỉa hè của đường Hoàng Diệu và đường Nguyễn Tri Phương và đều dài 295 m. Mặt cắt điện trở suất từ trái sang phải tương ứng với chiều từ nam lên bắc. Điểm đầu tuyến ở phía nam bắt đầu từ cổng tây của Đoàn Môn đối với tuyến Hoàng Diệu, còn dọc theo đường Nguyễn Tri Phương điểm đầu tuyến cũng xuất phát tại điểm chiếu thẳng từ cổng tây Đoàn Môn sang đường Nguyễn Tri Phương. Hai tuyến đều kết thúc tại các điểm phía bắc ngang với tường rào ngăn cách khu Hậu Lâu và Kinh Thiên.

Trên mặt cắt điện trở suất của 2 tuyến này đều cho lớp đất đắp phía trên đến độ sâu khoảng 1 m, phản ánh tính không đồng nhất nhưng giá trị điện trở suất tương đối cao (hình 2.10). Dưới lớp này thì dọc tuyến Hoàng Diệu bắt gặp một lớp điện trở suất rất thấp, dày hơn 1m (hình 2.10a). Trong thực tế lớp này được tạo thành do các dị thường điện trở suất thấp tương đối đẳng thước xếp thành chuỗi dọc theo tuyến đo. Đáng lưu ý là khoảng cách giữa các dị thường nhỏ này tương đối đều dọc theo tuyến. Dấu hiệu này chắc chắn phản ánh một cái gì đó vì nó rất có quy luật nhưng chưa rõ nguồn gốc. Dưới lớp điện trở suất thấp thì từ đầu tuyến ở phía nam đến điểm 195 m (đã qua vị trí cổng tây của Kinh Thiên) bắt gặp chuỗi dị thường điện trở suất cao từ 70 đến $100 \Omega\text{m}$, là giá trị điện trở suất thường phản ánh các vật liệu xây dựng hoặc đất tơi xốp. Do các dị thường điện trở suất cao này phân bố trong khoảng độ sâu từ 3 đến hơn 7 m nên cũng có khả năng phản ánh các di tích bị chôn vùi hoặc công trình ngầm không có hàm lượng sắt đáng kể. Trong chiều dài khoảng hơn 100 m ở cuối tuyến xuất hiện 4 khối dị thường điện trở suất thấp dưới $10 \Omega\text{m}$ trong khoảng độ sâu từ vài mét đến 6 m. Dấu hiệu này tại khu vực khảo sát nhiều khả năng phản ánh các hầm ngầm chạy trong khu vực.

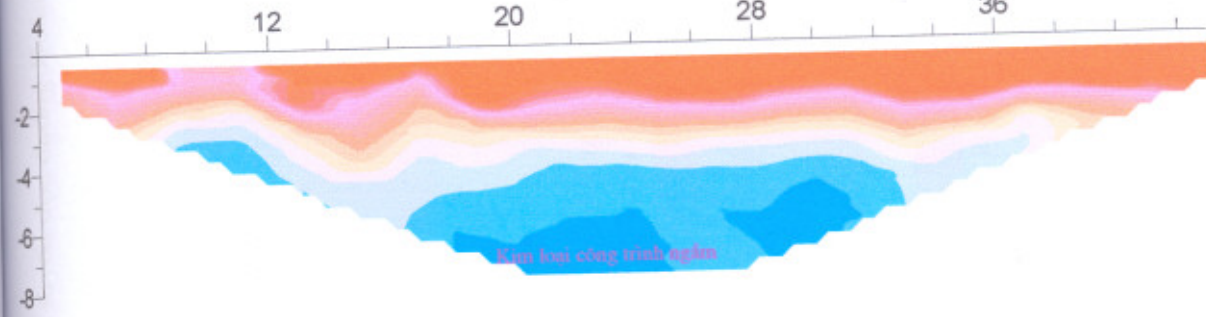
Dọc tuyến đo theo đường Nguyễn Tri Phương lớp trên cùng cũng tương tự như tuyến dọc đường Hoàng Diệu (hình 2.10b). Lớp thứ hai cũng có điện trở suất thấp hơn nhưng không phải do các dị thường nhỏ kích thước giống nhau tạo nên như ở tuyến

Hình 2.9: Mặt cắt điện trở suất các tuyến phía đông khu thập thể quân đội

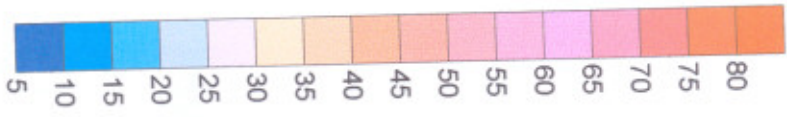
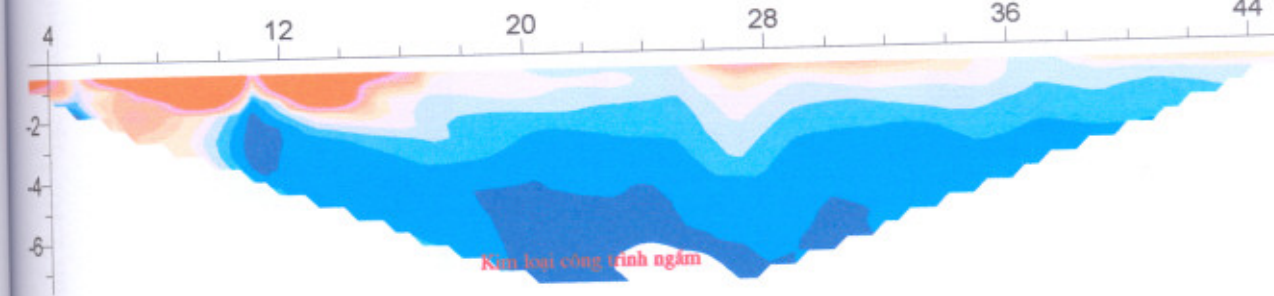
Hình 2.9c: Tuyến 6B, đông khu thập thể



Hình 2.9b: Tuyến 5B, đông khu thập thể

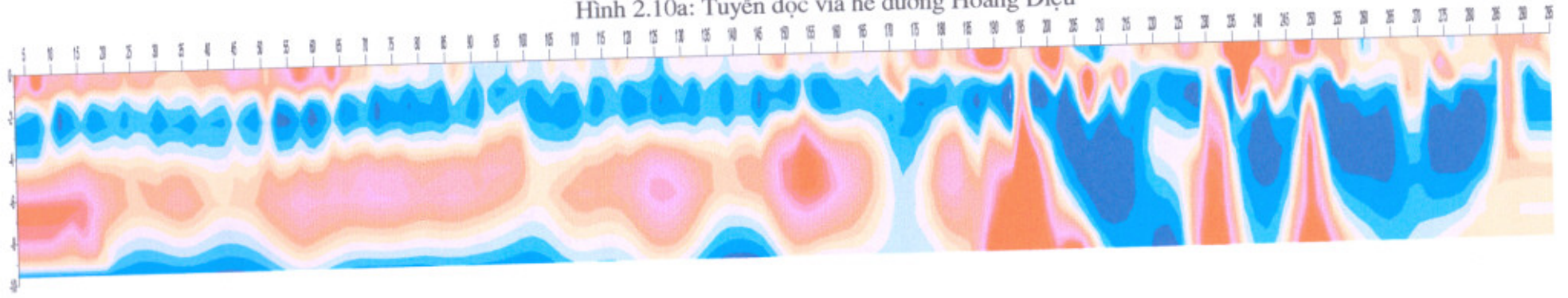


Hình 2.9a: Tuyến 4B, đông khu thập thể

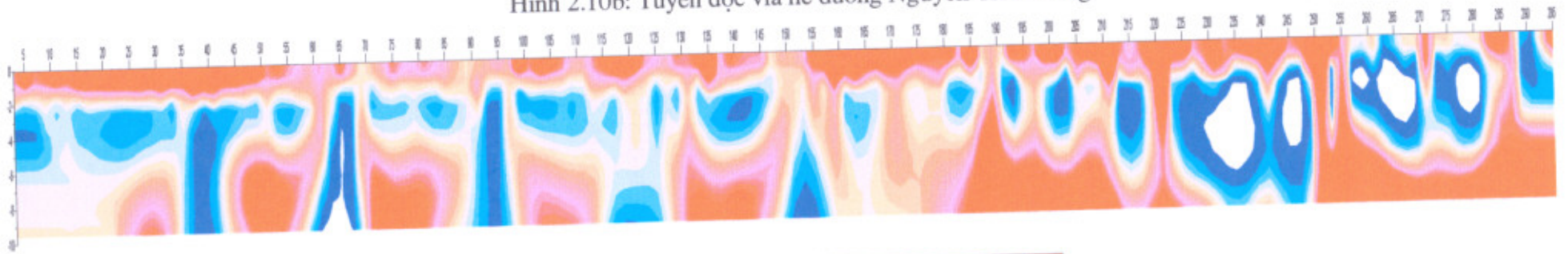


Hình 2.10: Mặt cắt điện trở suất các tuyến dọc đường Hoàng Diệu và Nguyễn Tri Phương

Hình 2.10a: Tuyến dọc vỉa hè đường Hoàng Diệu



Hình 2.10b: Tuyến dọc vỉa hè đường Nguyễn Tri Phương



Hoàng Diệu. Giá trị điện trở suất trong lớp này hầu hết khoảng từ 15 đến 25 Ωm , là khoảng giá trị tương ứng với điện trở suất của lớp bùn sét ẩm. Lớp sâu hơn gồm các dị thường điện trở suất thấp và cao đan xen nhau. Các khối có điện trở suất tăng cao nhanh đến xấp xỉ 100 Ωm có kích thước theo chiều ngang thường khoảng 10 - 14 m, nằm ở độ sâu bắt đầu từ khoảng 3,5 m. Theo dấu hiệu này cũng khó đoán liên quan đến đối tượng nào, bởi nếu là đất tự nhiên trong môi trường địa chất cũng ít khả năng có giá trị điện trở suất cao như vậy, còn nếu là các đối tượng văn hoá cổ bị vùi lấp thì kích thước và độ sâu phân bố cũng hơi lớn. Một khả năng có thể nghĩ tới là các dị thường này có thể liên quan đến các công trình như kiểu gạch nung không có sắt thép hoặc là đất liên thổ nhưng là vùng tương đối cao trong quá khứ xa xưa, các dị thường thấp xen kẽ có thể là vị trí các ống nước chạy qua. Đoạn từ điểm 225 m đến cuối tuyến đo bắt gặp 4 dị thường điện trở suất thấp đến $< 5 \Omega\text{m}$, đây là dấu hiệu liên quan đến công trình ngầm chứa sắt thép.

Nhìn chung phép đo điện trở cát lớp trong khu vực Thành Cổ ở những nơi có ít nguồn gây nhiễu như ống nước, các công trình ngầm chứa sắt v.v... vẫn cho được kết quả phản ánh khá rõ các đối tượng cần quan tâm là các di tích văn hoá cổ bị vùi lấp. Ngoài ra phép đo này không phải nơi nào cũng thực hiện được, bởi các điện cực sử dụng trong phép đo cần phải được tiếp địa tốt. Trong khi đó, trong khu Thành cổ mật độ nhà cửa rất dày, các khoảng không đan xen giữa các nhà lại thường là đường nhựa hoặc bê tông gây khó khăn cho việc tiếp địa. Tuy vậy trong phạm vi vùng nghiên cứu cũng đã thực hiện được một khối lượng đáng kể các tuyến khảo sát bằng phương pháp này. Kết quả xử lý phân tích cũng đã cho những thông tin rất đáng quan tâm tại nhiều vị trí, trong đó có những vị trí có được tài liệu đối sánh chắc chắn như phần tiếp tục của đường gạch từ Đuan Môn sang Kính Thiên, khu vực hố đào ở Hậu Lâu. Từ kết quả đối sánh này có thể thấy, các dị thường điện trở suất cao ở phần phía đông khu Đuan Môn và phần đông nam của khu Hậu Lâu cũng nhiều khả năng phản ánh đối tượng khảo cổ, bởi các dị thường này có kích thước hợp lý, xuất hiện cục bộ trong các lát cắt điện trở suất với giá trị dị thường tương tự như khu vực đã phát hiện được các đối tượng khảo cổ bị vùi lấp. Ngoài ra, các dị thường điện trở suất thấp 5 - 10 Ωm , với hình dạng đẳng thước nhiều khả năng phản ánh các hệ thống hầm ngầm chứa sắt thép được xây dựng trong thời gian chiến tranh cũng phản ánh trong lát cắt điện trở suất ở nhiều nơi.

2.2. PHƯƠNG PHÁP RADAR XUYỀN ĐẤT

Ở các nước có chiều dày và nhiều kinh nghiệm trong công tác khảo, bảo tồn di tích như Italy, Pháp, Nhật v.v... thì thiết bị Radar xuyên đất được sử dụng khá phổ biến trong công tác xác định phân bố các đối tượng văn hoá cổ bị vùi lấp ở cả các khu di tích ngoài và trong các thành phố hiện đại.

2.2.1. Về cơ sở của phương pháp Radar xuyên đất

Phương pháp Radar xuyên đất (*GPR*) dựa trên nguyên lý thu sóng điện từ phản xạ trực tiếp từ các ranh giới phân chia các miền khác nhau về tính chất điện từ trong lòng đất. Lý thuyết của phương pháp Radar đã được trình bày đầy đủ và chi tiết trong nhiều công trình nghiên cứu [9]. Trong báo cáo này đề tài chỉ nêu vắn tắt một số đặc điểm liên quan đến sử dụng thiết bị Radar xuyên đất trong khảo sát nghiên cứu môi trường địa chất và các đối tượng quan tâm ẩn trong lòng đất.

GPR là một công cụ cho ta mặt cắt phân giải cao của môi trường gần mặt đất (khoảng 1-30m). Bộ ăngten phát được thiết kế cho các xung ngắn của năng lượng điện từ truyền xuống đất ở dải tần số cao 10-1000 MHz. Sự lan truyền của sóng điện từ phụ thuộc vào các tính chất điện tần số cao của môi trường bên dưới mặt đất. Thông tin mà chúng ta thu được ở đây dựa trên cơ sở của khả năng lan truyền mà sóng điện từ đi qua các lớp đất đá bên dưới mặt đất. Phản phản xạ của tín hiệu mà máy ghi lại được bao gồm biên độ và 2 lần thời gian truyền xung. Bằng cách ghi liên tục, chúng ta sẽ có mặt cắt rada theo chiều thẳng đứng. Việc loại trừ nhiễu thông qua các phép lọc trường.

Sự truyền sóng vô tuyến, các tham số và các tính chất điện học:

Các tham số của hiện tượng truyền sóng điện từ tần số cao xuống đất gồm: độ thấm điện để xác định vận tốc truyền sóng, độ dẫn điện để xác định độ suy giảm của năng lượng sóng (hệ số tắt dần). Những tham số này đều phụ thuộc vào tần số ở các mức độ khác nhau. Đến khi độ dẫn nhỏ hơn 100 mS/m thì độ điện thẩm được coi là một hằng số.

Khi độ dẫn lớn hơn 100 mS/m thì vận tốc phụ thuộc vào tần số và nó tuân theo các bước sóng khác nhau cùng với các vận tốc khác nhau sẽ truyền đi. Lúc này sẽ xuất hiện sự phân tán vận tốc truyền sóng.

Bảng 2.1 dưới đây trình bày một số kết quả quan sát được về tính chất điện của các loại vật chất ở tần số 100 MHz.

Bảng 2.1: Tính chất điện của một số loại vật chất thường gặp

<i>Vật chất</i>	ϵ_r	v , (m/ μ s)	σ , (mS/m)	B , (dB/m)
<i>Không khí</i>	1	300	0	0
<i>Nước ngọt</i>	80	33	0,5	0,1
<i>Nước biển</i>	80	10	30000	1000
<i>Cát khô</i>	3-5	150	0,01	0,01
<i>Cát ướt</i>	20-30	60	0,1-1	0,03-0,3
<i>Đá vôi</i>	4-8	120	0,5-2	0,4-1
<i>Phiến sét</i>	5-15	90	1-100	1-100
<i>Đất bồi</i>	5-30	70	1-100	1-100
<i>Đất sét</i>	5-40	60	2-1000	1-300
<i>Đá granit</i>	4-6	130	0,01-1	0,01-1
<i>Muối khô</i>	5-6	130	0,01-1	0,01-1
<i>Băng hà</i>	3-4	160	0,01	0,01

Nhìn vào bảng 2.1 ta thấy giá trị độ dẫn của mỗi loại đất đá biến thiên trong khoảng rất rộng so với độ điện thẩm, nhưng chúng đều bị ảnh hưởng rất mạnh khi có chứa nước. Đặc biệt, đối với đất sét chúng phóng ion khi hút nước và từ đó làm cho các sóng radar không đi xuống sâu được. Tham số này xác định được nếu một lớp tạo ra phản xạ nằm ở giữa của môi trường mà có độ điện thẩm tương phản. Độ lớn của vật phản xạ này được xác định bởi hệ số phản xạ R :

$$R = \left(\frac{\sqrt{\epsilon_{r(nguồn)}} - \sqrt{\epsilon_{r(dích)}}}{\sqrt{\epsilon_{r(nguồn)}} + \sqrt{\epsilon_{r(dích)}}} \right) \quad (2.4)$$

Hệ số phản xạ này dựa trên cơ sở phản xạ xiên của sóng tới, có nghĩa là khi ăngten phát và ăngten thu tạo thành chu trình kín đến độ sâu xác định nào đó. Năng lượng phản xạ sẽ là $|R|^2$.

Độ sâu thẩm thấu:

Có một số phương pháp xác định độ sâu thẩm thấu. Điều quan trọng nhất ở đây là cách hiển thị nó trên màn hình. Hệ hiển thị được ký hiệu là W và thường bằng:

$$W = 10 \log \left(\frac{P_{\min}}{P_{\max}} \right) \quad (2.5)$$

Trong đó: P_{\min} là tín hiệu năng lượng nhỏ nhất có thể thấy được và P_{in} là năng lượng vào anten phát. Năng lượng này được tính bằng dB và phải ở mức cao có thể được, trong khoảng 130-160 dB.

Hệ số tắt dần của năng lượng điện từ truyền trong đất được tính theo độ dẫn:

$$B = 1636,01 * \sigma \sqrt{\frac{\mu_r}{\epsilon_r}} \quad (2.6)$$

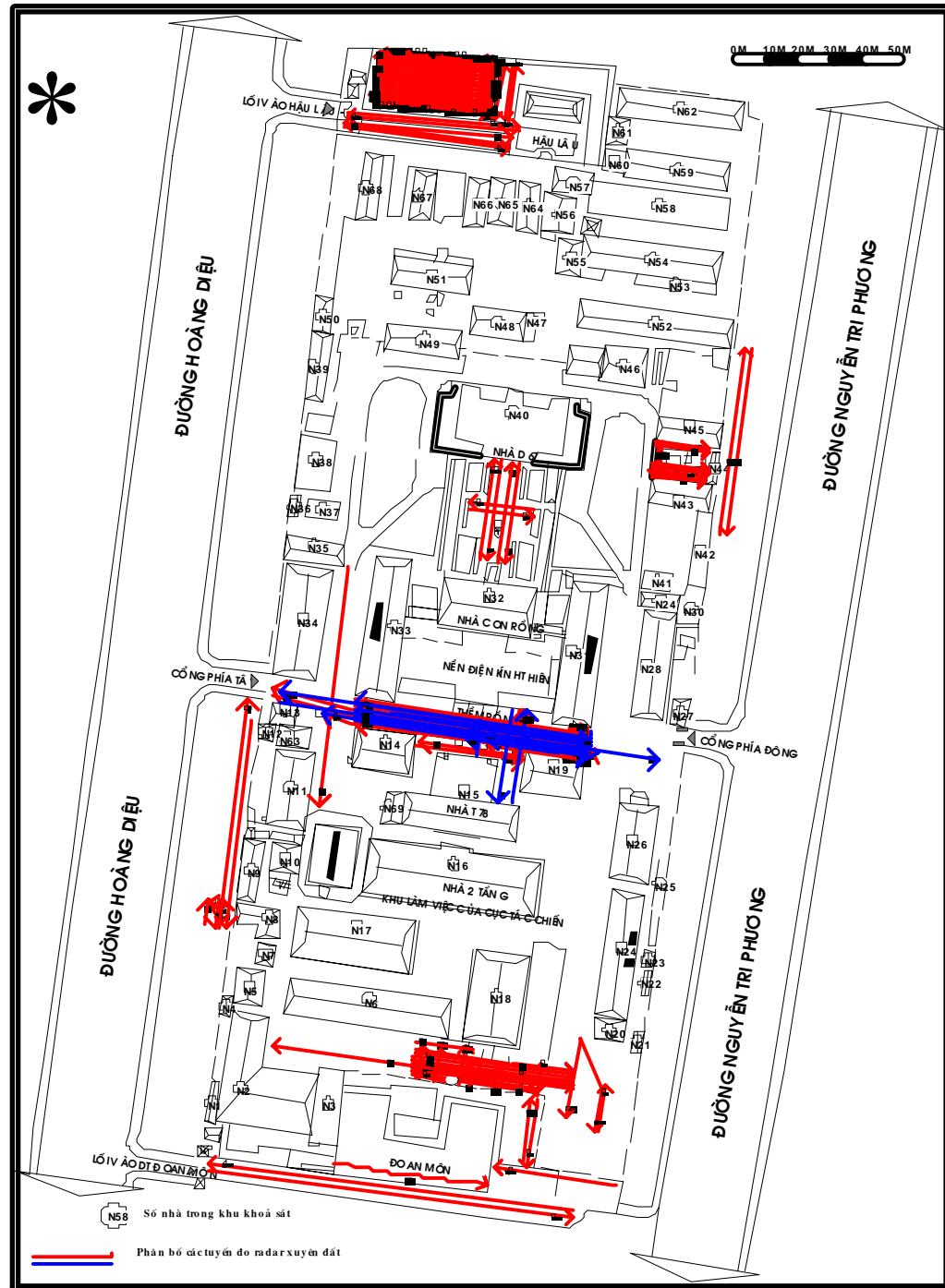
Một phần năng lượng bị hao tổn bởi nhiễu, một phần do sự lan rộng của sóng mặt. Thông thường thì sóng lan truyền trong nửa không gian phía dưới anten, nhưng cũng có thể lan truyền trong cả không gian như trường hợp radar lỗ khoan chẳng hạn.

Thiết bị GPR sử dụng các sóng vô tuyến tần số cao để thu thông tin từ dưới lòng đất. Năng lượng phát ra từ anten, lan truyền vào trong lòng đất, khi gặp dị thường sẽ tạo ra các sóng phản xạ và được anten thu ghi lại các tín hiệu phản xạ này một cách liên tục. Nếu chúng ta tiến hành khảo sát theo một tuyến thì sẽ tạo được một mặt cắt thẳng đứng phản ánh hiện trạng cấu trúc, trong đó có hiển thị các thông tin cơ bản như: Thời gian truyền sóng, được biểu thị bằng nanô giây, độ sâu thăm thấu được biểu thị bằng mét, vận tốc truyền sóng được biểu thị bằng m/ns.

Do các sóng phản xạ này được tạo ra từ những mặt ranh giới trung gian trong môi trường địa chất nên các sóng phản xạ thường liên quan đến những điều kiện thành tạo tự nhiên trong cấu trúc địa chất như: Ranh giới đá móng, các lớp vật liệu trầm tích có tính chất vật lý khác nhau, những khuyết tật, các khe nứt nẻ, các khối xâm thực cũng như các vật thể bị chôn vùi do nhân tạo hoặc các khối bê tông, các lỗ rỗng liên quan đến vị trí hang hốc... Độ sâu thăm thấu của phương pháp phụ thuộc vào tần số của anten phát-thu tín hiệu, vào một số đại lượng vật lý khác, trong đó có độ dẫn điện, độ từ thẩm của đất đá v.v... các yếu tố cuối cùng lại phụ thuộc vào thành phần vật chất và trạng thái của đất đá trong mỗi môi trường địa chất. Khi thiết bị đo độ dài phát tín hiệu điều khiển thì anten phát-thu và máy tính sẽ cùng làm việc phát - nhận - hiển thị tín hiệu trên màn hình. Các phản xạ dạng điểm được ghi nhận dưới dạng hypebol là do sự phân tán hình cầu của tín hiệu tạo ra. Trong khi đó, các phản xạ phẳng vẫn giữ nguyên hình dạng của nó. Độ phân giải nằm trong khoảng 0.01 - 1m tùy thuộc vào anten sử dụng. Tần số càng cao, độ phân giải càng cao và độ xuyên sâu càng giảm.

Tính chất điện (độ dẫn, hằng số điện môi) của môi trường khảo sát quyết định sự

Hình 2.11: Sơ đồ phân bố các tuyến đo radar trong khu Thành cổ



thành công của phương pháp GPR. Môi trường có độ dẫn càng cao thì độ xuyên sâu của tín hiệu càng giảm. Điều này cho thấy môi trường chứa nước là yếu tố làm suy giảm nhanh biên độ tín hiệu của sóng điện từ, đồng nghĩa với giảm độ sâu nghiên cứu.

Việc thử nghiệm phương pháp GPR trong khu Hoàng Thành Thăng Long được thực hiện bằng sử dụng thiết bị Ramac có thiết bị chống nhiễu kèm theo, do Thụy Điển chế tạo, ăngten phát sóng có tần số 500 MHz.

Xử lý số liệu GPR bằng việc sử dụng các thuật toán lọc, trong đó có lọc nhiễu gây bởi khách quan và chủ quan. Mặt cắt radar là một bức tranh tổng hợp phản ánh hiện trạng cấu trúc chi tiết của môi trường khảo sát, làm cơ sở cho việc nghiên cứu đánh giá độ đồng nhất, bền vững của công trình. Các số liệu đo đạc phục vụ cho báo này được xử lý phân tích bằng phần mềm Groundvision là sản phẩm của Hãng MALÅ Geoscience - Thụy Điển.

2.2.2. Khối lượng đo đạc và kết quả thử nghiệm

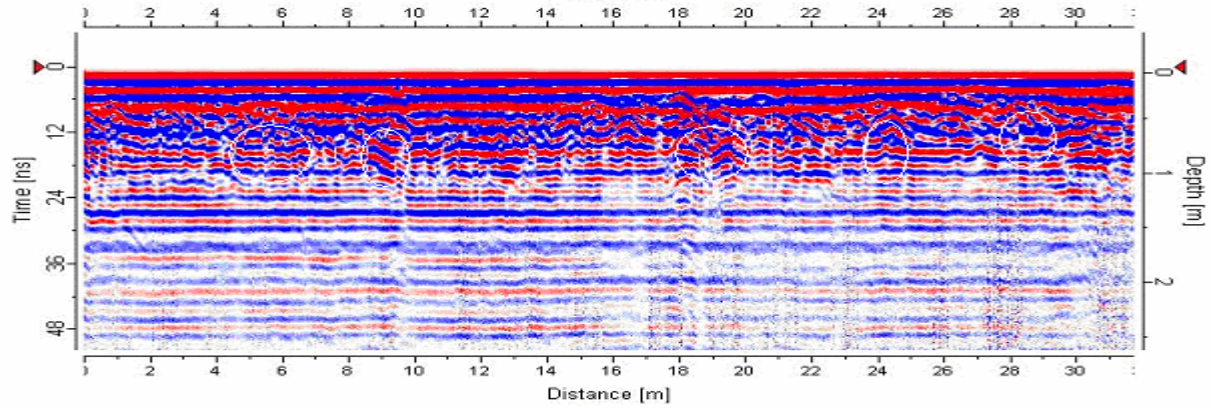
2.2.2.1. Khối lượng công việc đo đạc

Công tác đo đạc được tiến hành thử nghiệm với một khối lượng không nhỏ trong khu Hoàng Thành. Các tuyến đo được thiết kế tập trung vào các khu vực: Hậu Lâu, khu vực đường nhựa trước thềm rồng Điện Kính Thiên, khu vực nam Kính Thiên nơi tiếp giáp với Đoan Môn và Đoan Môn. Tại 3 địa điểm vừa nêu trên thì khu vực vườn Hậu Lâu có mạng lưới điểm đo dày nhất. Khu vườn ở Hậu Lâu tính từ đường gạch cắt qua về chân tường phía bắc là một diện tích hình chữ nhật, có chiều dài xấp xỉ 40 m, rộng đạt 17m. Mạng lưới điểm đo thiết kế cho khu vườn này là 1m x 1 m (hình 2.11). Trong phần diện tích phía nam còn lại của Hậu Lâu cũng đã tiến hành đo 5 tuyến với chiều dài đều lớn hơn 50 m, chạy từ tây sang đông.

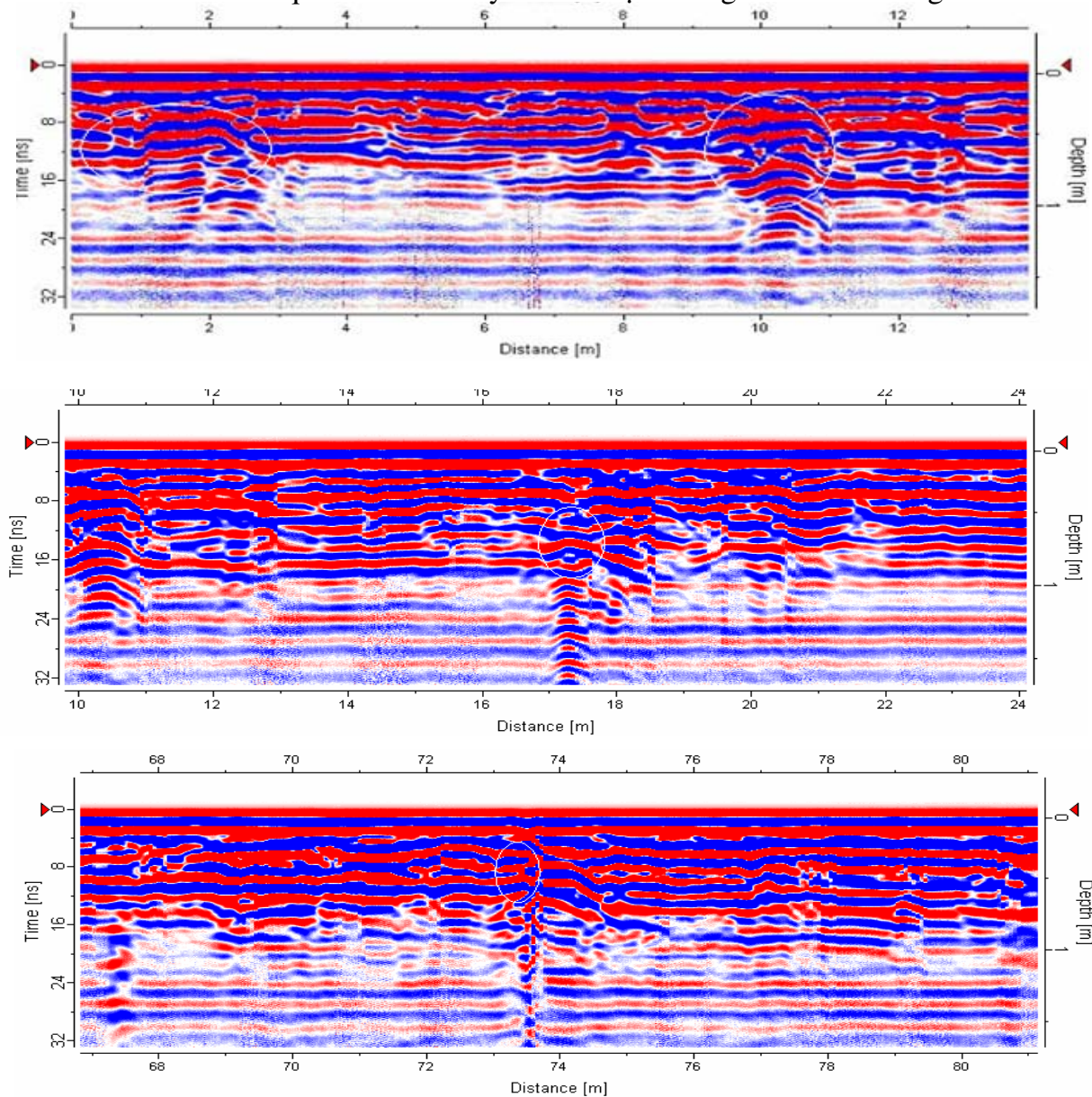
Tại khu vực đường nhựa trước thềm rồng có đến 23 tuyến đo, phân bố rất dày theo phương tây - đông hoặc đông - tây. Chiều dài các tuyến theo phương tây - đông nhỏ nhất đạt 34 m còn tuyến dài nhất đến 120 m, gần bằng chiều dài từ cổng phía tây sang cổng phía đông. Ngoài ra còn có 10 tuyến cắt vuông góc với các tuyến vừa nêu trên, phân bố chủ yếu ở nửa phần phía đông của khu vực trên. Các tuyến loại này thường ngắn từ khoảng 10 m đến 30 m.

Phần diện tích trong khu Kính Thiên gần với khu Đoan Môn đã tiến hành đo 10 tuyến phương đông - tây, phần lớn các tuyến phương này dài hơn 50 m, tuyến dài nhất

Hình 2.12: Kết quả đo radar Tuyến HT1 dọc đường trước thêm rỗng



Hình 2.13: Kết quả đo radar Tuyến HT4 dọc đường trước thêm rỗng



đạt 95 m. Các tuyến vuông góc phương bắc - nam chỉ dài từ khoảng 14 đến 22 m, với số lượng 12 tuyến đo.

Ngoài các diện tích có số lượng các tuyến đo nhiều như trên, vẫn còn một số tuyến đo được thực hiện ở các khu vực khác. Trong đó tại khu Đoàn Môn có 5 tuyến đo, khu vực sân giữa nhà con rồng và nhà D67 có 6 tuyến đo, khu vực quanh nhà số N44 gồm một số tuyến ngắn. Phía ngoài hàng rào của khu Kính Thiên cũng có hai tuyến chạy dọc theo vỉa hè của đường hoàng Diệu, chạy từ cổng tây về phía nam với chiều dài mỗi tuyến 70m. Dọc vỉa hè đường Nguyễn Tri Phương cũng có 2 tuyến, với chiều dài mỗi tuyến 60m, bắt đầu từ giữa nhà số N42 đi về phía bắc.

Tổng chiều dài các tuyến đo đã thực hiện trong khu Kính Thiên lên đến 5242 m.

2.2.2.2. Kết quả khảo sát nghiên cứu bằng phương pháp Radar

Do khối lượng các tuyến đo bằng phương pháp Radar khá lớn nên trong báo cáo này chỉ dành phần giới thiệu kết quả các tuyến có phát hiện được dị thường.

1. Kết quả khảo sát một số tuyến trước thềm rồng trong khu Điện Kính Thiên

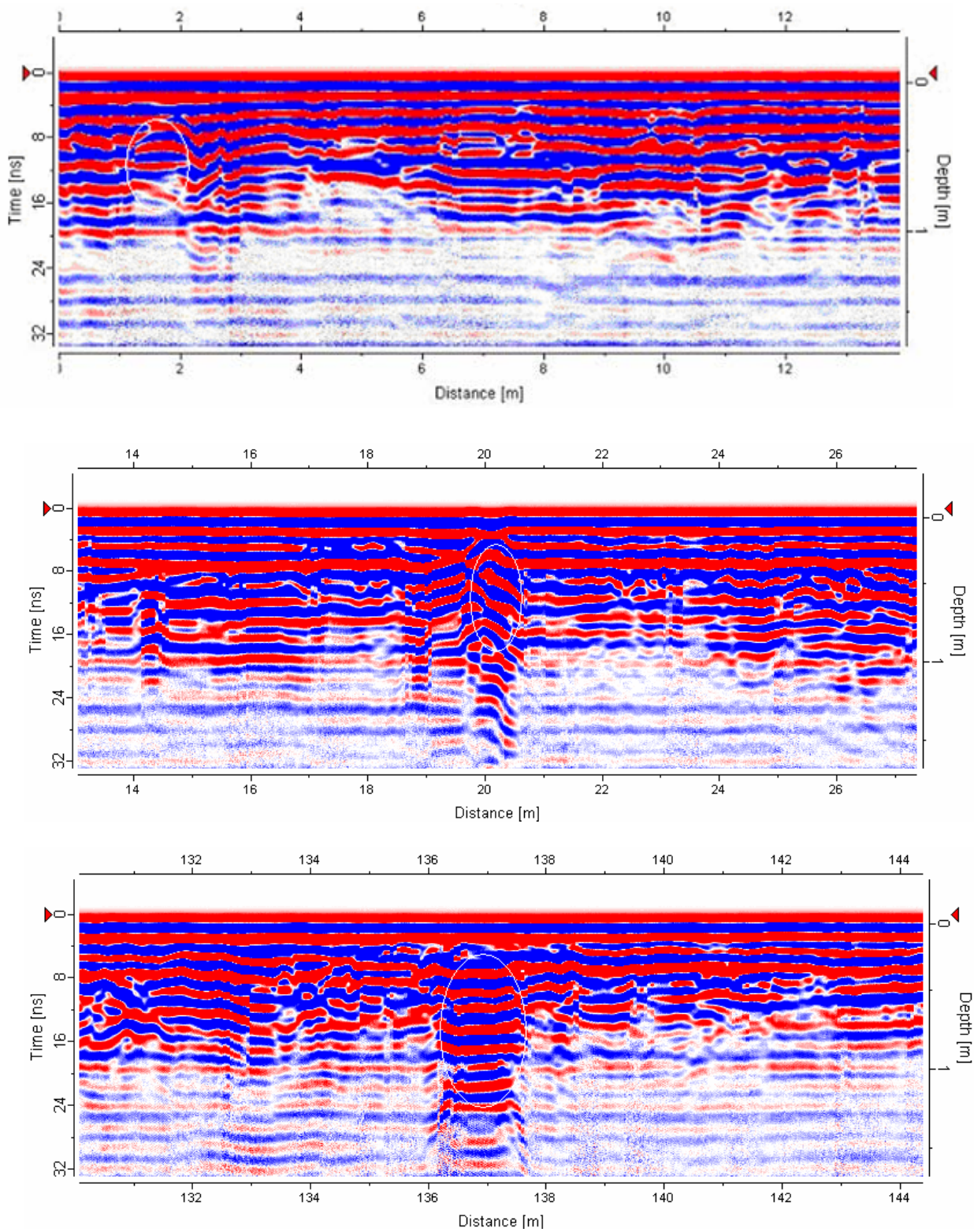
- Tuyến HT1:

Tuyến HT1 phân bố trên đường nội bộ trước thềm rồng, bắt đầu từ trước nhà số N14 đi về phía cổng tây. Tuyến chỉ dài 21 m trong thực tế, nhưng trong mặt cắt lại đến hơn 31 đơn vị cũng quy ước là mét do khoảng cách giữa các điểm đo chỉ hơn 70 cm, nhưng khi xử lý phân tích lại tính 1 m. Trên mặt cắt có các dị thường ở mét thứ 5,5; 8,5; 18,5; 24,5 và 28 (hình 2.12). Các dị thường này có kích thước nhỏ nằm ở độ sâu chỉ khoảng 0,5 m. Dị thường ở mét thứ 18,5 liên quan đến đường ống nước, nằm cách nhà N13 xấp xỉ 10 m về phía đông, các dị thường khác còn lại chưa rõ nguồn gốc.

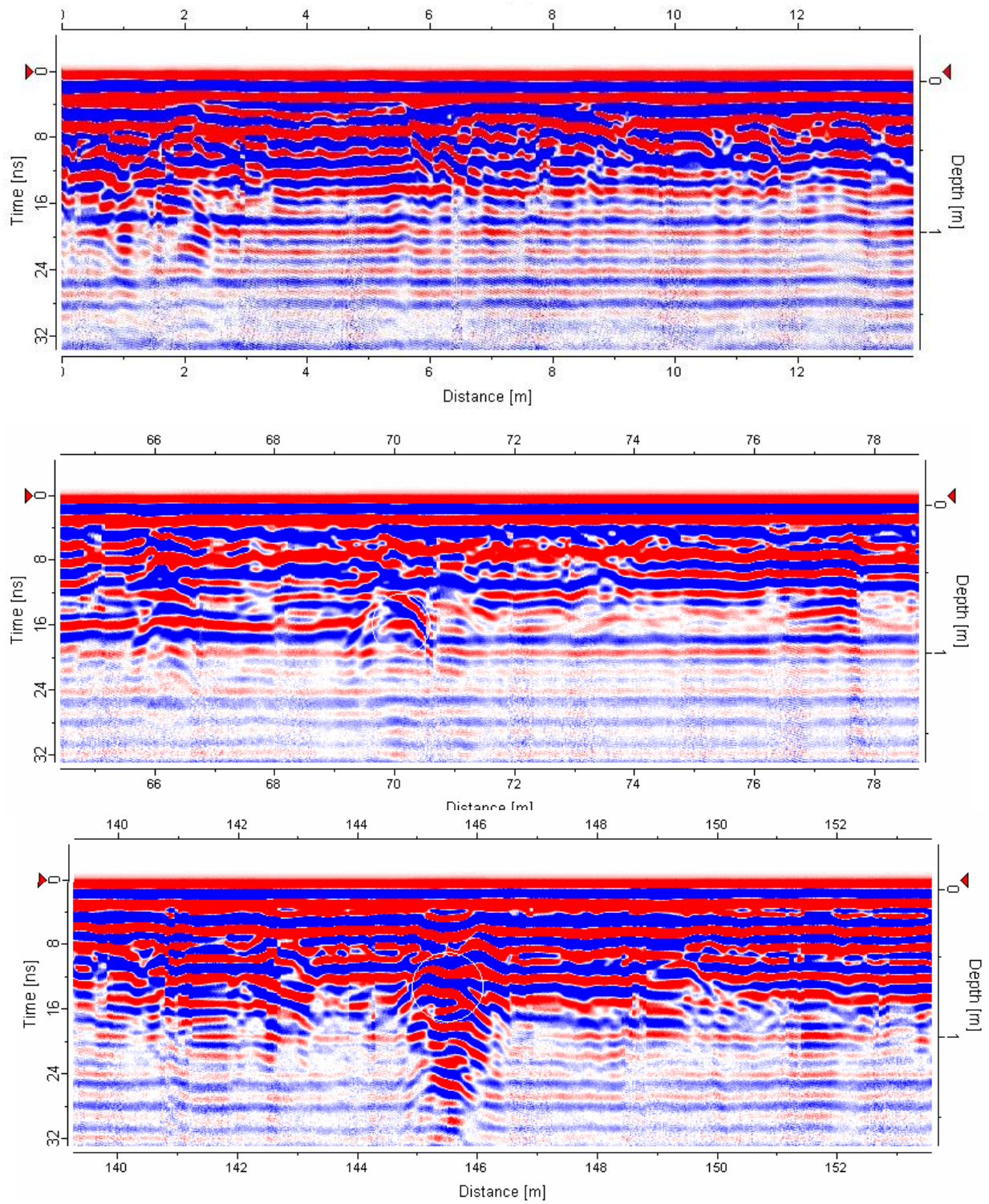
- Tuyến HT4: Tuyến đo này trong thực tế dài 62 m, nhưng trong mặt cắt sóng radar lại có chiều dài quy ước đến 93 m. Tuyến chạy từ tây sang đông dọc theo phần giữa đường trước thềm rồng, điểm đầu của tuyến đối diện với mép phía tây của sân Điện Kính Thiên và kết thúc tại điểm ngang với mép phía đông của nhà N31.

Trong mặt cắt kết quả có 3 dị thường tại các vị trí 1-2,3 và 9,5-10,7 và 17 đến 18 (hình 2.13). Các dị thường này đều bắt gặp từ độ sâu khoảng 0,6 m đến hơn 1 m, kích thước ngang khoảng 40 cm nên có khả năng liên quan đến móng các bức tường bị vùi lấp. Ngoài ra có 1 dị thường ở vị trí 73,5, kích thước ngang rất nhỏ nên cũng khó đoán nguồn gốc.

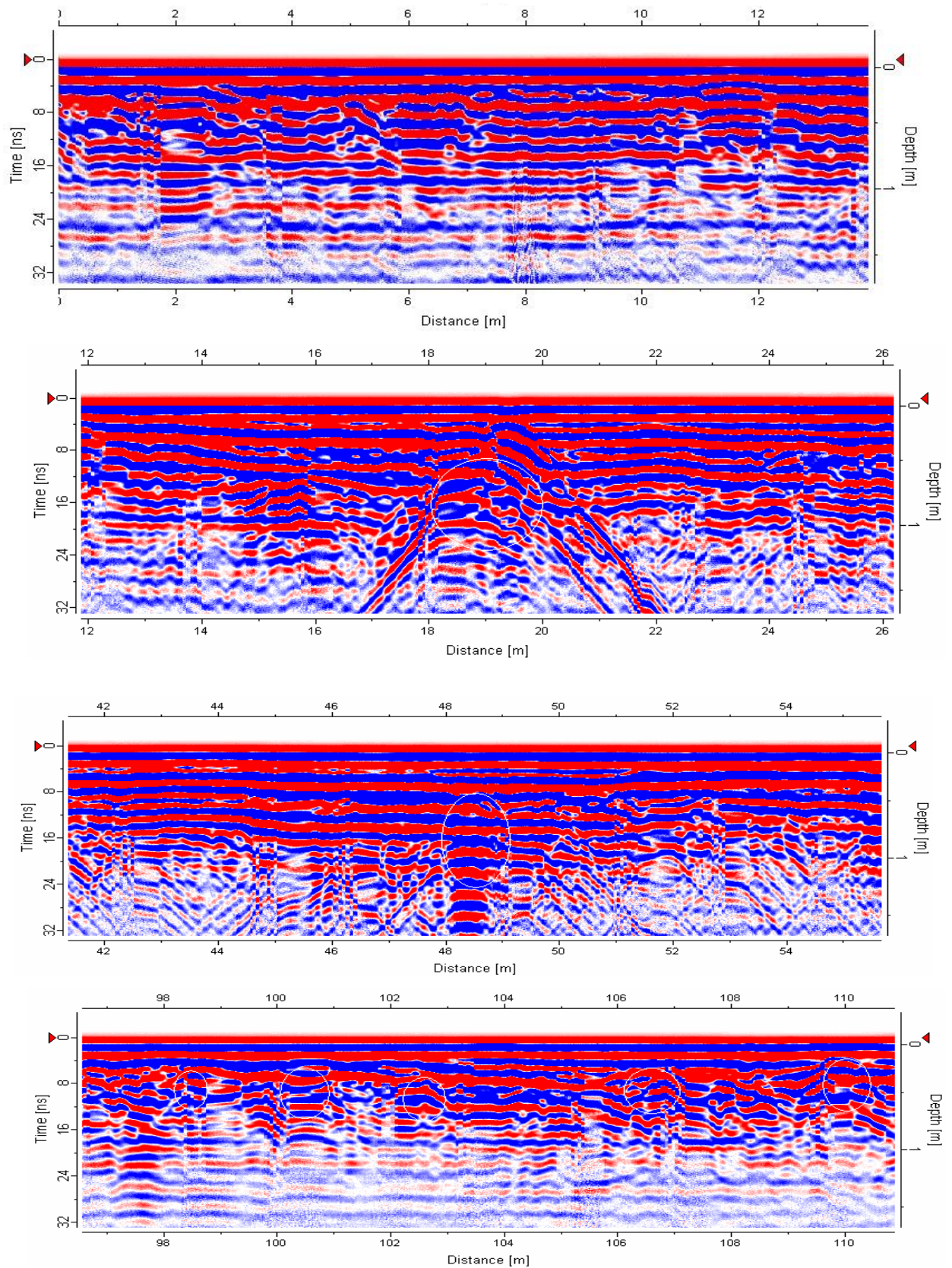
Hình 2.14: Kết quả đo radar T tuyến HT5 dọc đường trước thêm rỗng



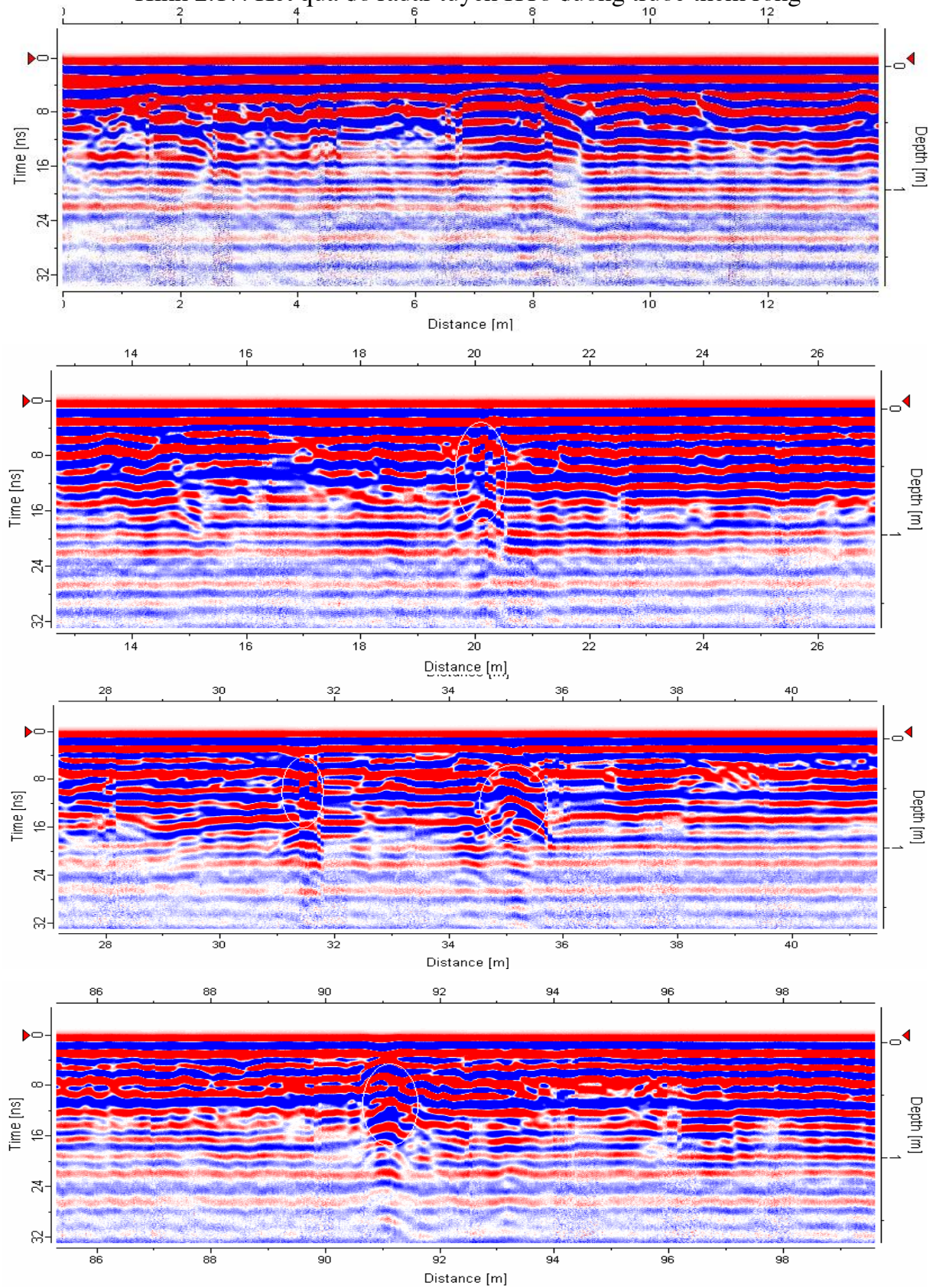
Hình 2.15: Kết quả đo radar Tuyến HT6 đường trước thêm rỗng



Hình 2.16: Kết quả đo radar tuyến HT7 đường trước thêm rỗng



Hình 2.17: Kết quả đo radar tuyến HT8 đường trước thêm rỗng



- Tuyến HT5:

Tuyến HT5 chạy từ mép nhà N31 chạy gần mép phía bắc của đường trước thêm rộng đến khoảng giữa nhà N13 ở phía tây. Chiều dài thực của tuyến đến 97 m, trong mặt cắt thì chiều dài quy ước đến 146 m.

Có 1 dị thường ở mét thứ 1,7 liên quan đến vật thể rỗng ở độ sâu 0,5 m. Dị thường thứ 2 ở mét thứ 20; Dị thường thứ 3 ở m thứ 136-137.5 theo các dấu hiệu có thể liên quan đến móng tường bị vùi lấp (hình 2.14).

- Tuyến HT6:

Tuyến đo này dài nhất đến 120m, chạy từ khu vực cổng tây sang đến gần mép phía nam của cổng đông, chiều dài tuyến tương ứng với 180 đơn vị quy ước trong lát cắt.

Theo đặc điểm trường sóng có thể thấy, phần trên của mặt cắt được chia ra 2 phần có cấu trúc khác nhau. Từ đầu tuyến đến mét thứ 6 có phân lớp ngang rõ và từ mét thứ 6 đến cuối tuyến bị lấp bởi hỗn hợp vật liệu. Dị thường ở mét thứ 70 có độ sâu tới đỉnh là: 0.6m, kích thước nhỏ và không phát triển sâu nên có khả năng phản ánh gạch ngói với khối lượng nhỏ bị vùi lấp. Dị thường ở đoạn mốc 145 - 146 có thể liên quan đến móng nhà cổ (hình 2.15)

- Tuyến HT7:

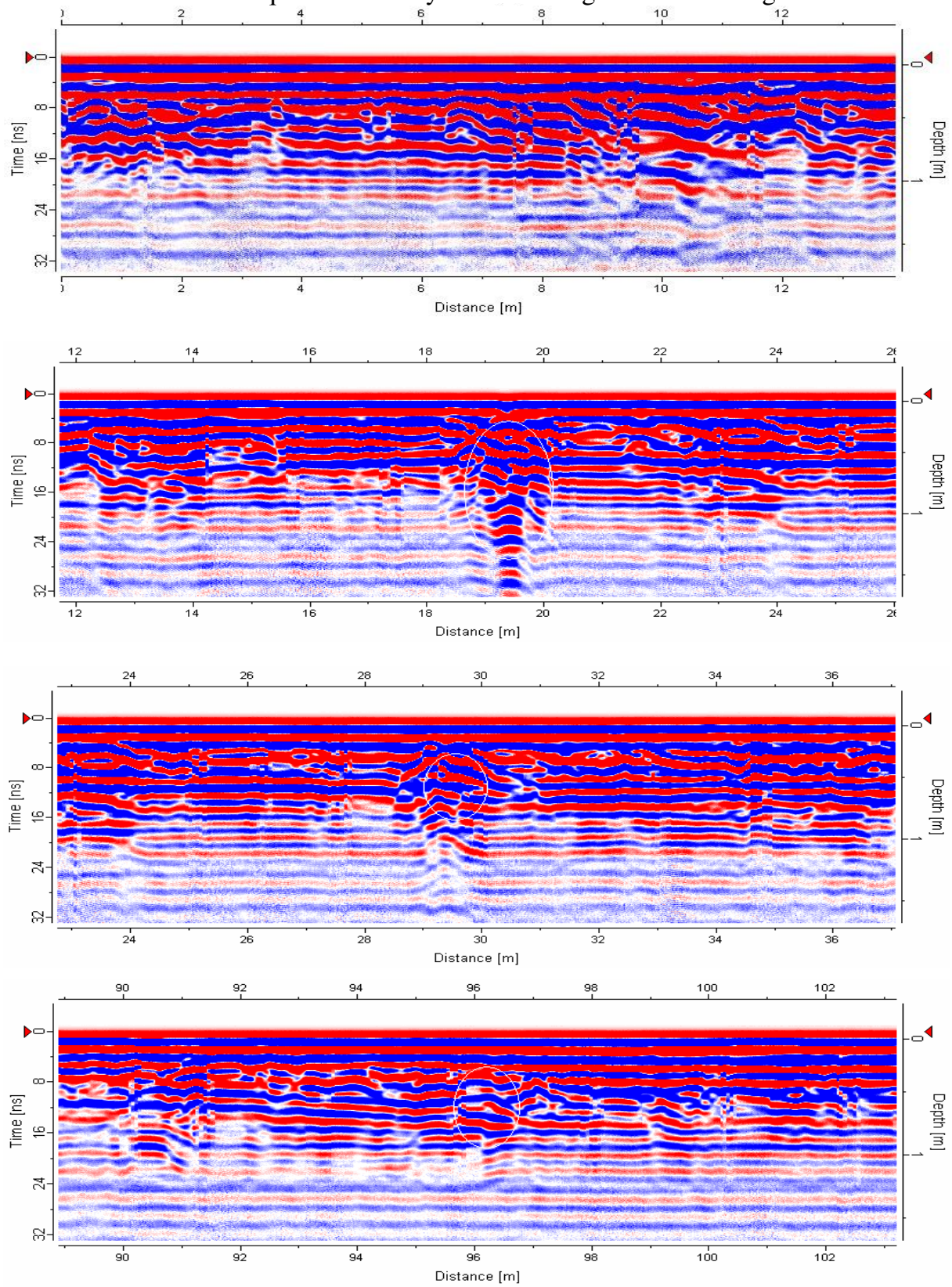
Tuyến đo chạy từ tây sang đông, dọc gần mép phía nam của đường trước thêm rộng, dài 73 m, tương ứng với 110 đơn vị trong lát cắt. Điểm đầu tuyến gần ngay mép tây của nhà N14 và kết thúc ở gần mép đông của nhà N19. Trong lát cắt sóng điện từ xuất hiện một dị thường lớn từ mét thứ 18-20 liên quan đến một khối cấu trúc rỗng. Dị thường ở mét thứ 48-49 (hình 2.16) có thể liên quan đến móng nhà cũ. Các dị thường nhỏ ở mét thứ 98.5, 100.5, 102.5, 106.5 và 110 chưa rõ nguồn gốc.

- Tuyến HT8:

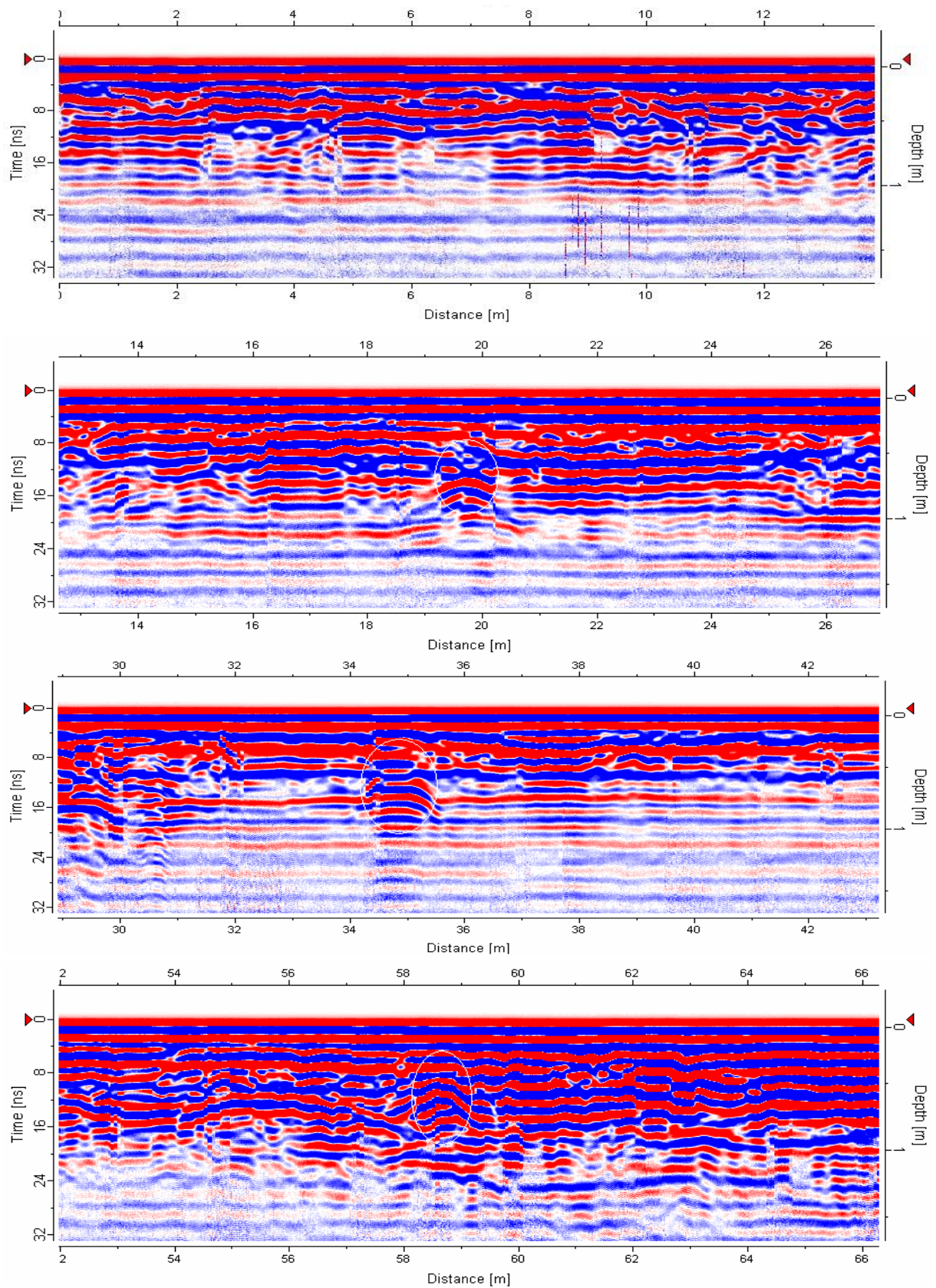
Tuyến HT8 cũng chạy từ tây sang đông và song song cách tuyến HT7 khoảng 1,2 m về phía bắc, với các vị trí bắt đầu và kết thúc gần giống như tuyến HT7. Trên mặt cắt sóng quan sát được dị thường thứ nhất ở điểm thứ 20; dị thường thứ 2 ở mét thứ 31.5; dị thường thứ 3 ở điểm thứ 35; dị thường thứ 4 ở điểm thứ 91 (hình 2.17). Các dị thường này đều có kích thước nhỏ và chỉ phân bố ở độ sâu từ 0,5 đến, 1m nên rất khó đoán liên quan đến đối tượng nào.

- Tuyến HT9:

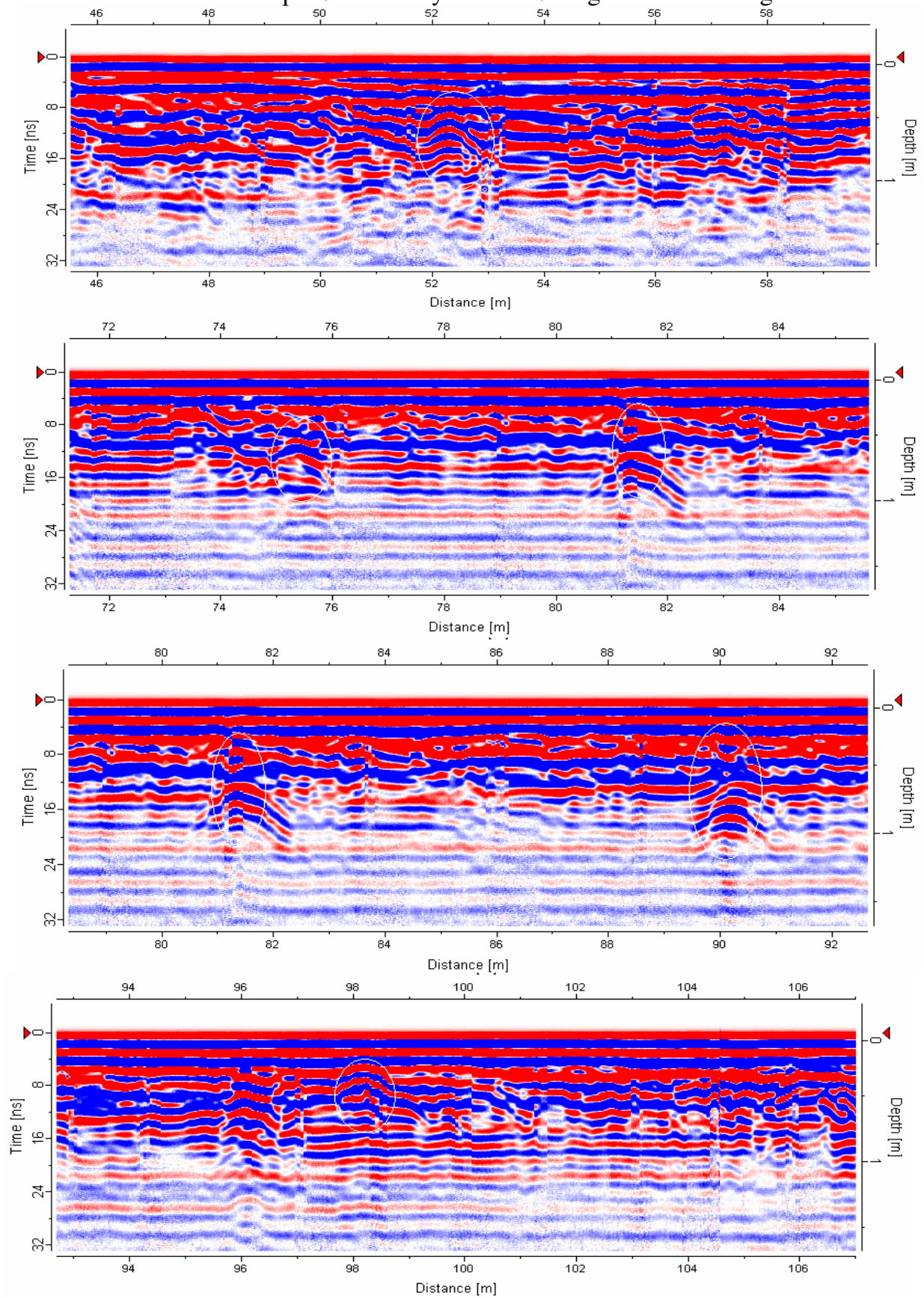
Hình 2.18: Kết quả đo radar tuyến HT9 đường trước thêm rộng



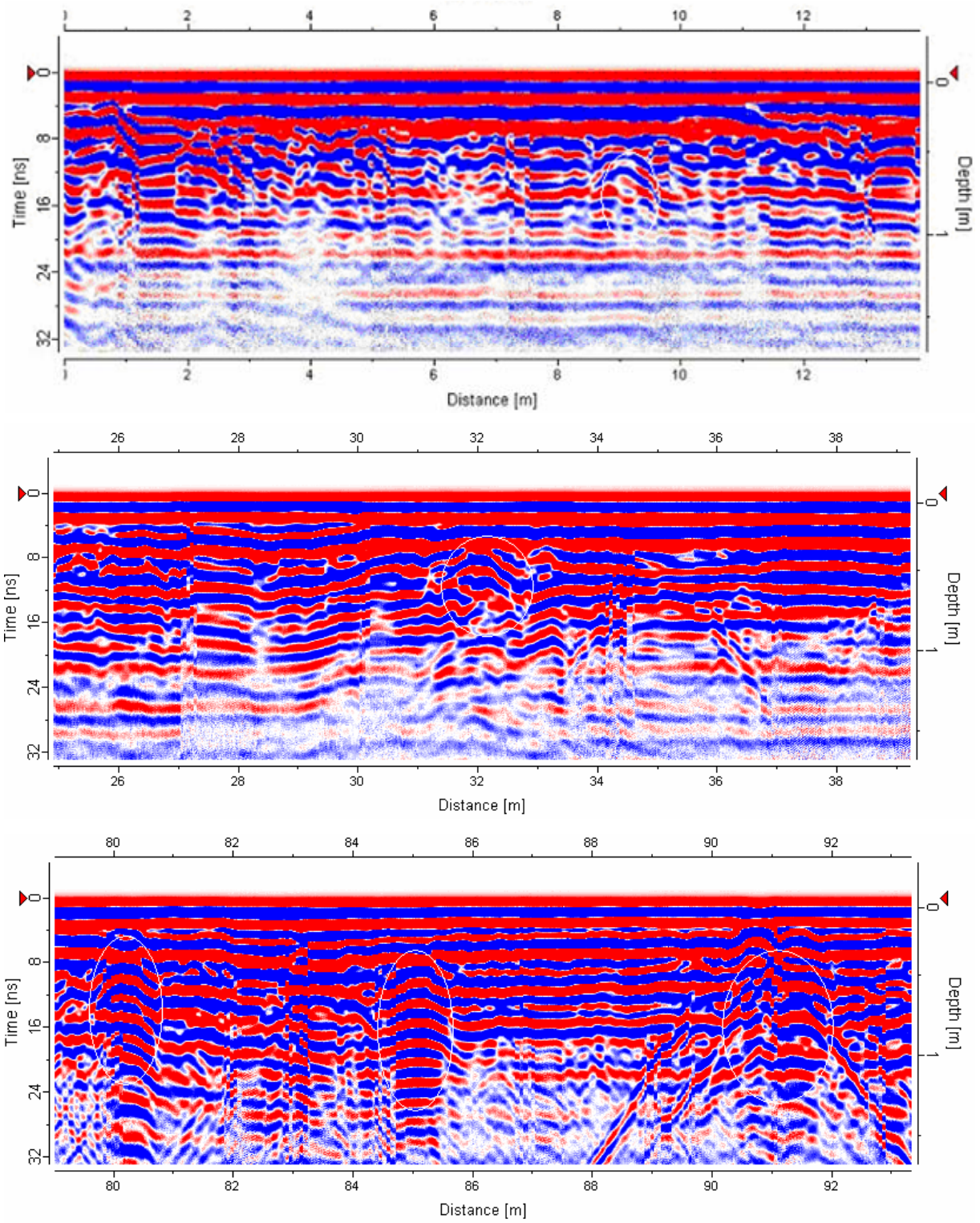
Hình 2.19: Kết quả đo radar tuyến HT10 đường trước thêm rỗng



Hình 2.20: Kết quả đo radar tuyến HT11 đường trước thêm rỗng



Hình 2.21: Kết quả đo radar tuyến HT12 đường trước thêm rộng



Tuyến HT9 chạy từ đông sang tây, tại khu vực giữa đường rất gần với tuyến HT6. Vị trí các điểm đầu và cuối của tuyến gần giống như tuyến HT7. Dị thường thứ nhất ở điểm thứ 19-20; dị thường thứ 2 ở điểm thứ 29-30; dị thường thứ 3 ở điểm thứ 96. Theo đặc điểm thì dị thường tại đoạn điểm 18-20 (hình 2.18) có khả năng liên quan đến móng nhà bị vùi lấp. Các dị thường còn lại kích thước nhỏ lại nông nên rất khó dự đoán.

- *Tuyến HT10:*

Tuyến HT10 chạy từ tây sang đông và là tuyến chạy gần giữa đường trước thềm rộng, có điểm đầu và cuối tương tự như tuyến HT9. Theo đặc điểm trường sóng trong lát cắt dưới tuyến đo quan sát được dị thường thứ nhất ở điểm thứ 19.5; dị thường thứ 2 ở điểm thứ 35; dị thường thứ 3 ở điểm thứ 58.5 (hình 2.19). Các dị thường này đều có kích thước nhỏ, phân bố nông nên muốn biết nguồn gốc cần phải có thêm tài liệu khác để liên kết.

- *Tuyến HT11:*

Tuyến HT11 chạy từ đông sang tây ngay trước thềm rộng, điểm đầu và điểm cuối cũng ở các vị trí gần như tuyến HT9. Mặt cắt song Radar phản ánh dị thường thứ nhất ở điểm thứ 19; dị thường thứ 2 ở điểm thứ 52; dị thường thứ 3 ở điểm thứ 75.5; dị thường thứ 4 ở điểm thứ 81; dị thường thứ 5 ở điểm thứ 90; dị thường thứ 6 ở điểm thứ 98. Trong đó 3 dị thường tại điểm 75.5, điểm 81 và điểm 90 có thể liên quan đến các vật liệu xây dựng (hình 2.20).

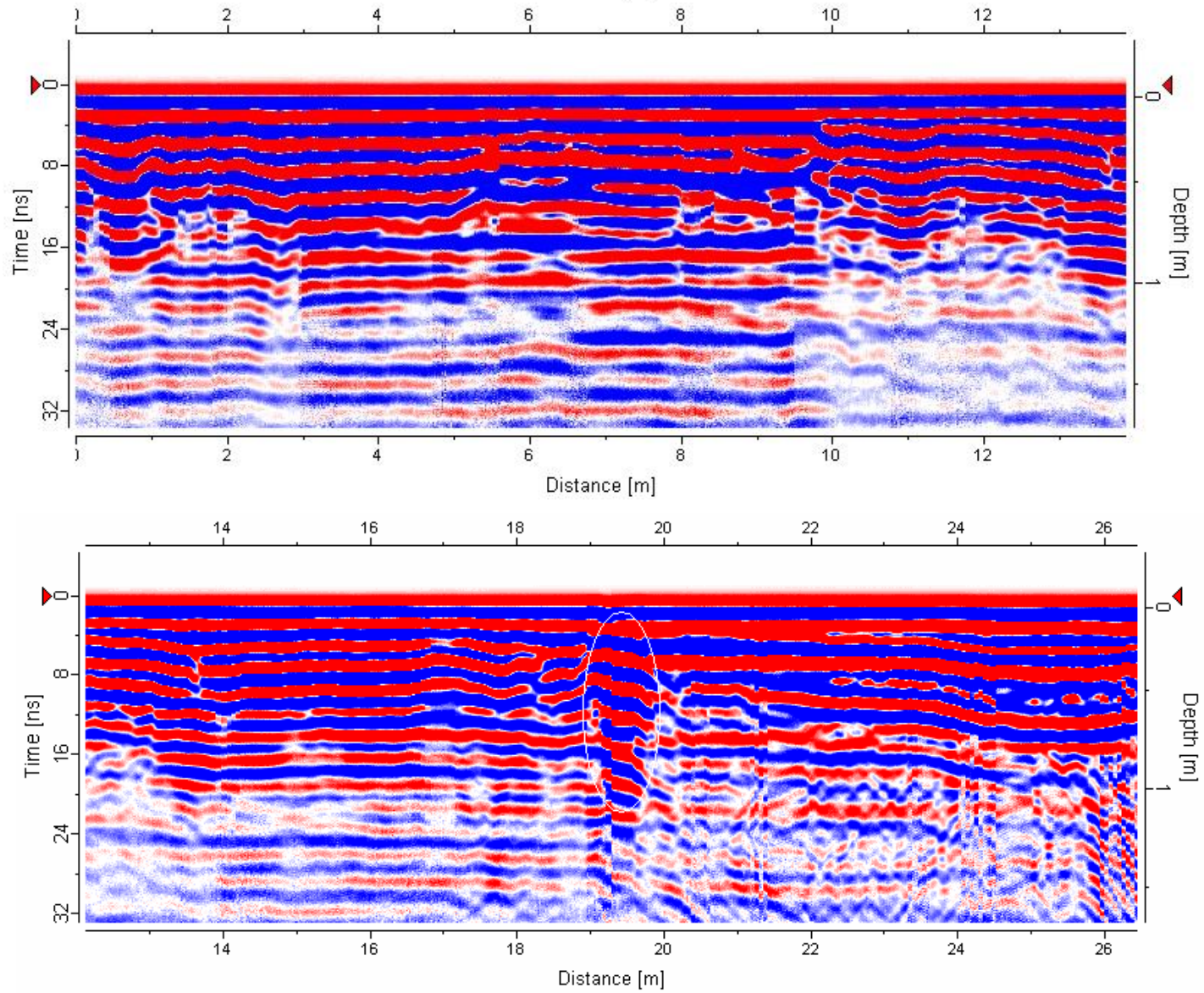
- *Tuyến HT12:*

Tuyến HT12 chạy từ tây sang đông có chiều dài gần như tuyến T10, cách mép phía nam của đường trước thềm rộng khoảng 1,2 m. Mặt cắt sóng Radar cho phép quan sát được 5 dị thường dưới tuyến đo. Dị thường thứ nhất ở điểm thứ 9 liên quan đến vật thể rỗng ở phía dưới; dị thường thứ 2 ở điểm thứ 32; dị thường thứ 3 ở điểm thứ 80; dị thường thứ 4 ở điểm thứ 85; dị thường thứ 5 ở điểm thứ 91. Trong đó dị thường thứ 3 và thứ 4 có thể liên quan đến vật thể như kiểu móng tường gạch (hình 2.21).

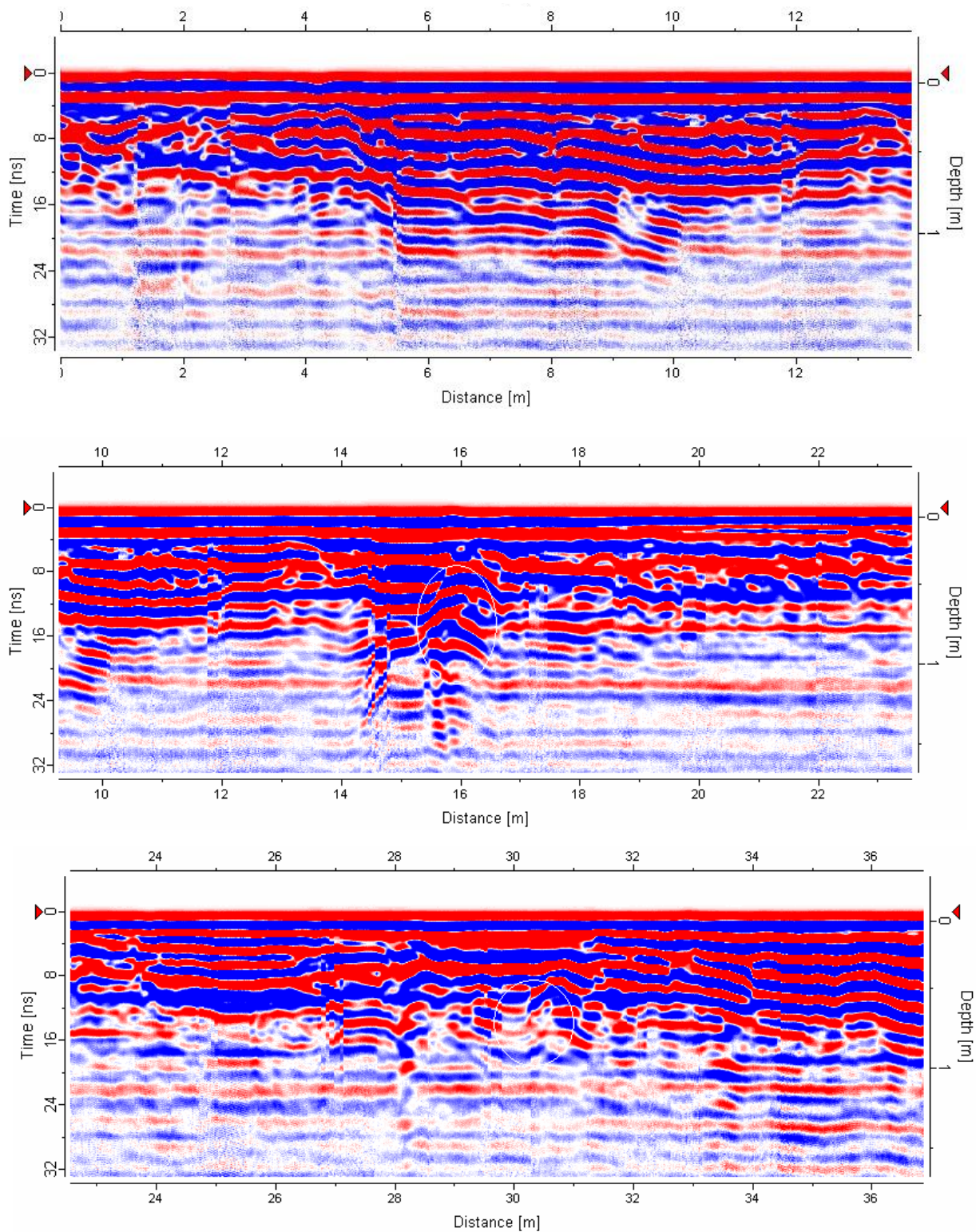
- *Tuyến HT13:*

Tuyến đo này chạy từ đông sang tây, ngắn hơn các tuyến khác, chiều dài chỉ 32 m, chạy cách mép phía nam của đường khoảng 1,8 m. Điểm đầu cũng xuất phát tại mép đông của nhà N19 như các tuyến khác và kết thúc tại trước nhà N15 đối diện với thềm rộng. Trên tuyến đo này chỉ quan sát được dị thường duy nhất tại điểm mốc 19. Dấu

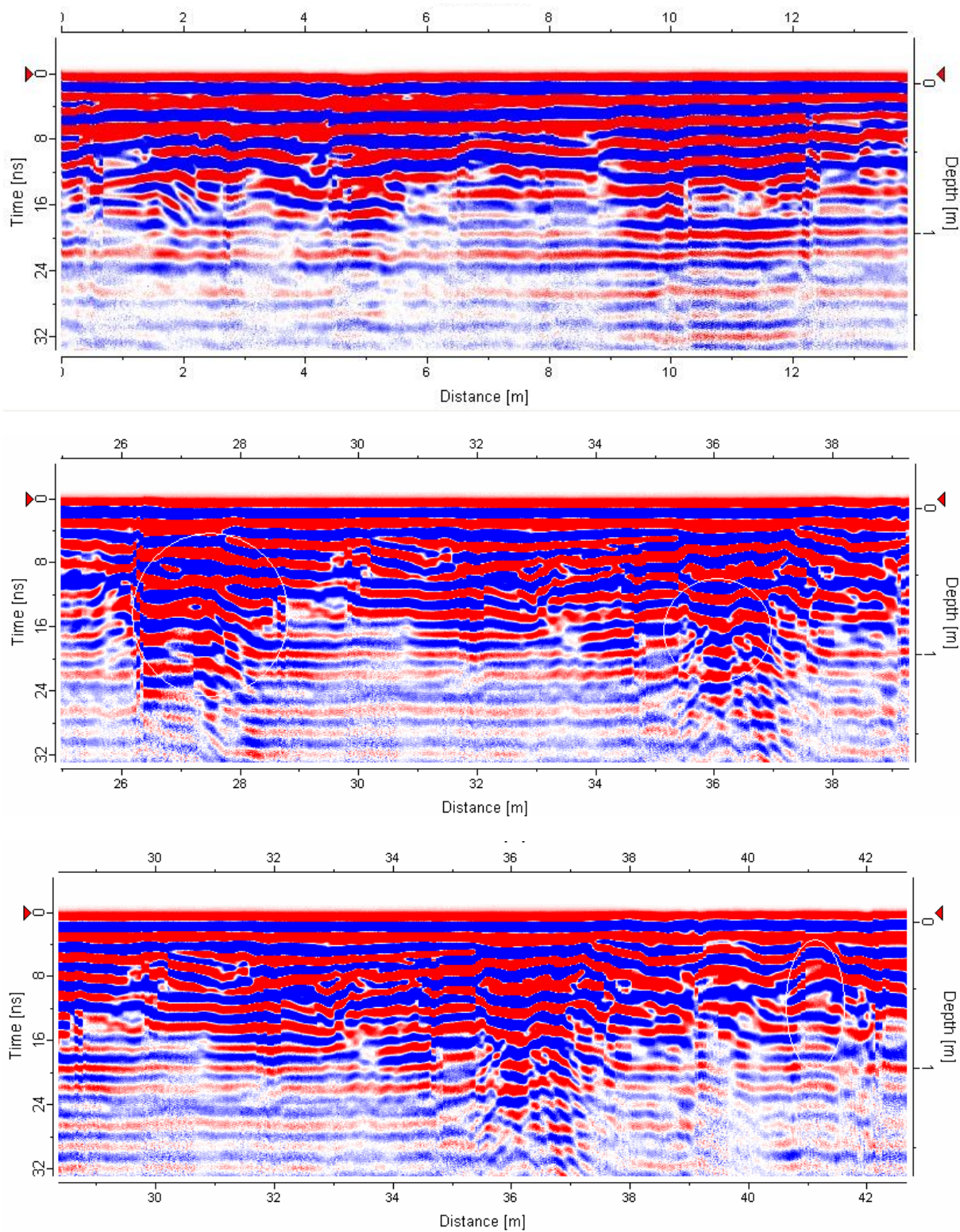
Hình 2.22: Kết quả đo radar tuyến HT13 đường trước thêm rỗng



Hình 2.23: Kết quả đo radar tuyến HT14 đường trước thêm rỗng

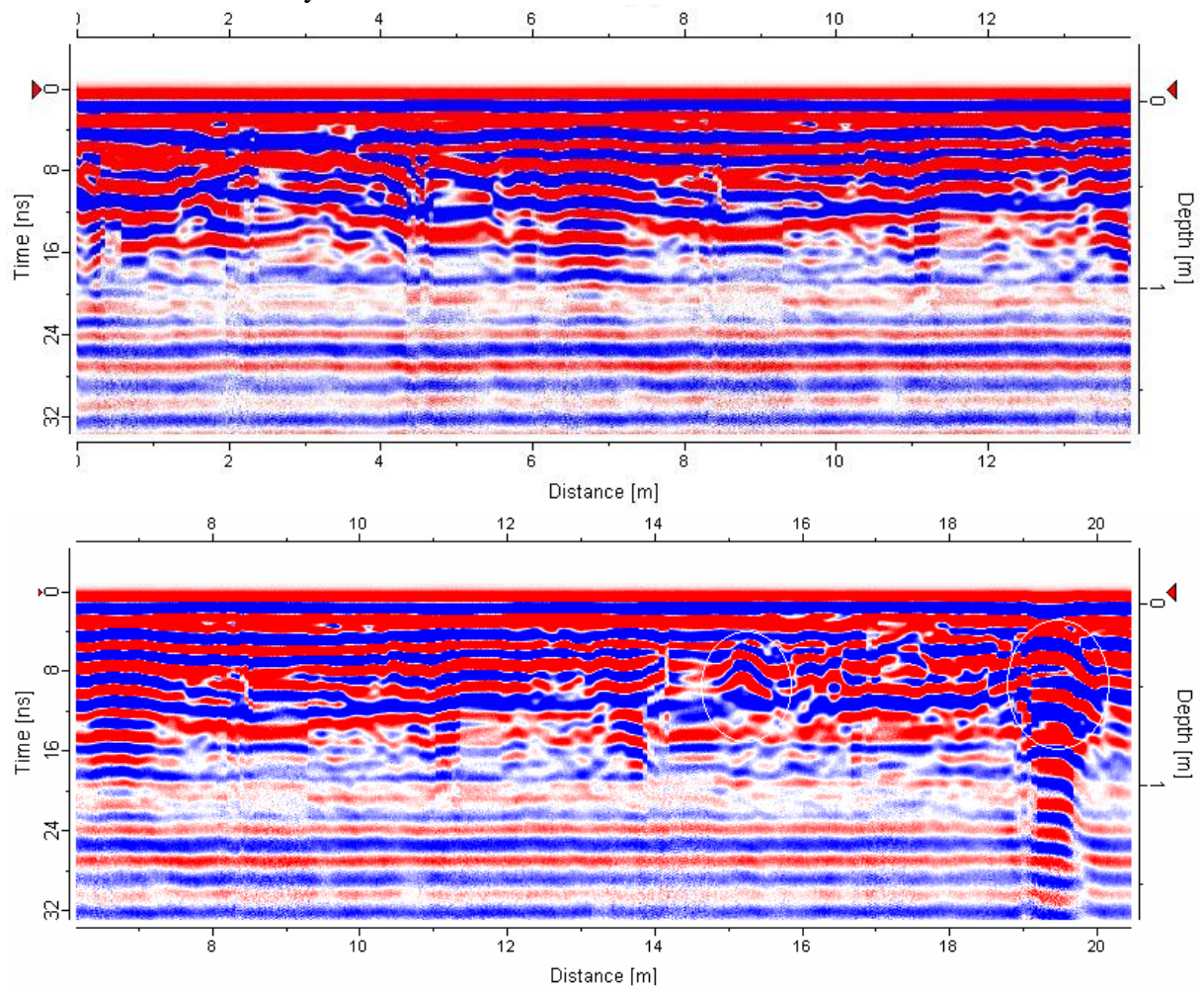


Hình 2.24: Kết quả đo radar tuyến HT15 đường trước thêm rỗng

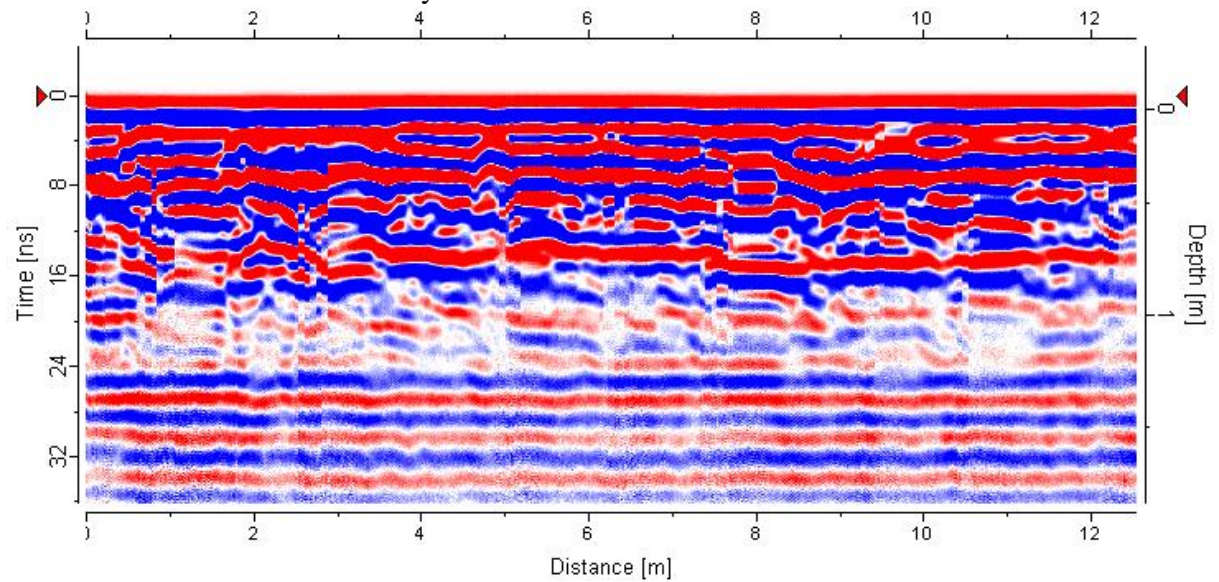


Hình 2.25: Kết quả đo radar tuyến HT18 và HT19 đường trước thêm rỗng

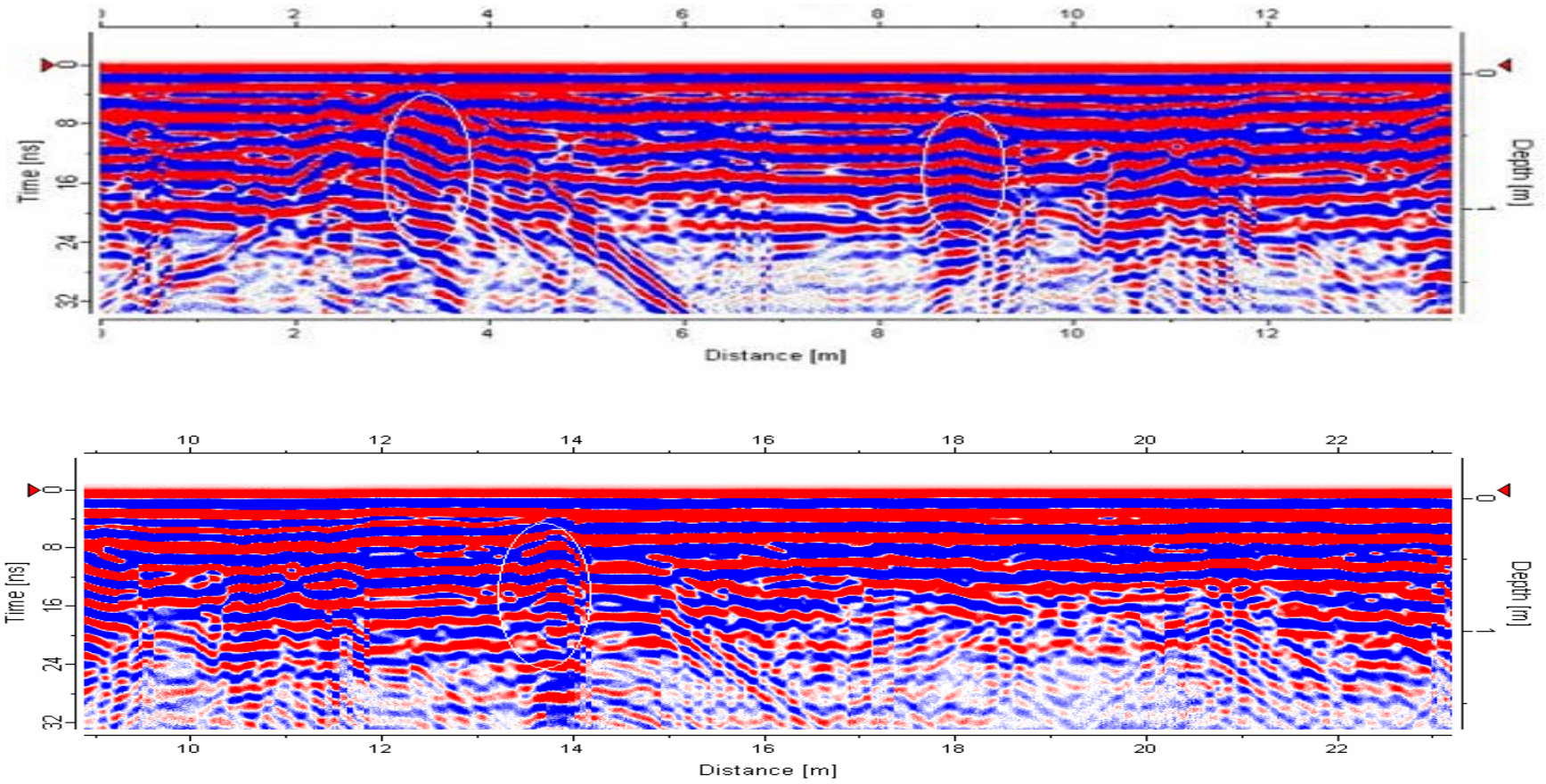
Hình 2.25a: Tuyến HT18



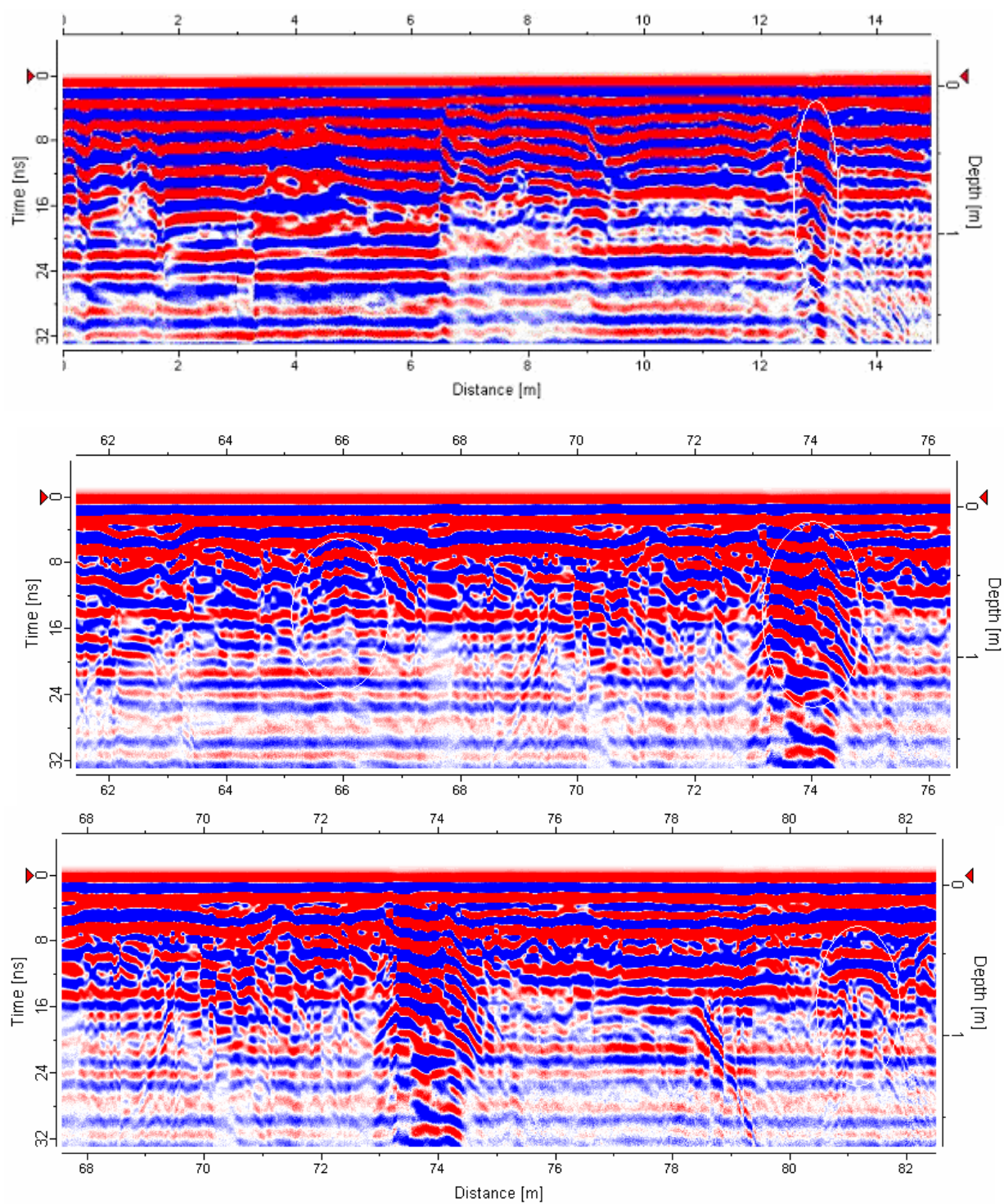
Hình 2.25b: Tuyến HT19



Hình 2.26: Kết quả đo radar tuyến HT22 đường trước thêm rỗng



Hình 2.27: Kết quả đo radar tuyến KT_BS1 đường trước thêm rỗng



hiệu dị thường phản ánh vật thể nông chỉ khoảng 0,5 m, rất có thể liên quan đến vật liệu xây dựng vương vãi (hình 2.22).

- Tuyến HT14:

Tuyến đo này cắt vuông góc với các tuyến vừa mô tả ở phần trên, dài 32 m, chạy từ mép nhà T78 đến mép tường sân thêm rộng. Dọc tuyến đo phát hiện được 2 dị thường. Dị thường thứ nhất ở mét thứ 16; dị thường thứ 2 ở mét thứ 30.5. Trong đó dị thường thứ nhất ăn sâu hơn vào lòng đất có thể liên quan đến móng tường hoặc mép đường gạch bị vùi lấp (hình 2.23).

- Tuyến HT15:

Tuyến đo này song song và cách tuyến HT14 khoảng 5m về phía tây, chiều của tuyến ngược lại chạy từ thêm rộng xuống nhà T78. Dọc tuyến đo phát hiện dị thường thứ nhất tại đoạn 26-28.5; dị thường thứ 2 từ điểm 35.5 đến 37 có lẽ liên quan đến móng nhà cũ. Dị thường nhỏ ở điểm thứ 41 liên quan đến đường ống dẫn nước (hình 2.24).

- Tuyến HT18 và HT19:

Hai tuyến HT 18 và HT19 phân bố tại khu vực giữa đường tại khu vực thêm rộng, mỗi tuyến chỉ dài hơn 13 m. Trên mặt cắt tuyến HT18 quan sát được dị thường nhỏ ở điểm thứ 15 và một dị thường có kích thước lớn hơn nằm nông ở điểm thứ 19. Trong đó dị thường tại điểm 19 có thể liên quan đến móng tường hoặc biên đường gạch bị vùi lấp. Trên mặt cắt của tuyến HT19 không phát hiện được dị thường (hình 2.25).

- Tuyến HT22:

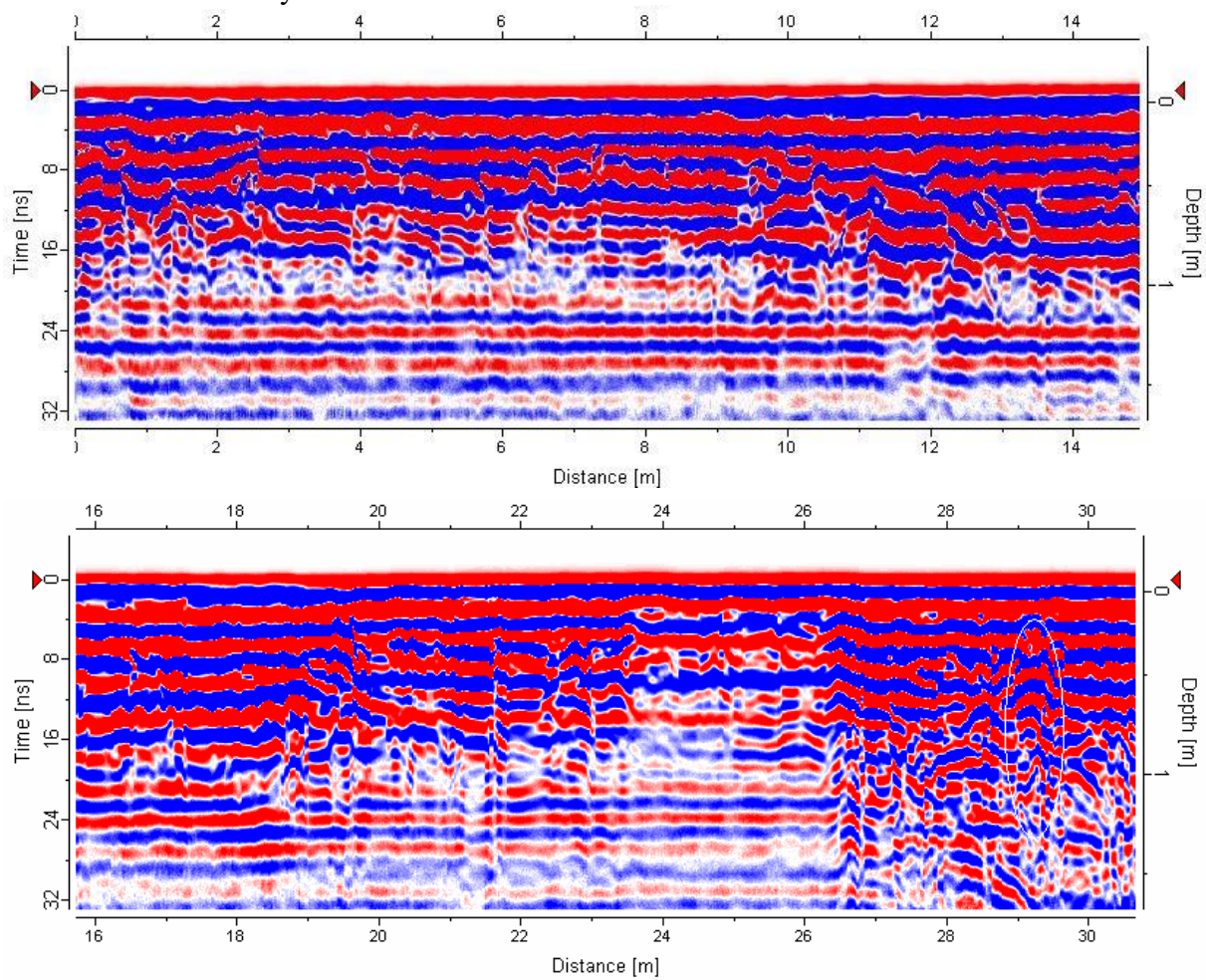
Tuyến đo này chỉ dài khoảng 27 m, phân bố cách mép bắc của nhà N19 dưới 1 m, chạy từ đông sang tây, kết thúc điểm trước nhà N15. Trên mặt cắt sóng Radar phát hiện được dị thường thứ nhất ở điểm thứ 3; dị thường ở điểm thứ 8.8; dị thường ở điểm thứ 13.8. Cả ba dị thường có kích thước nhỏ và xuất hiện từ rất nông khoảng 0.4 m. Liên kết với tài liệu hiện trường cả ba dị thường liên quan đến ống dẫn nước (hình 2.26).

- Tuyến KT BS1:

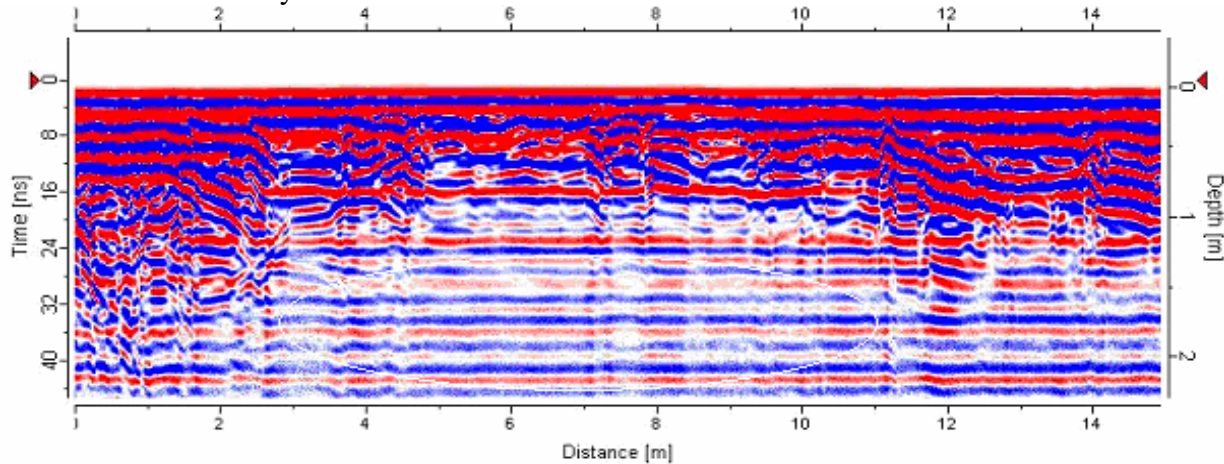
Tuyến đo dài 83 m, chạy cũng gần sát mép phía nam của đường trước thêm rộng từ đông sang tây. Điểm đầu tuyến tại mép phía đông nhà N19 và kết thúc trước nhà N13, còn cách cổng tây khoảng 20 m. Trên mặt cắt sóng radar phát hiện được dị thường thứ nhất ở điểm thứ 13; dị thường thứ 2 ở điểm thứ 66; dị thường thứ 3 ở mét thứ 74 ăn tương đối sâu vào lòng đất. Nhiều khả năng các dị thường này phản ánh chân tường bị vùi lấp hoặc mép tường hầm ngầm có trong khu vực (hình 2.27).

Hình 2.28: Kết quả đo radar tuyến HAM1 và HAM2 sân trước nhà D67

Hình 2.28a: Tuyến HAM1

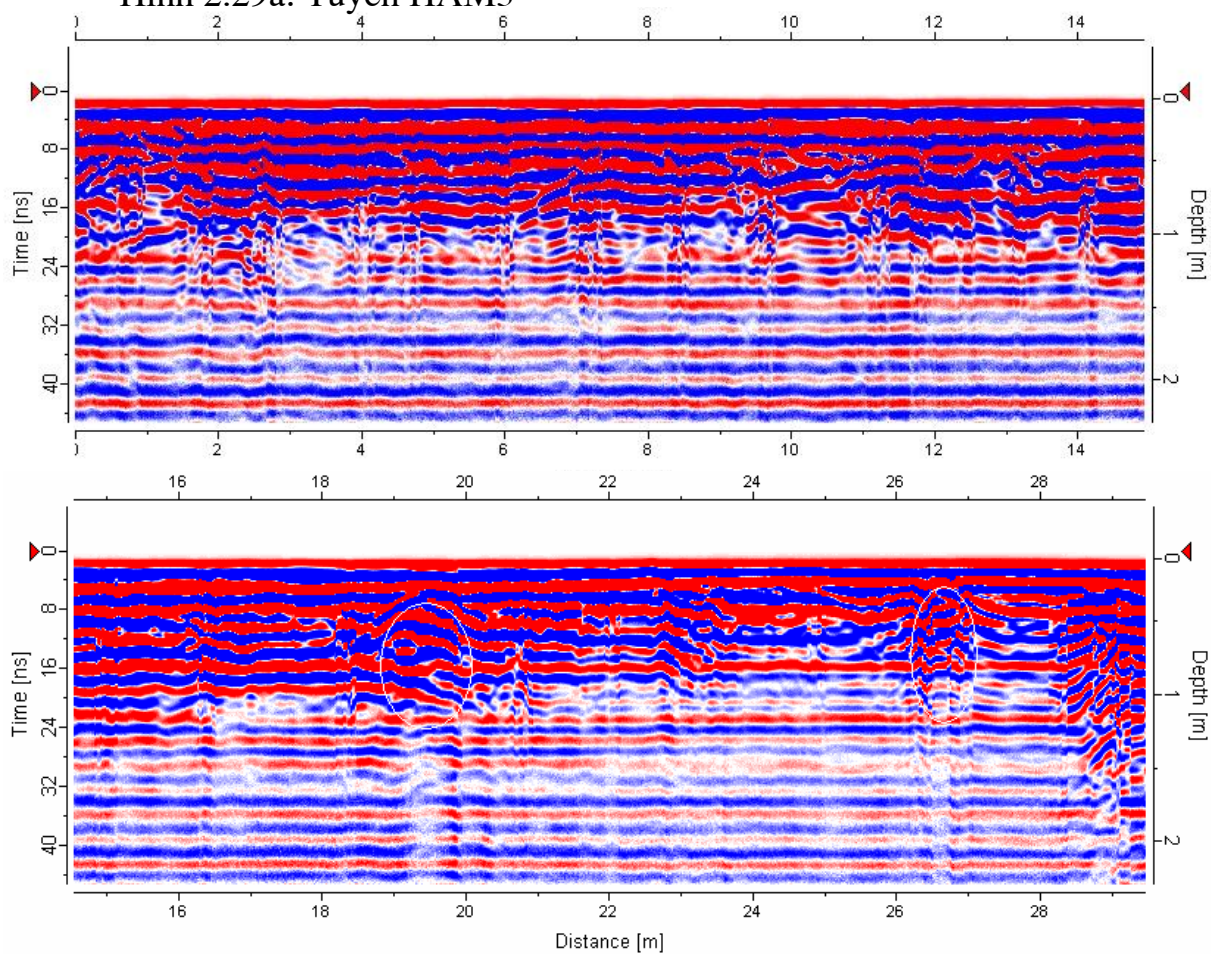


Hình 2.28b: Tuyến HAM2

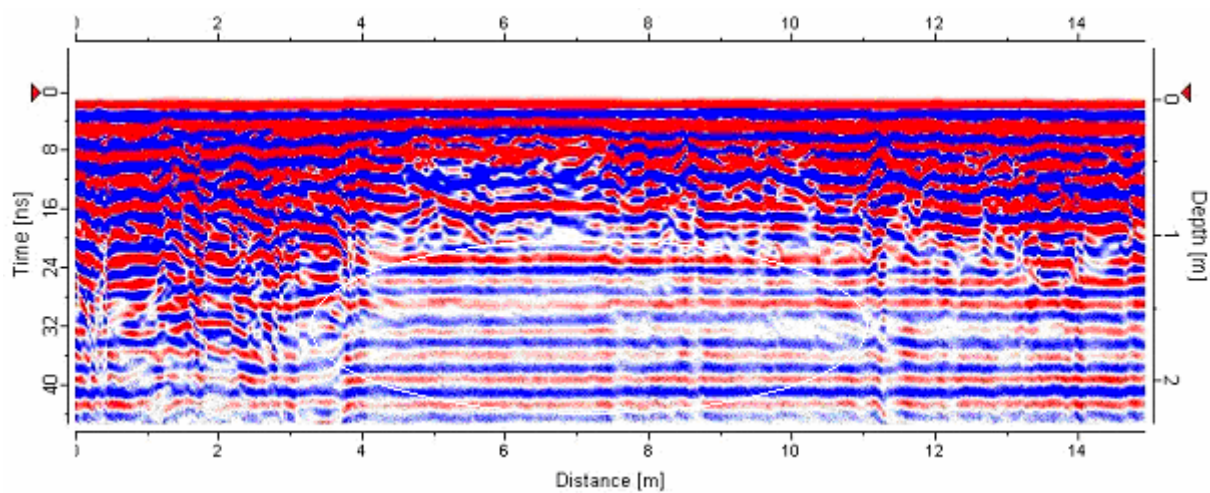


Hình 2.29: Kết quả đo radar tuyến HAM3 và HAM4 sân trước nhà D67

Hình 2.29a: Tuyến HAM3



Hình 2.29b: Tuyến HAM4



2. Kết quả minh giải số liệu radar tại khu vực giữa nhà con rồng và nhà D67

- Tuyến HAM1 và HAM2:

Tuyến HAM1 chạy từ sau nhà con rồng đến giữa nhà D67 còn tuyến HAM2 có chiều chạy ngược lại. Chiều dài của hai tuyến xấp xỉ bằng nhau và đều bằng 31 m.

Trên mặt cắt của tuyến HAM1 phản ánh dị thường ở điểm thứ 29 liên quan đến đường ống nước. Trên mặt cắt tuyến HAM2 phát hiện được dị thường kích thước lớn từ điểm 2.5 m đến 11 m, ở độ sâu từ 1 m, độ dẫn rất nhỏ. Theo các khảo sát hiện trường thì dị thường này phản ánh hầm ngầm dưới tuyến khảo sát (hình 2.28).

- Tuyến HAM3 và HAM4:

Hai tuyến này chạy song song với HAM1 và HAM2 về phía đông, trong đó tuyến HAM3 chạy cùng chiều với HAM1 từ nhà con rồng sang trước nhà D67 và tuyến HAM4 chạy theo chiều ngược lại, chiều dài của chúng cũng khoảng 31 m. Trên mặt cắt tuyến HAM3 phát hiện được dị thường thứ nhất ở mét thứ 19.5, dị thường thứ 2 ở mét thứ 26.5. Trong đoạn này độ dẫn rất thấp ở độ sâu từ khoảng 1 m, nên dễ liên quan đến hầm ngầm tồn tại ở đây (hình 2.29).

Tương tự như vậy trên mặt cắt tuyến HAM4 xuất hiện dị thường liên quan đến hầm sâu từ 1 m và rộng trong đoạn 3.5m đến 11 m.

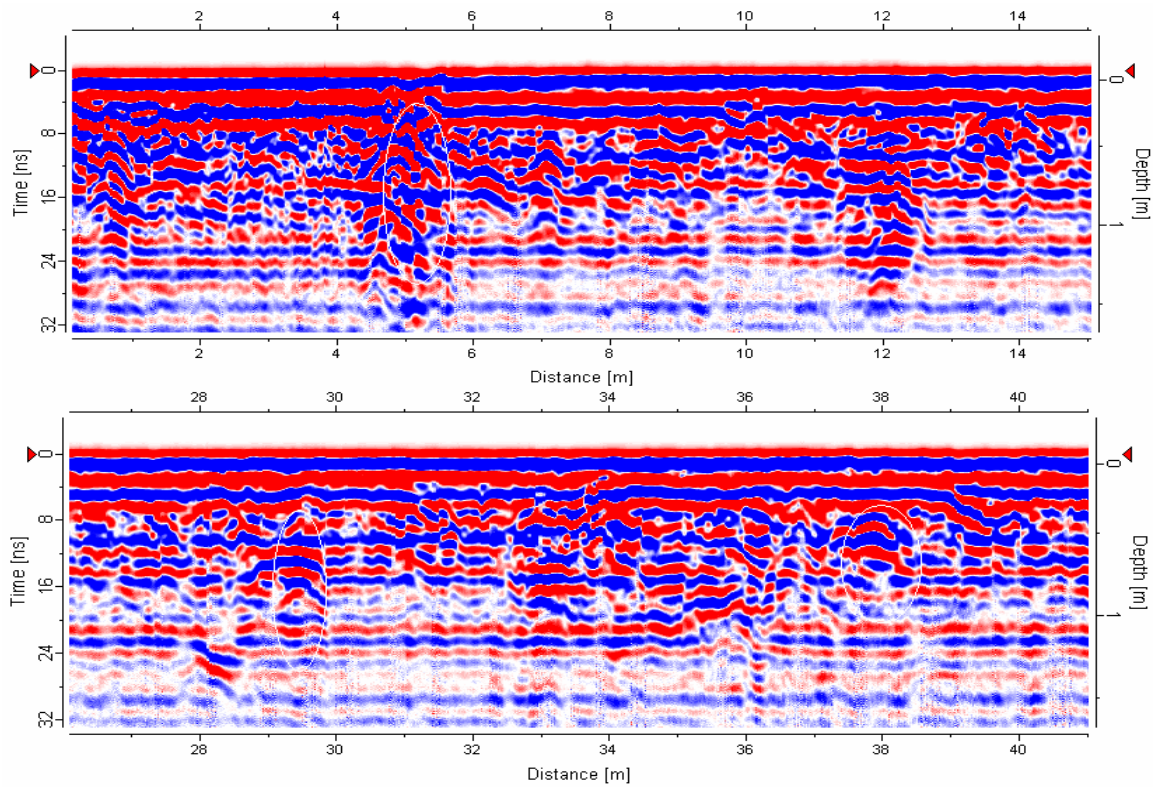
3. Kết quả minh giải số liệu georada đo tại khu vực Hậu Lâu

Trong khu Hậu Lâu cũng đã tiến hành đo thử nghiệm bằng thiết bị Radar khá nhiều tuyến, trong đó riêng tại khu vườn tính từ mép đường gạch đi trong Hậu Lâu về phía tường phía bắc được phủ dày bằng mạng lưới đo theo diện tích với khoảng cách giữa các điểm 1m x 1m. Ở phần diện tích còn lại từ đường lát gạch đến tường phía nam cũng có 5 tuyến đo. Do kết quả các tuyến đo trong khu vực đo theo mạng lưới có nhiều điểm tương đồng nên báo cáo chỉ giới thiệu kết quả một số ít tuyến cũng đủ mang tính đại diện.

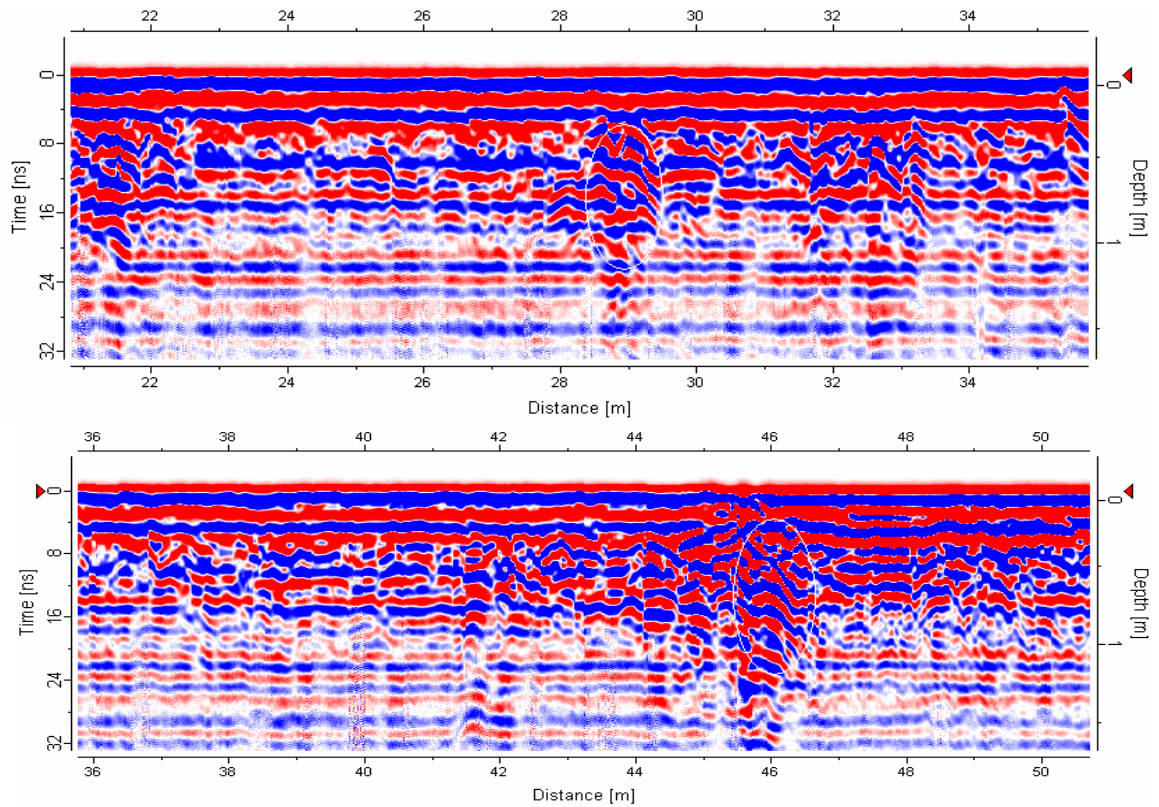
- Tuyến HL_D1:

Tuyến đo này chạy dọc ngay sát chân tường phía nam Hậu Lâu theo chiều từ tây sang đông, có chiều dài 51 m. Kết quả là trong mặt cắt sóng Radar phát hiện được 3 dị thường tại điểm 5 m, 19,5 m và 38 m. Trong đó dị thường tại điểm 5 m xuất hiện nông hơn khoảng từ độ sâu 0,2 m nên có thể liên quan đến đường ống nước (hình 2.30). Dị thường tại điểm 29,5m và 38 m bắt đầu xuất hiện ở độ sâu khoảng 0,6 m và cũng được phản ánh trong kết quả đo cắt lớp điện trở.

Hình 2.30: Kết quả đo radar tuyến Hậu Lâu HL_D1



Hình 2.31: Kết quả đo radar tuyến Hậu Lâu HL_D2



- Tuyến HL_D2:

Tuyến này có chiều từ đông sang tây, song song với tuyến HL_D1, cách nhau khoảng 1,2 m với chiều dài tương đương với nó. Trên mặt cắt kết quả phát hiện được 2 dị thường tại điểm 29 và 46 m. Nhiều khả năng dị thường tại điểm 46 phản ánh vị trí ống nước bởi nó xuất hiện khá nông như trên tuyến HL_D1, dị thường tại điểm 29 m chưa rõ nguồn gốc (hình 2.31).

- Tuyến HL D5_D6 :

Tuyến đo này chạy trên đường gạch có chiều từ tây sang đông dài khoảng 52 m. Mặt cắt tuyến đo cho phép phát hiện dị thường thứ nhất ở mét thứ 4.5; dị thường thứ 2 ở mét thứ 15.5; dị thường thứ 3 ở mét thứ 46.5 và dị thường thứ 4 ở mét thứ 51 m. Trong đó 2 dị thường tại điểm 46.5 và 51 m nhiều khả năng phản ánh hầm ngầm chạy qua. Tại đây tài liệu đo điện từ tần số thấp phản ánh vùng điện trở suất rất cao như là vùng rỗng. Các dị thường còn lại chưa rõ nguồn gốc (hình 2.32).

Tuyến HL_D6 nằm trong diện tích đo theo mạng lưới, có chiều từ đông sang tây dài khoảng 35 m. Trong mặt cắt kết quả phát hiện được 2 dị thường tại điểm 29.5 và 33 m. Hai dị thường này có thể phản ánh thành của hố khai quật đã được lấp trả lại.

- Tuyến HL_D7 và HL_D8:

Các tuyến này cũng nằm trong mạng khảo sát theo diện tích. Kết quả cho phép phát hiện được các dị thường tại điểm 2 m, 12 và 23 m đối với tuyến HL_D7. Trên tuyến HL_D8 cũng phát hiện được 3 dị thường tại các điểm 4, 24.5 và 31 m. Trong đó dị thường tại điểm 24.5 và 31 m phản ánh thành của hố khai quật đã lấp lại.

Các tuyến còn lại trong mạng lưới đo hầu hết phát hiện được các dị thường liên quan đến hố đào, chúng tập trung vào khu vực gần cổng phía tây của Hậu Lâu, cũng là nơi được xác nhận là vị trí của hố khai quật. Một số dị thường bất gặp rải rác ở phần phía đông diện tích đo có thể phản ánh vật liệu xây dựng hoặc đồ gia dụng như gốm sứ vương vãi.

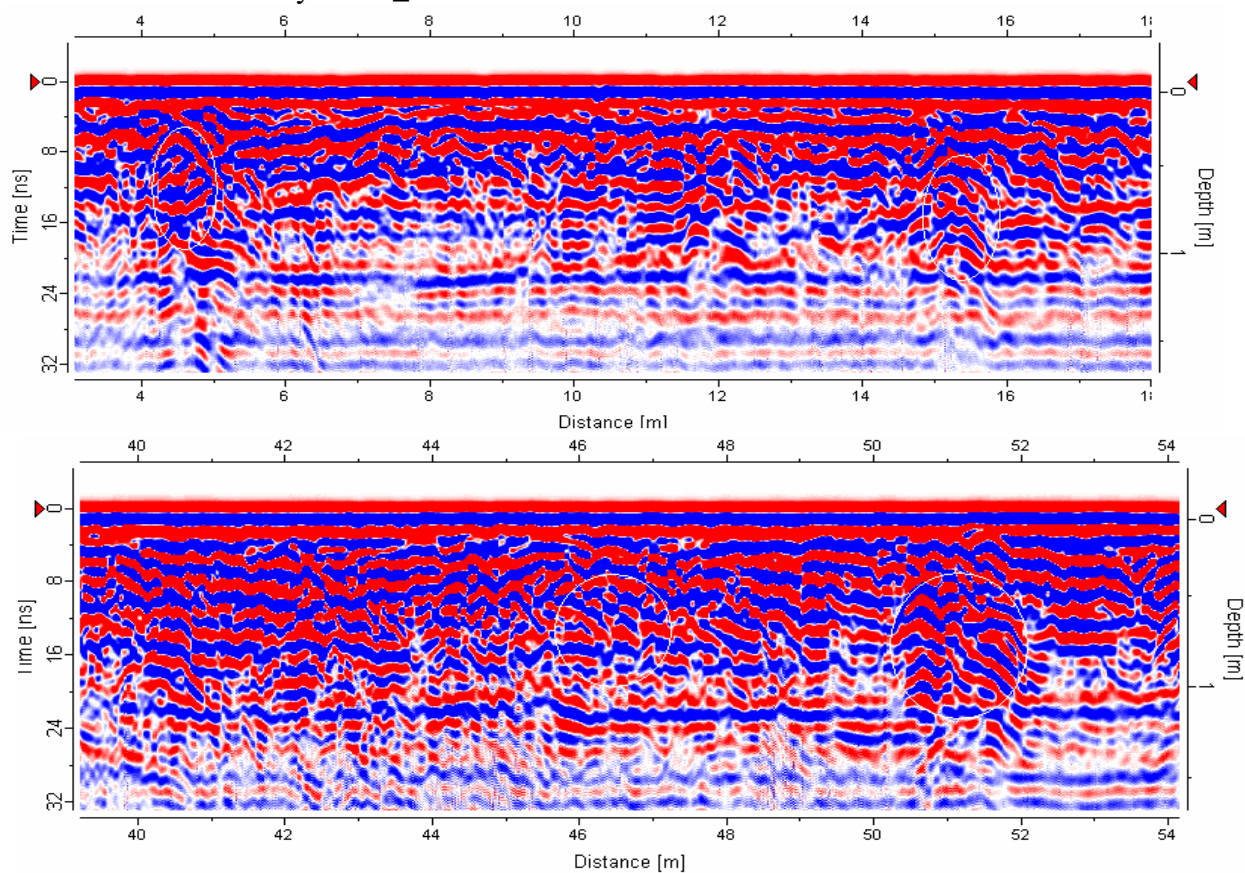
4. Kết quả minh giải số liệu georada đo tại khu vực vỉa hè đường Hoàng Diệu

Tại đoạn từ cổng tây đi về phía Đoàn Môn trên vỉa hè đường Hoàng Diệu đã tiến hành 2 tuyến đo CT1 và CT2 với mỗi tuyến dài khoảng 64m và 71m tương ứng, ngoài ra còn một số tuyến khác rất ngắn.

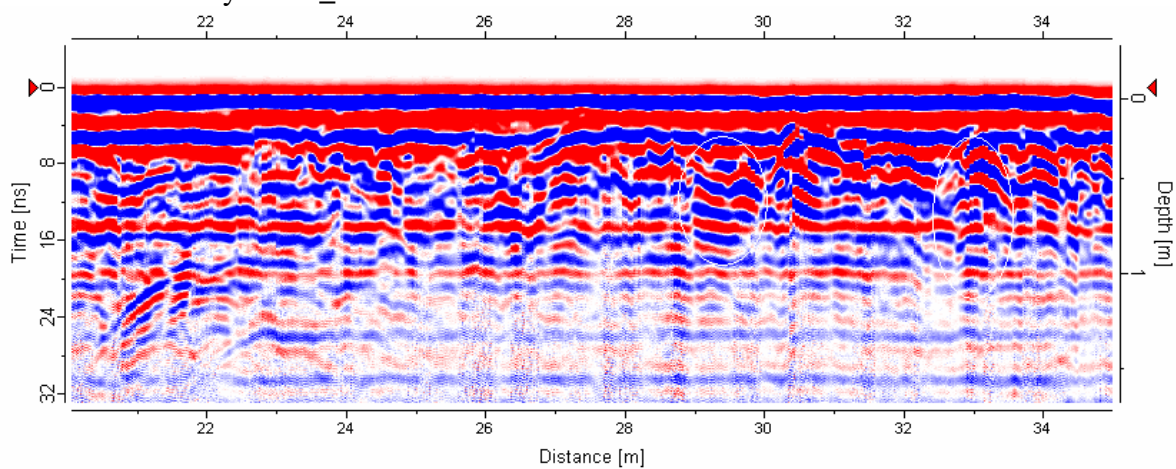
Trong mặt cắt tuyến CT1 phát hiện được dị thường ở điểm 3 và 17m (hình 2.34)

Hình 2.32: Kết quả đo radar tuyến Hậu Lâu HL_D5 và HL_D6

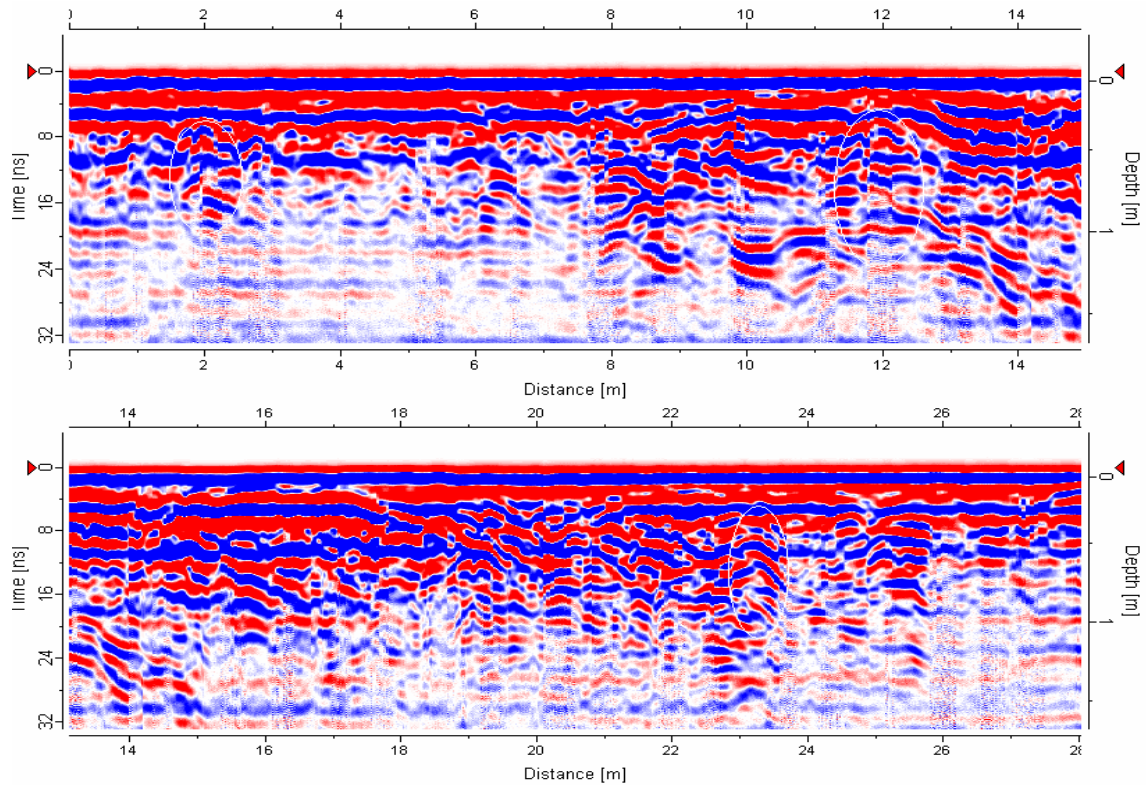
Hình 2.32a: Tuyến HL_D5



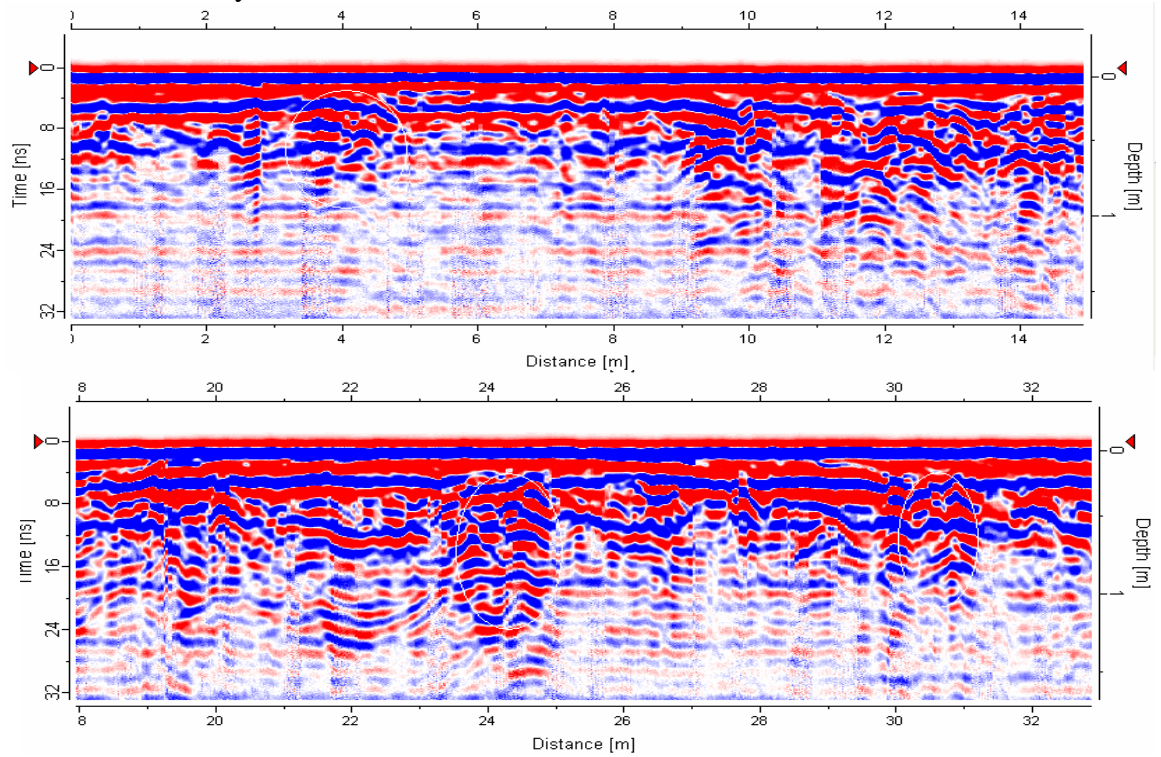
Hình 2.32b: Tuyến HL_D6



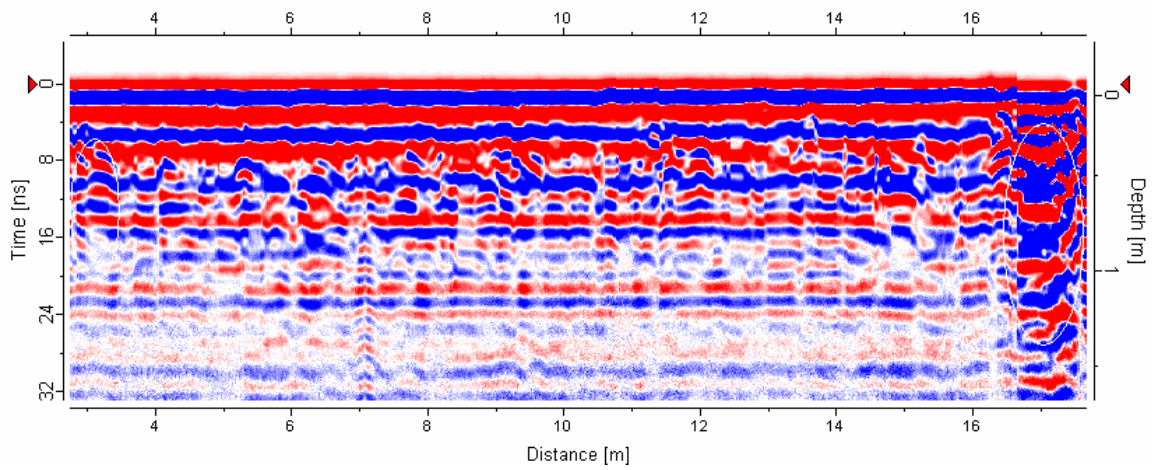
Hình 2.33: Kết quả đo radar tuyến Hậu Lâu HL_D7 và HL_D8
 Hình 2.33a: Tuyến HL_D7



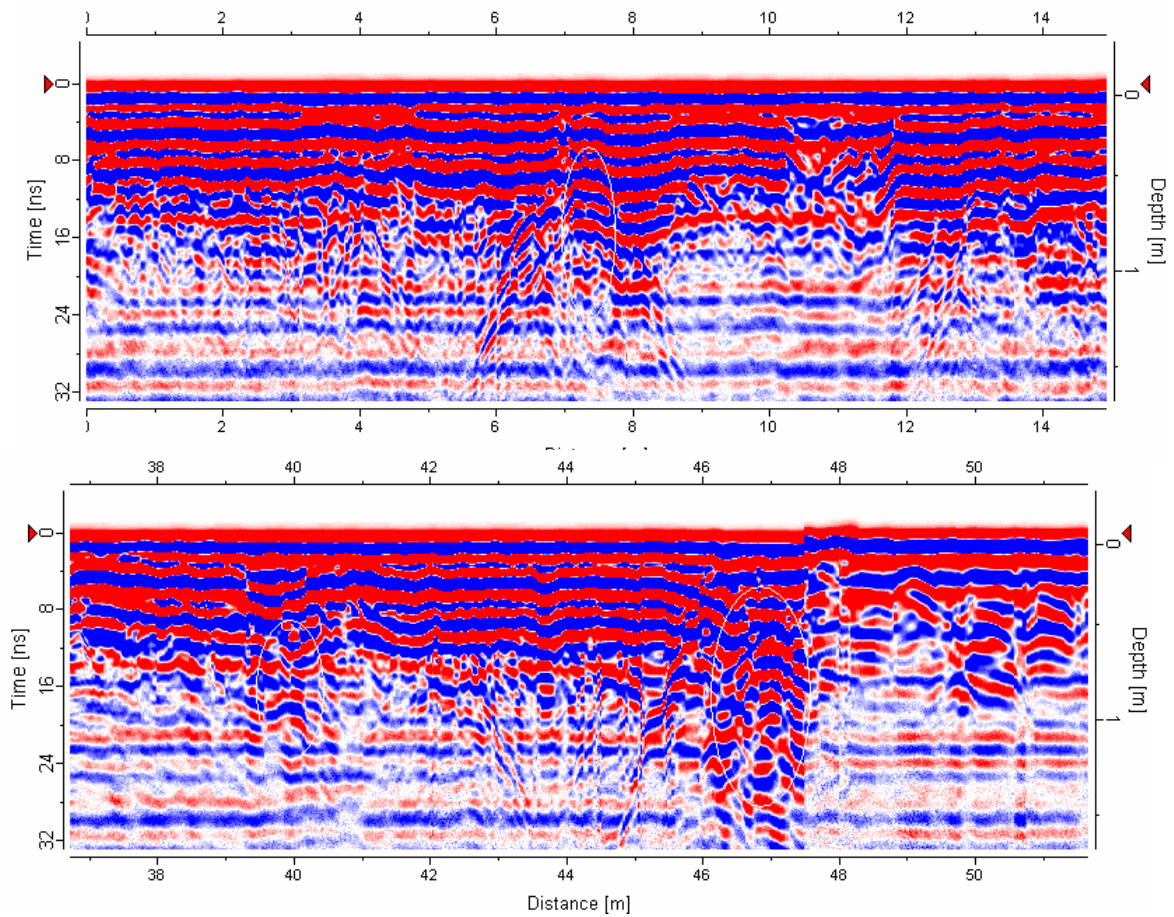
Hình 2.33b: Tuyến HL_D8



Hình 2.34: Kết quả đo radar tuyến CT1 – vỉa hè đường Hoàng Diệu



Hình 2.35: Kết quả đo radar tuyến CT2 – vỉa hè đường Hoàng Diệu



Còn trong mặt cắt tuyến CT2 cũng quan sát được 3 dị thường tại xung quanh các điểm 7.5 m, 40 m và 47 m. Tại điểm đối diện dị thường thứ 3 của tuyến CT2 cũng có dị thường của tuyến CT1, dị thường này có kích thước tương đối lớn, tuy nhiên tại đây ta chưa có tài liệu khai quật để đối chứng nên chưa rõ các dị thường này liên quan đến đối tượng nào (hình 2.35). Tuyến đo điện trở dọc vỉa hè trên cho thấy trong mặt cắt xuất hiện các dị thường điện trở suất thấp phân bố cách đều khoảng 3 m dưới tuyến đo.

Ngoài các vị trí nêu trên khảo sát bằng thiết bị radar còn được tiến hành tại khu vực xung quanh nhà N44 và vỉa hè đường Nguyễn Tri Phương, kết quả cũng phát hiện được một số dị thường nhưng thiếu tài liệu đối chứng nên cũng khó lý giải kết quả. Nhìn chung các khảo sát thử nghiệm bằng phương pháp radar xuyên đất chỉ cho phép ta xem xét ở phần trên của lát cắt môi trường đất. Do mực nước ngầm trong khu Thành cổ rất cao nên độ sâu mà phương pháp georadar ho được thông tin đảm bảo tin cậy chỉ khoảng xấp xỉ 1.5 m. Tại những vị trí có tài liệu đối chứng như vị trí hố khai quật tại Hậu Lâu, hầm ngầm trong khu nằm giữa nhà con rồng và nhà D67 trên các lát cắt radar phản ánh khá tốt. Tại Hậu Lâu theo phân bố các dị thường đo theo diện có thể nhận dạng được hình dạng của hố khai quật. Riêng tại khu vực Đuan Môn và nam Kính Thiên thì phần tiếp tục của đường gạch đã được khai quật thể hiện không rõ trong kết quả georadar. Có lẽ độ sâu phân bố của đường nằm dưới mực nước ngầm nên bị mờ nhạt đi trong kết quả khảo sát nghiên cứu bằng phương pháp này. Tại nhiều vị trí khác cũng tồn tại nhiều dị thường georadar, một số vị trí liên quan đến ống nước nhưng cũng nhiều vị trí vẫn có khả năng phản ánh các vật liệu xây dựng bị vùi lấp, trong đó có những dị thường có đặc điểm như phản ánh như móng tường hoặc các bờ của đường lát gạch v.v... Do không đủ tài liệu đối chứng nên các kết quả như vừa nêu chỉ có thể sử dụng liên kết với các tài liệu Địa Vật lý khác để có thêm một số nhận định. Chẳng hạn dị thường georadar dọc tuyến men theo tường phía nam Hậu Lâu cũng được xác nhận rất rõ trong mặt cắt lát điện trở, rất có thể phản ánh đối tượng văn hoá bị vùi lấp v.v...

2.2.3. Kết quả khảo sát bằng thiết bị điện từ tần số thấp ERA

Phương pháp điện từ dùng thiết bị ERA cho phép đo riêng rẽ thành phần điện Ex và thành phần từ Bz của trường cảm ứng gây ra bởi trường điện từ ban đầu phát vào lòng đất bằng các ăngten tần số khác nhau. Thiết bị này do Cộng hoà Liên bang Nga chế tạo, có các ăngten khác nhau với chức năng đo điện trở, từ tính ở một số tần số trong đó có

tần số 50, 100 và 625 Hz. Do thiết bị gọn nhẹ và việc thu tín hiệu không cần phải tiếp địa nên có thể thực hiện được ở cả trên nền đường nhựa, sân gạch, đường bê tông và có thể đo cả trong nhà v.v... Với ưu điểm trên thiết bị cho phép đo nhanh, phủ kín được các vùng cần quan tâm, có thể theo dõi được sự thay đổi tính chất điện từ trong lòng đất trên diện tích khảo sát. Công tác khảo sát thử nghiệm bằng thiết bị này ở khu di tích Cổ Loa và Thành cổ Hà Nội đã sử dụng ăngten tần số thu phát 625 Hz và 2 điện cực phát tiếp địa với khoảng cách giữa chúng 130 m - 150 m. Với ăngten tần số 625 Hz thì trường điện từ đo được ít nhiều gây ra bởi các hệ thống điện dân dụng nhưng kết quả cũng chỉ phản ánh được tính chất điện từ trong môi trường đến độ sâu khoảng 3 - 4 m. Độ sâu này cũng phù hợp với công việc khảo sát nhằm vào các đối tượng văn hoá cổ bị vùi lấp trong khu Hoàng Thành, bởi phần lớn chúng chỉ phân bố đến độ sâu nêu trên. Tuy nhiên việc đánh giá độ sâu phân bố các đối tượng gây dị thường theo số liệu đo đạc chỉ thực hiện được ở mức định tính, bởi vậy việc kết hợp với những phương pháp khác nâng cao tính định lượng là cần thiết. Việc sử dụng thử nghiệm thiết bị này đã đo được một khối lượng không nhỏ, phủ kín một số diện tích trong khu Thành cổ Hà Nội và khu đền thờ An Dương Vương ở di tích Cổ Loa. Trong đó gồm các diện tích tại khu vực gần hố đào Đoan Môn để đối sánh với các đối tượng vùi lấp đã lộ là đường gạch nung thời Lý dẫn đến Kính Thiên (độ sâu >2m), lớp đá lát thời Lê (?) ở trên (độ sâu khoảng 1m). Các khu vực nối tiếp theo cho đến gần thêm nhà con rồng. Ba khu khác phân bố cách biệt là khu để xe ô tô trước đây ở phía đông nam nhà D67, khu sân thuộc tập thể K75 cũ (phía sau tường rào nhà D67) và khu Hậu Lâu (hình 2.36).

Việc đo đạc được thực hiện theo mạng lưới đo vẫn còn khá thưa với khoảng cách tuyến đo 5 - 7m và khoảng cách giữa các điểm đo trên tuyến là 1m. Tài liệu thu được cho phép vẽ bản đồ dị thường điện ở tất cả các khu vực và dị thường từ thử nghiệm cho khu vực Cổ Loa.

1. Kết quả khảo sát tại khu vực quanh hố khai quật ở Đoan Môn

Khu vực khảo sát tại đây bao gồm một phần Đoan Môn xung quanh hố khai quật và tiếp một phần nam khu Kính Thiên đến mép nhà N6, cách tường rào Đoan Môn khoảng 14 m về phía bắc. Số tuyến đo trong diện tích này gồm 7 tuyến, trong đó ở Đoan Môn có 3 tuyến, 4 tuyến còn lại phân bố từ tường rào Đoan Môn đến nhà N6 trong khu Kính Thiên.

Do hố khai quật đã lộ ra đường gạch trong khu Đoan môn nên phép đo tại đây một mặt theo dõi khả năng con đường này sẽ chạy tiếp thế nào, mặt khác nhằm xem xét dấu hiệu điện từ phản ánh đối tượng vùi lấp. Nếu đạt kết quả tốt điều này sẽ cho ta khả năng suy luận dự đoán khả năng phân bố các đối tượng bị vùi lấp tương tự ở những vị trí không có khai quật. Bản vẽ phân bố dị thường điện trở (thành phần điện) theo giá trị đã đo được thể hiện qua các màu, trong đó ta quy ước màu xanh càng đậm chỉ thị điện trở suất càng thấp phản ánh độ ẩm (độ chứa nước) của đất càng cao, hoặc trong thành phần của đất có chứa các vật liệu kim loại. Màu nâu đỏ chỉ thị điện trở suất cao, màu nâu đỏ càng thẫm giá trị điện trở suất càng cao phản ánh độ chứa nước kém của đất hay các vật liệu khô, rắn chắc, hang rỗng, .

Ngoài mối quan hệ tham số Địa Vật lý với môi trường nói trên, trong thực tế còn có các ảnh hưởng của các địa vật nổi trên mặt đất hay gần mặt đất như vách hố, rãnh sâu, bậc thềm, ống dẫn nước bằng kim loại,... làm cho bức tranh dị thường đo được phức tạp và thông tin về môi trường có thể bị nhầm lẫn được gọi là nhiễu. Người thực hiện phải chú ý nhận biết những yếu tố ảnh hưởng này trên thực địa.

Kết quả đo tại khu Đoan Môn cho thấy, đường gạch ở đáy hố đào còn tiếp tục cả về phía bắc và phía nam chỉ thị bằng một dải dị thường điện trở suất cao phát triển tiếp tục cả về hai phía của đường gạch đã khai quật (hình 2.37). Đáng lưu ý là chiều rộng của dải dị thường rất phù hợp với kích thước đường lát gạch đã khai quật. Điều này cũng dễ hiểu, bởi gạch nung lát đường và nền đường thường là đất được đầm chặt nên giá trị điện trở suất thường cao hơn lớp đất vây quanh, nhất là khu vực này đất vây quanh thường có độ ẩm cao. Phần đường về phía bắc có màu đậm hơn tức điện trở suất cao hơn có thể là dấu vết của hố đào trong chiến tranh chống Mỹ đã được lấp (?).

Trong bức tranh điện trở suất còn xuất hiện 2 dị thường điện trở suất cao ở hai đầu hố đào. Đây là hiệu ứng điện từ do vách hai bên hố đào gây ra được coi là nhiễu của phép đo. Phía tây hố đào và nền Đoan Môn khu giữa có màu nâu vàng thể hiện sự tiếp tục lớp gạch hay đá lát quan sát được trên vách hố. Trong khi đó ở nền Đoan Môn về phía đông, trên bản vẽ có màu xanh sẽ không có lớp gạch, đá lát này. Ở khoảng mốc $x = 45$ m dải điện trở suất cao màu nâu đỏ thẫm chạy từ Đoan Môn sang diện tích đông nam của Kính Thiên (trên thực địa có cây xà cừ to cạnh tường rào và đường bê tông) cho dấu hiệu rõ của một hầm ngầm tiếp tục đi về phía bắc.

Diện tích khảo sát có 2 phần đặc trưng môi trường tương đối khác biệt: Phần phía tây chủ yếu là màu vàng chứng tỏ nền đất bị san lấp khô, chặt; còn phần phía đông có màu xanh chỉ thị nền bị san lấp là bùn sét liên quan đến ao hồ, đất trũng, độ ẩm cao. Hai hốc màu xanh đậm ở góc hè và sân Đoan Môn là do chân hai ống gang thoát nước tạo ra, các khảo sát hiện trường đã xác minh điều đó. Qua liên kết đối sánh có thể thấy các vị trí có màu xanh đậm thường là ảnh hưởng của các vật liệu kim loại của công trình xây dựng: nắp cống, ống dẫn nước, khung sắt,...

2. Kết quả khảo sát tại khu vực từ nhà N6 (thư viện) đến thêm Rộng

Đây là khu vực có các công trình xây dựng kiên cố từ thời Pháp thuộc, sau đó bổ sung thêm về sau, nhà cửa tại đây có mật độ cao. Các đường nội bộ hầu hết được rải nhựa, có nhiều đường ống nước và một số công trình ngầm được xây dựng trong thời gian chiến tranh. Việc khảo sát được tiến hành trong diện tích gần như hình chữ nhật với chiều dài từ nhà N6 đến hết sân trước nhà con rồng khoảng 115 m và chiều rộng khoảng 60 - 70 m. Tổng số tuyến đo trong khu này là 17 tuyến, được phân bố theo phương đông - tây, trong đó có cả những tuyến đo trong nhà như ở nhà N17.

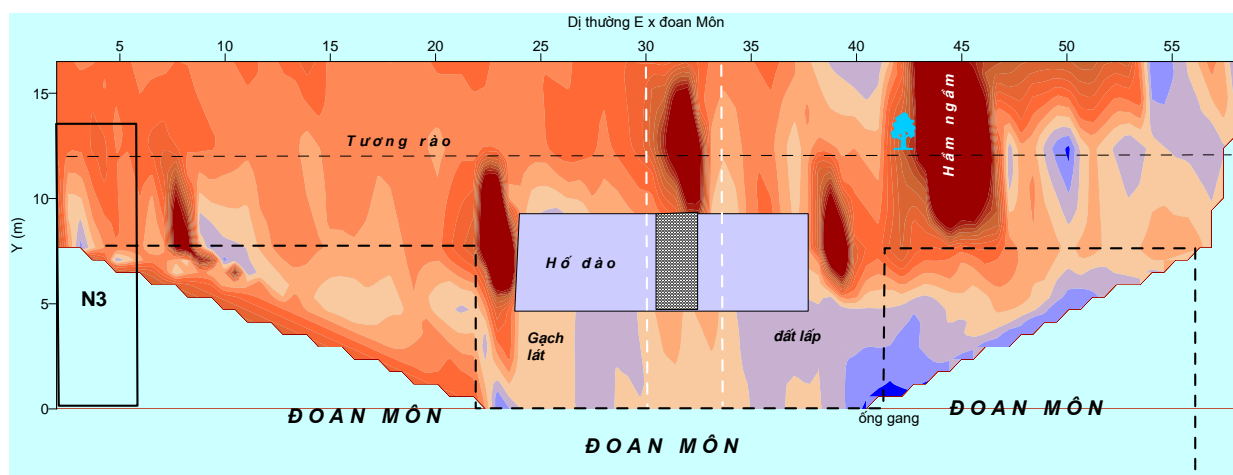
- Kết quả đo từ nhà N6 đến nhà N17:

Trong bức tranh phân bố điện trở suất ở phần diện tích này phát hiện được một số dị thường có giá trị cao, cao nhất là dị thường xuất hiện tại góc đông bắc của nhà N17, ngay cạnh nó về phía đông cũng có một dị thường nữa dài khoảng 8 m theo phương bắc - nam cũng có giá trị tương đối cao. Có thể dự đoán 2 dị thường này phản ánh đối tượng bị vùi lấp như gạch, đá xây dựng hoặc hầm ngầm, nhưng nếu liên quan đến hầm ngầm thường dải dị thường phải có kích thước dài hơn. Dấu hiệu này không thấy tiếp tục ở phần phía bắc tại khu nhà N16 (hình 2.38). Trong diện tích nền của nhà N17 cũng xuất hiện một số phần có điện trở suất cao ở mức trung bình, có lẽ dấu hiệu này liên quan đến tính không đồng nhất của đất đắp nền trong khi xây dựng. Nằm giữa khu nhà N17 và N18 cũng phát hiện được 2 dị thường giá trị tương đối cao, tạo thành dải kéo dài đến xấp xỉ 25 m. Do dải này có phương trục khá trùng vào phương trục của dải dị thường kéo thẳng từ đường gạch Đoan Môn sang nam khu Kính Thiên nên có thể dự đoán đây là dấu tích của đường gạch kéo tải tiếp lên phía bắc.

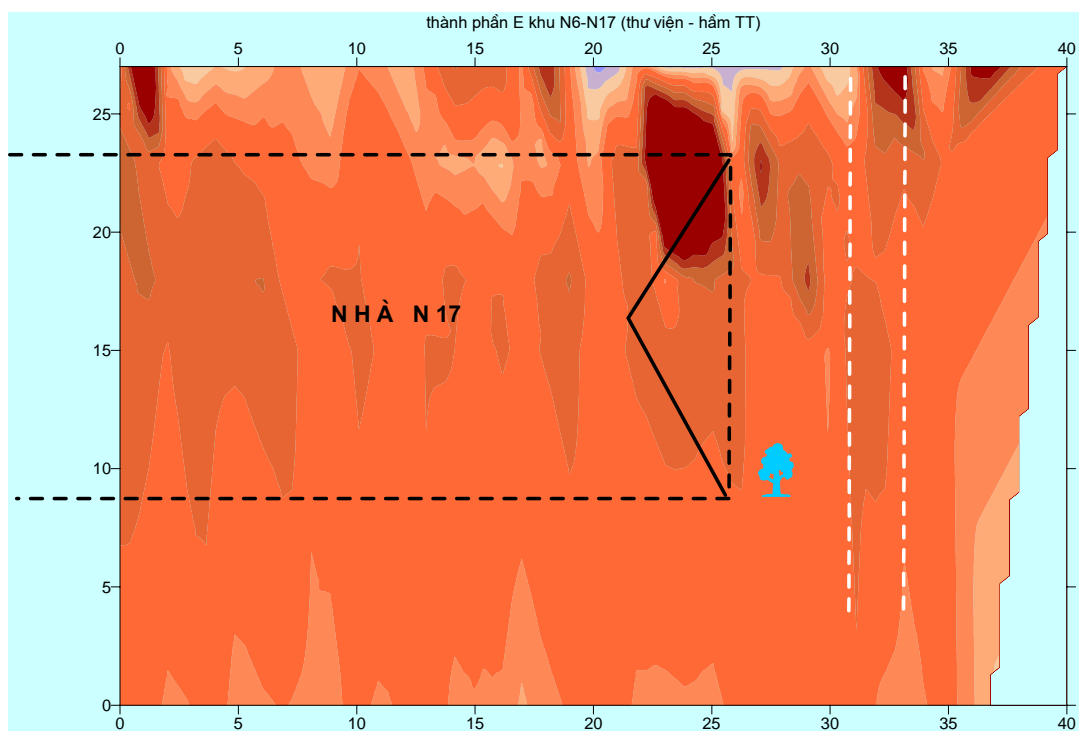
- Kết quả đo đoạn từ nhà N17 đến thêm rộng:

Đoạn tiếp theo là kết quả khảo sát trên phần diện tích từ mép bắc của nhà N17 đến hết đường nội bộ dưới chân thêm rộng. Đáng lưu ý là trong bức tranh điện trở suất

Hình 2.37: Dị thường điện tại khu vực xung quanh hố khai quật Đoàn Môn



Hình 2.38: Dị thường điện tại khu vực từ nhà N6 đến hết nhà N17



tại đây, tiếp theo về phía bắc thẳng trục với đường gạch từ Đoan Môn vẫn phát hiện được dải dị thường chạy qua giữa nhà T78, sau đó là nền của nhà N15 rồi đến thêm rông. Với phương trục, kích thước và sự liên tục từ khu Đoan Môn đến thêm rông có thể là dấu hiệu để ta dự đoán đây là dấu tích tiếp tục của đường lát gạch từ Đoan Môn sang thêm rông (hình 2.39).

Tại đây cũng thấy xuất hiện hai vị trí có dị thường điện trở suất rất cao, dải thứ nhất phân bố từ hầm thông tin có nắp xuất lộ ở phía nam thẳng lên phía bắc đến thêm rông, dải thứ hai chạy theo rìa đông của khu vực khảo sát cũng là từ mép phía đông của nhà T78 chạy thẳng lên thêm rông. Trong đó dải phía tây phản ánh hầm ngầm khá chắc chắn, bởi các dấu hiệu tồn tại hầm ngầm tại đây được xác nhận bằng các khảo sát hiện trường. Trên cơ sở này cũng có thể dự đoán dải dị thường phía đông vừa nêu trên nhiều khả năng liên quan đến hầm ngầm. Tại một số vị trí khác như; phần diện tích phía đông trong nền nhà T78, khu vực ngoài nhà T78 về phía đông nam và dọc phần diện tích phía bắc của đường nội bộ trước thêm rông cũng là những vùng có điện trở suất tương đối cao nhưng do không có đủ tài liệu liên kết nên rất khó dự đoán chúng liên quan với đối tượng nào. Ngoài ra, các dị thường màu xanh hầu hết có dạng tuyến, kích thước ngang rất nhỏ chủ yếu phản ánh các đường ống nước chạy qua.

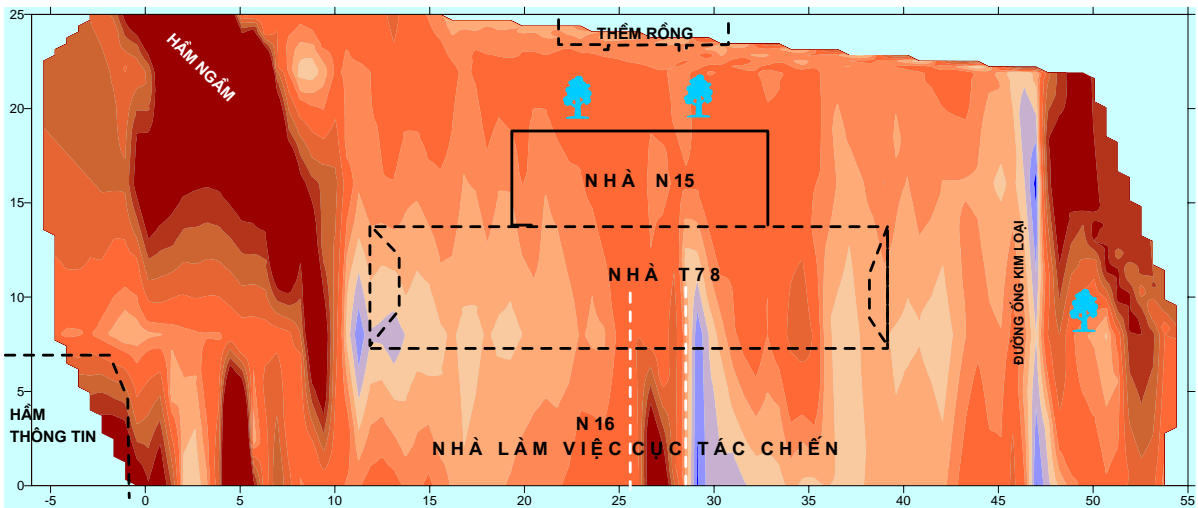
- Kết quả đo trên sân rông - Kính Thiên:

Tại khu vực sân Kính Thiên dị thường điện trở suất rõ nhất nằm dọc theo mép sân phía tây (hình 2.40). Dị thường này là phần kéo dài của hầm ngầm từ phía nam lên bắc, từ khu vực hầm thông tin như vừa nói trên. Bên cạnh dị thường này về phía đông xuất hiện một dị thường điện trở suất rất thấp, kích thước khá lớn. Thông qua khảo sát hiện trường có thể xác nhận dị thường này phản ánh một hầm ngầm có khung sắt với vị trí nắp hầm lộ thiên tại rìa bắc của dị thường, cũng là mép phía bắc của sân Kính Thiên. Ngoài hai dải dị thường trên trong sân còn quan sát được dải dị thường phương gần tây bắc - đông nam rộng xấp xỉ 4 m, với giá trị điện trở suất tương đối cao chưa rõ nguồn gốc dị thường này. Các diện tích còn lại chiếm phần lớn diện tích sân có giá trị điện trở suất trung bình và tương đối thấp, phản ánh lớp đất khá đồng nhất của nền sân Kính Thiên.

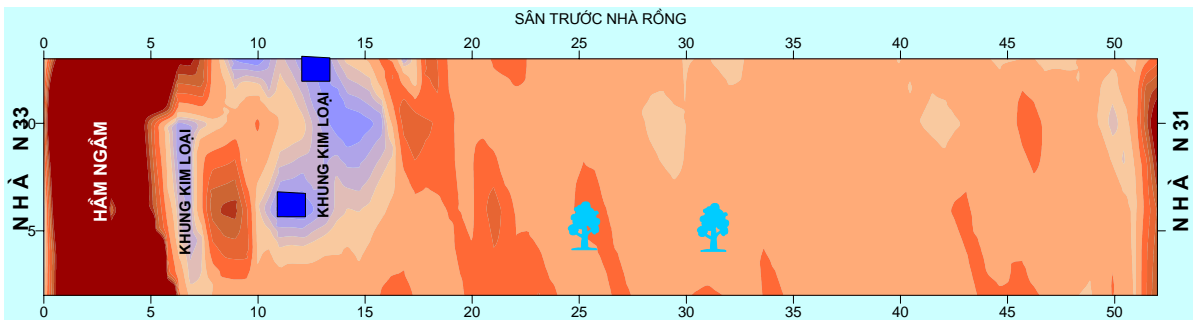
3. Kết quả khảo sát tại khu di tích Hậu Lâu

Trong khu Hậu Lâu đã tiến hành được 4 tuyến đo. Bức tranh phân bố điện trở suất tại đây có thể tóm tắt như sau:

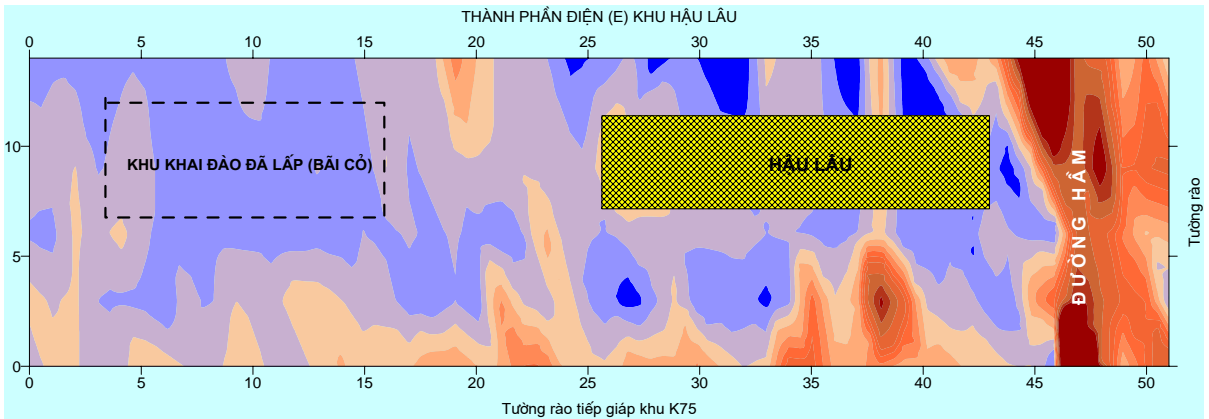
Hình 2.39: Dị thường điện khu từ sau nhà N17 đến thêm rông



Hình 2.40: Dị thường điện khu sân rông – Kính Thiên



Hình 2.41: Dị thường điện khu vực Hậu lâu



- Ở phần diện tích phía tây của khu vườn Hậu Lâu có khối dị thường điện trở suất thấp (màu xanh), phản ánh hố khai quật vào năm 2005 đã được lấp lại (hình 2.41). Dị thường này cũng được phản ánh khá rõ trong các mặt cắt đo bằng thiết bị Radar. Một số dị thường giá trị thấp kích thước nhỏ xuất hiện xung quanh khu nhà tại phía đông Hậu Lâu chủ yếu phản ánh đường ống nước và vật liệu có chứa kim loại. Các vị trí dị thường thấp màu xanh nhạt hơn đặc trưng cho nền đất bùn sét có thể là dấu tích của ao hồ cổ.

Tại sát mép phía đông của nhà Hậu Lâu phát hiện dị thường điện trở suất cao nhất chạy theo phương bắc - nam. Dấu hiệu này nhiều khả năng liên quan đến hầm ngầm tồn tại trong lòng đất. Có lẽ đường hầm này được xây bằng gạch không chứa sắt vì đo thử nghiệm thành phần từ ở đây không có giá trị cao. Riêng khu vực tiếp giáp với tường phía nam của Hậu Lâu phát hiện các dị thường điện trở suất cao, phân bố thành từng cụm, rất có thể các dị thường này liên quan đến các di tích bị vùi lấp. Tại đây trong các tài liệu đo điện trở và tài liệu địa chấn cũng cho kết quả tương tự.

4. Đối tượng bị vùi lấp ở phía đông nam nhà D67

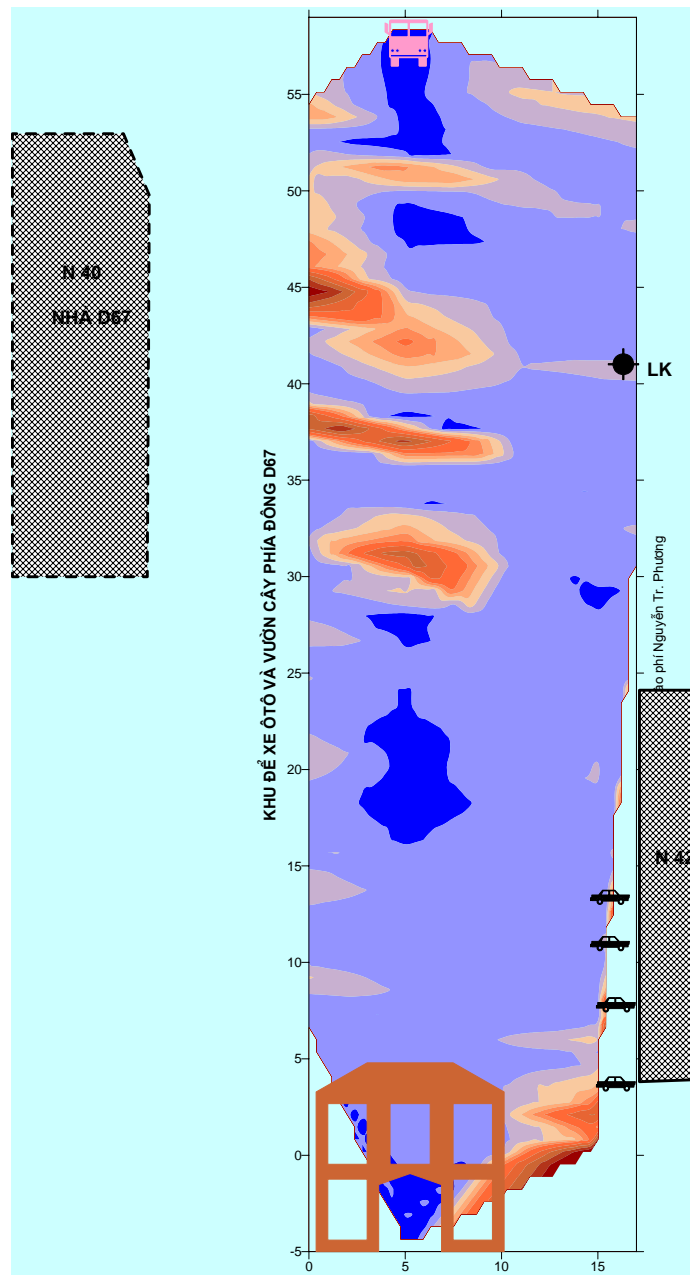
Tại khu vực này đã tiến hành đo 4 tuyến chạy theo phương bắc - nam, dài từ 55 đến 70 m. Kết quả đo đã phát hiện được một chuỗi gồm 4 dị thường điện trở suất cao phân bố ở phần phía bắc vườn cam trước nhưng lệch về phía đông nhà D67, hình dạng đẳng thước hoặc có trục theo phương đông - tây. Kích thước dị thường dài nhất khoảng 6 - 7 m, rộng khoảng vài ba mét (hình 2.42).

- Các dị thường phân bố ở phần bắc vườn cây tới hết đường nhựa còn có thể tiếp tục về phía nhà D67. Dấu hiệu này nhiều khả năng các dị thường ở đây phản ánh các đối tượng văn hoá cổ bị vùi lấp. Phần lớn diện tích còn lại màu xanh nhạt có điện trở suất tương đối thấp phản ánh nền đất gồm đất bùn sét có nguồn gốc ao, hồ. Điều này cũng được xác nhận bằng tài liệu khoan lấy mẫu tại điểm gần ngay nhà N44. Màu xanh đậm có điện trở suất thấp nhất có thể liên quan đến đường ống nước hoặc vật liệu chứa kim loại.

5. Kết quả khảo sát tại khu đền thờ An Dương Vương tại khu di tích Cổ Loa

Tại khu đền An Dương Vương trong quần thể di tích Cổ Loa đã tiến hành đo cả thành phần điện và thành phần từ bằng thiết bị ERA. Việc khảo sát được tiến hành phủ kín khu vườn bao quanh đền thờ bằng các tuyến đo cách nhau từ 3.5 - 5 m, khoảng cách giữa các điểm trên cùng 1 tuyến là 1 m.

Hình 2.42: Dị thường điện tại khu vực đông nam nhà D67 – khu Kính Thiên



Như đã nêu ở phần trên phép đo điện từ bằng thiết bị ERA chỉ cho phép đánh giá chiều sâu phân bố vật thể gây dị thường một cách định tính, bởi vậy để có cơ sở đánh giá độ sâu của các đối tượng gây dị thường thành phần điện và thành phần từ của trường điện từ cảm ứng đã tiến hành 1 tuyến đo cắt lớp điện trở từ phía góc tây nam trong vườn cây của đền thờ, tuyến khảo sát cũng cắt qua hố khai đào và kết thúc ở góc đông bắc vườn. Trên cơ sở kết quả đo đạc đã vẽ được bản đồ phân bố dị thường điện trở suất và dị thường từ cho cả khu vườn.

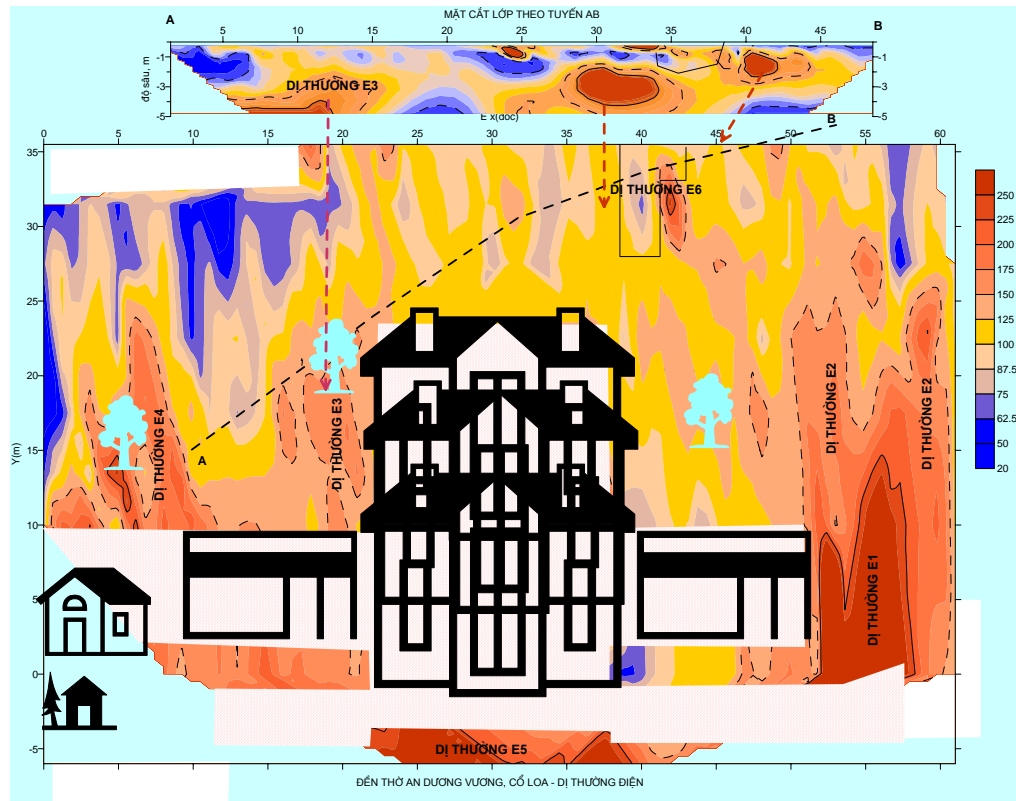
- Dị thường điện trở suất giá trị cao, kích thước khá lớn ở phía đông khu vực khảo sát có phương trục gần bắc - nam phản ánh nền đất rắn chắc có thể là đá laterite. Tiếp về phía tây dải dị thường này là phần trung tâm của vườn có giá trị điện trở suất trung bình (màu vàng là chủ yếu) phản ánh lớp đất sét không rắn chắc như vùng phía đông. Trong phần diện tích này cũng phát hiện được một dị thường điện trở suất cao nằm sát ngay mép phía đông của hố sản xuất mũi tên đồng đã được khai quật. Tiếp sang phần diện tích phía tây bắc khu vườn, giá trị điện trở suất giảm dần (màu xanh) phản ánh đất sét ẩm được đắp mở rộng dần qua các thời kỳ lịch sử (hình 2.43).

Tại phần diện tích tây nam khu đền thờ lại xuất hiện hai khối dị thường điện trở suất cao. Dị thường thứ nhất phân bố ngay gần rìa phía tây của khu đền thờ chính, khối thứ hai phân bố gần góc tây nam của khu, cả hai dị thường đều có phương trục bắc - nam. Nguồn gốc của hai dị thường này có thể là dấu tích của các công trình cổ, theo như trao đổi với các nhà khảo cổ, nhưng hiện tại vẫn chưa có bằng chứng xác nhận.

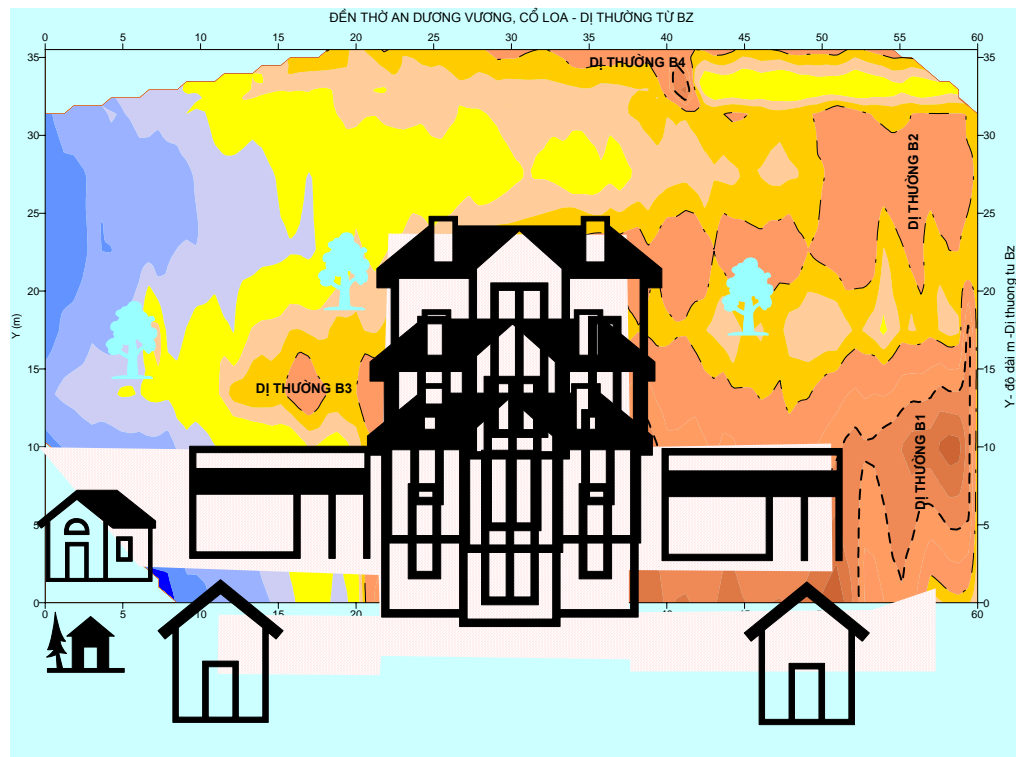
Bản đồ phân bố các dị thường thành phần từ, về cơ bản cũng tương đồng với bản đồ phân bố điện trở suất. Những vùng có điện trở suất cao nhiều nơi cũng có dị thường từ cao hơn, chứng tỏ các vật thể gây dị thường có chứa sắt từ. Dị thường từ ở mép phía tây khu đền thờ chính kích thước nhỏ hơn dị thường điện trở suất. Với kích thước không lớn lại nằm tách biệt như vậy thì dị thường này càng có khả năng phản ánh dấu tích của các công trình sản xuất cổ. Riêng dị thường điện trở suất ở góc tây nam khu đền thờ là vùng không có dị thường từ. Điều này cho khả năng suy đoán tại đây chỉ phân bố loại đất tương đối rắn chắc hơn các khu vực xung quanh nó (hình 2.44).

Kết quả đo cắt lớp điện trở trên tuyến khảo sát phát hiện điện trở suất cao (màu nâu đỏ) tại đoạn từ 5 đến 15 m với độ sâu bắt đầu từ hơn 2 m (hình 2.42) có thể liên quan đến loại đất rắn chắc như ở phần phía đông của khu vườn, nơi có điện trở suất cao trong bản đồ vẽ cho cả diện tích. Tại đoạn xung quanh điểm 30 m dọc tuyến đo đã phát

Hình 2.43: Phân bố điện trở suất tại Cổ Loa theo kết quả đo thành phần điện



Hình 2.44: Phân bố dị thường từ tại Cổ Loa theo kết quả đo thành phần từ



hiện dị thường nằm trong khoảng độ sâu từ 2 đến 4 m, dị thường này phản ánh khu vực hố đào là nơi sản xuất các mũi tên đồng. Trong mặt cắt còn có các dị thường điện trở suất thấp (màu xanh) gần trên mặt là đất sét ẩm, còn hai dị thường sâu dưới mốc 20m và 40 -45m (màu xanh) chưa lý giải được bản chất. Có thể đây là các giếng đào lấy nước đã bị vùi lấp ?

Từ các kết quả khảo sát nghiên cứu tại khu đền An Dương Vương có thể nhận xét sơ bộ như sau:

- Các dị thường thành phần điện và từ phản ánh các dấu tích cổ đã bị san lấp, trong đó dấu tích ở phía đông khu đền có nhiều lớp đất đắp tôn tạo có nhân ở trực dị thường. Thông tin này được các nhà khảo cổ quản lý khu đền xác nhận.

- Mặt bằng hiện tại được san lấp mở rộng về phía tây thể hiện từng lớp (màu xanh) kế tiếp .

- Dưới nền đất phân phía đông khu đền và một vài diện tích nhỏ hơn ở phía tây khu đền có dấu hiệu điện trở suất và đồng thời có từ tính cao có thể phù hợp với loại đất rắn chắc hay vật liệu đất nung và đá laterite

Nhận xét sơ bộ:

Các phương pháp điện từ tương tự như vừa nêu trên đã được sử dụng có hiệu quả ở nhiều nước trong phát hiện các di tích văn hoá cổ bị vùi lấp. Trong nhiều trường hợp người ta chỉ sử dụng một hai phương pháp, thậm chí 1 phương pháp trong số 3 phương pháp là đo từ, đo georadar hoặc đo điện trở đất lớp cũng đủ để giải quyết vấn đề đặt ra. Tuy nhiên qua việc đo thử nghiệm 3 phương pháp này trong khu Thành cổ Hà Nội đã bộc lộ một số hạn chế khi sử dụng chúng để phát hiện các đối tượng văn hoá cổ bị vùi lấp ở đây. Lý do chính là do môi trường khảo cổ ở đây phức tạp cả về điều kiện tự nhiên lẫn hậu quả tác động của con người lên nền đất.

Việc kết hợp cả ba phương pháp trên đã tạo được những cơ hội bổ sung các điểm khuyết của nhau, giúp cho công tác khảo sát nghiên cứu đạt kết quả. Tuy nhiên khi nghiên cứu các đối tượng khảo cổ bị vùi lấp người ta cũng cần nghiên cứu cả đặc tính của môi trường địa chất ở các lớp đất gần ngay bề mặt, tách biệt tầng văn hoá khỏi lớp đất hoàn toàn tự nhiên. Điều này thì ngay cả kết hợp ba phương pháp trên vẫn khó khẳng định. Hơn nữa trong khu Thành cổ có hệ thống hầm ngầm được xây dựng trong thời gian chiến tranh, các kết quả đo sâu điện đất lớp cũng có chỗ phân biệt được hầm

ngâm bằng giá trị điện trở suất cao do rỗng, nhưng nếu công trình chứa nhiều sắt thép thì bức tranh lại ngược lại nên nhiều khi cũng khó phân biệt. Các khảo sát nghiên cứu bằng một số phương pháp Địa Vật lý khác và địa chất trình bày trong chương 3 vừa nhằm mục đích thử nghiệm vừa tìm khả năng bổ sung những điểm khuyết của các phương pháp nêu trên trong công tác khảo sát nghiên cứu này.

CHƯƠNG III

KHẢO SÁT THỬ NGHIỆM BẰNG CÁC PHƯƠNG PHÁP ĐỊA VẬT LÝ KHÁC

Nhóm các phương pháp điện từ được trình bày trong chương II đã được sử dụng có hiệu quả trong nhiều phương án khảo cổ ở nhiều nước, tuy nhiên các kết quả thử nghiệm trong khu Thành cổ Hà Nội trong nghiên cứu các đối tượng cần quan tâm vẫn còn những khía cạnh chưa đủ khẳng định độ tin cậy trong các kết quả. Chẳng hạn ranh giới của tầng văn hoá, phân biệt các đối tượng văn hoá cổ bị vùi lấp với đối tượng khác trong môi trường cũng gặp khó khăn v.v... Các khảo sát nghiên cứu bằng các phương pháp Địa Vật lý khác trình bày trong chương này cũng với mục tiêu thử nghiệm, nhằm tìm kiếm các ưu điểm có thể bổ sung cho những điểm khuyết bộc lộ trong các phương pháp thuộc nhóm điện từ đã thử nghiệm. Các phương pháp được tiếp tục thử nghiệm ở đây bao gồm: phương pháp đo dị thường từ, phương pháp thăm dò địa chấn và phương pháp đo phản xạ tia gamma và neutron trong các lỗ khoan xuyên.

3.1. KẾT QUẢ KHẢO SÁT THỬ NGHIỆM BẰNG PHƯƠNG PHÁP ĐO TỪ

3.1.1. Về tiền đề sử dụng phương pháp từ trong khảo cổ và lựa chọn các diện tích khảo sát trong khu Thành cổ

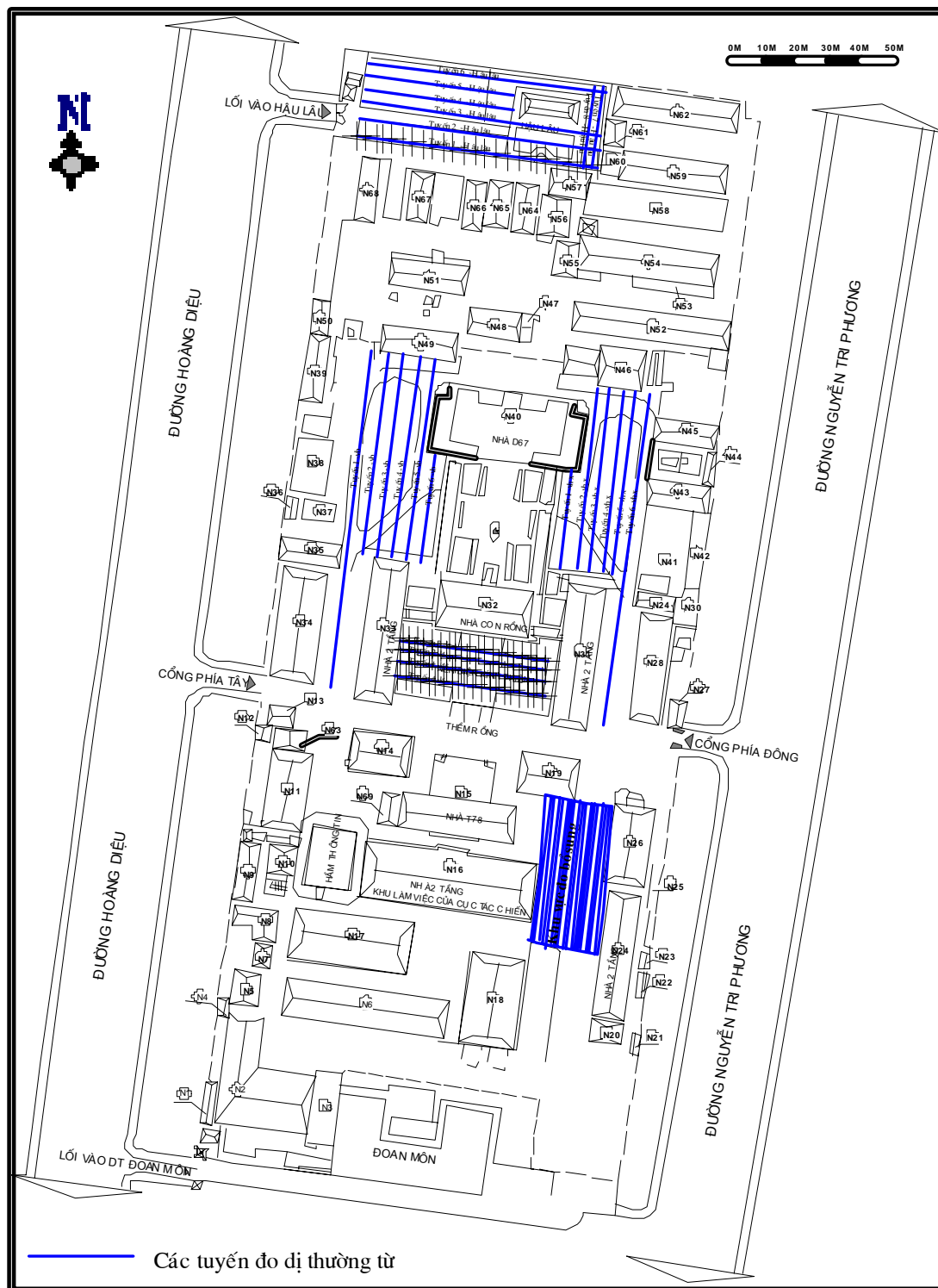
Trong thực tế thì phương pháp từ là phương pháp được sử dụng rất phổ biến trong nhiều dự án khảo cổ và đã cho kết quả khả quan. Cơ sở để sử dụng phương pháp từ trong các nghiên cứu địa chất dựa trên khả năng nhiễm từ khác nhau của các loại đất đá với những điều kiện thành tạo khác nhau. Từ trường Trái Đất luôn biến đổi theo thời gian gây ra hiện tượng cảm ứng từ, còn đất đá thành phần thạch học khác nhau có khả năng nhiễm từ không giống nhau, chính là do độ dẫn điện của chúng khác nhau. Yếu tố cuối cùng lại phụ thuộc vào thành phần vật chất, cấu trúc tinh thể v.v... Do từ trường Trái Đất thuộc loại trường thế, nghĩa là cường độ trường từ đo được trên mặt đất là trường tổng cộng của tất cả các đối tượng nhiễm từ khác nhau phân bố trong lòng đất tại khu vực khảo sát [5]. Độ suy giảm cường độ từ trường tỉ lệ nghịch với bình phương khoảng cách tương tự như trường trọng lực. Tính chất này phản ánh các đối tượng phân bố tại gần các điểm đo thể hiện biên độ trội hơn so với các đối tượng ở xa hơn. Do vậy biên độ

các dị thường còn phụ thuộc vào các tham số khác như: độ nhiễm từ, phân bố của véc tơ từ hoá v.v... Bằng nhiều biện pháp, công nghệ sử dụng trong khâu xử lý phân tích tài liệu người ta có thể làm phản ánh rõ hơn các đối tượng cần quan tâm và làm mờ đi các đối tượng nhiễu [4,5].

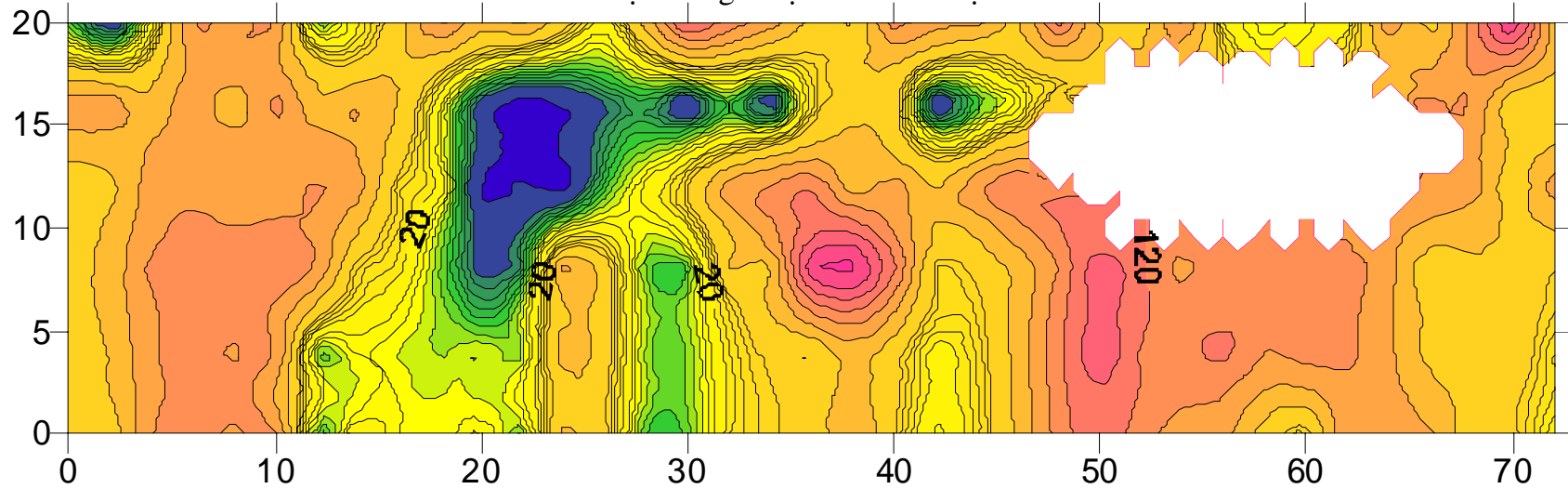
Các đối tượng khảo cổ được cấu thành từ các vật liệu do con người tạo ra như gạch, đồ gốm, sứ, đồ đồng, hoặc các vật liệu tự nhiên do con người khai thác từ nơi khác đưa về xây dựng các công trình cổ. Thường thì tính chất từ của các vật liệu này khác với đất đá trong môi trường địa chất vây quanh. Đây chính là dấu hiệu cho ta khả năng sử dụng phương pháp thăm dò từ phát hiện các vùng có đối tượng khảo cổ bị chôn vùi. Theo thống kê, nghiên cứu của các nhà Địa Vật lý tham gia giải quyết nhiều công trình khảo cổ thì giữa môi trường đất tự nhiên với các vật liệu của các nền văn hoá cổ thường có sự khác biệt về từ tính [4,5], đặc biệt là gạch nung và các mảnh vỡ của chúng. Chính đặc điểm này cộng với việc thi công đơn giản nên phương pháp từ là một trong những phương pháp đầu tiên thâm nhập được vào lĩnh vực khảo cổ từ những năm 50 của thế kỷ trước [8]. Tuy nhiên cũng cần thấy rằng, nhiều dự án khảo cổ được thực hiện trên các địa điểm thuận lợi không bị chồng lấn bởi các hệ thống công trình hiện đại vốn thường chứa nhiều sắt thép, có thể gây dị thường từ lẫn át các tín hiệu do các di tích cổ gây nên. Môi trường khảo cổ trong khu Thành cổ Hà Nội có những đặc điểm như vừa nêu, nên tiền đề để mong hiệu quả áp dụng phương pháp đo từ cũng khá mỏng manh, tuy nhiên việc thử nghiệm vẫn được tiến hành tại một số vị trí được coi là ít nguồn gây nhiễu.

Trước khi tiến hành đo từ chúng tôi đã tham khảo các tài liệu đo thăm dò điện bằng thiết bị đa cực và đã lựa chọn được một số vị trí có khả năng có nhiều đối tượng bị vùi lấp. Do trong khu vực Thành cổ có nhiều đối tượng cũng có thể gây ra hiệu ứng từ cục bộ như hệ thống điện, đường ống dẫn nước, các công trình nhà cửa, hàng rào v.v... có sử dụng vật liệu chứa sắt nên công tác đo đạc chỉ thực hiện được tại một số vị trí rất hạn chế. Sau khi đã lựa chọn sơ bộ phép đo ban đầu trên các diện tích này được tiến hành nhanh tại một số điểm khá thưa, phân bố tương đối đều trên diện tích. Vùng được chọn đo chi tiết tiếp tục nếu số đo tại các điểm thử không thay đổi quá thất thường trong thời gian đo thử và phải đảm bảo tương đối xa các vật thể chứa sắt. Bằng cách làm như trên tại 4 diện tích hạn chế trong khu Kính Thiên và Hậu Lâu đã được tiến hành đo chi tiết (hình 3.1). Trong số đó có 3 diện tích trong khu Kính Thiên, gồm sân điện Kính Thiên và hai diện tích trong khu vườn hồng xiêm và vườn cam phân bố về hai phía tây

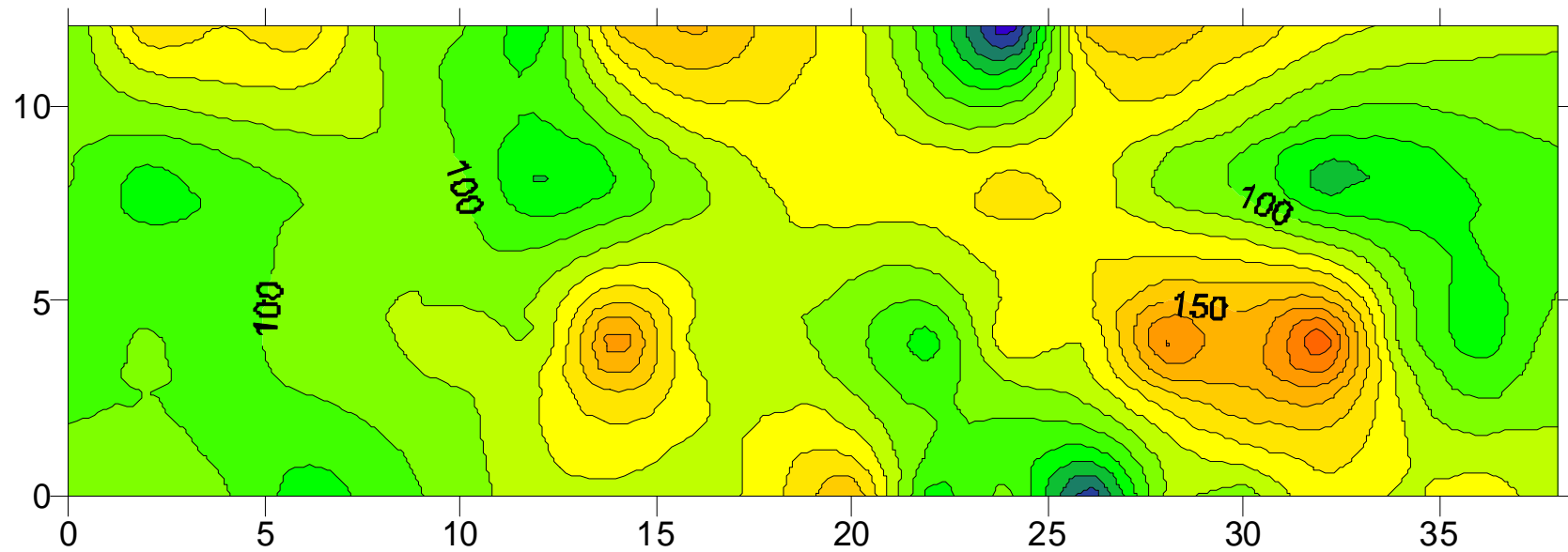
Hình 3.1: Vị trí các diện tích đo từ trong khu Thành cổ



Hình 3.2: Dị thường từ tại khu vườn Hậu Lâu



Hình 3.3: Dị thường từ tại khu nền sân rồng - điện Kính Thiên



và đông của sân trước nhà D67. Phép đo được thực hiện theo mạng lưới điểm khá dày: 2m x 2m, đảm bảo ghi được cả hiệu ứng từ của những vật thể kích thước nhỏ hoặc phân bố khá sâu.

3.1.2. Kết quả khảo sát

Với các điều kiện như mô tả trên chúng tôi đã tiến hành đo từ tại 4 vị trí chi tiết, 3 vị trí trong khu điện Kính Thiên đó là nền điện Kính Thiên, khu vườn bưởi và vườn hồng xiêm phía sau nhà con Rồng. Vị trí thứ 4 là toàn bộ diện tích của khu Hậu Lâu. Trên các diện tích trên chúng tôi đã tiến hành đo đạc tại 22 tuyến đo với trên 1000 điểm đo số liệu. Công việc đo đạc trường từ tại khu vực này được tiến hành với 2 máy đo từ GMP-23 được sản xuất tại Canada. Một máy đo tiến hành thu thập số liệu trên các tuyến đo, một máy tiến hành đo biến thiên từ tại một điểm cố định để theo dõi sự thay đổi của trường từ do ảnh hưởng của gió mặt trời. Trong thực tế vào những ngày bình thường (không có bão từ) trường biến thiên này là không lớn (khoảng vài nT). Các máy đo là máy hiện số, tại mỗi vị trí đo các giá trị trường từ được đọc 3 lần để loại bỏ sai số ngẫu nhiên tăng độ tin cậy của phép đo. Trong quá trình đo đạc trên các tuyến số liệu đo ghi được kèm theo với toạ độ, vị trí điểm đo và thời gian đo để tiến hành hiệu chỉnh trường từ biến thiên. Số liệu đo biến thiên tại mỗi khoảng thời gian 5 phút một lần được dựng đồ thị cho từng ngày và được tính quy về một thời điểm trong ngày. Với cách tính như vậy tài liệu từ đo trên các tuyến sau khi hiệu chỉnh biến thiên sẽ loại bỏ được các ảnh hưởng ngoài trái đất và cũng được quy ước là quan sát tại cùng một thời điểm.

1. Khu Hậu Lâu: tại khu Hậu Lâu đã tiến hành được 7 tuyến đo dọc theo phương tây - đông và 2 tuyến ngang với 260 điểm đo. Các điểm đo được bố trí từ tây sang đông với khoảng cách 2 mét trên các tuyến cách đều. Phần phía đông khu Hậu Lâu được bố trí 2 tuyến đo ngang để bổ sung đan dày số liệu tại khu vực này. Trường từ tại khu Hậu Lâu có giá trị dao động trong khoảng từ -100 đến +120, với các vùng có giá trị âm dương xen kẽ. Tại khu vực khoảng 20 đến 25 mét tính từ mép sân nhà bảo vệ Hậu Lâu trường từ thể hiện khoảng giá trị âm cực đại nằm xen kẽ với giá trị trường dương (hình 3.2). Khối trường từ giá trị âm này có chiều dài >10 m, rộng hơn 5 m nằm theo phương bắc nam. Sự thay đổi của trường từ từ âm sang dương tại khu vực này có thể liên quan đến một bất đồng nhất nào đó trong lòng đất. Đối chiếu với các kết quả khảo sát khác thì tại

khu vực này phát hiện một tập hợp đối tượng liên quan đến các di chỉ khảo cổ bị vùi lấp ở độ sâu lớn hơn 2 mét.

2. *Khu nền sân điện Kính Thiên*: tại khu sân điện Kính Thiên đã tiến hành đo trên 7 tuyến dài 40 mét, khoảng cách các tuyến là 2 mét. Tổng số điểm đo tại khu vực này là 147 điểm. Trường từ tại khu vực này bao gồm các khối âm dương nằm xen kẽ nhau. Phía tây của sân điện Kính Thiên thể hiện giá trị trường từ thấp hơn, tại phần giữa sân trường từ tạo thành các khối nhỏ có giá trị âm dương xen kẽ, phần phía đông của sân thể hiện giá trị thấp nhỏ hơn 100 nT (hình 3.3). Biểu hiện của sự thay đổi trường từ trong khu vực này có thể liên quan đến các đối tượng có khả năng nhiễm từ: như sắt thép, vật liệu xây dựng cổ.... Thực tế tại khu vực Thành cổ do đã trải qua nhiều thời kỳ khác nhau, chịu tác động mạnh mẽ của các hoạt động con người từ cổ đến hiện đại, nên các dị thường từ này có thể liên quan đến các vật liệu xây dựng cổ nhưng cũng có thể liên quan đến các ống thép dẫn nước sinh hoạt mới được lắp đặt trong thời gian gần đây.

3. *Khu vườn bưởi*: tại khu vực này đã tiến hành 10 tuyến đo với 320 điểm đo. Giá trị trường tại khu vực này dao động từ -120 đến +120 nT. Trên khu vực này thể hiện 2 khối trường từ giá trị âm nằm xen kẽ với các khối trường có giá trị dương. Các khối giá trị âm dương này phân bố thành dải nằm lệch về phía đông của khu vực đo đạc. Về phía tây của khu vực này trường từ đạt giá trị lớn hơn và đều mang giá trị dương (hình 3.4).

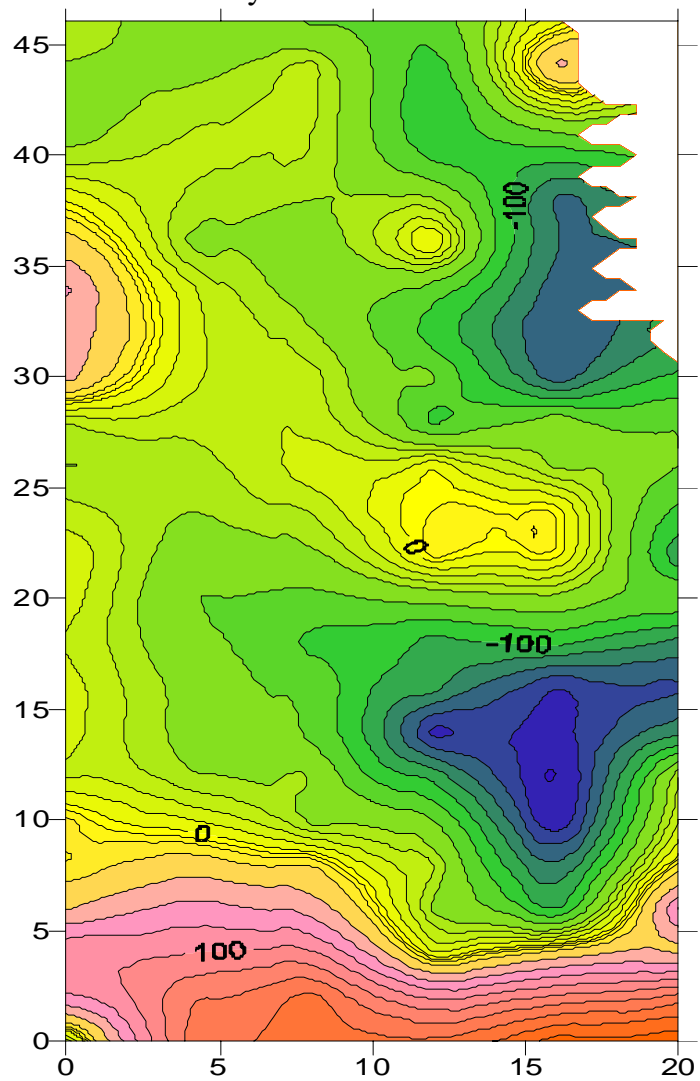
4. *Khu vườn hồng xiêm*: khu vực này nằm đối diện với khu vườn bưởi qua sân, về phía đông bắc của khu nền điện Kính Thiên. Tổng số điểm đo tại phân diện tích này là 306 điểm. Trường từ khu vực này có giá trị dao động trong khoảng từ - 90 đến + 120 nT. Trên sơ đồ phân bố trường từ thì phần phía nam và phía tây bắc trường từ có giá trị dương. Tại phần trung tâm trường từ tạo thành một cặp đối dấu với giá trị nằm trong khoảng - 60 đến + 20 nT. Các khối này nằm thành dải có phương bắc nam (hình 3.5). Sự sắp xếp có tính quy luật này của các dị thường từ có lẽ phản ánh một tập hợp mang tính hệ thống nào đó của các đối tượng trong lòng đất.

Còn có 1 diện tích được đo ở phía nam cổng phía đông nhưng bức tranh dị thường từ cũng rất khó liên kết nên không mô tả thêm trong báo cáo này.

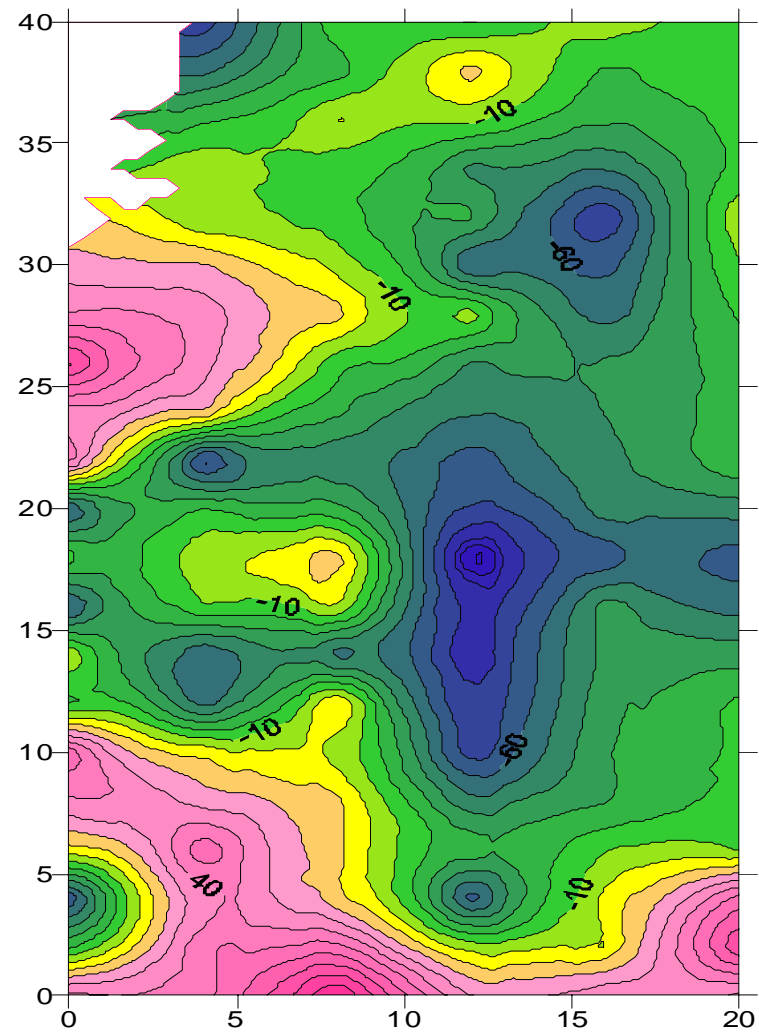
Kết luận

Qua việc tiến hành khảo sát tại một số khu vực cụ thể trong Thành cổ Hà Nội cho thấy trường từ tại khu vực phản ánh sự bất đồng nhất trong lòng đất. Các dấu hiệu chuyển dấu của giá trị trường từ tại khu vực này có thể liên quan đến các đối tượng bị

Hình 3.4: Dị thường từ tại khu vườn
tây nam nhà D67



Hình 3.5: Dị thường từ tại khu vườn
hồng xiêm đông nam nhà D67



nhằm từ chôn vùi trong lòng đất. Các đối tượng này có thể là các sản phẩm có liên quan đến khảo cổ nhưng cũng có thể liên quan đến các hoạt động dân sinh hiện đại rất khó phân biệt. Thực tế tại khu vực khảo sát do hệ thống các ống dẫn nước kim loại, cũng như các vật dụng khác bằng sắt thép đã cản trở công tác tiến hành đo trường từ tại khu vực. Cũng chính vì lý do này mà việc tiến hành đo đặc trường từ chỉ tiến hành được trên một diện tích hạn chế như vậy.

3.2. PHƯƠNG PHÁP ĐO THĂM DÒ ĐỊA CHẤN

Trong tổ hợp các phương pháp Địa Vật lý sử dụng trong nghiên cứu khảo cổ, phương pháp địa chấn không phải là phương pháp chủ đạo do tính đặc thù của nó là dựa trên việc thu sóng khúc xạ hoặc phản xạ từ ranh giới các lớp đất đá, mà các sóng này ít khi được sinh ra trực tiếp từ các đối tượng khảo cổ, thường là do chiều dày của chúng quá nhỏ. Tuy nhiên, tùy theo đối tượng và mục đích nghiên cứu, phương pháp địa chấn thăm dò có thể cung cấp thông tin bổ sung vào nghiên cứu khảo cổ, đó là:

- Nghiên cứu chi tiết môi trường địa chất nơi có đối tượng khảo cổ
- Phát hiện một số đối tượng ngầm dưới lòng đất có kích thước đủ lớn và có độ phân dị về vận tốc truyền sóng.

Với ý nghĩa như vậy, chúng tôi đã thử áp dụng phương pháp địa chấn thăm dò vào việc nghiên cứu khu Di tích Thành cổ Hà Nội, tại đây ngoài các đối tượng khảo cổ còn có hệ thống hầm ngầm được xây dựng trong thời gian chiến tranh.

3.2.1. Sơ lược về phương pháp địa chấn

Phương pháp địa chấn thăm dò gồm hai nhóm phương pháp chính là phương pháp địa chấn phản xạ và phương pháp địa chấn khúc xạ. Cả hai phương pháp này đều vẫn song song tồn tại từ lâu và vẫn luôn được phát triển, hoàn thiện cả về thiết bị khảo sát lẫn công nghệ xử lý phân tích tài liệu.

Phương pháp địa chấn phản xạ thu sóng phản xạ từ các tầng dưới đất tuy phức tạp hơn nhưng về nguyên tắc tương tự như phương pháp hồi âm dùng để đo độ sâu đáy biển hay phương pháp radar xác định khoảng cách đến mục tiêu. Phương pháp địa chấn khúc xạ thu sóng khúc xạ trượt dọc theo các ranh giới đó.

Sóng khúc xạ và sóng truyền thẳng kể từ một khoảng cách nhất định kể từ điểm gây dao động bao giờ cũng đến sớm nhất. Điều đó làm đơn giản hóa việc xác định sóng

và thời gian truyền sóng, quá trình phân tích và xử lý số liệu cũng đơn giản hơn, do vậy cũng dễ hiện thực hơn trong khâu xử lý phân tích. Sóng phản xạ bao giờ cũng xuất hiện muộn hơn sóng khúc xạ, bởi vậy việc xác định loại sóng này thường phức tạp hơn, đòi hỏi người xử lý phân tích phải có đủ kinh nghiệm. Do độ sâu nghiên cứu thường không lớn nên để tạo ra nguồn sóng, ngoài cách nổ mìn, người ta có thể sử dụng các nguồn khác như đập búa, kíp mìn, máy rung v.v...

Việc khảo sát địa chấn trong khu Thành cổ được tiến hành bằng phương pháp địa chấn khúc xạ.

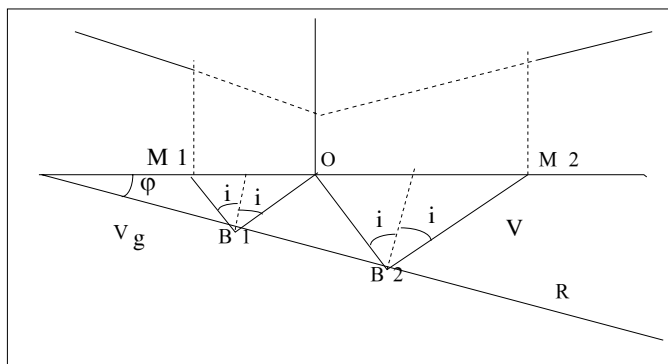
3.2.1.1. Về phương pháp địa chấn khúc xạ

Giả sử trên bề mặt quan sát ta có điểm nổ (điểm gây sóng) A và thu sóng ở điểm B còn ranh giới giữa hai lớp (1) và (2) là CD. Nếu sóng đi từ điểm A qua lớp 1 thì nó có thể đi lên điểm B theo một quỹ đạo sao cho thời gian truyền sóng là nhỏ nhất (*nguyên lý Fecma*).

Nếu gọi góc φ là góc biểu kiến của mặt ranh giới R và tuyến quan sát trên mặt đất còn v là vận tốc lớp trên, v_g là vận tốc lớp dưới. Sóng khúc xạ chỉ xuất hiện nếu $v_g > v$. Sóng đầu chỉ xuất hiện khi sóng trượt dọc theo bề mặt ranh giới nếu góc tới của tia sóng đạt giá trị tới hạn i :

$$\sin(i) = v/v_g \quad (3.1)$$

Sóng đầu xuất hiện trước tiên ở điểm B₁ và B₂ khi từng sóng tạo góc i so với mặt R. Bởi vậy sóng đầu có thể quan sát được trên mặt đất chỉ ở các điểm nằm bên phải điểm M₂ và bên trái điểm M₁ còn trong đoạn M₁M₂ thì không thể quan sát được.



Hình 3.6 - Sơ đồ mô tả bản chất của phương pháp địa chấn

Đoạn này gọi là "vùng chết" và như vậy biểu đồ thời khoảng của sóng đầu tạo thành hai

phần gọi là hai nhánh: nhánh trái G_t và nhánh phải G_f . Các điểm M_1 và M_2 gọi là các điểm đầu của biểu đồ thời khoảng sóng đầu.

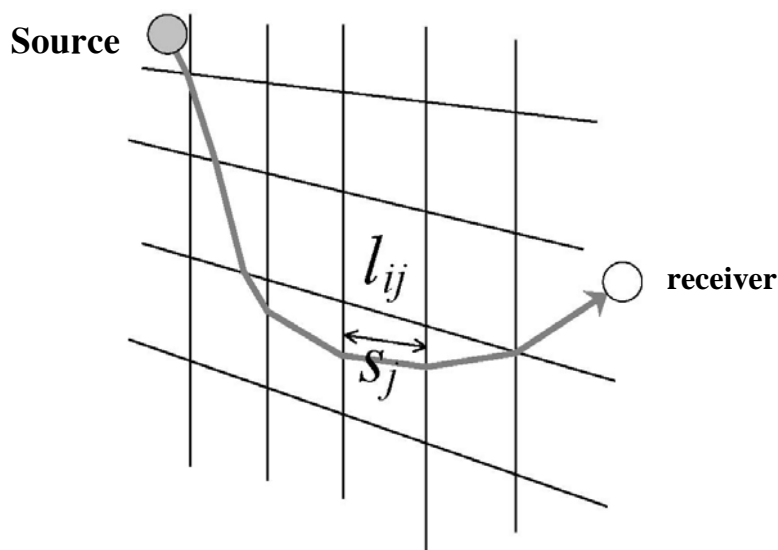
Nếu bề mặt ranh giới phẳng thì biểu đồ thời khoảng của sóng đầu là hai nửa đường thẳng trái và phải. Nếu bề mặt ranh giới là mặt cong thì biểu đồ thời khoảng cũng là đường cong. Khi lát cắt bằng tổng của nhiều ranh giới khúc xạ thì ta nhận được nhiều đoạn của các biểu đồ thời khoảng.

Như đã nói ở trên, phương pháp địa chấn khúc xạ được ứng dụng để nghiên cứu môi trường gồm các lớp có vận tốc tăng theo chiều sâu (vận tốc của mỗi lớp đều lớn hơn các lớp nằm trên). Bởi vậy khi lát cắt có một lớp có vận tốc rất cao thì lớp đó gây khó khăn cho việc thu sóng từ các lớp sâu hơn (lớp chắn). Song nếu bề dày của lớp này nhỏ hơn bước sóng thì "hiệu ứng chắn" cũng nhỏ đi nhiều và ta vẫn nhận được sóng đi từ các lớp sâu hơn. Các vật thể bị vùi lấp có kích thước không quá nhỏ và vận tốc truyền sóng cao cũng sẽ được phản ánh trong mặt cắt địa chấn.

3.2.1.2. Xử lý và phân tích số liệu

Để xử lý tài liệu đo được, chúng tôi còn sử dụng phần mềm xử lý thích hợp cho môi trường có nhiều bất đồng nhất ngang là *PLOTREFA* có trong bộ phần mềm xử lý tài liệu đo địa chấn *SEISIMAGER* của hãng *OYO* (Mỹ - Nhật, 12/2003). Trong phần mềm *SEISIMAGER* mặt cắt địa chấn được xây dựng bằng phương pháp cắt lớp (*tomographic method*). Đầu tiên cần phải xây dựng mô hình vận tốc đơn giản theo chiều sâu: vận tốc nhỏ nhất và lớn nhất với các độ sâu tương ứng. Để làm việc này có thể sử dụng mọi thông tin liên quan như địa chất, tài liệu lỗ khoan, các tài liệu Địa Vật lý khác, kể cả kết quả phân lớp vận tốc truyền sóng địa chấn bằng phần mềm phân lớp như phần mềm SIP, v.v... được huy động. Sau đó chương trình tính đường đi của sóng địa chấn truyền trong môi trường để tính được thời gian sóng đến (gọi là *biểu đồ thời khoảng lý thuyết*) so sánh với thời gian sóng đến trên biểu đồ thời khoảng đo được trên thực tế (*biểu đồ thời khoảng thực tế*). Mô hình môi trường (vận tốc cùng độ sâu các lớp) được thay đổi nhiều lần theo các thuật toán của phương pháp quy hoạch cho đến khi sai số giữa *biểu đồ thời khoảng lý thuyết* và *biểu đồ thời khoảng thực tế* là nhỏ nhất. Thực chất của phương pháp này là tìm thời gian nhỏ nhất của mỗi tia sóng đi từ từng cặp điểm nổ - điểm thu qua rất nhiều (đến hàng chục vạn) các ô nhỏ đơn vị (*cell*) của mặt cắt là nhỏ nhất khi ta thay đổi 2 tham số môi trường là l - tia sóng và s - nghịch đảo vận tốc ($1/v$) mô hình môi trường

(hình3.7). Phương pháp quy hoạch được sử dụng là phương pháp bình phương tối thiểu.



Hình3.7: Sơ đồ tia sóng đi từ điểm nổ đến điểm thu trong môi trường.

Phần mềm thứ 2 có tên SIP do hãng phần mềm **Rimrock Geophysics** (Mỹ) sản xuất. Ngoài các tính năng như phần mềm thứ nhất trong xử lý băng sóng, bộ chương trình SIP còn có chế độ zoom riêng cho từng cửa sổ trên 1 kênh riêng biệt và thực hiện phép lọc tần số hay làm trơn riêng từng kênh hoặc toàn bộ băng sóng. Vận tốc sóng được tính cả trên biểu đồ thời khoảng cũng như tổng hợp trên các biểu đồ thời khoảng xuôi - ngược (*phương pháp Hopson - Overton*). Kết quả phân tích định lượng được tính trên cơ sở tính mô hình tia sóng ở mặt khúc xạ trên cùng (gần mặt đất nhất) so sánh với biểu đồ thời khoảng ở lớp tương ứng và chọn độ sâu mặt khúc xạ sao cho sai số nhỏ nhất bằng phương pháp tối thiểu hoá. Sau đó phần mềm, bằng phương pháp toán học *hạ* tất cả các đầu thu cũng như điểm nổ xuống mặt trên của lớp thứ 2 và tất cả lại tiếp tục như đối với lớp thứ nhất (*phương pháp bóc lớp*). Quá trình lặp lại cho đến lớp dưới cùng. Khi xử lý số liệu khảo sát ở Thành cổ Hà Nội, cả 2 phần mềm trên được sử dụng bổ sung cho nhau để có thể đưa ra kết quả khảo sát một cách đáng tin cậy nhất. Tuy nhiên ở đây có điểm đặc biệt phải tính đến so với các đối tượng thông thường khác là sự tồn tại khá phổ biến của các vật thể nhân tạo ở dưới sâu.

3.2.2. Khối lượng công việc và kết quả khảo sát

3.2.2.1. Khối lượng khảo sát và hệ thiết bị quan sát

Công tác khảo sát địa chấn trong khu Thành cổ nhằm xác định chi tiết sự phân bố địa tầng của các lớp đất nằm ngay dưới bề mặt quan sát và xác định vị trí một số loại công trình ngầm có phân dị về vận tốc truyền sóng như nắp hầm ngầm bằng sắt hoặc bê tông, nền đường cũ đã bị vùi lấp... Trên cơ sở khảo sát địa hình, địa vật trong khu Thành cổ đã tiến hành thiết kế 23 tuyến đo, đảm bảo thu nhận được thông tin về môi trường lòng đất khái quát cho cả phạm vi nghiên cứu. Trong đó, tại các vị trí có tài liệu đối chứng như hố khai quật đường gạch ở Đoan Môn, hố khai quật ở Hậu Lâu, vị trí xung quanh các hầm ngầm đã có chỉ thị nhận biết đều được thiết kế tuyến đo. Ngoài ra, một số tuyến đo khác cũng được thiết kế trùng vào vị trí các tuyến đã đo bằng phương pháp điện trở cắt lớp và phương pháp khác, nhằm có thông tin đa chiều để giải thích kết quả, đặc biệt những tuyến đã phát hiện các dấu hiệu được dự đoán liên quan đến các đối tượng văn hoá cổ bị vùi lấp. Trong số đó, tại khu Hậu Lâu có 4 tuyến đo, khu tập thể K75 cũng có 4 tuyến, khu Đoan Môn có 5 tuyến và nhiều nhất trong khu Kính Thiên gồm 10 tuyến. Tổng chiều dài các tuyến đo trong khu vực nghiên cứu là 1908 m, tương ứng với 70 điểm đo thăm dò địa chấn. Vị trí các tuyến sau khi lựa chọn đã được đưa lên bản đồ mặt bằng khu vực nghiên cứu tỷ lệ 1:1000. Đa số các tuyến đo (21 tuyến) có phương á vĩ tuyến, chỉ có 2 tuyến có phương á kinh tuyến là tuyến T21 và T22 (hình 3.8).

Do các lớp đất gần bề mặt trong khu Thành cổ có tính bờ rời cao, phân dị về vận tốc truyền sóng không lớn, và lại độ sâu cần khảo sát nghiên cứu cũng không lớn hơn 15 m và cần phải nghiên cứu chi tiết để không bỏ qua các cấu trúc có kích thước tương đối nhỏ, chúng tôi đã tiến hành đo theo quy trình sau:

Khoảng cách giữa các cực thu trên phần lớn các tuyến đo là 2.5 m, riêng các máy thu dọc theo tuyến T21 tăng lên đến 5 m. Tuyến đo này dài với mục đích xem xét các tầng đất sâu hơn. Các tuyến đo trên sân điện Kính Thiên khoảng cách giữa các máy thu lại giảm xuống còn 2 m (tuyến T19 và T20). Tại mỗi trạm máy đặt bố trí 4 điểm nổ về 2 phía của trạm máy, hai điểm nổ xa cách 2 máy thu đầu và cuối một khoảng cách như nhau 27,5 đối xứng về 2 phía so với máy thứ nhất và máy cuối cùng ở 2 đầu dây tương ứng. Hai điểm gây dao động khác được thực hiện tại vị trí của máy thu thứ nhất và máy thu cuối cùng trong một trạm máy. Riêng trên tuyến T21 ngoài 4 điểm nổ như trên còn bổ sung thêm 1 điểm nổ ở giữa trạm máy.

Công tác đo đạc khảo sát địa chấn trong khu di tích Thành cổ Hà Nội gặp phải 2 điểm bất lợi lớn, đó là:

- Nhà cửa và các công trình khác được xây dựng dày đặc gây khó khăn cho việc bố trí tuyến đo.

- Phong nhiễu rất cao do các phương tiện giao thông trên các tuyến phố Hoàng Diệu và Nguyễn Tri Phương gây ra. Để khắc phục, chúng tôi áp dụng biện pháp tránh đo vào giờ cao điểm của giao thông và tạo sóng mạnh hơn bằng cách đập búa nhiều lần hơn tại mỗi điểm nổ.

- Do hầu hết mặt bằng khu vực nghiên cứu đã được bê tông hoá hoặc trải nhựa nên điều kiện tạo sóng (đập búa) và cắm máy thu gặp khó khăn, chúng tôi đã khắc phục bằng cách sử dụng nhiều loại đe khác nhau kể cả đe bằng gỗ và chế tạo các bộ gá chuyên dụng luôn giữ cho máy thu tiếp xúc với đất theo phương thẳng đứng.

Tuyến đo gồm các trạm máy đặt liên tiếp nhau cho đến hết tuyến, trong đó vị trí kênh cuối của trạm cũ trùng với vị trí kênh đầu của trạm mới.

Đó là hệ quan sát đầy đủ, trong đó mỗi điểm nổ được lặp lại 2 lần với các trạm máy khác nhau, kết quả ta nhận được 2 biểu đồ thời khoảng xuôi và 2 biểu đồ thời khoảng ngược tại mỗi trạm máy.

Để tạo sóng địa chấn, chúng tôi sử dụng phương pháp đập búa tạ. Do máy có chế độ cộng sóng nên ở các điểm nổ xa, hoặc phong nhiễu cao như khu Thành cổ ta có thể đập nhiều lần (thực tế thi công có điểm đã đập đến trên 50 lần). Tài liệu khảo sát cho thấy phương pháp tạo sóng này cho phép thu được các băng ghi sóng có chất lượng đảm bảo.

Việc thu sóng đã được thực hiện bằng sử dụng máy địa chấn thăm dò ghi kỹ thuật số BISON - 5000 do hãng **Bison Instruments** (Mỹ) chế tạo. Máy gồm 12 kênh, số liệu thu được sau mỗi lần gây dao động được lưu giữ trong bộ nhớ của máy và sau đó được chuyển vào máy tính qua cổng truyền tín hiệu R232. Máy có chế độ lọc sóng tần số thấp thay đổi từ 0 đến 375 Hz và tần số cao đến 2000 Hz.

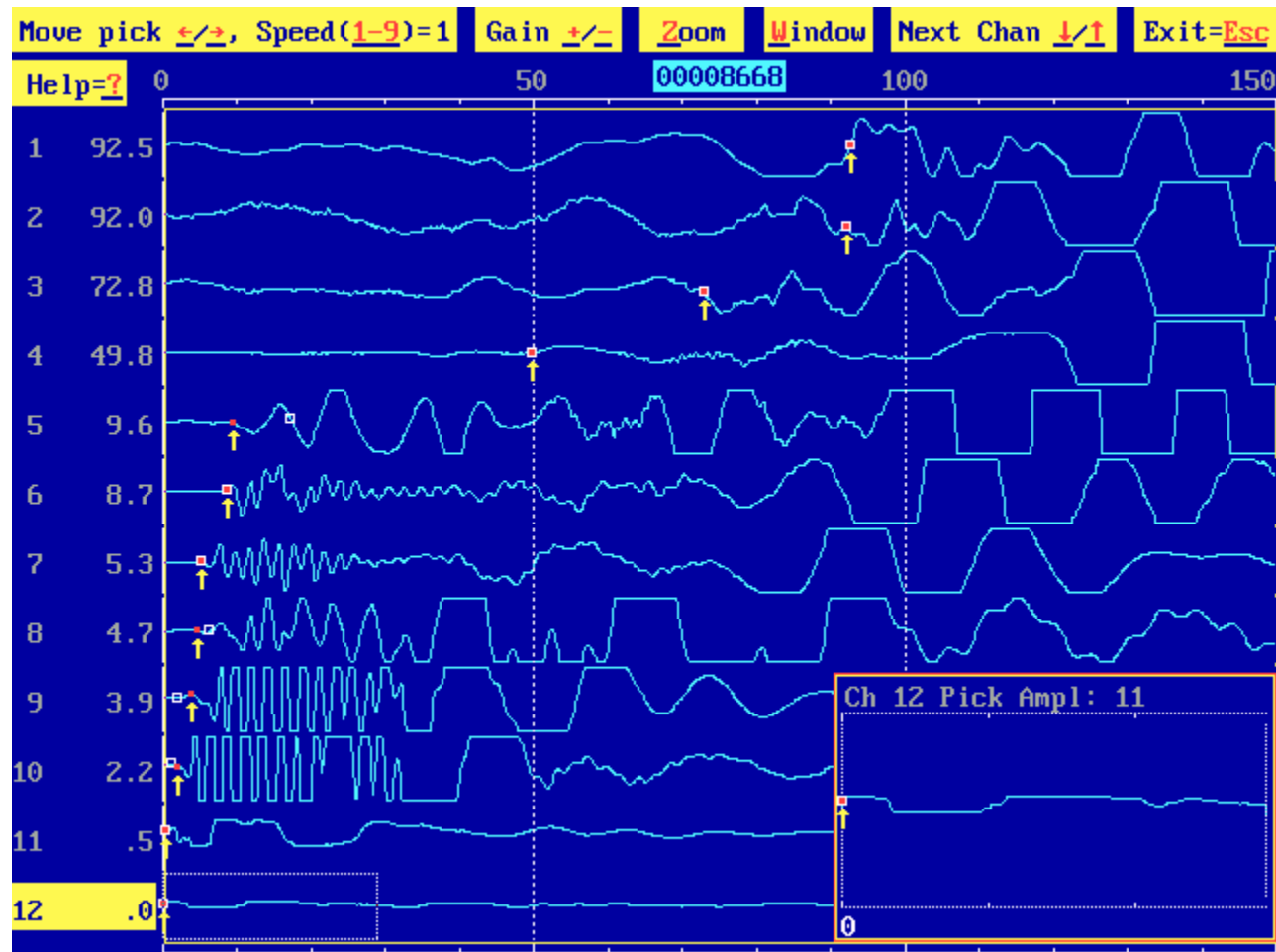
3.2.2.2. Kết quả xử lý phân tích tài liệu

Khi xử lý số liệu khảo sát ở Thành cổ Hà Nội, cả 2 phần mềm SIP và

PLOTREFA đều được sử dụng cho tất cả các tuyến đo nhằm bổ sung cho nhau để có thể đưa ra kết quả nhiều thông tin nhất. Tuy nhiên ở đây có điểm đặc biệt phải tính đến yếu tố khác thường là sự tồn tại khá phổ biến của các vật thể nhân tạo đa dạng trong lòng đất. Qua phân tích liên kết đặc điểm các băng sóng thu được với hiện trạng một số đối tượng như tính phân lớp trong môi trường địa chất gần bề mặt, khu vực có các hầm ngầm, các đường lát gạch bị vùi lấp có thể thấy, giá trị vận tốc trong lớp thứ nhất thường thay đổi trong khoảng 350 đến hơn 700 m/s, lớp thứ 2 khoảng hơn 1000 đến khoảng hơn 1300 m/s, còn lớp thứ 3 thường thay đổi trong khoảng 1700 đến hơn 2000m/s. Như vậy các giá trị vận tốc thay đổi bất thường ở các độ khác nhau có thể liên quan đến các đối tượng nhân tạo, đặc biệt là thay đổi ở khoảng độ sâu từ 4 m trở lại. Trong thực tế khảo sát đã bắt gặp giá trị vận tốc trên 3000 m/s ở độ sâu còn nhỏ hơn 2 m, như một cấu trúc vòng lên trong mặt cắt. Dấu hiệu này phản ánh các hầm ngầm có nắp kim loại hoặc bê tông. Giá trị vận tốc v nhỏ hơn cỡ 2000 m/s ở các độ sâu nhỏ hơn 4 m, nhiều khả năng liên quan đến cấu trúc chứa các vật liệu như đất nung có thể là đường đi lát gạch bị vùi lấp.

Đáng chú ý là ở những nơi có các cấu trúc đó thường là chúng nằm ở độ sâu không lớn nên trên băng địa chấn có sự dịch chuyển về thời gian sóng tới rất đột ngột hoặc không tồn tại sóng khúc xạ từ các lớp đất nằm dưới chúng (hình 3.9). Điều đó làm cho việc theo dõi các lớp dưới sâu khó khăn hay không thể thực hiện được phụ thuộc vào kích thước của các đối tượng đó nhỏ hay lớn. Các phân tích như trên cũng có thể coi là cơ sở để ta lý giải các kết quả khảo sát nghiên cứu bằng phương pháp địa chấn đã thực hiện trong vùng nghiên cứu. Việc mô tả kết quả chỉ tiến hành cho một số tuyến mang tính đại diện liên quan đến các đối tượng cần quan tâm. Các mặt cắt địa chấn nhận được từ kết quả sử dụng 2 phần mềm SIP và PLOTREFA của cùng 1 tuyến sẽ được trình bày chung trong 1 hình vẽ, trong đó ta quy ước mặt cắt phân lớp theo kết quả sử dụng phần mềm SIP được quy ước là hình a, mặt cắt còn lại là hình b. Như đã nói ở phần trên việc sử dụng phần mềm SIP cho phép ta phân lớp trong môi trường đất khá thuận lợi, còn phần mềm PLOTREFA khả năng phân lớp khó hơn nhưng kết quả lại cho ta theo dõi các bất đồng nhất theo chiều ngang tốt hơn. Do các khảo sát ở khu Thành cổ vừa muốn khai thác thông tin về các lớp đất gần mặt quan sát, lại vừa muốn phát hiện một số đối tượng cả khảo cổ lẫn công trình ngầm hiện đại kích thước thường không lớn nên khâu phân tích tài liệu đã sử dụng cả hai phần mềm.

Hình 3.9: Bảng sóng địa chấn khi có hầm ngầm tại sân trước nhà D67



1. Kết quả một số tuyến đo tại khu Hậu Lâu

- *Tuyến địa chấn T13 Hậu Lâu:* tuyến đo này chạy sát tường phía bắc của khu Hậu Lâu theo chiều từ tây sang đông, dài 68 m. Kết quả theo phần mềm SIP cho thấy môi trường đất gần bề mặt phân thành 3 lớp rõ rệt với giá trị vận tốc sóng địa chấn trong các lớp phân dị đáng kể (hình 3.10a). Từ đoạn khoảng điểm 20 m đến điểm 55 m phía đông khu Hậu Lâu, lớp thứ nhất nâng cao rõ, trong khi lớp thứ 2 lại có xu thế chìm sâu nhẹ tại đoạn 20-40 m. Tại đoạn cuối tuyến từ điểm 55 m gần như không có lớp thứ 2, bề dày lớp này ở đoạn giữa tuyến đạt đến 4 - 5 m, còn từ điểm 20 m trở về đầu tuyến bề dày giảm chỉ còn khoảng 1 m. Đặc điểm này có thể liên quan đến sự tồn tại ao, hồ cổ ở đoạn giữa tuyến. Trong mặt cắt theo phần mềm thứ 2 thì lớp thứ nhất có hình dạng khá phù hợp với kết quả theo phần mềm SIP (màu đỏ thẫm - hình 3.10b). Tại đoạn 40 - 60 m dọc theo tuyến phát hiện được vùng nâng cục bộ của lớp thứ 2. Kết quả này cũng phù hợp với kết quả phân lớp theo phần mềm SIP. Nhìn chung mặt cắt tuyến T13 phản ánh tương đối đại diện đặc điểm của môi trường địa chất trong phạm vi nghiên cứu. Trong đó lớp thứ nhất có bề dày khoảng 2 - 4 m, là cát pha sét, bao gồm cả đất lấp lẫn các mảnh vật liệu xây dựng. Liên kết với tài liệu địa chất và khoan thì lớp này tương ứng với đất hệ tầng Thái Bình. Lớp thứ 2 thành phần sét, sét bùn cao hơn tương ứng với hệ tầng Hải Hưng thường phát triển đến độ sâu 7 - 8 m. Dưới lớp này là hệ tầng Vĩnh Phúc rắn chắc hơn.

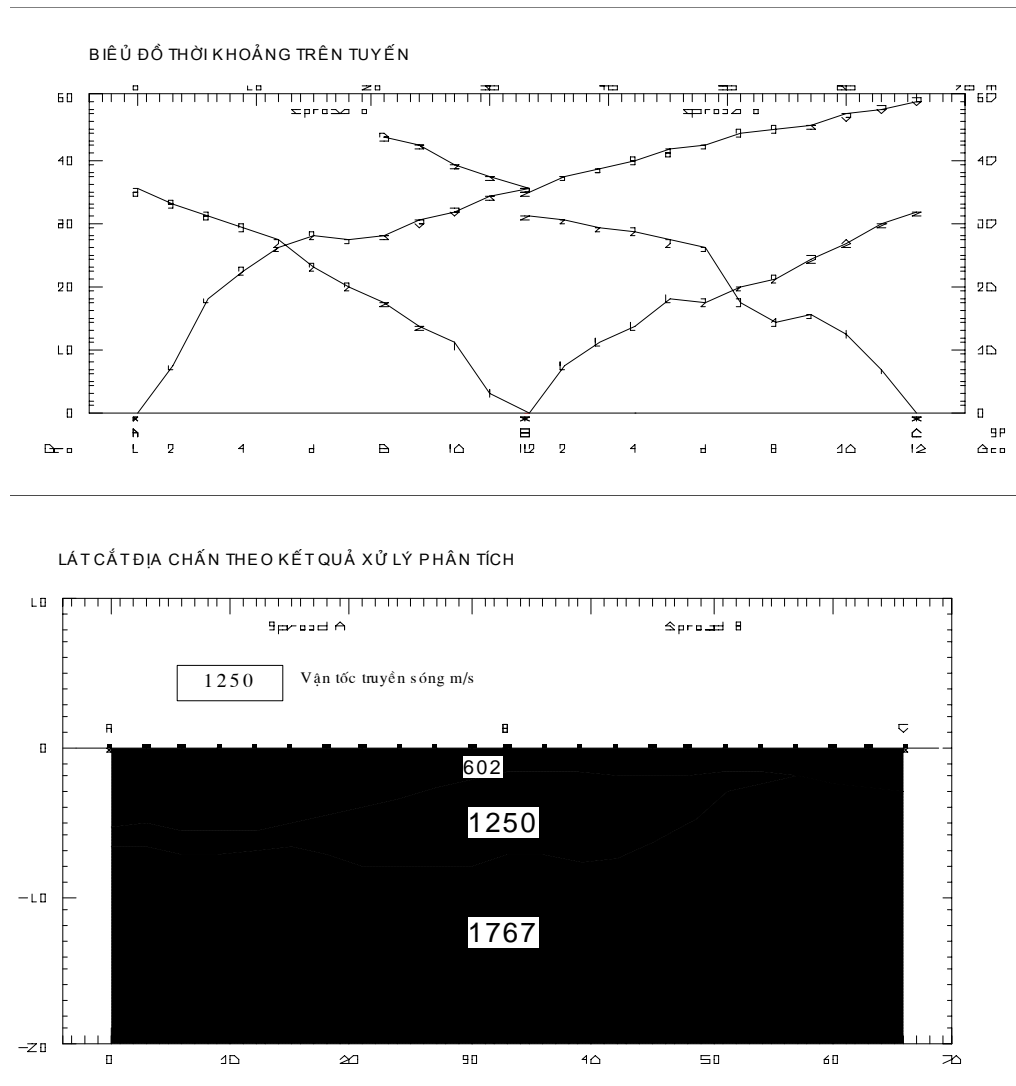
- *Tuyến địa chấn T10 - Hậu Lâu:* tuyến này dài xấp xỉ 70 m, có chiều từ tây sang đông và chạy men theo tường phía nam của khu Hậu Lâu. Trên mặt cắt theo phần mềm SIP thì môi trường cũng gồm 3 lớp với bề mặt các lớp khá bằng phẳng. Lớp thứ nhất dày khoảng 2 - 3 m, lớp thứ 2 dày 3.5 đến gần 4 m và lớp thứ 3. Vận tốc truyền sóng cũng phân dị rõ rệt trong các lớp. Theo kết quả phân tích bằng phần mềm thứ 2 thì lớp thứ nhất khá phù hợp với kết quả phân lớp, nhưng trong lớp thứ 2 tại đoạn 43 - 55 m xuất hiện vùng nâng rất rõ (hình 3.11b). Xem xét lại kết quả theo phần mềm SIP tại vị trí này lớp thứ 2 cũng nâng nhẹ, trong đoạn ngắn hơn 54 - 60 m. Liên kết với kết quả đo điện trở và điện từ tần số thấp thì dấu hiệu này nhiều khả năng liên quan đến các di tích văn hoá cổ bị vùi lấp.

2. Kết quả đo địa chấn trong khu tập thể quân đội K75

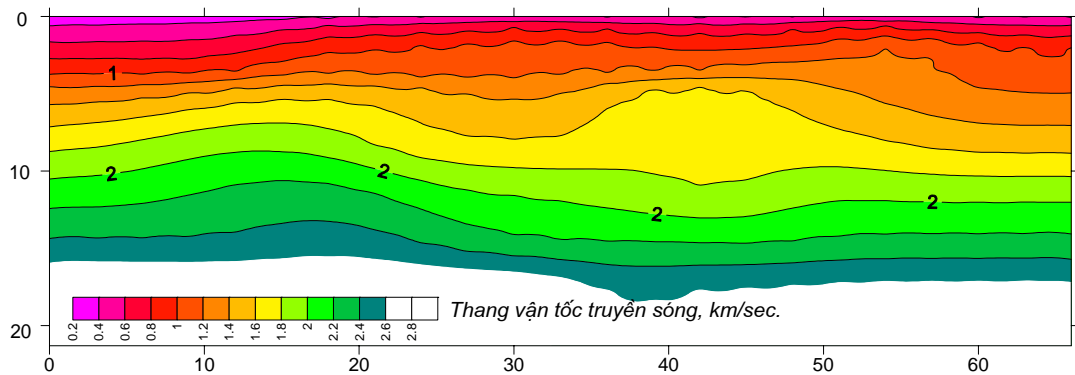
- *Tuyến địa chấn T17 khu tập thể quân đội:*

Hình 3.10: Mặt cắt tuyến địa chấn T13 dọc tường bắc Hậu Lâu

Hình 3.10a: Theo kết quả phân mềm SIP

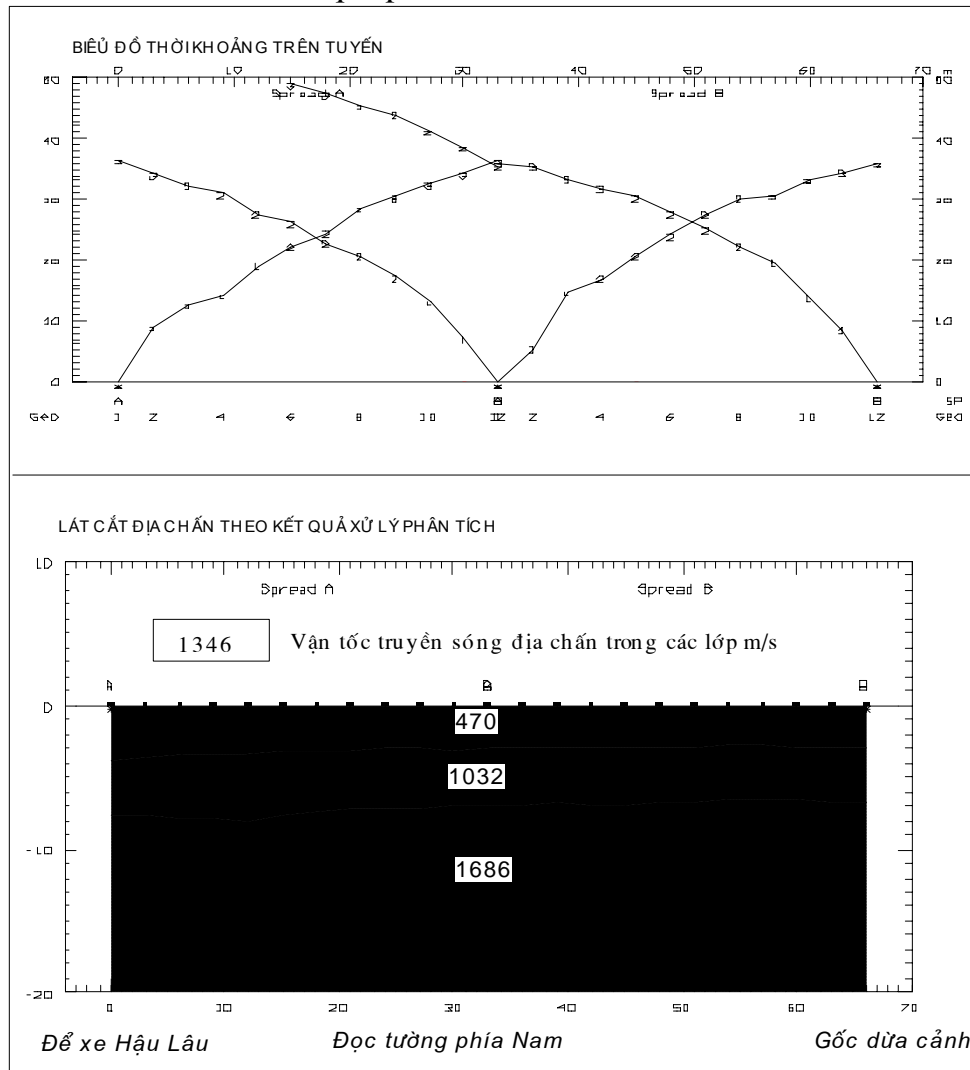


Hình 3.10b: Theo kết quả phân mềm PLOTREFA

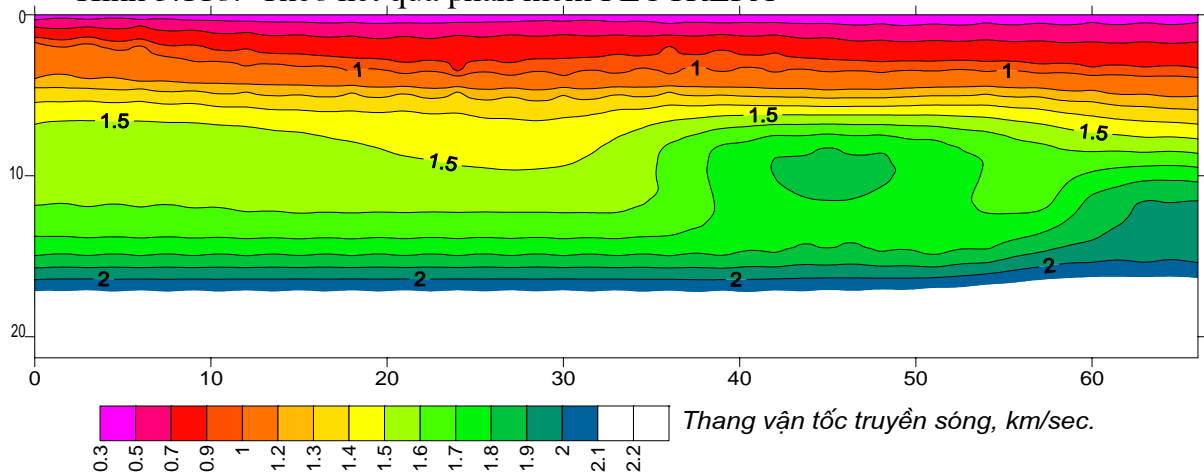


Hình 3.11: Mặt cắt địa chấn T10 dọc theo tường nam Hậu Lâu

Hình 3.11a: Theo kết quả phân mềm SIP



Hình 3.11b: Theo kết quả phân mềm PLOTREFA



Tuyến đo này chạy từ nhà N60 giáp góc đông nam của khu Hậu Lâu, dài 62m theo chiều từ tây nam lên đông bắc ra đường Nguyễn Tri Phương theo lối vào khu tập thể. Môi trường địa chất dưới lát cắt theo kết quả phân tích bằng phần mềm SIP cũng tương tự như các tuyến ở Hậu Lâu, nhưng tại đoạn 25-32m và từ 50m đến cuối tuyến phát hiện được vùng biến đổi trường sóng và có vận tốc cao (hình 3.12a). Độ sâu các vật thể này khoảng 2-3m. Đây là dấu hiệu liên quan đến hầm ngầm được xây dựng trong thời gian chiến tranh, một số nơi còn quan sát được nắp các hầm này. Vị trí hai hầm ngầm này còn thấy rất rõ ở mặt cắt xây dựng theo phần mềm PLOTREFA (hình 3.12b).

- *Tuyến T16 khu tập thể quân đội K75*: Tuyến đo này dài gần 100 m, chạy gần theo chiều từ tây sang đông. Tuyến bắt đầu từ phía tây nam nhà N51, qua trước nhà N48 và kết thúc tại điểm gần góc đông nam của nhà N54. Mặt cắt dưới tuyến đo này cũng phát hiện được 2 đoạn có biểu hiện hầm ngầm là từ 23 đến 32 m và đoạn từ 52 đến cuối tuyến đo (hình 3.13a). Đặc biệt đoạn thứ 2 vận tốc từ độ sâu khoảng hơn mét đã đạt đến giá trị hơn 3300 m/s. Vận tốc này phản ánh khu vực nắp hầm bê tông khá dày, đoạn tuyến này có lẽ chạy dọc theo đường hầm. Trong lát cắt dựng theo phần mềm thứ 2 cũng cho bức tranh tương tự (hình 3.13b).

Trong khu tập thể quân đội cũng còn tuyến T15 và T2. Kết quả xử lý phân tích cũng phản ánh thêm dấu hiệu tồn tại các hầm ngầm và phân tầng các lớp đất gần bề mặt.

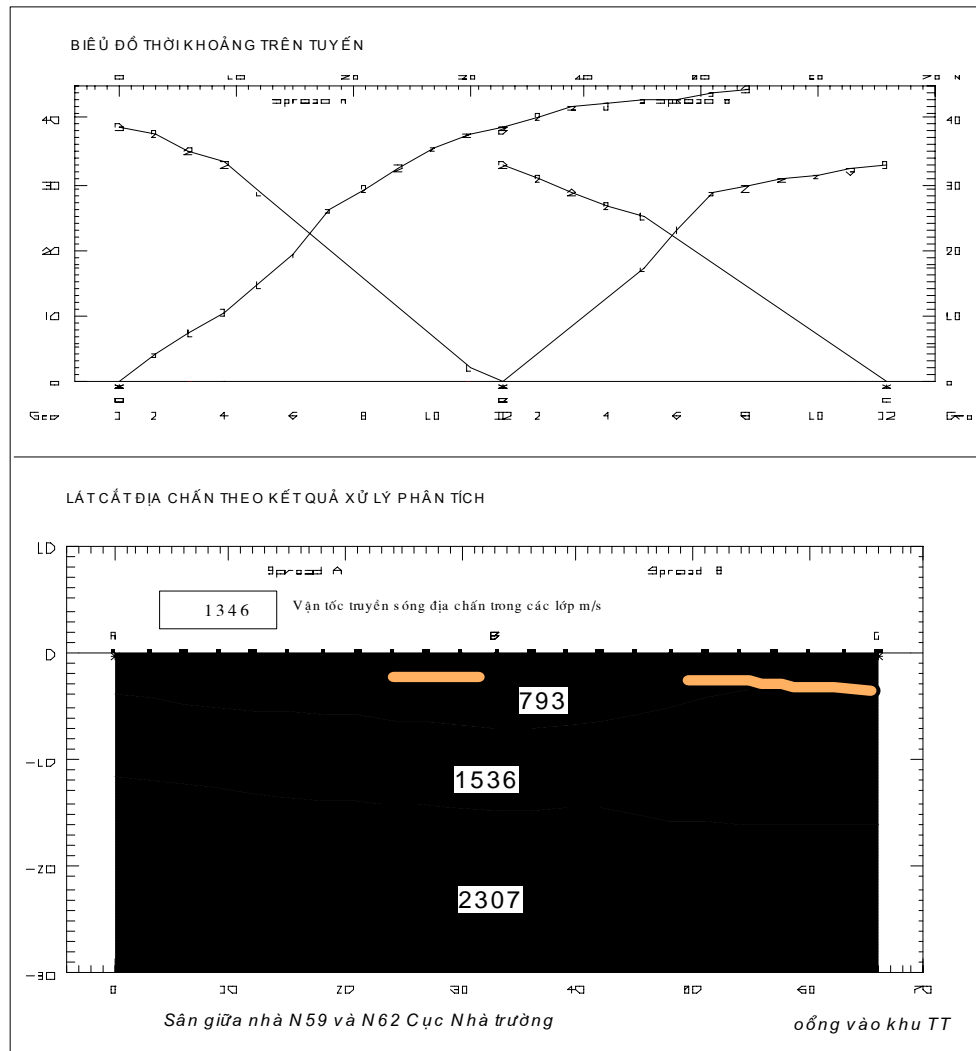
3. Kết quả khảo sát trong khu vực Kính Thiên

Trong khu Kính Thiên đã tiến hành đo 10 tuyến, phân bố tương đối đều trên diện tích. Phần lớn các tuyến đo có phương tây - đông, có 2 tuyến phương bắc - nam, chạy dọc song song với tường rào phía tây và phía đông. Kết quả khảo sát được trình bày cho 5 tuyến từ bắc xuống nam đại diện cho khu vực này.

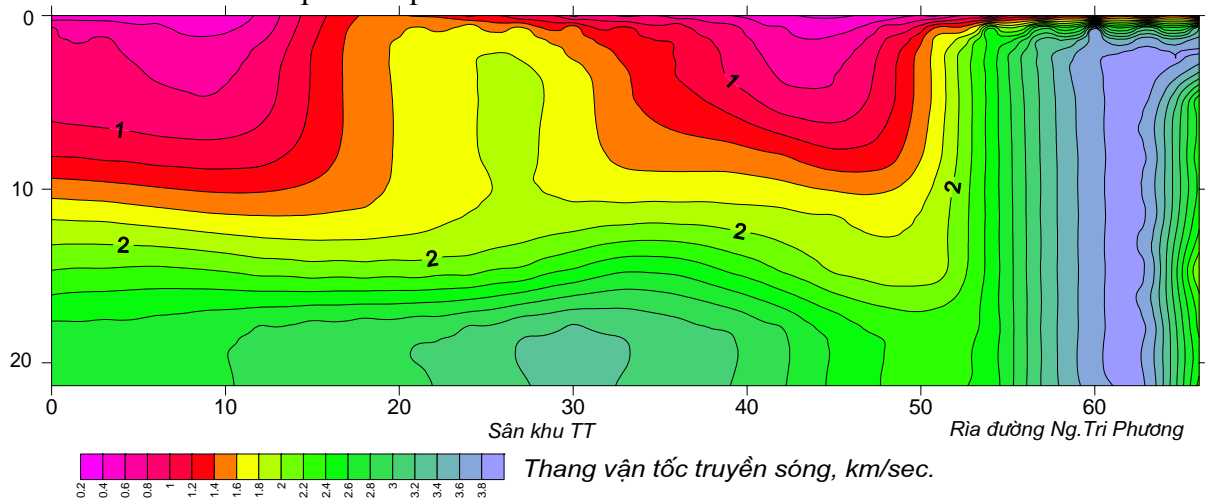
- *Tuyến T23 - trước nhà D67*: tuyến đo có chiều từ tây sang đông, dài 102 m, bắt đầu từ tường rào phía tây tại điểm cạnh nhà N38 và kết thúc tại mép đường nội bộ phía đông, điểm đối diện nhà N43. Trên mặt cắt phân lớp theo phần mềm SIP môi trường địa chất cũng gồm 3 lớp, tuy nhiên vận tốc trong lớp thứ nhất và thứ 2 tại đây có giá trị cao hơn ở khu Hậu Lâu, chiều dày lớp thứ hai cũng lớn hơn đạt đến 15 m tại phần phía đông của tuyến (hình 3.14a). Mức độ phân dị về vận tốc giữa lớp thứ 2 và thứ 3 cũng không cao như một số tuyến mô tả ở trên. Theo đặc điểm của băng sóng đã phát hiện được dấu hiệu liên quan đến hầm ngầm tại đoạn từ đầu tuyến đến điểm khoảng 10 m và đoạn 58 -

Hình 3.12: Mặt cắt địa chấn tuyến T17 trong khu tập thể K75

Hình 3.12a: Kết quả theo phần mềm SIP

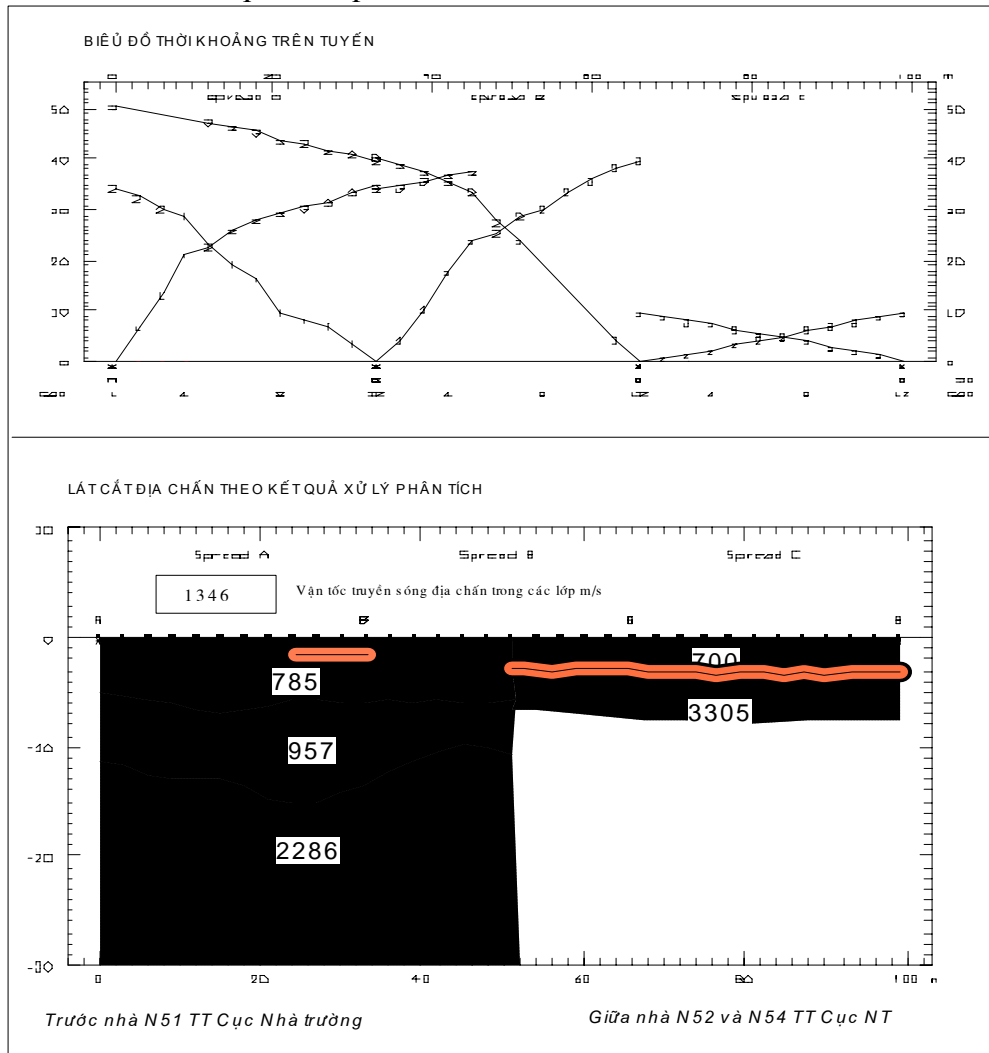


Hình 3.12b: Kết quả theo phần mềm PLOTREFA

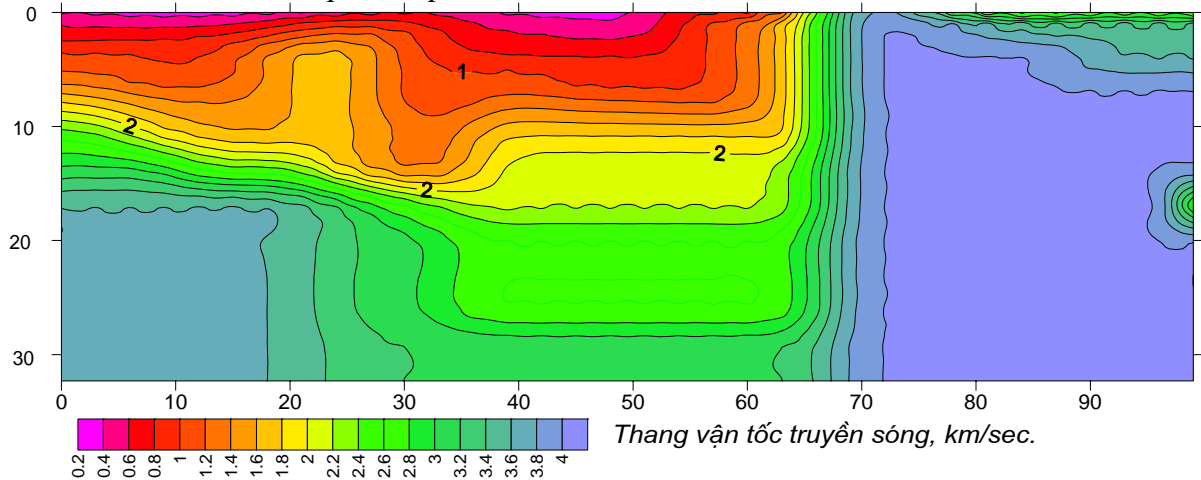


Hình 3.13: Mặt cắt địa chấn tuyến T16 khu tập thể K75

Hình 3.13a: Kết quả theo phần mềm SIP

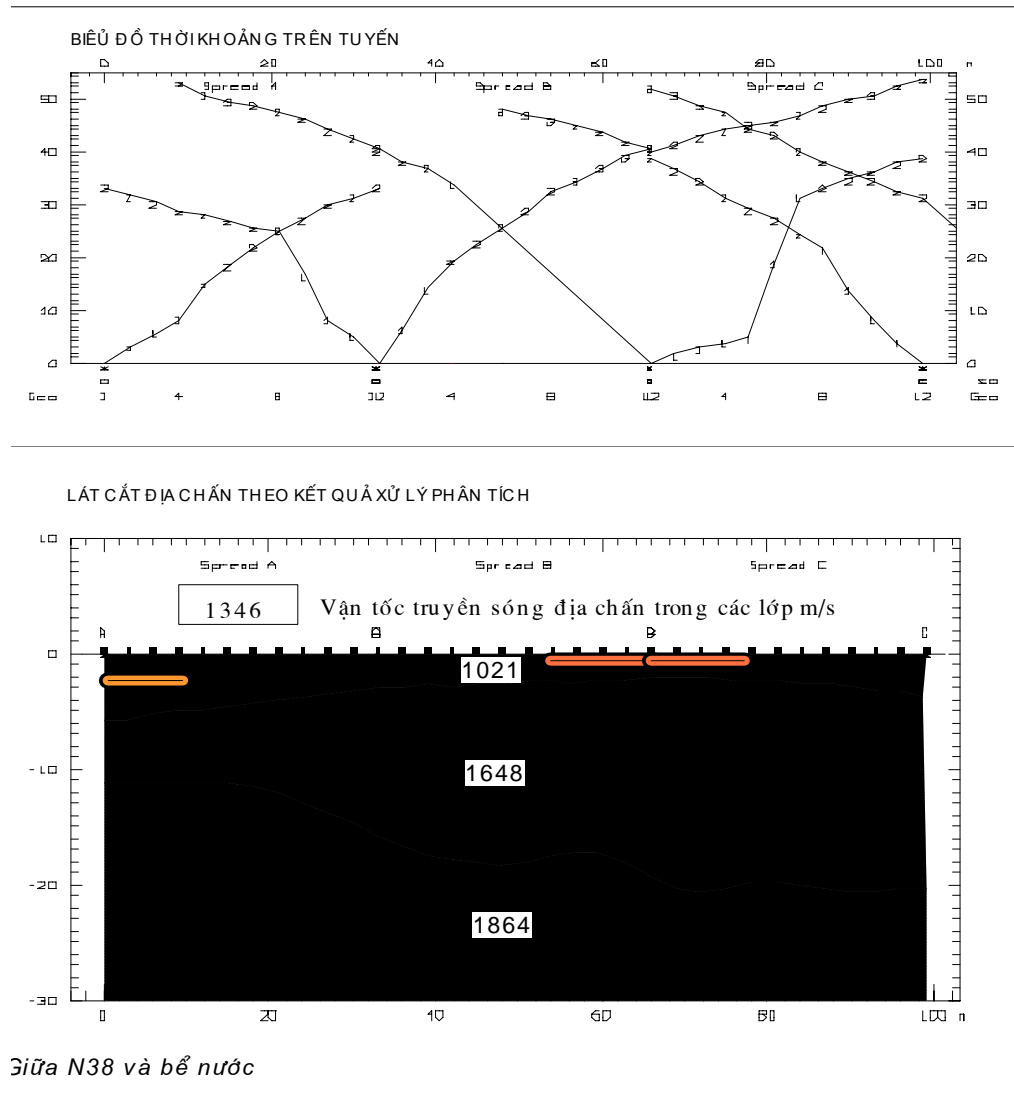


Hình 3.13b: Kết quả theo phần mềm PLOTREFA

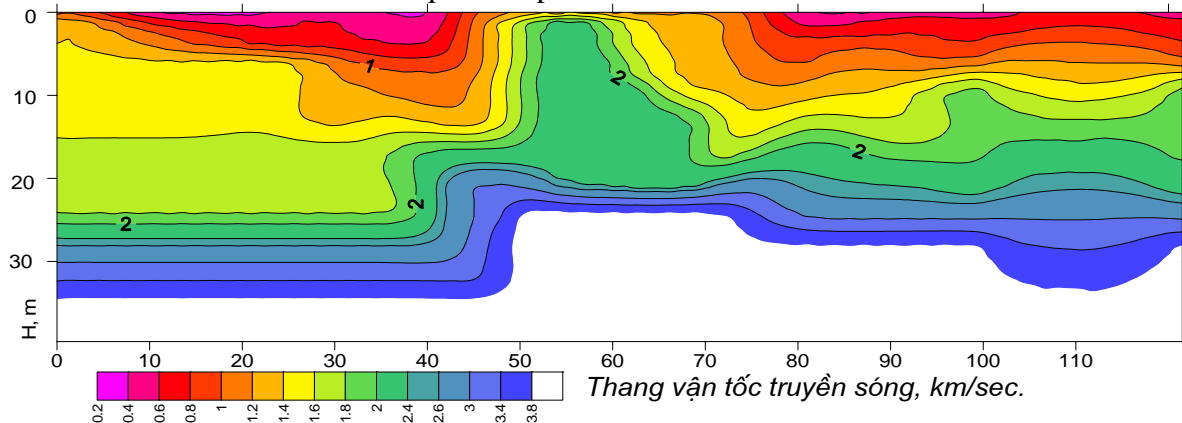


Hình 3.14: Mặt cắt địa chấn tuyến T23 trước nhà D67 khu Kính Thiên

Hình 3.14a: Kết quả theo phần mềm SIP



Hình 3.14b: Kết quả theo phần mềm PLOTREFA



80 m. Đặc điểm này cũng phản ánh trong lát cắt vận tốc theo kết quả sử dụng phần mềm PLOTREFA, trong đó dấu hiệu hầm ngầm tại đoạn 60 - 80 m thể hiện rất rõ, còn đoạn đầu tuyến cũng phản ánh bằng gờ nâng lên của đối vận tốc cao hơn (hình 3.14b).

- *Tuyến T20 - mép phía bắc sân điện Kính Thiên:* tuyến T20 dài 44 m chạy từ tây sang đông, dọc theo mép phía bắc của điện Kính Thiên. Trên mặt cắt phân lớp theo phần mềm SIP cho thấy bề dày lớp 1 và lớp 2 có giá trị gần như ở khu vực Hậu Lâu và có bề mặt lớp tương đối phẳng (hình 3.15a). Giá trị vận tốc giữa các lớp cũng có tính phân dị cao. Theo đặc điểm băng sóng đã phát hiện được đoạn trong khoảng 18 - 25 m dọc theo tuyến có dấu hiệu liên quan đến hầm ngầm. Vị trí này được xác nhận tồn tại hầm ngầm theo khảo sát hiện trường. Trong mặt cắt tính theo phần mềm thứ hai thì tại đoạn 17 - 21 m dọc tuyến đo cũng phản ánh vùng nâng lên theo giá trị vận tốc (hình 3.15b). Kích thước vùng nâng lên nhỏ hơn so với kết quả dùng phần mềm SIP.

- *Tuyến T19 - Mép phía nam sân Kính Thiên:*

Tuyến đo này song song với tuyến T20, cũng chạy từ tây sang đông và men dọc theo mép phía nam của sân Kính Thiên, cũng dài 44 m. Đặc điểm phân lớp trong môi trường đất gần bề mặt cũng gần tương tự như tuyến T20, tuy nhiên vận tốc sóng trong lớp thứ 2 có giá trị nhỏ hơn so với tuyến T20 (hình 3.16a). Nhiều khả năng phần gần mép sân phía nam có sử dụng thêm đất đắp lấy từ nơi khác. theo đặc điểm phân bố trường sóng cũng phát hiện được dấu hiệu liên quan đến hầm ngầm tại đoạn từ 17 đến khoảng 24 m dọc tuyến đo. Dấu hiệu này còn được phản ánh rõ hơn trong lát cắt theo kết quả sử dụng phần mềm thứ 2 (hình 3.16b).

- *Tuyến T14 - phía bắc nhà N18 (nhà Cục tác chiến trước đây):*

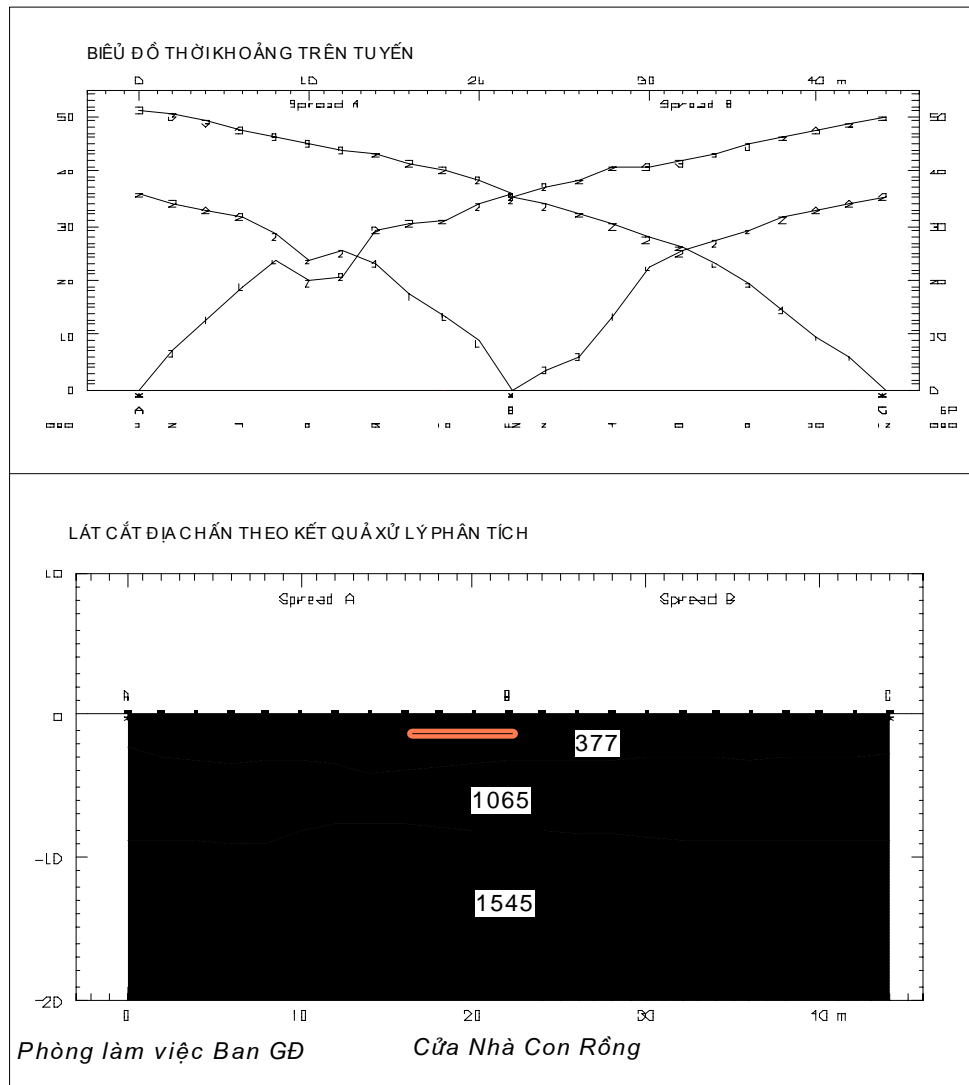
Tuyến đo này xuất phát từ điểm cạnh hầm thông tin có nắp xuất lộ tại phía tây, chạy dọc mép phía bắc nhà N18 và kết thúc tại điểm gần với nhà N26 ở phía đông. Theo kết quả sử dụng phần mềm SIP mặt cắt cũng gồm 3 lớp có vận tốc truyền sóng phân dị khá mạnh. Lớp thứ 2 cũng có bề dày tương đối lớn đến xấp xỉ 10 m (hình 3.17a). Hầm thông tin ở đầu tuyến cũng được phản ánh trong đặc điểm phân bố trường sóng, ngoài ra tại đoạn 28 - 42 m dọc theo tuyến cũng phát hiện thêm dấu hiệu liên quan đến hầm ngầm. Điều này cũng được khẳng định trong lát cắt vận tốc nhận được từ kết quả sử dụng phần mềm PLOTREFA (hình 3.17b).

- *Tuyến T22 - gần mép tường phía tây khu Kính Thiên:*

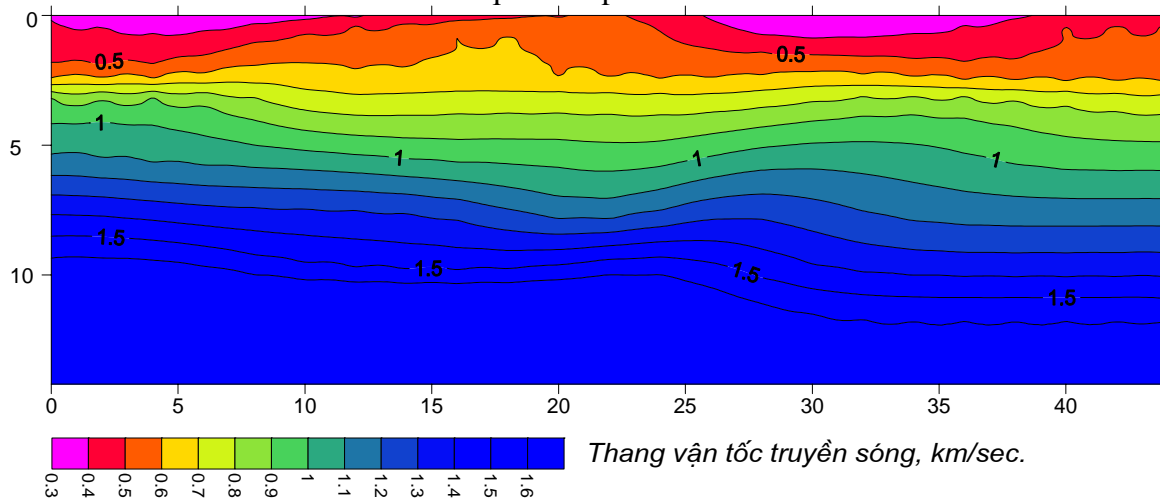
Tuyến có chiều từ nam lên bắc, dài trên 140 m, bắt đầu từ hầm thông tin ở phía

Hình 3.15: Mặt cắt địa chấn tuyến T20 mép bắc sân Kính Thiên

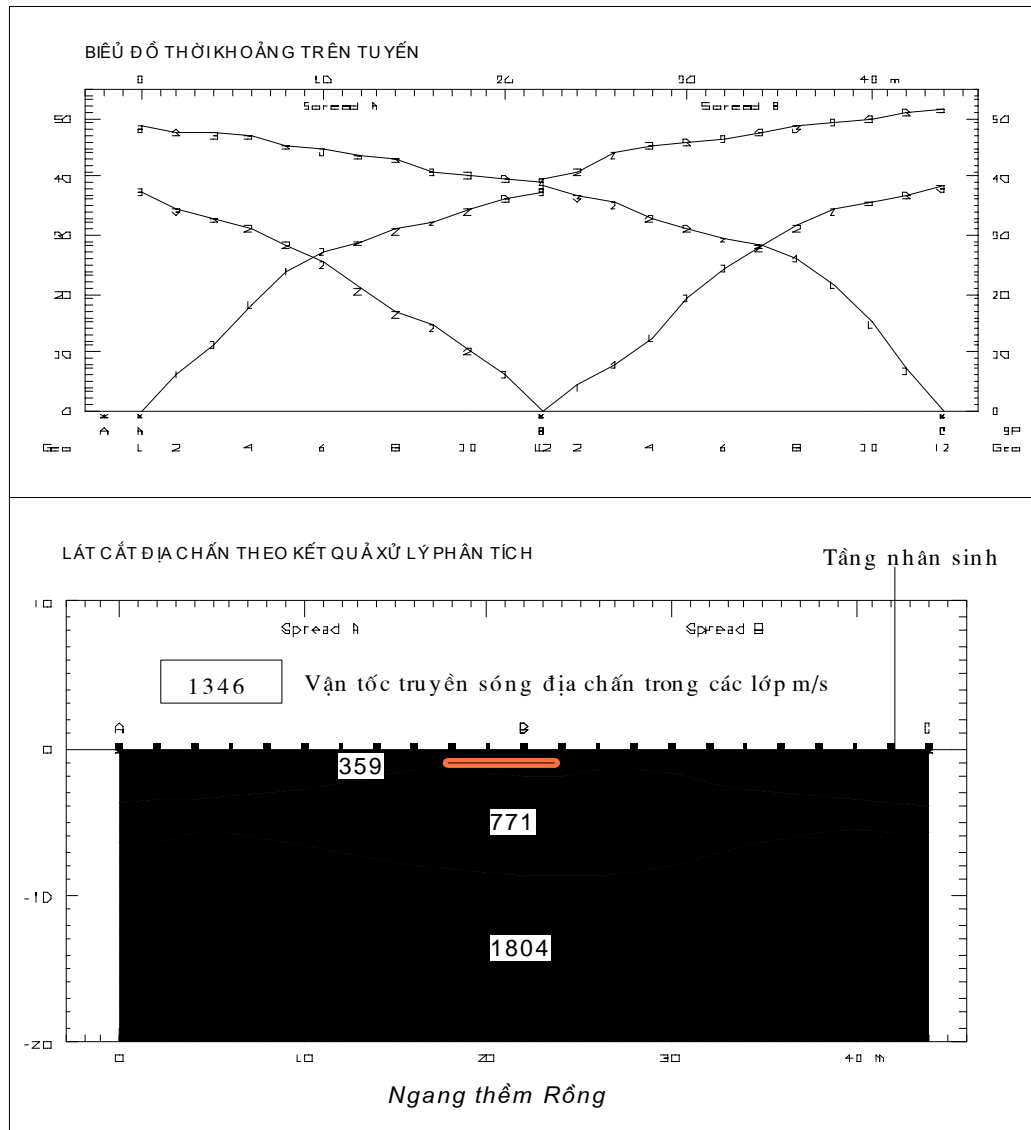
Hình 3.15a: Kết quả theo phần mềm SIP



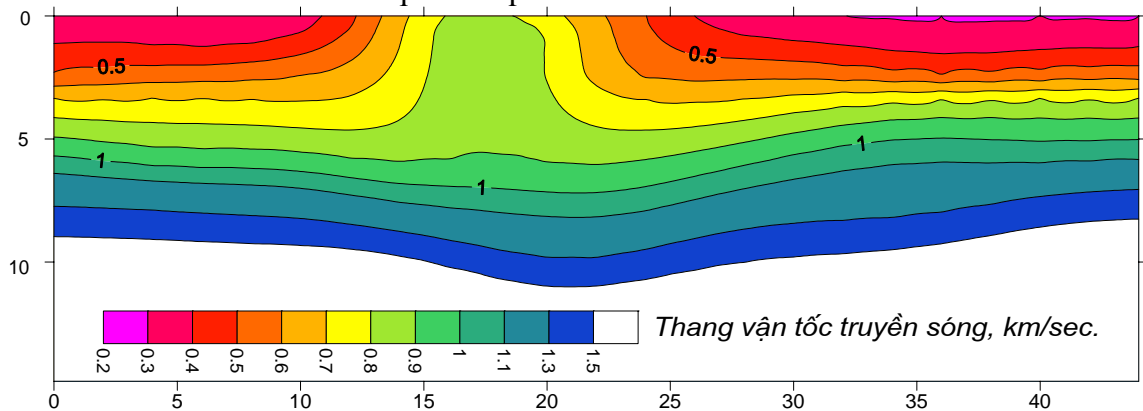
Hình 3.15b: Kết quả theo phần mềm PLOTREFA



Hình 3.16: Mặt cắt địa chấn tuyến T19 mép nam sân Kính Thiên
 Hình 3.16a: Kết quả theo phần mềm SIP

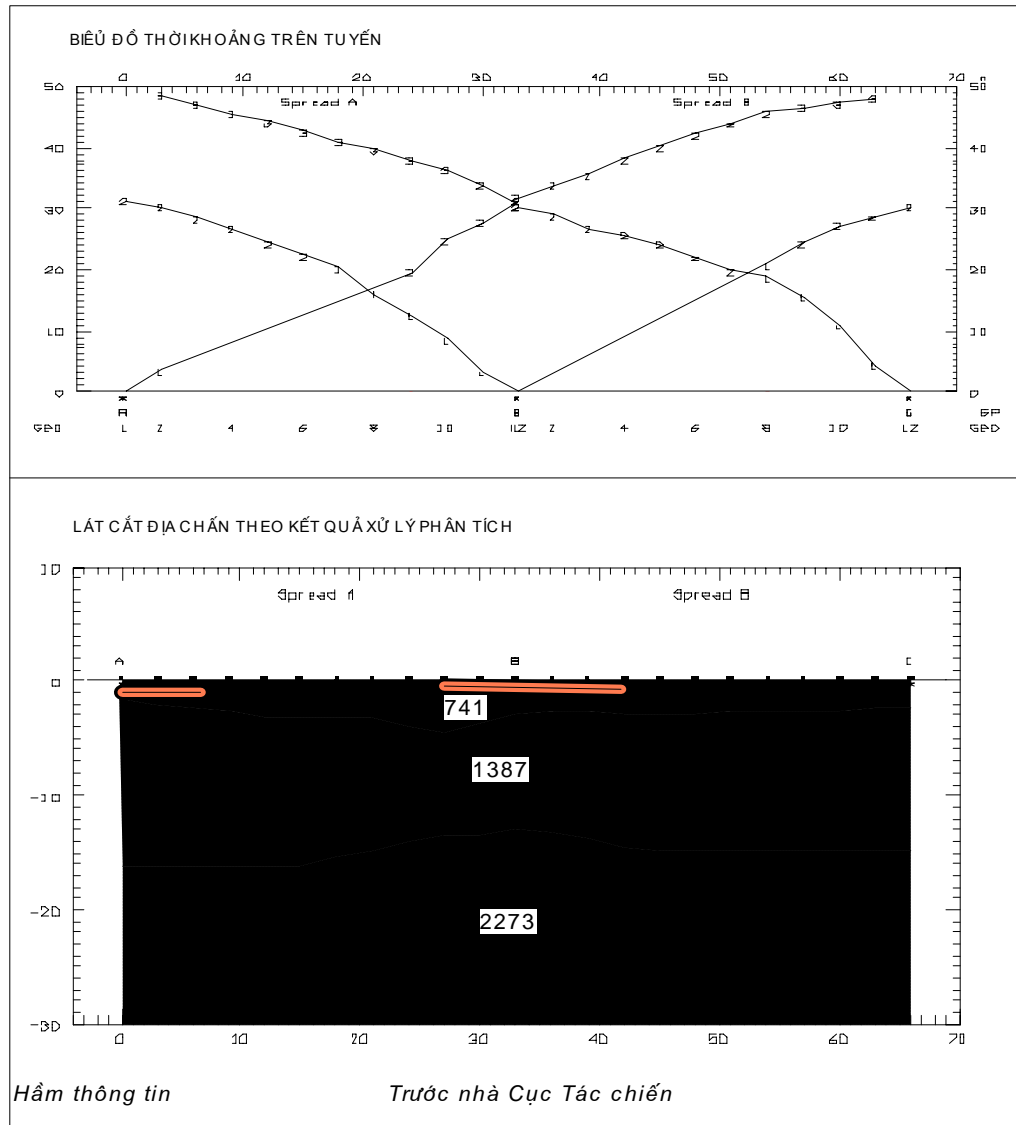


Hình 3.16b: Kết quả theo phần mềm PLOTREFA

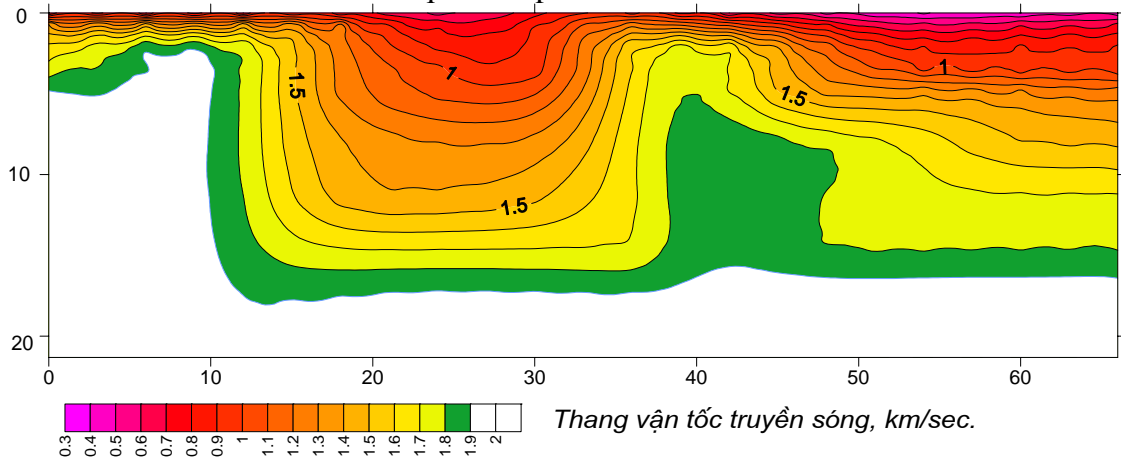


Hình 3.17: Mặt cắt địa chấn tuyến T14 phía nam nhà N18 khu Kính Thiên

Hình 3.17a: Kết quả theo phần mềm SIP



Hình 3.17b: Kết quả theo phần mềm PLOTREFA



nam, chạy dọc theo đường song song và cách mép tường phía tây một dãy nhà (khoảng hơn 20 m) và kết thúc tại điểm đối diện nhà N39, cách hàng rào khu tập thể K75 khoảng hơn 10m. Trên mặt cắt phân lớp có thể thấy giá trị vận tốc trong các lớp có độ phân dị cao. Bề mặt ranh giới giữa các lớp không bằng phẳng (hình 3.18a), trong đó lớp thứ 2 sụt sâu xuống tại đoạn từ 40 đến 80 m. Bề dày lớp này có nơi đạt đến xấp xỉ 15m. Tại đoạn khoảng 117 - 122 m phát hiện được dấu hiệu có thể liên quan đến các vật liệu xây dựng bị vùi lấp như gạch, ngói, có khả năng liên quan đến các di tích khảo cổ như đường gạch, móng tường v.v... Dấu hiệu cũng được phản ánh bằng vùng nâng lên trong lát cắt vận tốc xây dựng theo kết quả sử dụng phần mềm thứ 2 (hình 3.18b). Ngoài ra, cấu tạo nâng cục bộ của lớp thứ 3 được phản ánh rất rõ trong cả 2 loại lát cắt.

Các tuyến đo còn lại trong khu Kính Thiên cũng có những kết quả tương tự như một số tuyến vừa mô tả nêu trên.

4. Kết quả đo tại khu Đoan Môn

Tại khu Đoan Môn đã tiến hành đo 4 tuyến, trong đó có 3 tuyến theo phương đông - tây và 1 tuyến phương gần á vĩ tuyến.

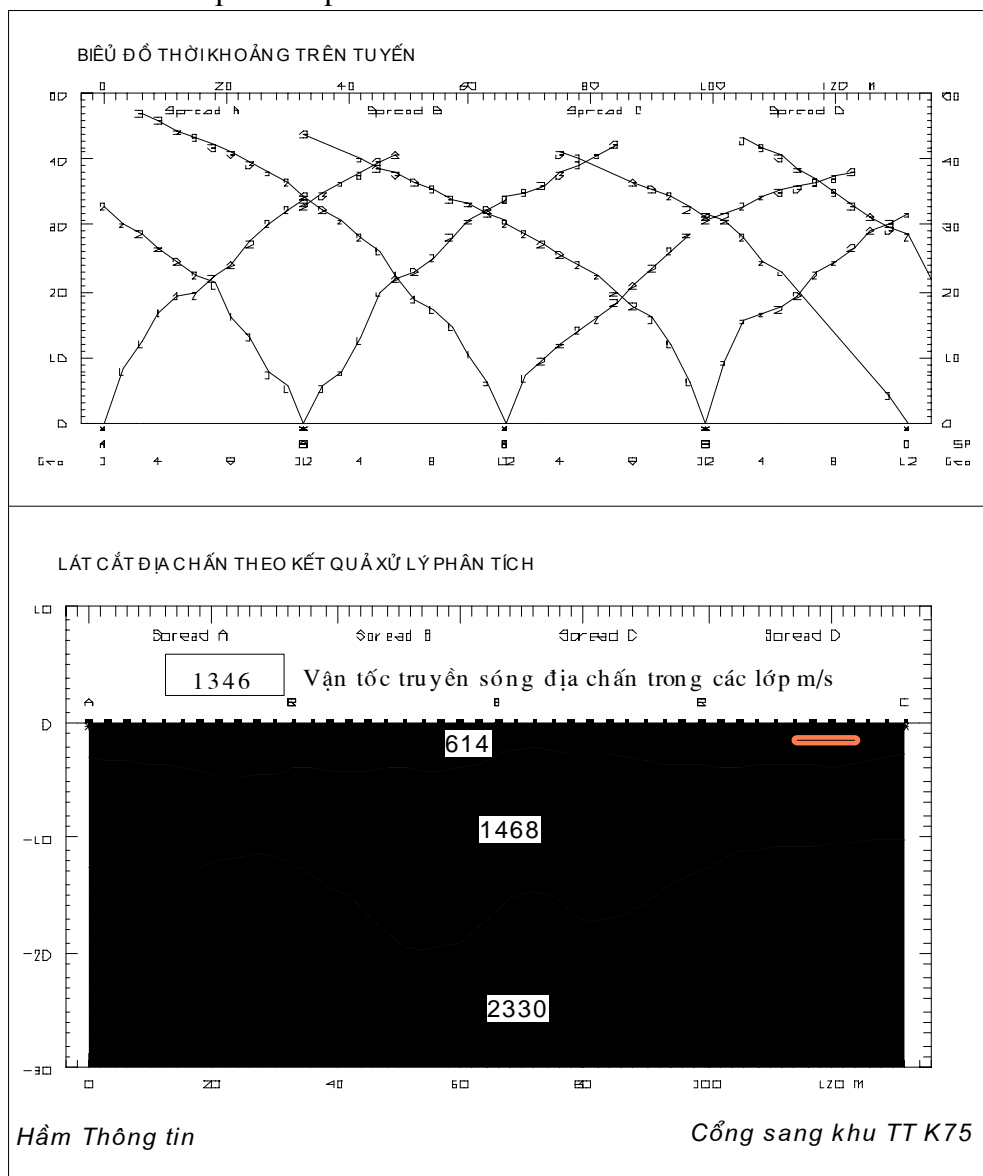
- *Tuyến T6*: tuyến đo chỉ dài 34 m, chạy từ khu vực cổng vào Đoan Môn đến mép ngôi Đền chính ở đây. Mặt cắt địa chấn cũng phân làm 3 lớp với bề dày các lớp trung bình, trong đó lớp thứ nhất dày khoảng 2 - 4m, lớp thứ 2 dày khoảng 4 - 5 m (hình 3.19a). Tại đoạn từ khoảng 24 m đến cuối tuyến trường sóng có biểu hiện như tồn tại dấu hiệu liên quan đến vật thể rắn bị vùi lấp, có thể là đường đá, gạch hoặc sân cổ bị vùi lấp. Điều này cũng được khẳng định thêm trong kết quả phân tích bằng phần mềm PLOTREFFA (hình 3.19b).

- *Tuyến T7*: tuyến T7 chạy từ mép phía đông của khu Đền thờ Đoan Môn về phía đường Nguyễn Tri Phương, dài 35 m. Trong cả hai loại mặt cắt nhận được từ 2 phần mềm phản ánh môi trường địa chất gồm các lớp có chiều dày tăng dần về phía đông. Trong đó bề dày lớp thứ nhất tăng từ 1 đến 3.5 m từ tây sang đông, còn lớp thứ 2 chiều dày chỉ khoảng 2 - 3 m, nghiêng dần từ khu Đền thờ đến phía đường Nguyễn Tri Phương (hình 3.20a, 3.20b). Vận tốc truyền sóng giữa lớp thứ 2 và thứ 3 có sự phân dị lớn.

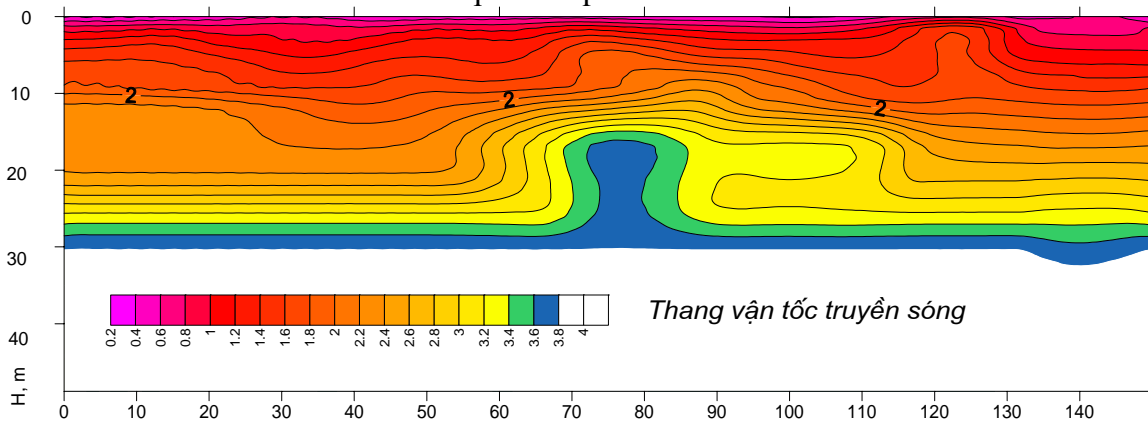
Như vậy, kết quả sử dụng phương pháp địa chấn khảo sát trong khu Thành cổ Hà Nội có lẽ rõ nhất là cho ta phân được các lớp trong môi trường đất gần bề mặt theo sự phân dị vận tốc truyền sóng trong các lớp. Liên kết với tài liệu khoan và tài liệu địa chất cho thấy, lớp thứ nhất trong các lát cắt địa chấn phù hợp với chiều dày của tầng trầm

Hình 3.18: Mặt cắt địa chấn tuyến T22 song song với tường phía tây khu Kính Thiên

Hình 3.18a: Kết quả theo phần mềm SIP

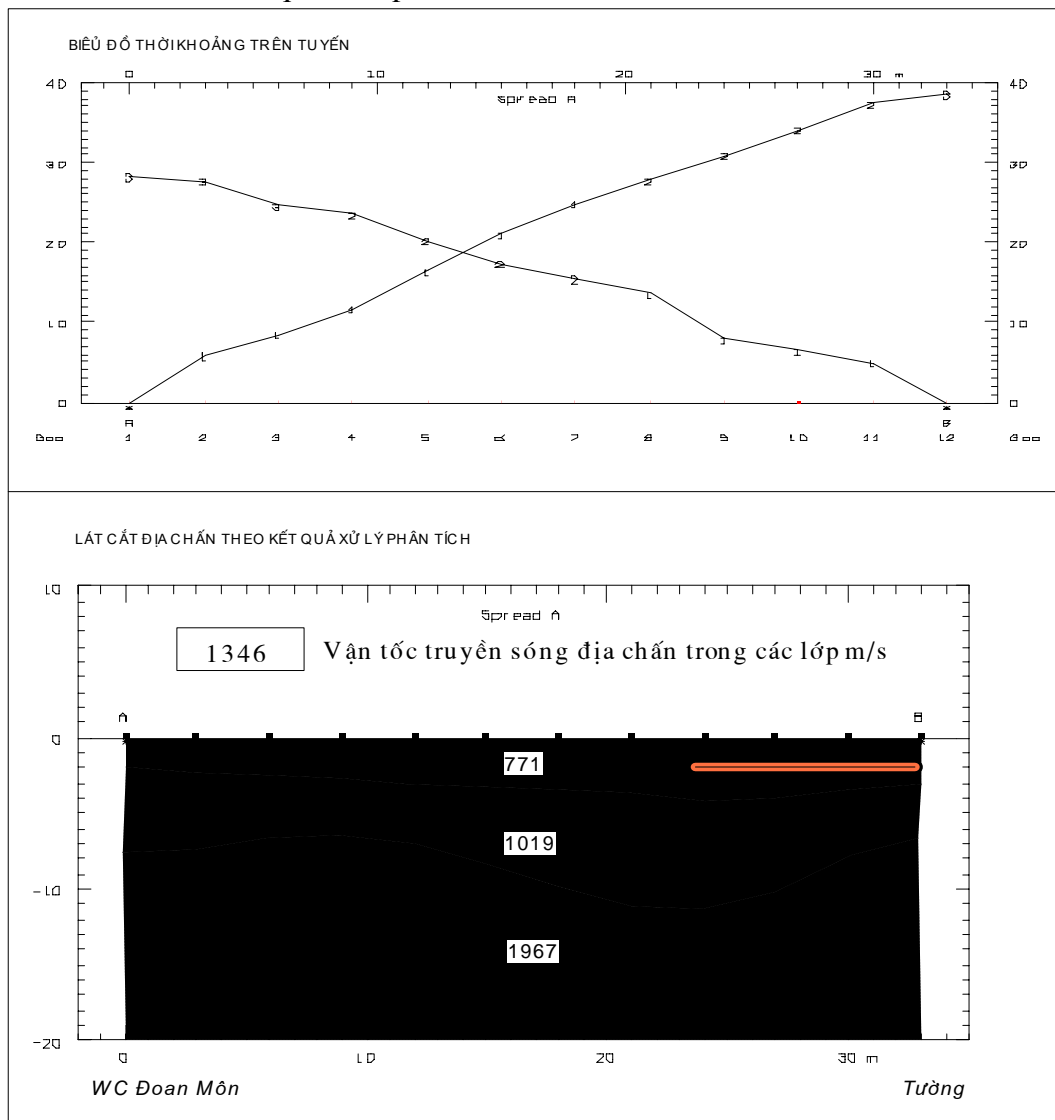


Hình 3.18b: Kết quả theo phần mềm PLOTREFA

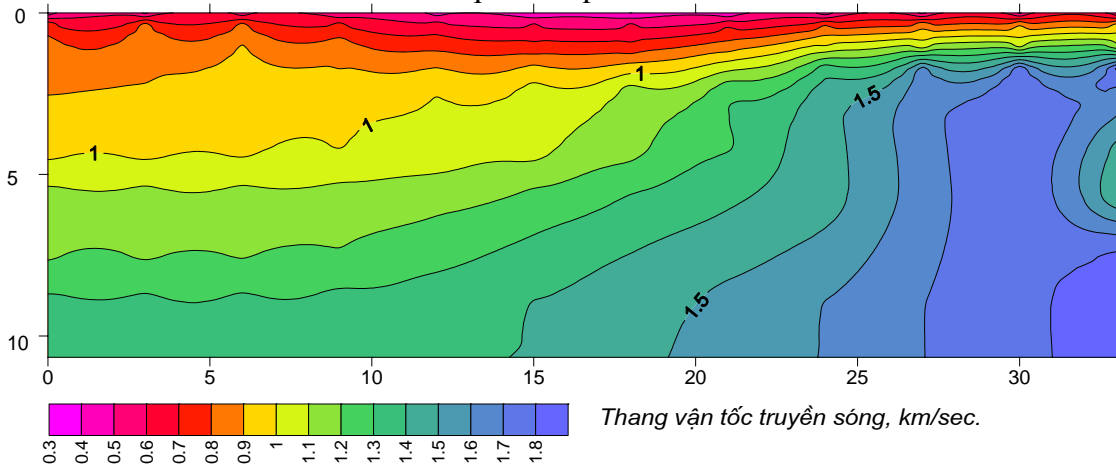


Hình 3.19: Mặt cắt địa chấn tuyến T6 khu Đoàn Môn

Hình 3.19a: Kết quả theo phần mềm SIP

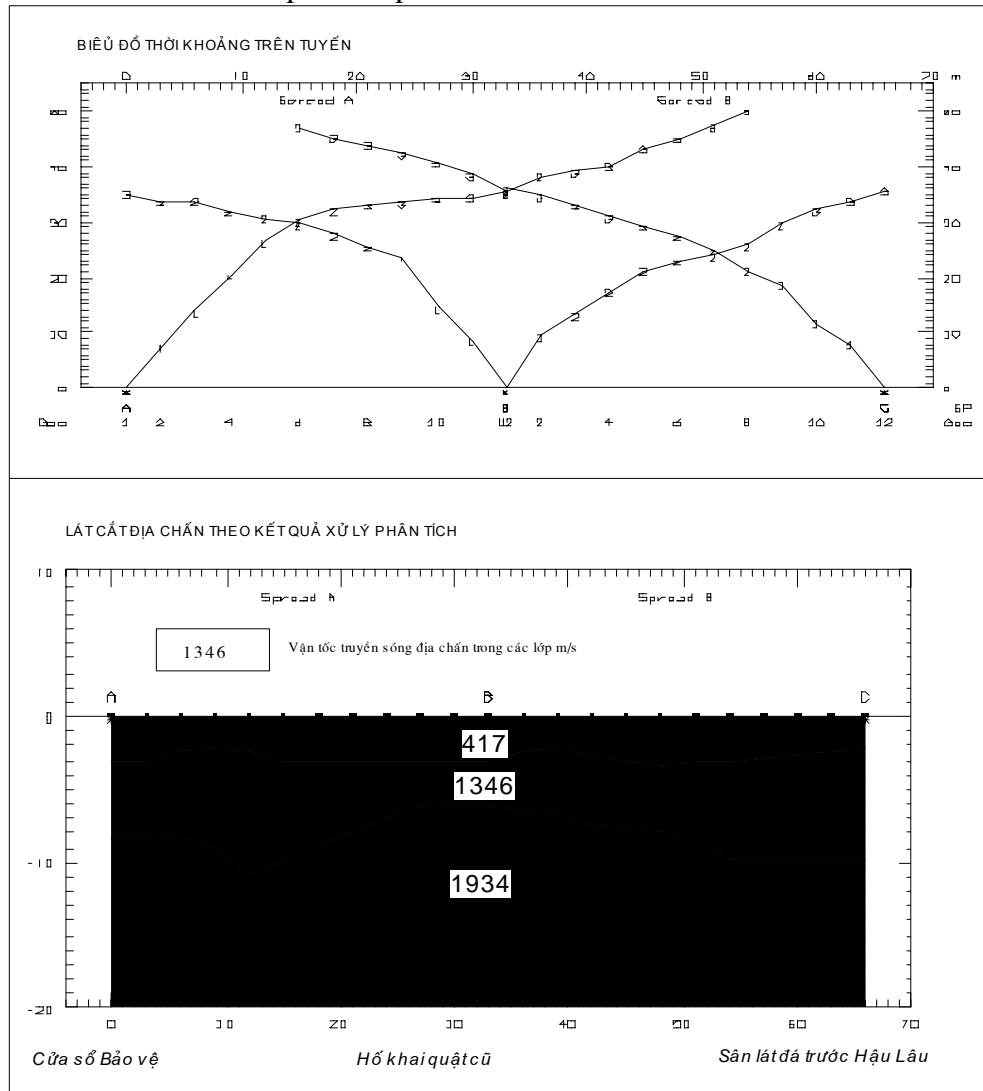


Hình 3.19b: Kết quả theo phần mềm PLOTREFA

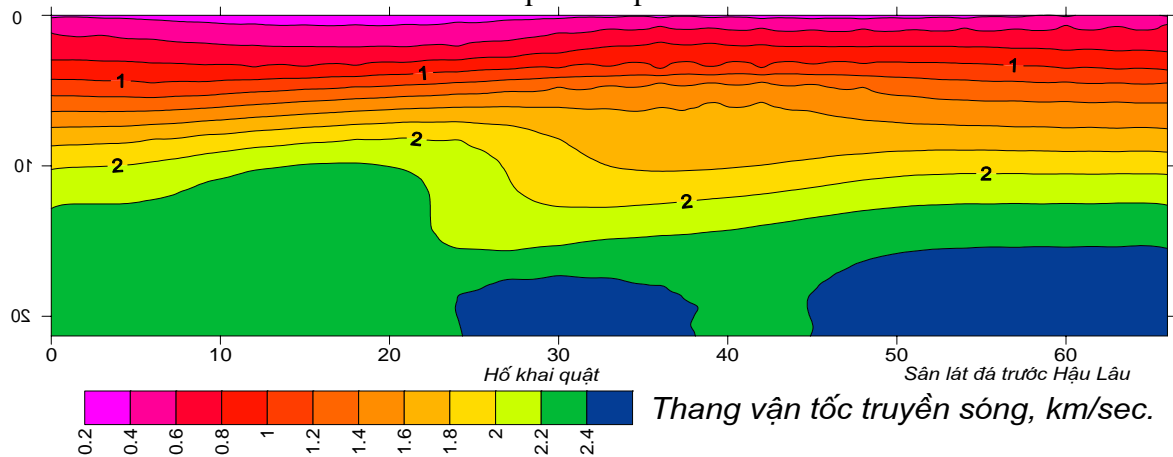


Hình3.20: Mặt cắt địa chấn tuyến cắt qua hố đào ở Hậu Lâu

Hình 3.20a: Kết quả theo phần mềm SIP



Hình 3.20b: Kết quả theo phần mềm PLOTREFA



tích Holocen hệ tầng Thái Bình. Đây là hệ tầng được coi là tầng văn hóa, bởi phần lớn các di tích văn hoá cổ bị vùi lấp chứa trong tầng này. Một số di tích văn hoá cũng bị vùi lấp sâu hơn trong tầng Hải Hưng nhưng tỉ lệ cũng ít. Việc xác định được ranh giới hệ tầng Thái Bình bởi vậy cũng có ý nghĩa đối với các nghiên cứu khảo cổ. Dựa vào kết quả đo địa chấn thực hiện trong đề tài này cũng có thể vẽ được khái quát sơ đồ phân bố độ sâu của đáy tầng thứ nhất và thứ 2. Kết quả này sẽ được trình bày ở chương sau, sau khi liên kết tài liệu này với các kết quả nghiên cứu địa chất.

Ngoài khả năng phân tầng, các kết quả khảo sát nghiên cứu bằng phương pháp địa chấn cũng phản ánh khá tin cậy đặc điểm liên quan đến hệ thống hầm ngầm. Đối tượng này không phải đối tượng khảo cổ, nhưng cũng có thể có nghĩa nếu sử dụng chúng vào mục đích tham quan, du lịch.

Tại một số ít vị trí tài liệu địa chấn cũng cho những dấu hiệu nhiều khả năng liên quan đến di tích văn hoá cổ bị vùi lấp, như khu vực góc đông nam của Hậu Lâu, khu vực góc tây bắc Kính Thiên tiếp giáp với khu tập thể K75.

3.3. PHƯƠNG PHÁP ĐO GAMMA VÀ NƠTRON TRONG CÁC LỖ XUYỀN

Việc tiến hành đo phản xạ tia Gamma và Notron trong một số lỗ khoan xuyên trong khu Thành cổ nhằm cung cấp thêm số liệu về tính phân tầng của các lớp đất theo mật độ của chúng. Ngoài ra, độ ngậm nước xác định được cũng cho ta những thông tin về trạng thái tự nhiên liên quan đến các đối tượng ngậm nhiều nước như đất ở khu vực ao hồ cổ. Các điểm xuyên phục vụ cho đo đạc phản xạ tia Gamma và Notron được phân bố như trong hình 3.21.

3.3.1. Sơ lược về công nghệ chiếu xạ trong các lỗ khoan xuyên

3.3.1.1. Sơ lược về cơ sở lý thuyết

Phương pháp đo phóng xạ xác định mật độ, độ rỗng và độ ngậm nước của đất đá dựa trên hiện tượng suy giảm cường độ của các bức xạ gamma và notron khi tương tác với môi trường vật chất mà chúng truyền qua. Khi chiếu chùm tia gamma (γ) vào môi trường gồm các lớp đất có thành phần thạch học, trạng thái cơ lý khác nhau, thì quá trình tương tác của chúng với nguyên tử vật chất sẽ làm giảm cường độ của chúng với mức độ khác nhau. Đó là do sự hấp thụ tia phóng xạ của vật chất. Sự hấp thụ tia γ của

chất hấp thụ (môi trường đất đá) phụ thuộc chủ yếu hai đại lượng: năng lượng của lượng tử gamma và số thứ tự của nguyên tử chất hấp thụ.

Trong quá trình tương tác với môi trường vật chất (đất đá), sự suy giảm cường độ chùm tia γ phụ thuộc vào cường độ nguồn phát và mật độ vật chất, được xác định theo biểu thức:

$$I_x = I_0 e^{-\mu x} \quad (3.2)$$

với: I_x là cường độ chùm tia khi xuyên vào vật chất, I_0 - cường độ ban đầu, μ - hệ số hấp thụ toàn phần và x - đoạn đường truyền.

Các nguồn phóng xạ được dùng chủ yếu là nguồn ^{60}Co có thời gian bán phân rã 5,24 năm, $E_\gamma = 1,17 - 1,33 \text{ MeV}$ và ^{137}Cs có thời gian bán phân rã 27 năm, $E_\gamma = 0,662 \text{ MeV}$.

Tuy nhiên trong nghiên cứu Địa Vật lý gần mặt đất, người ta thường sử dụng các nguồn có mức năng lượng $E_\gamma =$ từ 0,3 đến 1,6 MeV. Với mức năng lượng này, sự suy giảm cường độ chùm gamma được xác định bằng biểu thức:

$$I_x = I_0 \cdot e^{-\sigma x} \quad (3.3)$$

Khi thay : $\sigma = \sigma_0 N Z / A \rho \cong \alpha \rho$, ρ_0 là tiết diện tán xạ, N là số Avogadro, ρ - mật độ chất hấp thụ và A là trọng lượng nguyên tử. Ở hầu hết các loại đất đá, tỷ số $Z/A \approx 0,5$, biểu thức (3.3) khi đó sẽ là:

$$I_x = I_0 e^{-\sigma/2 \rho x} \quad (3.4)$$

(3.4) là biểu thức xác định mật độ của đất đá bằng phương pháp đo phóng xạ gamma.

Quá trình tương tác của tia phóng xạ neutron (n) đã được sử dụng để xác định hàm lượng nước chứa trong lỗ hổng của đất đá ở thể nằm tự nhiên. Vì các tia Neutron không mang điện tích nên chúng tương tác trực tiếp với hạt nhân của các phân tử nước chứa trong lỗ hổng của đất đá. Bởi vậy, dòng lượng tử Neutron thu được sau quá trình tương tác sẽ phản ánh mật độ chất lỏng chứa trong lỗ hổng ở đất đá. Hàm lượng nước sẽ được xác định theo mối quan hệ sau:

$$w_n = \rho / \rho_k - 1 \quad (3.5)$$

Ở đây ρ là mật độ thực tế, ρ_k là mật độ đất đá khô, w_n là hàm lượng nước (g/cm^3).

Các biểu thức (3.4) và (3.5) là cơ sở để tính toán mật độ, độ rỗng và hàm lượng nước của đất đá ở trạng thái tự nhiên bằng phương pháp đo phóng xạ γ - γ và n - n trong các lỗ khoan xuyên.

3.3.1.2. Thiết bị sử dụng và kỹ thuật đo:

1. Thiết bị sử dụng :

Thiết bị đo chiếu xạ sử dụng trong khảo sát này gồm các bộ phận như sau:

- Nguồn phát tia γ và n là Am-241/Be, 3,2 GBq và Cs-137, 788 MBq;
- Hai cực đo đường kính $\phi = 22\text{mm}$ ký hiệu S23 và S24 để thu tín hiệu;
- Máy ghi số DZ-5 để ghi tín hiệu và lưu giữ số liệu;
- Các thiết bị phụ trợ gồm: máy xuyên thủy lực để đưa ống thép $\phi = 28\text{mm}$ xuống độ sâu cần khảo sát và thiết bị chuẩn máy đo;
- Phần mềm phân tích tài liệu chuyên dụng.

2. Kỹ thuật đo gồm các bước sau

- Các điểm xuyên và đo phóng xạ được lựa chọn trên cơ sở xem xét đặc điểm môi trường thông qua các tài liệu Địa Vật lý như địa chấn, đo cắt lớp điện trở và tài liệu địa chất.
- Do các nghiên cứu ở đây chủ yếu tập trung vào các tầng đất hệ tầng Thái Bình và hệ tầng Hải Hưng nên độ sâu các lỗ xuyên được thiết kế từ 8 m đến 14 m. Trong thực tế từ độ sâu 9 m trở xuống, vật liệu có độ chặt lớn nên xuyên bằng máy đập thủy lực rất khó xuống.
- Tại mỗi điểm khảo sát thường người ta thực hiện các phép đo với khoảng cách từ 10 đến 20 cm dọc theo lỗ khoan từ trên xuống dưới bằng các cực đo gamma-gamma (S23) và neutron-neutron (S24); Các số đo được ghi và lưu giữ trong bộ nhớ của máy ghi DZ-5. Số liệu này sau đó được chuyển thẳng vào máy tính nhờ cổng truyền tín hiệu R232.

Kết quả đo được xử lý bằng phần mềm chuyên dụng trên máy tính để nhận được các giá trị và biểu đồ biến đổi của các tham số: điện trở, mật độ, độ rỗng, độ ngậm nước của các lớp đất dọc lỗ xuyên.

3.3.2. Khối lượng công việc và kết quả khảo sát

1. Khối lượng công việc thực hiện

Trong phạm vi vùng nghiên cứu đã lựa chọn vị trí và tiến hành xuyên được 9 lỗ xuyên (hình 3.21). Độ sâu các hố xuyên từ 8 m đến 14 m.

Việc đo các tham số được tiến hành dọc theo các lỗ xuyên bằng cách thả các máy thu dọc theo chiều sâu lỗ xuyên với khoảng cách điểm đo theo chiều sâu là 0,1 m. Trung bình mỗi vị trí xuyên nhận được 60 đến 90 giá trị các tham số như đo mật độ độ rỗng các lớp đất.

2. Kết quả khảo sát

Sau khi khảo sát các số liệu đo đạc ngoài hiện trường được chuyển từ máy ghi sang máy tính. Số liệu này được xử lý phân tích bằng sử dụng các phần mềm chuyên dụng. Các phần mềm này đều được xây dựng bởi các nhà khoa học của Cộng hoà liên bang Đức, bao gồm:

- Phần mềm RADIO95 cho phép tính giá trị mật độ của đất đá dọc thành lỗ xuyên .
- Phần mềm Ra_input dùng để nhập các files số liệu đo và chuyển đổi dạng số liệu cho phù hợp với các phần mềm phân tích khác.
- Phần mềm Ra_Bilder là phần mềm tính độ rỗng và độ ngậm nước của đất đá.

Ngoài ra phần mềm Ra_int dùng xử lý đồng thời 3 loại số liệu: số liệu đo gamma-gamma; số liệu Notron-Notron và đo điện trở dọc các lỗ xuyên. Việc kết hợp sử dụng các phần mềm nêu trên nhằm kiểm tra lẫn nhau kết quả phân tích, cũng là cách để tăng độ tin cậy trong xác định các tham số.

Kết quả đánh giá về đặc điểm mật độ và độ rỗng của môi trường đất tự nhiên tại mỗi vị trí các lỗ xuyên được biểu diễn dưới dạng đồ thị.

Kết quả đo phóng xạ trong khu Kính Thiên:

- *Kết quả đo trong lỗ xuyên DX5:* lỗ xuyên này được thực hiện tại góc đông nam của khu Kính Thiên, khu vực gần với Đoan Môn, độ sâu xuyên đến 12 m, nhưng phép đo chỉ thực hiện được đến độ sâu 8 m. Đường cong mật độ và độ rỗng trong lỗ xuyên vị trí DX5 được thể hiện trên hình 3.22a và 3.22b. Các lớp đất từ độ sâu 0,6 m đến 8 m có mật độ và độ rỗng thay đổi phức tạp. Theo đặc điểm các đường cong quan sát có thể tạm phân môi trường đất gần bề mặt ra làm 4 lớp. Các tham số đo đạc được lấy trung bình cho từng lớp và được ghi trong bảng 3.1.

Gần vị trí lỗ xuyên cũng đã tiến hành khoan lấy mẫu, lỗ khoan ký hiệu HK3, với đường kính lỗ khoan đến 105 mm đạt độ sâu 15 m. Theo thành phần vật chất từ các mẫu

lỗ khoan nguyên dạng thì từ bề mặt đến độ sâu khoảng 3 m là lớp đất lẫn nhiều gạch vụn.

Bảng 3.1. Tham số mật độ và độ rỗng tại điểm DX5

Lớp	Độ sâu (m)	Mật độ đất khô và ướt (g/cm ³)	Độ rỗng, độ ngậm nước (%)
1	0-2.7	2.26/2.04	0.23/0.22
2	2.7 - 4.7	2.32/2.01	0.30/0.24
3	>6.9	2.40/2.03	0.36/0.23
4	>6.9	2.38/1.86	0.44/0.27

Các vật liệu này bao gồm cả thành phần cổ lẫn hiện đại. Như vậy, theo đường cong mật độ thì bề dày lớp thứ nhất mỏng hơn đôi chút so với cột địa tầng lỗ khoan. Trong khoảng độ sâu khoảng từ 2.7 đến 4.7 m, mật độ đất ở trạng thái khô nhỏ hơn lớp thứ nhất. Tại đoạn từ 4.7 mét đến 6.9 m giá trị mật độ tăng giảm không thật ổn định. Từ độ sâu 6.9 m trở lên mật độ đất khô có dấu hiệu giảm nhanh.

- *Kết quả đo phóng xạ trong lỗ xuyên ở sân điện Kính Thiên:* Lỗ xuyên này có ký hiệu KTX1 được thực hiện ngay sau thềm Rồng, hơi chệch về phía tây một chút. Độ sâu của nó 12 m, phép đo thực hiện được đến độ sâu xấp xỉ 11 m. Hình 3.23a và hình 3.23b phản ánh phân bố mật độ và độ rỗng trong lỗ xuyên tại vị trí này. Tại đây phân bố mật độ theo chiều sâu tuy phức tạp, nhưng cũng có thể chia làm 3 lớp. Mật độ trung bình các lớp được ghi trong bảng 3.2.

Bảng 3.2: Tham số mật độ và độ rỗng tại KTX1

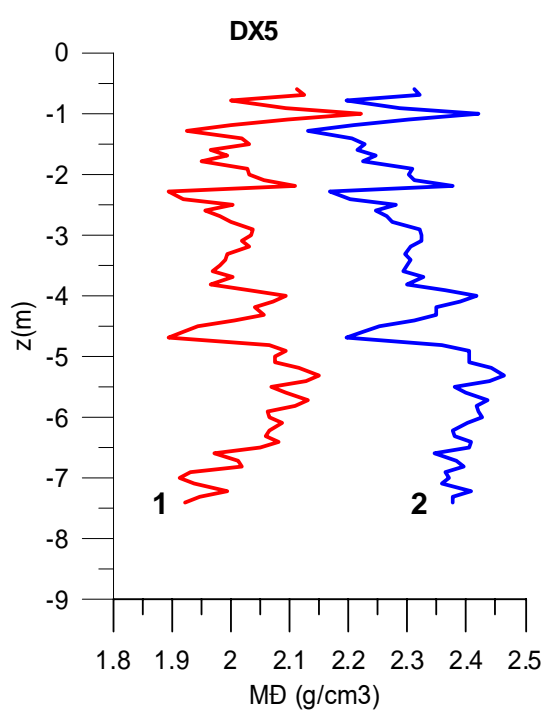
Lớp	Độ sâu (m)	Mật độ (g/cm ³)	Độ rỗng (%)
1	0-3	2,06/1,80	0,22/0,18
2	3-7	2,31/1,98	0,32/0,25
3	7- 10	2,28/1,82	0,45/0,31

- *Kết quả đo phóng xạ trong khu tập thể K75:*

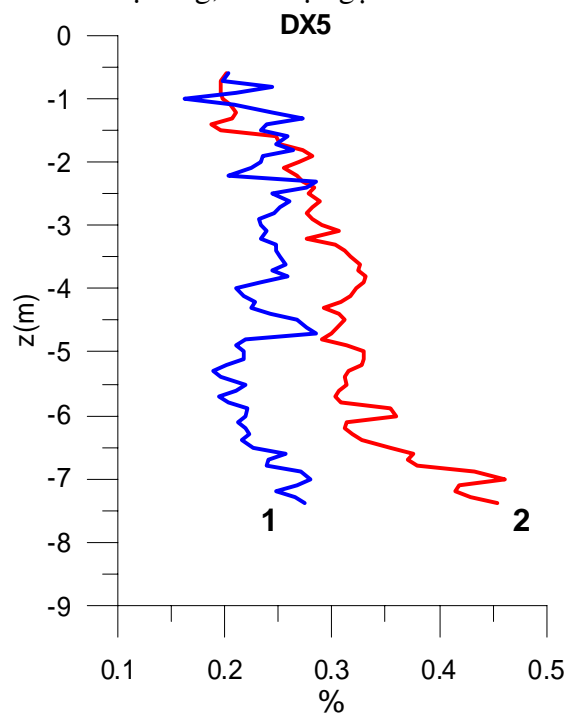
Trong khu này đã thực hiện 3 lỗ xuyên. Lỗ xuyên ký hiệu TTX1 phân bố về phía đông nhà N49 và cũng gần tường rào ngăn cách với khu Kính Thiên. Lỗ xuyên thứ hai TTX2 được thực hiện tại khu vực phía tây nhà N49. Lỗ xuyên thứ 3 ký hiệu HL1 phân bố tại rìa đường vào góc đông bắc khu tập thể.

Hình 3.22: Kết quả đo phóng xạ tại lỗ xuyên DX5 – góc đông nam Kính Thiên

1. Mật độ đất khô; 2.. Mật độ đất ướt

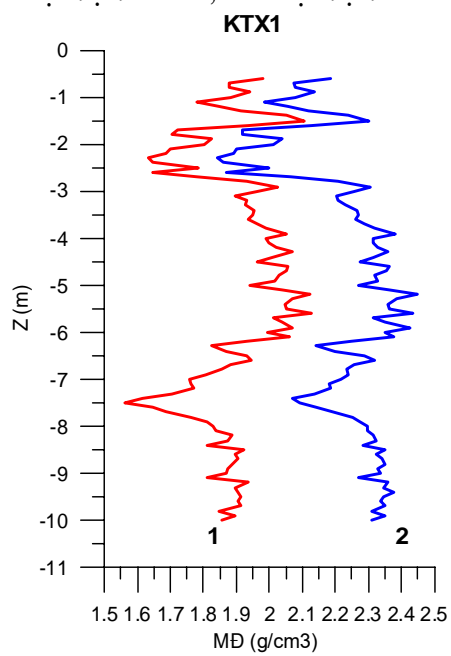


1.. Độ rỗng; 2.. Độ ngậm nước

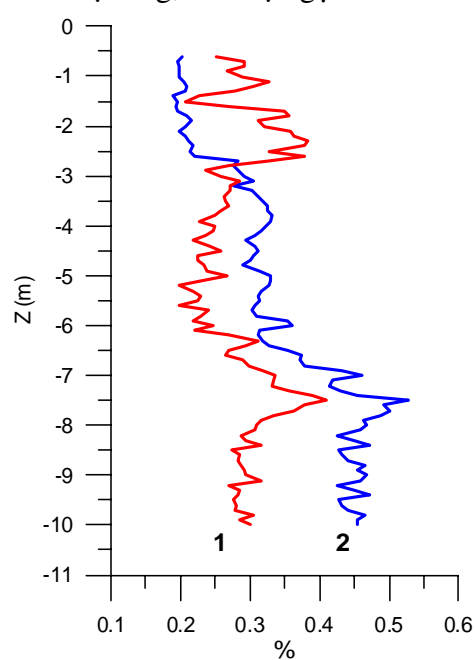


Hình 3.23: Kết quả đo phóng xạ tại lỗ xuyên KTX1 – sân điện Kính Thiên

1. Mật độ đất khô; 2.. Mật độ đất ướt



1.. Độ rỗng; 2.. Độ ngậm nước



+ *Lỗ xuyên TTX1:*

Theo giá trị mật độ và độ rỗng có thể phân môi trường đất gần bề mặt tại đây thành 4 lớp (hình 3.24a, 3.24b). Giá trị các tham số trong các lớp được ghi trong bảng 3.3.

Bảng 3.3: Tham số mật độ và độ rỗng tại TTX2

Lớp	Độ sâu (m)	Mật độ (g/cm ³)	Độ rỗng (%)
1	0 - 3.0	2.08/1.81	0.25/0.27
2	3.0 - 6.2	2.30/2.01	0.32/0.19
3	6.2 - 8.2	2.21/1.79	0.46/0.30
4	8.2 - 10	2.33/1.86	0.45/0.25

Có một đặc điểm là giá trị mật độ ở lớp thứ nhất và lớp thứ 3 có độ phân tán cao. Trong đó ở lớp thứ nhất còn có xu thế giảm theo chiều sâu, nhất là trong khoảng 1.5 - 2.7 m. Ở lớp thứ 3 thì giá trị mật độ nhỏ nhất bắt gặp tại độ sâu khoảng 7.5 - 7.7 m. Đường cong độ rỗng và độ ngậm nước cũng có thể phân theo các lớp như trên.

+ *Lỗ xuyên TTX2:*

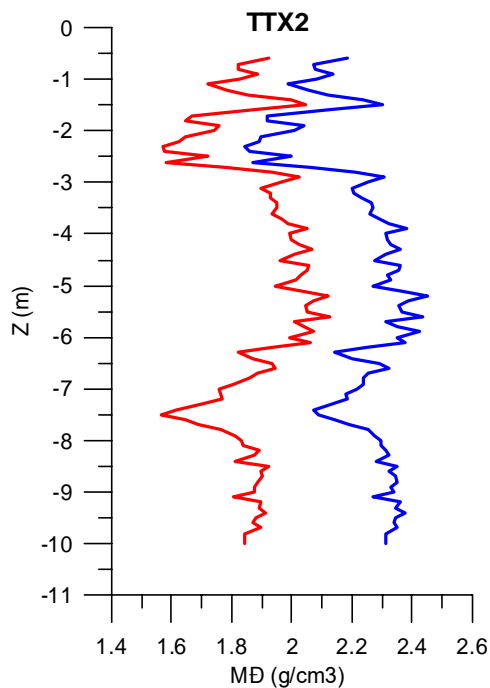
Ngay cạnh lỗ xuyên này cũng đã tiến hành lỗ khoan HK1 đường kính 105 mm, sâu 15 m. Hai lỗ xuyên trong khu tập thể đều đạt độ sâu xấp xỉ 12 m. Các đường cong mật độ và độ rỗng các lớp đất theo chiều sâu được phản ánh trên hình 3.25a và 3.25b. Theo giá trị mật độ tại lỗ xuyên TTX2 có thể chia làm 4 lớp (bảng 3.4). Trong đó vùng chuyển tiếp giữa lớp thứ 2 sang lớp thứ 3 có 1 lớp mỏng khoảng 0,5 m có giá trị mật độ giảm đi rất đáng kể. Điều này cũng phù hợp, bởi theo tài liệu khoan thì tại độ sâu này bắt đầu gặp lớp bùn sét. Kết quả phân chia lớp theo các chỉ tiêu công trình thì trong lỗ khoan HK1 gồm 3 lớp: lớp thứ nhất từ 0 - 4.6 m , độ dày này bằng tổng độ dày của lớp thứ nhất và thứ 2 trong lỗ xuyên; lớp thứ 2 từ 4.6 - 7 m trùng vào lớp thứ 3 của lỗ xuyên, lớp thứ 3 từ 7 - 10 m phù hợp với lớp 4 trong lỗ xuyên.

Bảng 3.4: Tham số mật độ và độ rỗng tại TTX2

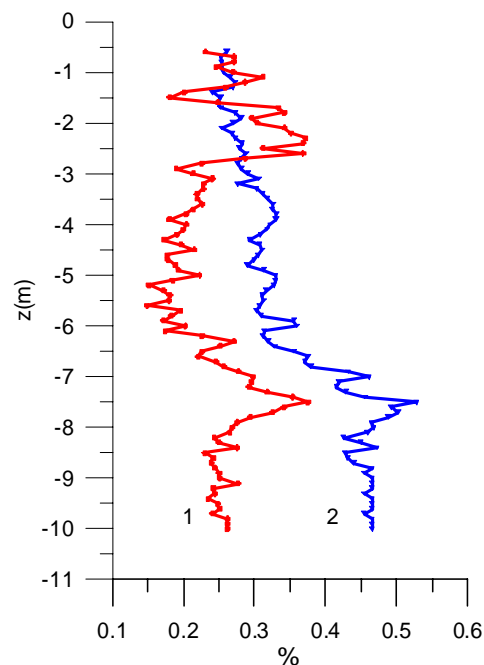
Lớp	Độ sâu (m)	Mật độ (g/cm ³)	Độ rỗng (%)
1	0 - 1.5	2.02/1.77	0,28/0,24
2	1.5 - 4.5	2,21/1,90	0,22/0,18
3	4.5 - 7	2,31/1,98	0,32/0,25
4	7 - 10	2,28/1,82	0,45/0,31

Hình 3.24: Kết quả đo phóng xạ tại khu tập thể quân đội điểm TTX1

1. Mật độ đất khô; 2.. Mật độ đất ướt

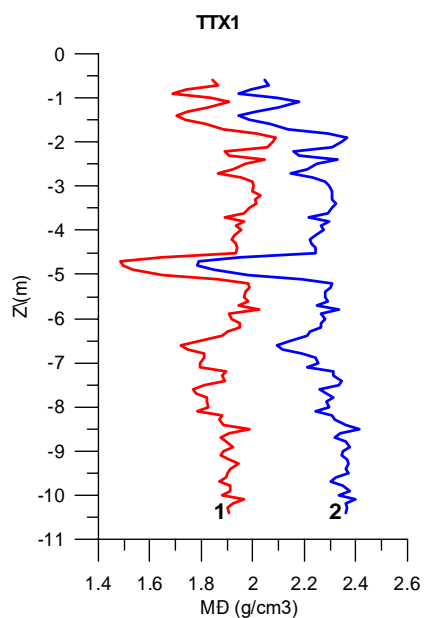


1. Độ rỗng; 2.. Độ ngậm nước

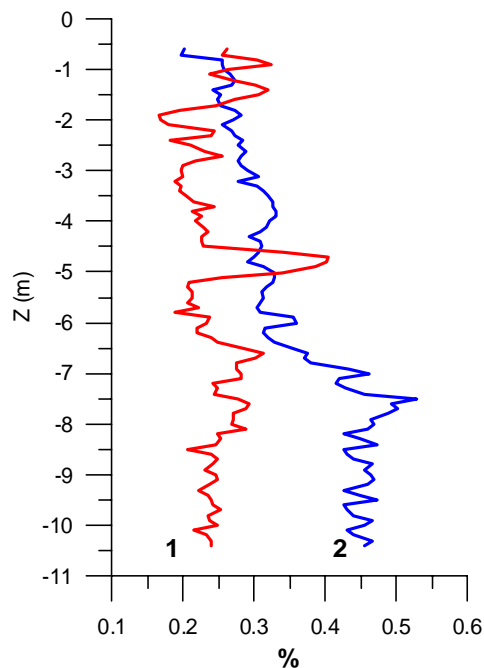


Hình 3.25: Kết quả đo phóng xạ tại khu tập thể quân đội điểm TTX2

1. Mật độ đất khô; 2.. Mật độ đất ướt



1. Độ rỗng; 2.. Độ ngậm nước



+ *Lỗ xuyên HLXI:*

Lỗ xuyên này đạt đến độ sâu hơn 9 m. Theo đặc điểm của đường mật độ, độ rỗng có thể chia làm 3 lớp (hình 3.26a và 3.26b). Trong đó lớp thứ nhất khá mỏng từ 0 - 1.5 m với giá trị mật độ nhỏ hơn hẳn lớp nằm dưới. Lớp thứ 2 dày khoảng 5m có giá trị mật độ thay đổi trong khoảng tương đối rộng. Giá trị mật độ trong lớp thứ 3 phản ánh ổn định hơn hai lớp trên. Giá trị các tham số đã đo được ghi trong bảng 3.5.

Bảng 3.5: Tham số mật độ và độ rỗng tại HLXI

Lớp	Độ sâu (m)	Mật độ (g/cm ³)	Độ rỗng (%)
1	0-1,5	1,97/1,77	0,20/0,29
2	1,5-6,5	2,31/2,06	0,25/0,17
3	6,5- 9	2,36/2,04	0,32/0,16

- *Kết quả đo tại khu Hậu Lâu:*

Lỗ xuyên duy nhất trong khu Hậu Lâu HLX2 nằm vào rìa nam của hố khai quật trong vườn Hậu Lâu. Tại đây việc đo đạc chỉ thực hiện cho phép đo mật độ. Mặc dù sự thay đổi của đường cong mật độ khá phức tạp nhưng có thể tạm chia làm 4 lớp (hình 3..27). Ranh giới các lớp và giá trị mật độ của lỗ xuyên này được ghi trong bảng 3.6.

Bảng 3.6: Tham số mật độ và độ rỗng tại HLX2

Lớp	Độ sâu (m)	Mật độ (g/cm ³)	Độ rỗng (%)
1	0 - 1.5	2.02/1.77	0,28/0,24
2	1.5 - 4.5	2,21/1,90	0,22/0,18
3	4.5 - 7	2,31/1,98	0,32/0,25
4	7 - 10	2,28/1,82	0,45/0,31

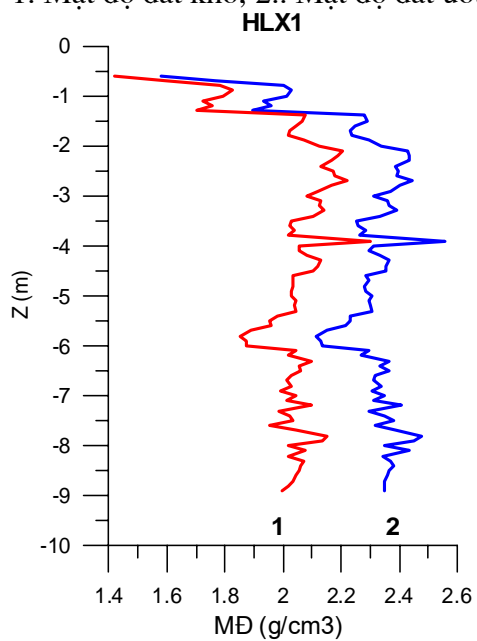
- *Kết quả đo phóng xạ tại khu Đoan Môn:* Trong khu Đoan Môn cũng đã tiến hành được hai lỗ xuyên. Lỗ thứ nhất ký hiệu DMX1 phân bố gần cổng vào góc tây nam và lỗ thứ hai tại góc đông bắc của khu được ký hiệu DMX2. Cả hai lỗ xuyên này đều đạt chiều sâu hơn 10 m.

+ *Kết quả đo trong lỗ xuyên DMXI:*

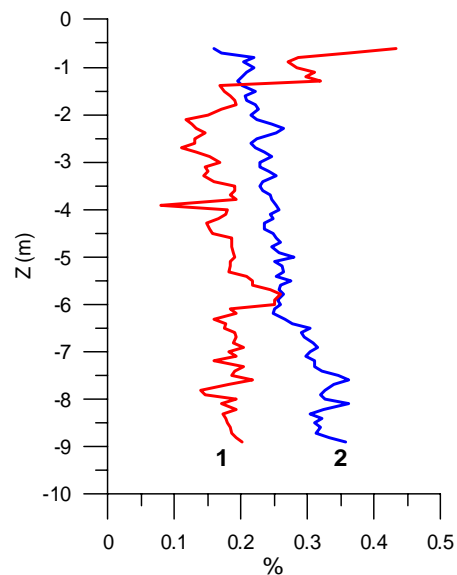
Các đường cong mật độ và độ rỗng theo chiều sâu được phản ánh trên hình 3.28a và 3.28b . Theo đó có thể chia môi trường đất gần bề mặt ra làm 3 lớp. Giá trị các tham số trong mỗi lớp tương đối ổn định, được ghi chi tiết trong bảng 3.7.

Hình 3.26: Kết quả đo phóng xạ tại Hậu Lâu điểm HLX1

1. Mật độ đất khô; 2.. Mật độ đất ướt

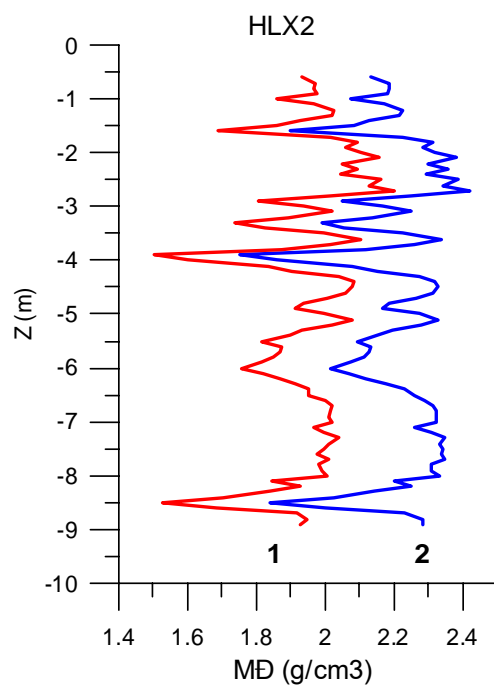


1. Độ rỗng; 2.. Độ ngậm nước

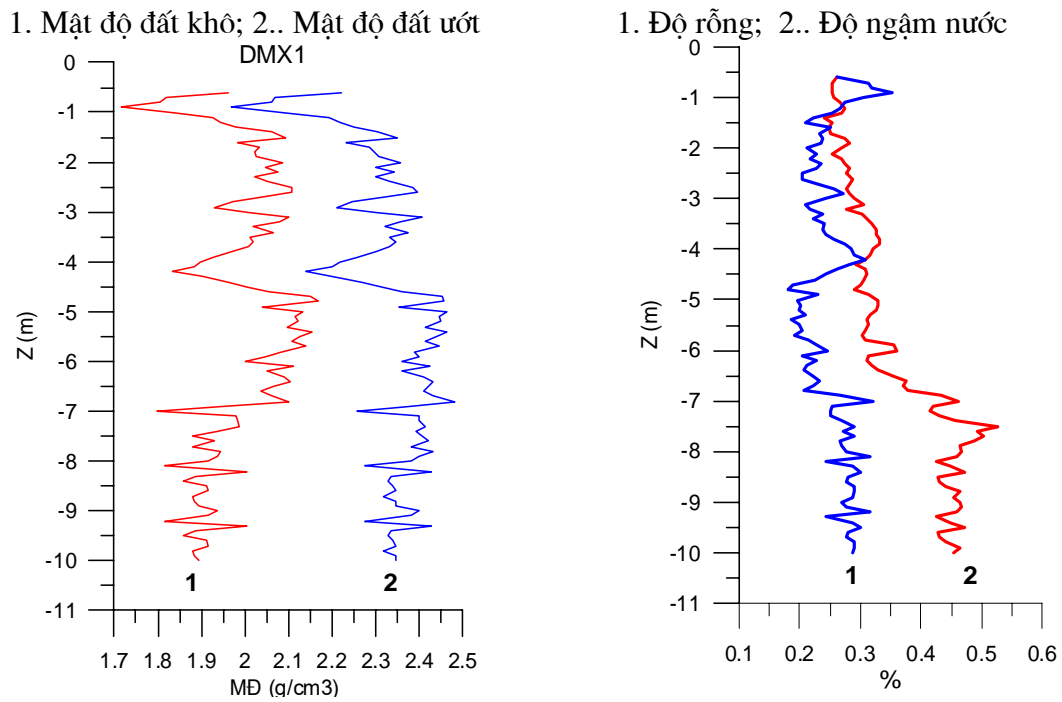


Hình 3.27: Kết quả đo phóng xạ tại Hậu Lâu điểm HLX2

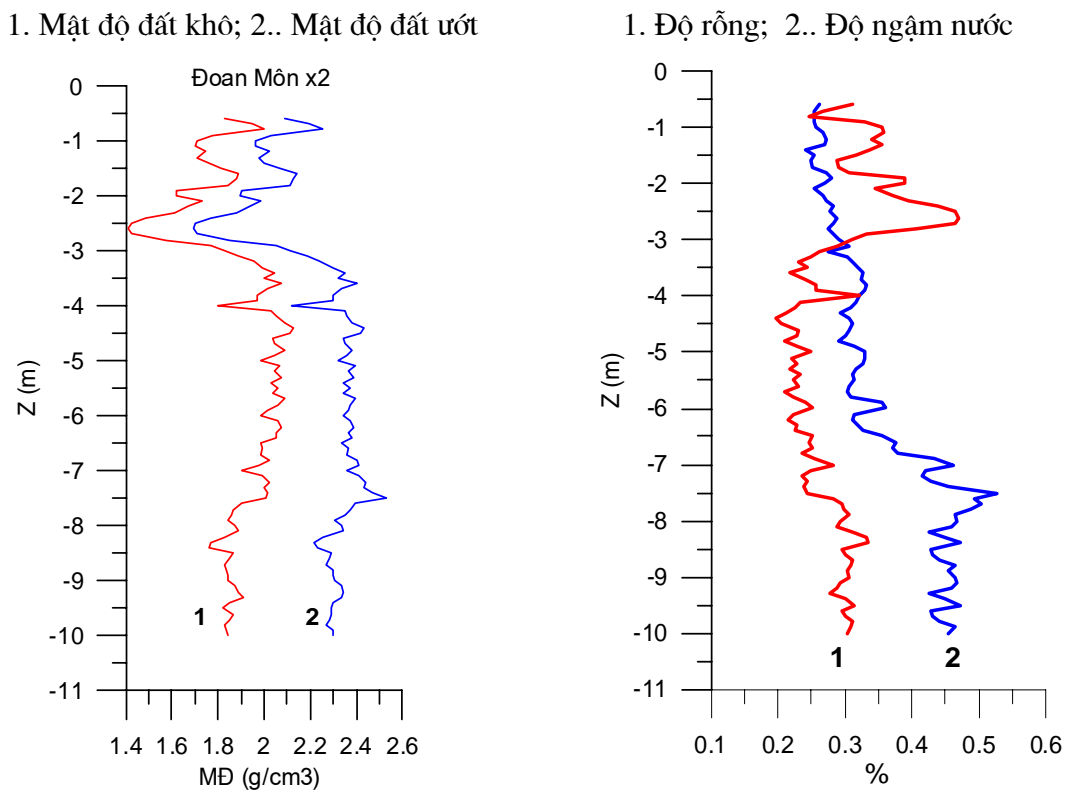
1. Mật độ đất khô; 2.. Mật độ đất ướt



Hình 3.28: Kết quả đo phóng xạ tại Đoan Môn điểm DMX1



Hình 3.29: Kết quả đo phóng xạ tại Đoan Môn điểm DMX2



Bảng 3.7: Tham số mật độ và độ rỗng tại DMX1

Lớp	Độ sâu (m)	Mật độ (g/cm ³)	Độ rỗng (%)
1	0 -2.6	2.17/1.91	0.26/0.28
2	2.6 - 7.0	2.35/2.03	0.31/0.23
3	7.0 - 10.2	2.36/1.90	0.45/0.28

+ *Kết quả đo trong lỗ xuyên DMX2:*

Tại góc đông bắc khu Đoạn Môn đường cong các tham số mật độ và độ rỗng không hoàn toàn giống như tại lỗ xuyên DMX1 (hình 3.29a và 3.29b). Theo đặc điểm đường cong các tham số đo cũng có thể chia ra làm 3 lớp. Lớp thứ nhất có bề dày khoảng 2,7 m phản ánh xu thế giảm giá trị mật độ theo chiều sâu. Điều này cho thấy khả năng tăng hàm lượng bùn sét ở phần dưới của lớp. Lớp thứ 2 chiều dày đến 5.7 m, với giá trị mật độ tăng nhanh ở phần trên sau đó ổn định hơn ở phần dưới sâu. Lớp thứ 3 có giá trị mật độ tương đối ổn định. Giá trị các tham số được ghi chi tiết trong bảng 3.8.

Bảng 3.8: Tham số mật độ và độ rỗng tại DMX2

Lớp	Độ sâu (m)	Mật độ (g/cm ³)	Độ rỗng (%)
1	0-2.7	1.98/1.72	0.25/0.35
2	2.7 - 7.4	2.37/2.0	0.32/0.25
3	7.4 - 10.2	2.29/1.85	0.45/0.29

Một vài nhận xét:

- Theo đặc điểm phân bố mật độ, độ chứa nước và độ rỗng theo chiều sâu từ 0,6 m đến độ sâu hơn 10 m, mặt cắt môi trường trong khu vực nghiên cứu phần lớn bao gồm 3 lớp đất có mật độ khác nhau. Trong lớp thứ nhất và phần trên một số vị trí quan sát thấy mật độ tăng theo chiều sâu, điều này có thể liên quan đến vật liệu xây dựng cổ bị phát tán trong quá trình lịch sử. Tại những vị trí mật độ giảm đáng kể theo chiều sâu trong lớp thứ nhất và phần trên lớp thứ 2 thường liên quan đến hiện tượng tăng lên của hàm lượng bùn sét.

- Nhìn chung các số đo phóng xạ phản ánh được đặc điểm phân lớp của môi trường đất khá phù hợp với tài liệu khoan.

Kết luận:

- Kết quả thử nghiệm 3 phương pháp Địa Vật lý trong chương này cho thấy phương

pháp thăm dò từ gần như không phản ánh được các đối tượng cần quan tâm. Trong thực tế môi trường ở đây có nhiều yếu tố có thể gây dị thường lẫn át hiệu ứng có thể gây ra bởi các đối tượng cần khảo sát.

- Phương pháp địa chấn tỏ ra có hiệu quả trong nghiên cứu phân tầng các lớp đất gần bề mặt và xác định các khu vực hàm ngầm. Ngoài ra, tại một số vị trí cũng cho khả năng dự báo tồn tại các di tích khảo cổ bị vùi lấp nhưng không nhiều.

CHƯƠNG IV

KHẢ NĂNG SỬ DỤNG CÁC PHƯƠNG PHÁP ĐỊA VẬT LÝ PHÁT HIỆN CÁC ĐỐI TƯỢNG VĂN HOÁ CỔ BỊ VÙI LẤP TRONG KHU THÀNH CỔ HÀ NỘI

Do môi trường khảo cổ trong khu Thành cổ Hà Nội rất phức tạp nên việc tiến hành các khảo sát Địa Vật lý trong nghiên cứu này chủ yếu mang tính thử nghiệm. Có thể nói, một khối lượng lớn cả về khối lượng và chủng loại các khảo sát Địa Vật lý đã được thực hiện. Như đã nêu ở phần trên, trong khu Thành cổ ngoài các đối tượng văn hoá cổ bị vùi lấp còn có hệ thống các công trình hiện đại bao gồm: nhà cửa khá dày, các hệ thống điện, viễn thông, hệ thống cấp thoát nước và đặc biệt là hệ thống hầm ngầm được xây dựng trong thời gian chiến tranh. Các đối tượng nêu trên có khả năng gây hiệu ứng vật lý nhiều khi lấn át hiệu ứng do các đối tượng cần quan tâm gây ra, làm cho việc phát hiện chúng khó khăn phức tạp. Điều này cũng thể hiện khá rõ trong khi phân tích kết quả của từng phương pháp khảo sát đã thực hiện. Tuy nhiên cũng không phải là việc áp dụng các phương pháp Địa Vật lý không mang lại hiệu quả. Đối sánh các kết quả khảo sát của từng phương pháp với một số đối tượng đã biết ngoài hiện trường như: Đường gạch đã khai quật trong khu Đuan Môn, dấu tích của hố đào tại khu Hậu Lâu, một số dấu hiệu hầm ngầm trong khu Kính Thiên và khu tập thể quân đội cũng đã được phản ánh trong kết quả khảo sát của một số phương pháp. Ngoài ra, các kết quả khoan xác định địa tầng các lớp đất gần bề mặt tại nhiều điểm cũng phù hợp với kết quả khảo sát Địa Vật lý. Để hiểu rõ hơn về khả năng áp dụng các phương pháp Địa Vật lý trong phát hiện các đối tượng văn hoá cổ bị vùi lấp trước hết ta cần xem xét lại chi tiết hiệu quả, những ưu điểm và những hạn của từng phương pháp đã thử nghiệm. Ngoài ra, để phân biệt được các dị thường liên quan đến đối tượng văn hoá cổ ta cũng cần phải biết đặc điểm của cả các dị thường liên quan đến các đối tượng khác như hầm ngầm, môi trường địa chất các lớp gần mặt đất, các đối tượng liên quan đến hệ thống hạ tầng đô thị v.v...

4.1. VỀ HIỆU QUẢ CỦA CÁC PHƯƠNG PHÁP ĐỊA VẬT LÝ ĐÃ ÁP DỤNG THỬ NGHIỆM

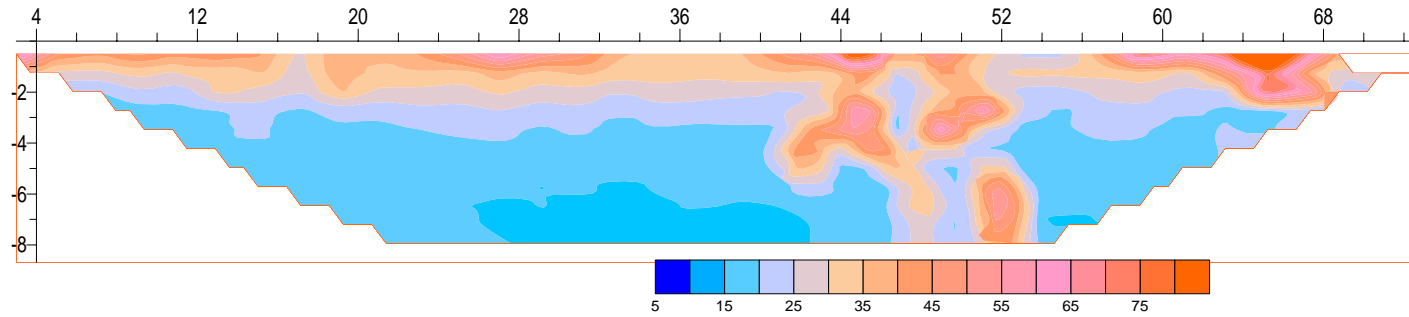
4.1.1. Phương pháp cắt lớp điện trở

Như đã trình bày ở phần trên, phương pháp cắt lớp điện trở cho khả năng nghiên cứu lát cắt theo chiều sâu tính từ mặt quan sát. Do phương pháp này khi đo cần phải tiếp địa các điện cực nên trong khu Thành cổ chỉ tiến hành được ở một số vị trí. Tại các địa điểm như trong nhà, trên đường bê tông hoặc đường nhựa việc khảo sát bằng phương pháp này không thực hiện được. Tuy vậy cũng đã tiến hành được 29 tuyến đo, tại tất cả các khu đều có tuyến đo đại diện.

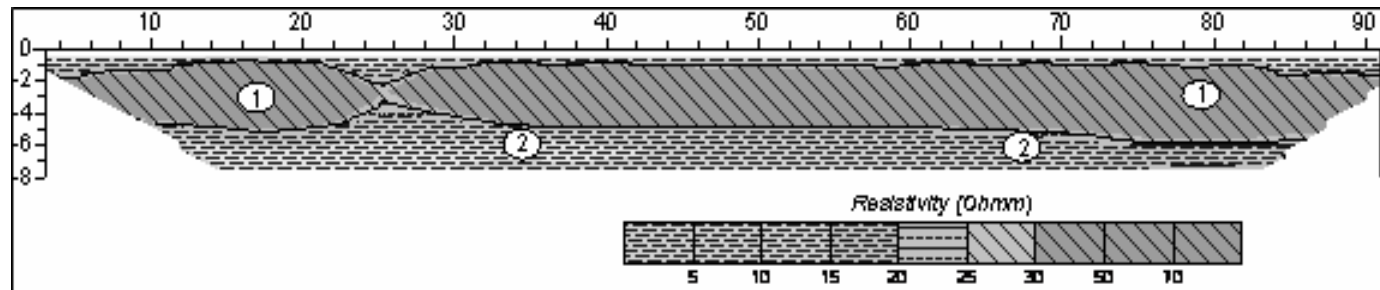
Kết quả khảo sát cho thấy, giá trị điện trở suất trong các lát cắt địa điện thay đổi trong khoảng từ 5 - 10 Ωm đến khoảng xấp xỉ 100 Ωm . Tại những nơi ít bị nhiễu tính phân lớp của môi trường đất gần bề mặt cũng được phản ánh khá rõ trong một số lát cắt. Có thể thấy mặt cắt tuyến đo dọc tường phía nam trong khu Hậu Lâu T1hl (hình 4.1) phản ánh tính phân lớp khá điển hình cho cấu trúc các lớp đất gần bề mặt trong khu Thành cổ. Trong đó lớp trên cùng ở những nơi là đất đắp thường phản ánh bằng lớp điện trở suất cao hơn các lớp dưới nó. Lớp đất đắp một mặt có độ tơi xốp cao, tại nhiều nơi còn chứa thêm các mảnh vụn của vật liệu xây dựng bị phát tán trong lịch sử xây dựng là nguyên nhân làm cho giá trị điện trở suất tăng cao. Thường lớp đất này khá mỏng trong lát cắt điện trở suất chỉ khoảng hơn 1 m trở lại với giá trị điện trở suất phổ biến thay đổi trong khoảng 35 - 40 đến 70 - 75 Ωm . Lớp thứ hai có giá trị điện trở suất thường nhỏ hơn chỉ đạt khoảng từ 20 - 25 đến 35 - 40 Ωm , dày khoảng 2 m, có nơi đến 3 - 4m. Liên kết với tài liệu lỗ khoan và kết quả nghiên cứu địa chất Đệ tứ cho thấy 2 lớp đất này đều thuộc trầm tích hệ tầng Thái Bình, còn được coi là tầng nhân sinh. Thành phần thạch học của lớp này cũng còn tỉ lệ cát cao, nhưng hàm lượng bùn sét ẩm tăng hơn lớp thứ nhất. Lớp thứ 3 thường tương ứng với lớp đất thuộc hệ tầng Hải Hưng, tỉ lệ bùn sét cao hơn cát. Tính phân lớp mang tính đặc trưng như trên còn bắt gặp ở nhiều nơi trong khu Thành cổ. Trên hình 4.2 là lát cắt địa điện tại khu vực chuẩn bị xây nhà Quốc Hội, nơi lớp thứ nhất đã bị bóc đi gần hết. Hai lớp còn lại vẫn có độ dày và giá trị điện trở suất tương tự. Như vậy, nếu trong kết quả ta nhận được lát cắt địa điện mà xuất hiện nhiều bất đồng nhất làm đứt đoạn tính phân lớp, các bất đồng nhất này có khả năng liên quan đến các đối tượng khác như di tích văn hoá bị vùi lấp. Trong đó các đối tượng có khả năng tạo ra lát cắt gián đoạn trong khu Thành cổ có thể là: các đối tượng văn hoá cổ và hiện đại bị vùi lấp, các lòng sông, ao hồ cổ v.v... Các khảo sát cũng cho thấy rằng, các lòng sông cổ, các hầm ngầm, công trình bị vùi lấp chứa kim loại, đường ống nước là những đối tượng thường phản ánh vùng có điện trở suất thấp đến rất thấp so với môi

trường bình thường như đã nêu trên. Trong khi đó, các đối tượng liên quan đến di tích văn hoá cổ, các công trình hiện đại như hầm ngầm nếu không chứa kim loại đáng kể thì giá trị điện trở suất cao hơn giá trị của các lớp đất tự nhiên xung quanh. Điều này được phản ánh rất rõ trong mặt cắt tuyến T2hl (hình 4.3). Tại đây khu vực hố đào được lấp bằng đất tối xốp hơn nên giá trị điện trở suất cũng cao hơn. Tại khu vực từ điểm 46 đến 56 m giá trị điện trở suất rất thấp chỉ 5 - 10 Ω m, là dấu hiệu phản ánh ống nước chạy qua. Tuy nhiên giá trị điện trở suất thấp tại đoạn 28 - 35 m phân bố từ khoảng độ sâu 5 m có lẽ phản ánh khu vực tồn tại ao, hồ hoặc kênh rạch cổ. Với các phân tích như trên ta có thể thấy tại đoạn từ khoảng điểm 43 đến 52 m dọc tuyến đo T1hl các dị thường điện trở suất cao phát hiện ở độ sâu từ 2 - 3 đến 7 m rất có thể liên quan đến các di tích cổ bị vùi lấp. Nhận định như vừa nêu cũng đã được nêu trong chương 2, khi nói về kết quả đo điện trở đất. Kết quả tương tự cũng bắt gặp trên tuyến T4hl, dọc tường phía bắc của hậu Lâu, một số tuyến ở Đuan Môn và khu vực nam Kính Thiên như đã mô tả trong chương 2. Tại khu tập thể quân đội K75 và phần diện tích sau nhà con rồng của khu Kính Thiên, nhiều vùng làm dãn đoạn tính phân lớp của môi trường có giá trị điện trở suất rất thấp, chủ yếu phản ánh hệ thống hầm ngầm có chứa khung kim loại. Điều này được xác nhận bởi tại một số địa điểm ta biết rõ có hầm ngầm để đối sánh kết quả. Trong khu vực dự đoán có hầm ngầm cũng phát hiện được một số dị thường điện trở suất khá cao đến hơn 80 Ω m, nằm ở độ sâu 2- 5 m. Tuy nhiên khó có thể dự đoán dấu hiệu này liên quan đến các vật thể văn hoá cổ, bởi các vị trí này rất gần với thành hầm. Rất có thể dị thường này do hiệu ứng thành hầm gây ra. Như vậy, phương pháp cắt lớp điện trở có thể coi là có hiệu quả trong phát hiện các đối tượng văn hoá cổ bị vùi lấp tại khu vực lân cận đường gạch khai quật tại Đuan Môn, bao gồm cả phần dự đoán theo dấu vết trong các mặt cắt điện trở ở phần diện tích nam Kính Thiên. Tại khu vực gần tường nam Hậu Lâu và bắc Hậu Lâu các vị trí dự đoán cũng có cơ sở, bởi các dị thường liên quan đến di tích dự đoán bị vùi lấp phản ánh sự dãn đoạn tính phân lớp trong môi trường tự nhiên khá đồng nhất ở đây. Tại phần phía bắc khu Kính Thiên và khu tập thể quân đội, thể hiện rõ nhất trong mặt cắt là các vị trí hầm ngầm. Một số trong chúng đã có bằng chứng đối sánh, số khác do đó cũng có cơ sở để dự đoán. Trong các khu này nếu có các đối tượng văn hoá cổ bị vùi lấp cũng khó phát hiện bởi hiệu ứng do các hầm ngầm gây ra có thể làm mờ nhạt hiệu ứng của các đối tượng cần quan tâm. Cũng có khả năng tại các khu này không còn đáng kể các đối tượng khảo cổ bị vùi lấp. Ngoài các kết

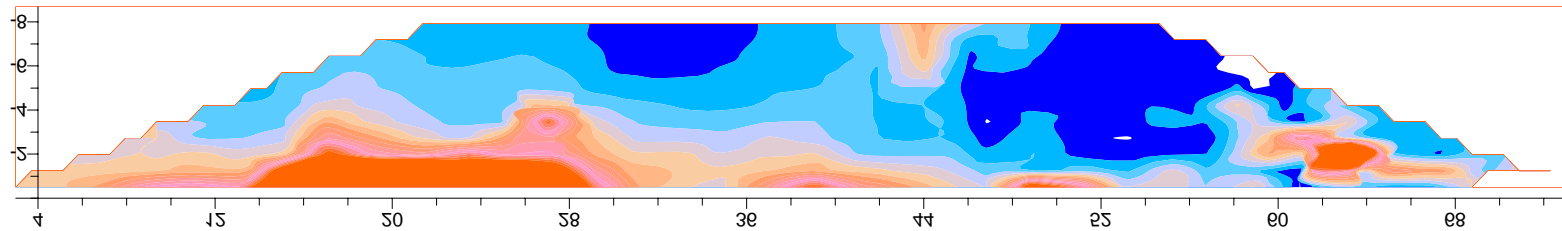
Hình 4.1: Lát cắt điện trở suất tuyến dọc tường nam Hậu Lâu



Hình 4.2: Lát cắt điện trở suất chuẩn môi trường các lớp gần bề mặt tại khu xây nhà Quốc hội



Hình 4.3: Lát cắt điện trở suất tuyến dọc đường giữa Hậu Lâu



quả như nêu trên, tài liệu đo cắt lớp điện trở cũng góp phần vào việc phân tầng phục vụ nghiên cứu tầng địa chất nhân sinh, một đối tượng cũng có ích cho công tác khảo cổ. Tuy nhiên cũng còn nhiều vị trí không có đủ điều kiện để tiến hành đo bằng phương pháp điện trở, đó là các khu nhà, các khu vực đường bê tông, sân và đường nhựa. Đây cũng là một hạn chế bất lợi, bởi các diện tích có phân bố các đối tượng vừa nêu chiếm tỉ lệ rất lớn trong khu Thành cổ.

4.1.2. Về hiệu quả của phương pháp Radar xuyên đất

Thiết bị Radar xuyên đất được sử dụng khá phổ biến trong công tác phát hiện các đối tượng khảo cổ bị vùi lấp ở nhiều nước và trong nhiều dự án được đánh giá đạt hiệu quả cao. Các khảo sát nghiên cứu bằng phương pháp này trong khu Thành cổ không đạt được kết quả như mong muốn. Nguyên nhân chính là trong khu Thành cổ có nhiều đối tượng xen lẫn như đã nêu ở phần trên cũng có thể gây ra các dị thường, nhưng đáng quan tâm hơn cả là mực nước ngầm trong phạm vi thành phố Hà Nội nói chung và Thành cổ rất cao nên sóng điện từ phát vào lòng đất suy giảm nhanh do tăng hàm lượng nước ngay trong lớp đất gần bề mặt. Kết quả cho ta các mặt cắt truyền sóng phản ánh các thông tin đảm bảo độ tin cậy không vượt quá 1.5 m. Đặc điểm này hạn chế đáng kể hiệu quả sử dụng phương pháp Radar trong giải quyết nhiệm vụ đặt ra cho công tác Địa Vật lý ở đây. Một điểm khác cũng đáng lưu ý là trên các mặt cắt truyền sóng xuất hiện khá nhiều dị thường, trong đó có nhiều dị thường phân bố ngay dưới bề mặt chỉ khoảng vài ba chục đến 50 - 60 cm. Theo hiện trạng môi trường Thành cổ có thể coi các dị thường này phần lớn liên quan đến các bất đồng nhất gần ngay bề mặt như ống dẫn nước, các bất đồng nhất trong vật liệu xây dựng các công trình hiện đại v.v... Có một số dị thường xuất hiện ở các độ sâu lớn hơn với hình dạng và kích thước tương tự như là móng tường xây bằng gạch. Các dị thường loại này xuất hiện khá nhiều tại khu vực đường nhựa trước thềm rồng của sân điện Kính Thiên. Cũng có một khả năng khác là các dị thường dạng nêu trên có thể phản ánh cả những thành của công trình ngầm như hầm ngầm, hoặc ranh giới tạo bậc của các con đường lát gạch, đá v.v... Chọn lọc một số dị thường có độ sâu tương đối lớn hơn khoảng từ 0,6 m trở lên tại những vùng đã có các dấu hiệu nhờ các khảo sát hiện trường hoặc được phản ánh bằng các dị thường Địa Vật lý khác có thể khái quát lại kết quả chủ yếu của việc áp dụng phương pháp radar như sau:

- Tại khu Hậu Lâu đã phát hiện khá nhiều điểm dị thường tại nửa phần phía tây của khu vườn. Nối các điểm có dấu hiệu dị thường trong phần diện tích này lại với nhau tạo thành một vùng có kích thước và hình dạng rất giống với vùng hố đào được khoan theo phép đo điện từ tần số thấp. Tại góc đông nam của khu vườn nơi được dự đoán tồn tại các di tích văn hoá cổ bị vùi lấp bằng các tài liệu địa chấn, cắt lớp điện trở và điện từ tần số thấp, trong mặt cắt tuyến đo radar cũng thể hiện, nhưng kích thước dị thường nhỏ hơn. Có thể do chiều sâu nghiên cứu của phương pháp này hạn chế nên dị thường chỉ mới phản ánh được phần chỏm trên của đối tượng. Ngoài ra trong khu này cũng còn một số ít dị thường phân bố rời rạc, lẻ tẻ rất khó dự đoán liên quan đến đối tượng nào.

- Tại khu vực sân trước nhà D67 trên các mặt cắt radar phản ánh các dị thường được dự đoán là dấu hiệu liên quan đến hầm ngầm. Bằng cách nối các vị trí dị thường lại với nhau có thể thấy vùng này có bề rộng đến hơn 7 - 8 m. Điều này cũng được xác nhận bằng sự xuất hiện các dị thường trong phép đo địa chấn dọc theo tuyến sát bên cạnh về phía bắc, các tuyến địa chấn và thăm dò điện về phía nam khoảng 6 và 12 m tương ứng. Ngoài khảo sát hiện trường thì các cán bộ quản lý khu Thành cổ cũng xác nhận hầm ngầm kích thước lớn tồn tại ngay dưới bề mặt của sân.

- Tại khu dọc đường nhựa trước thềm rồng của sân điện Kính Thiên sau khi nối các dị thường có độ sâu không quá nhỏ và chúng tạo thành dải theo phương nhất định có thể thấy, từ góc đông bắc nhà N14 cắt qua đường sang sân điện Kính Thiên là vùng dị thường có nhiều khả năng liên quan đến hầm ngầm chạy từ khu sân qua đường. Tại đây hai bên mép đường hai mặt cắt điện trở suất cũng phản ánh dị thường điện trở có kích thước tương tự. Tiếp tục về phía tây vùng dị thường vừa nêu khoảng 6 m, xuất hiện thêm một dải dị thường phương bắc - nam. Theo đặc điểm các dị thường như mô tả trong chương 2, thì dải này có thể phản ánh chân móng tường hoặc thành hầm. Cũng có bức tranh tương tự đối với dải dị thường chạy vuông góc với đường tại điểm trước nhà N19 và được dự đoán cũng có khả năng liên quan đến móng tường gạch hoặc đá. Tuy nhiên đây mới là giả thuyết và cần được kiểm nghiệm về sau. Kết quả khảo sát trên đoạn đường này cũng còn phát hiện một số dị thường phân bố rải rác nên việc dự đoán nguồn gốc cũng khó.

- Tại khu vực nam Kính Thiên và Đoan Môn các khảo sát radar gần như không phản ánh có dị thường trong mặt cắt sóng, ngoại trừ một dị thường phát hiện được trên tuyến đo sát tường ngăn giữa Kính Thiên và Đoan Môn. Theo đặc điểm dị thường và vị trí

phân bố, có thể thấy dị thường này liên quan đến được gạch chạy từ Đoan Môn sang Kính Thiên.

Như vậy, phương pháp radar sử dụng trong trường hợp này bị hạn chế đáng kể về chiều sâu nghiên cứu nhưng tại một số vị trí nó cũng cho được các dị thường phản ánh phần nông của các hầm ngầm, khả năng tồn tại móng các chân tường gạch, phần trên của di tích dự đoán tại góc đông nam Hậu Lâu và tín hiệu tiếp tục đi về phía bắc của đường gạch khai quật tại Đoan Môn. Tuy nhiên trong kết quả của phương pháp này cũng còn không ít các dị thường rất khó dự đoán nguồn gốc.

4.1.3. Phương pháp điện từ tần số thấp ERA

Việc khảo sát bằng phương pháp điện từ tần số thấp dùng thiết bị ERA mặc dù mới tiến hành được theo một mạng lưới tuyến còn khá thưa nhưng bản đồ phân bố thành phần điện xây dựng trên các diện tích khảo sát cũng phản ánh được những nét khái quát tính chất điện của môi trường lòng đất cho đến độ sâu khoảng 3 - 4 m. Do thiết bị sử dụng ăngten tần số 625 Hz, tránh được nhiễu điện từ do các hệ thống dân dụng gây ra nên tính định xứ các vật thể gây dị thường tốt hơn. Ưu điểm của phép đo này là cho phép ta có thể theo dõi được bức tranh phân bố các dị thường trên diện tích, điều này giúp ta dự đánh giá được kích thước của chúng theo chiều ngang của chúng. Thông tin này nhiều khi cũng có ích cho việc dự báo, bởi các công trình bị vùi lấp thường không thể có kích thước quá lớn.

Như đã nêu trong chương 2, kết quả đo bằng phương pháp này cho thông tin về các đối tượng bị vùi lấp có tính định xứ cao. Có thể khẳng định điều này bởi phần tiếp tục của con đường lát gạch từ Đoan Môn được phản ánh bằng dị thường khá phù hợp cả về kích thước lẫn hướng kéo dài sang khu vực nam Kính thiên. Tiếp đến là khu vực phân bố hầm ngầm tại phần diện tích phía tây sân điện Kính Thiên cũng thể hiện khá rõ. Hầm ngầm này còn kéo dài đến phía nam nối vào hầm thông tin tại mép tây khu nhà N18. Dấu tích kéo dài này cũng thể hiện rất rõ bằng dị thường điện đo bằng thiết bị ERA. Tại khu Hậu Lâu vùng diện tích hố đào đã lấp đất cũng phản ánh khối dị thường phù hợp với diện phân bố trong thực tế. Dị thường này cũng phù hợp với diện tích khoanh bằng cách nối các dị thường radar đo tại đây. Nằm sát ranh giới phái đông dải dị thường thành phần điện được dự đoán là phân bố hầm ngầm cũng phù hợp với kết quả đo cắt lớp điện trở và đo địa chấn trên một số tuyến hạn chế.

Đáng lưu ý là khu vực men theo tường phía nam của Hậu Lâu, nhất là khu gần góc đông nam phát hiện được các khối dị thường kích thước khoảng 2 - 4 m, rất có thể liên quan đến các di tích văn hoá cổ bị vùi lấp. Tại các vị trí này trong hầu hết các phép đo đều phát hiện được dị thường. Theo các dấu hiệu tương tự và suy đoán theo logic hình học đã phác thảo dự đoán được phân bố con đường gạch chạy từ Đoan Môn sang Kính Thiên. Tuy nhiều đoạn cũng cần được kiểm chứng nhưng đây cũng là một thông tin cũng có những cơ sở và có độ tin cậy nhất định.

Cũng theo đặc điểm của các dị thường từ những khu vực có đối tượng đối sánh thì ở diện tích nằm về phía đông nam nhà D67, khu vực đường nhựa song song với đường Nguyễn Tri Phương và lân cận xuất hiện một số dị thường nhiều khả năng liên quan đến các đối tượng khảo cổ bị vùi lấp.

Qua phân tích các kết quả như trên, có thể thấy phương pháp điện từ tần số thấp cho được khả năng phát hiện khá tốt trên bình đồ các đối tượng bị vùi lấp. Tuy nhiên chiều sâu phân bố của các đối tượng cần phải được xác định bằng các phương pháp khác. Ngoài ra phép đo bằng thiết bị này chỉ mới thực hiện được trên mạng lưới tuyến còn khá thưa, nên các đối tượng kích thước nhỏ có thể chưa phát hiện được. Đáng ghi nhận là kết quả của phương pháp này tại những vị trí có bằng chứng đối sánh thực tế đều khá phù hợp. Kết quả này cho thấy việc kết hợp một số phương pháp Địa Vật lý vẫn có khả năng giúp ta phát hiện các đối tượng văn hoá cổ trong khu Thành cổ có hiệu quả. Tuy nhiên cũng cần lưu ý là có một số dị thường do các đối tượng như vách hầm, thành các hố hoặc các bậc trong lòng đất gây ra cũng khá giống những dị thường gây nên bởi các đường gạch v.v... Các dị thường nhiễu này cần được xem xét kỹ và dựa vào các thông tin hiện trường để loại bỏ chúng.

4.1.4. Hiệu quả của phương pháp thăm dò địa chấn

Công tác khảo sát địa chấn trong khu Thành cổ đã tiến hành được một khối lượng không nhỏ, kết quả cũng đã được mô tả khá chi tiết cho nhiều mặt cắt trong chương 3. Theo đó nhiều vị trí có hầm ngầm phản ánh rất rõ trên bức tranh trường sóng, trong số đó có một số hầm ngầm có thể đối sánh bằng khảo sát hiện trường. Đáng lưu ý là kết quả khảo sát nghiên cứu bằng phương pháp địa chấn còn cho phép phân tầng cấu trúc của các lớp đất ngay dưới bề mặt quan sát. Giữa các tầng này có độ phân dị về vận tốc truyền sóng khá rõ rệt. Lớp thứ nhất có giá trị vận tốc thường trong khoảng 350 đến hơn

700 m/s; lớp thứ 2 có giá trị vận tốc khoảng từ >1000 đến hơn 1300 m/s; lớp thứ 3 vận tốc thường đạt giá trị trong khoảng 1700 đến hơn 2000 m/s. Đáng lưu ý là bề dày các lớp xác định được theo tài liệu địa chấn khá phù hợp với bề dày các tầng trầm tích Đệ tứ có mặt trong khu Thành cổ. Trong đó lớp đất có quan hệ nhiều nhất với hoạt động con người hay còn gọi là tầng nhân sinh được các nghiên cứu xác định là tầng trầm tích trong kỷ Holocen hệ tầng Thái Bình. Hệ tầng này có tuổi 3000 năm trở lại đây, là lớp đất trên cùng, có bề dày khoảng từ một vài mét đến 4 mét [13]. Có thể thấy hầu hết các công trình được xây dựng trong các thời kỳ lịch sử đều liên quan đến lớp đất này. Qua khảo sát nghiên cứu tại khu khai quật 18 đường Hoàng Diệu cũng thấy rằng, phần lớn các di tích khảo cổ bị vùi lấp nằm trong lớp trầm tích hệ tầng Thái Bình. Lớp đất này tơi xốp, các di tích bị vùi lấp cũng dễ di chuyển trong nội lớp mỗi khi có lực tác động. Điều này cho thấy tầng nhân sinh cũng có ý nghĩa nhất định đối với công tác nghiên cứu khảo cổ. Mặc dù các tuyến đo địa chấn đã thực hiện trong khu Thành cổ mật độ không dày nhưng phân bố tương đối đều trên diện tích và trên tất cả các tuyến đều phân được lớp thứ nhất nên ta có thể xây dựng được bề mặt đáy lớp thứ nhất (hình 4.4). Liên kết tài liệu này với kết quả khoan và các kết quả nghiên cứu về địa chất Holocen [13] cho thấy lớp thứ nhất theo kết quả khảo sát bằng phương pháp địa chấn khá phù hợp với tầng trầm tích hệ tầng Thái Bình. Bằng chứng là theo địa tầng trong lỗ khoan HK1, phân bố tại điểm nằm giữa nhà N49 và N50 trong khu tập thể quân đội thì tầng Thái Bình có chiều dày 4,6 m, còn tài liệu địa chấn cũng cho chiều dày cũng khoảng 4,6 m. Tại lỗ khoan HK2 cạnh nhà N44, gần đường Nguyễn Tri Phương chiều dày lớp đất hệ tầng Thái Bình được xác định 4,8 m, trong khi tài liệu địa chấn cho xấp xỉ 5 m. Lỗ khoan HK4 tại góc đông nam của hầm thông tin gần nam khu Kính Thiên cho phép xác định chiều dày lớp đất hệ tầng Thái Bình 3 m thì theo tài liệu địa chấn là 3,2 m. Tại lỗ khoan HK3 nằm ở góc đông nam của khu Kính Thiên, gần với Đoan Môn chiều dày tầng Thái Bình được xác định 3 m theo địa tầng lỗ khoan, trong khi tài liệu địa chấn cho chiều dày 2,9 m. Do kết quả đối sánh phù hợp như nêu trên, nên bề dày lớp thứ nhất theo tài liệu địa chấn trong báo cáo này được coi là bề dày của tầng nhân sinh (hệ tầng Thái Bình). Theo đó, bề dày của tầng trầm tích này trong phạm vi khảo sát thay đổi từ khoảng 1 m đến hơn 6 m. Bề mặt địa hình đáy của nó bao gồm một số cấu tạo lồi, lõm có hình dạng tương đối đẳng thước đan xen nhau. Tại khu Hậu Lâu phát hiện một cấu tạo lồi với nhân được khoanh bằng đường đồng mức 2 m, có kích thước khoảng 22 m,

hình dạng khá đẳng thước. Phần lớn diện tích của khu nhà Hậu Lâu hiện nay nằm gọn trong vùng cao nhất của cấu tạo này. Tiếp theo về phía nam nằm gọn trong khu tập thể quân đội quan sát được một cấu tạo phương đông - tây lún chìm đến độ sâu hơn 6 m. Phần nhân của cấu tạo này rộng khoảng 14 m, lại thấp hơn các vùng xung quanh đến 3 - 4 m, có thể là dấu tích của ao hồ, hoặc kênh rạch cổ. Về phía nam cấu tạo lún chìm này là một khối nâng khá lớn, kích thước của của khối được khoanh bằng đường đẳng trị 3 mét đạt đến 150 m theo phương bắc - nam. Phần diện tích phía trong đường đẳng trị này khối chia ra làm hai cấu tạo nâng kích thước nhỏ hơn. Trong đó phần phía nam là một cấu tạo lõi nâng cao hơn đến xấp xỉ 1 m và có phương đông bắc - tây nam. Phần phía bắc cũng là một cấu tạo lõi phương á kinh tuyến và nâng lên với biên độ nhỏ hơn, với độ sâu phân bố < 2 m. Đáng lưu ý là sân và nhà con rồng được dự đoán là điện Kính Thiên nằm gọn trong vùng giữa 2 cấu tạo này. Phần diện tích này cũng là vùng nâng cao, như là vùng yên ngựa nằm giữa hai chỏm cao hơn của một ngọn đồi. Phần diện tích còn lại bao gồm khu vực nam khu Kính Thiên và Đoan Môn nằm trong phạm vi một cấu tạo lõm, có phương gần với bắc - nam. Nhân trong cùng được khoanh bằng đường đẳng trị 5 m có kích thước khoảng 35 m. Kích thước của vùng được khoanh bằng đường đẳng trị 4 m, đạt xấp xỉ 76 m. Khu nhà ở Đoan Môn nằm trên sườn của cấu tạo này từ khoảng độ sâu gần 4 m đến khoảng 2 m. Riêng phần phía nam khu Kính Thiên, nơi tiếp giáp với Đoan Môn ôm gọn gần hết cấu tạo lõm với nhân đạt đến chiều sâu hơn 5 m. Có thể nhận định rằng, trong những giai đoạn lịch sử nghìn năm trước đây môi trường tự nhiên còn ít bị tác động nên các vùng được nâng cao như trong tài liệu địa chấn là những vùng thuận lợi hơn cho việc xây dựng phát triển. Trong thực tế thì các di tích còn lại hoặc các điểm được dự đoán có thể có di tích phần lớn phân bố trên các vùng có cấu tạo nâng. Riêng khu Đoan Môn mặc dù nằm trong phạm vi của cấu tạo lõm nhưng lại là vùng sườn của nó, nơi có độ chênh cao so với điểm thấp nhất của cấu tạo này cũng đến gần vài mét. Với đặc điểm phân bố của các đối tượng di tích như vừa nêu trên thì bề mặt đáy tầng Thái Bình hay bề mặt trên của hệ tầng Hải Hưng được xác định theo tài liệu địa chấn cũng có ý nghĩa định hướng cho việc tìm kiếm các di tích bị vùi lấp còn sót lại trong khu Hoàng Thành Thăng Long.

Ngoài kết quả cho phép vẽ được sơ đồ mặt địa hình đáy tầng Thái Bình các kết quả địa chấn còn cho phép phát hiện nhiều vị trí liên quan đến phân bố hầm ngầm. Do có nhiều điểm các khảo sát hiện trường xác nhận được tính đúng đắn của tài liệu địa

chấn trong xác định các vị trí phân bố các hầm ngầm nên các khu vực dự đoán tồn tại đối tượng này cũng có cơ sở để tin cậy. Theo kết quả khảo sát thì tại khu vực giữa nhà D67 và nhà con rồng phát hiện được dấu hiệu hầm ngầm có kích thước khá lớn. Dấu hiệu về hầm ngầm tại đây cũng đã được phản ánh trong các tuyến đo bằng phương pháp cắt lớp điện trở và phương pháp radar. Khu vực thứ 2 có nhiều hầm ngầm là khu tập thể quân đội K75. Khu vực dưới sân rồng và phần phía nam từ thềm rồng đến khu vực hầm thông tin cũng không ít dấu hiệu liên quan đến hầm ngầm.

Các dấu hiệu có thể liên quan đến các di tích văn hoá cổ bị vùi lấp hoặc các vật thể không phải hầm ngầm như đã nêu trong chương 3 thường có vận tốc truyền sóng trên dưới 2000 m/s được phản ánh tại một số rất ít vị trí. Tại khu Hậu Lâu có 2 vị trí có dấu hiệu là khu vực gần tường phía nam, cách góc đông nam khoảng 12 m. Tại đây theo các tài liệu khảo sát bằng phương pháp khác cũng phát hiện được dị thường. Điều này càng củng cố thêm dự báo về sự tồn tại của vật thể bị vùi lấp. Điểm thứ hai trong khu Hậu Lâu cũng được dự đoán có khả năng liên quan đến nền gạch là đoạn ngay sau nhà ở khu Hậu Lâu. Phần diện tích phân bố giữa khu Hậu Lâu và nhà D67 cũng có 3 vị trí phản ánh các khối có vận tốc khá cao nhô lên trong lòng đất, trong đó có 2 vị trí nằm ngay phía sau nhà D67. Vị trí thứ 3 nằm cạnh góc đông nam của nhà N51. Tại khu vực mép bắc nhà N38 gần đường Hoàng Diệu và mép phía tây vườn bưởi có 2 vị trí cũng có dấu hiệu dị thường vận tốc như các điểm vừa nêu trên. Gần với đường Nguyễn Tri Phương tại khu vực mép đông của vườn hồng xiêm cũng phát hiện một khối nhô vận tốc ngay trong lớp thứ nhất. Về phía nam khu Kính Thiên, tại gần mép bắc của nhà N3, ngay sát tường với Đuan Môn và mép nam của chính nhà này trong khu Đuan Môn cũng có dấu hiệu về dị thường vận tốc, nhiều khả năng liên quan đến nền gạch. Những vùng vừa nêu trên có dị thường vận tốc thường cao hơn xung quanh và nhỏ hơn so với vận tốc tại các vị trí đã phát hiện ra hầm ngầm. Do không có được các bằng chứng xác nhận các dị thường vừa nêu liên quan đến vật liệu gạch đá bị vùi lấp nên cách làm như trên mới chỉ là giả thuyết. Tuy nhiên, với giá trị vận tốc trung gian như vậy nhiều khả năng liên quan đến đối tượng như nêu trong giả thuyết.

4.1.5. Về hiệu quả của phương pháp đo phóng xạ trong các lỗ xuyên và phương pháp đo từ

1. Về phép đo phóng xạ

Như đã nêu trong chương 3, việc tiến hành đo phóng xạ trong các lỗ xuyên chủ yếu cho phép ta phân ra các tầng đất có mật độ và độ rỗng khác nhau. Tại hai điểm đo phóng xạ trong lỗ xuyên là DX5 tại góc đông nam khu Kính Thiên và TTX2 trong khu tập thể quân đội có các lỗ khoan ngay bên cạnh có thể làm tài liệu đối chứng. Đối sánh tài liệu lỗ khoan HK3 phân bố cạnh lỗ xuyên DZ5 cho thấy lớp thứ nhất trong lỗ xuyên dày 2.5 m, trong khi theo lỗ khoan 2.9 m. Lớp thứ hai trong lỗ khoan phân bố từ độ sâu 3.0 đến 7.8 m, trong khi lớp thứ 2 trong lỗ xuyên phân bố trong khoảng độ sâu 2.5 - 5.2 m và lớp thứ 3 trong khoảng 5.2 - 8 m. Kết quả này cho thấy lớp thứ 2 và thứ 3 trong lỗ xuyên đều thuộc lớp thứ 2 trong lỗ khoan nhưng có sự khác nhau tuy không lớn về mật độ và độ rỗng. Lỗ xuyên TTX2 phân bố gần lỗ khoan HK1. Kết quả đo phóng xạ cho phép phân thành 4 lớp, trong đó lớp thứ nhất và thứ 2 có tổng chiều dày 4.5 m tương đương với chiều dày lớp thứ nhất trong lỗ khoan là 4.6 m. Lớp thứ 2 từ 4.5 đến 7 m phản ánh hệ tầng Hải Hưng trong lỗ khoan. Như vậy tuy phân lớp được theo giá trị mật độ và độ rỗng nhưng việc ghép các lớp này vào các hệ tầng địa chất không phản ánh sự nhất quán giữa các lớp tương ứng nên hiệu quả sử dụng chúng cũng thấp.

2. Về kết quả đo dị thường từ

Có thể nói trong các phương pháp Địa Vật lý đã đo thử nghiệm trong khu Thành cổ thì việc lý giải kết quả của phép đo từ gặp khó khăn nhất. Như đã nói ở phần trên do trong phạm vi khảo sát nhiều yếu tố hiện đại có thể gây dị thường từ lẫn át hiệu ứng từ mà các đối tượng khảo cổ có thể gây ra. Theo kết quả đo đặc chỉ có thể ghép được vùng dị thường giá trị thấp từ dưới 20 nT đến giá trị âm trong khu Hậu Lâu phản ánh được hình dạng và kích thước gần đúng của hố đào khai quật đã lấp tại đây. Các dị thường còn lại ở tất cả các khu vực đã tiến hành khảo sát đều không có đủ cơ sở để minh giải. Mặc dù phương pháp đo từ ở nhiều nước đã sử dụng rất có hiệu quả trong nhiều dự án khảo cổ, nhưng các dự án này không gặp trường hợp phức tạp như môi trường đo từ như trong khu Thành cổ Hà Nội mà thường là những vùng ít bị nhiễu bởi các yếu tố của hệ thống hạ tầng hiện đại.

Như vậy việc sử dụng phương pháp đo từ và phương pháp đo phóng xạ trong khu Thành cổ có thể coi là có hiệu quả không đáng kể.

4.2. KHẢ NĂNG SỬ DỤNG CÁC PHƯƠNG PHÁP ĐỊA VẬT LÝ TRONG PHÁT HIỆN CÁC ĐỐI TƯỢNG KHẢO CỔ BỊ VÙI LẤP VÀ DỰ ĐOÁN PHÂN BỐ MỘT SỐ ĐỐI TƯỢNG KHẢO CỔ TRONG KHU THÀNH CỔ

4.2.1. Về khả năng sử dụng các phương pháp Địa Vật lý và quy trình công nghệ khảo sát phát hiện các đối tượng khảo cổ bị vùi lấp

Thông qua phân tích đánh giá hiệu quả của từng phương pháp Địa Vật lý đã thử nghiệm cho thấy không có một phương pháp đơn lẻ nào cho ta được khả năng phát hiện tin cậy các đối tượng khảo cổ bị vùi lấp trong khu Thành cổ. Đáng lưu ý hai phương pháp là đo dị thường từ và đo phóng xạ trong các lỗ xuyên hiệu quả rất thấp, có thể đưa ra khỏi danh sách để xem xét sử dụng. Đối với các phương pháp còn lại thì mỗi phương pháp đều có những điểm yếu và điểm mạnh. Phần lớn các dự đoán về đối tượng khảo cổ bị vùi lấp được dự đoán phát hiện viết trong báo cáo này đều bằng phương pháp phân tích loại trừ. Chẳng hạn trong tài liệu địa chấn thì vận tốc truyền sóng do các đối tượng khảo cổ gây ra cao hơn vận tốc môi trường xung quanh nhưng lại thấp hơn các đối tượng là hầm ngầm hiện đại. Đặc biệt đối với hầm ngầm có nắp bê tông thì vận tốc truyền sóng cao hơn hẳn và không thật khó khăn để nhận biết.

Đối với tài liệu đo cát lớp điện trở thì sự gián đoạn trong tính phân lớp của phân bố điện trở suất là dấu hiệu có thể xem xét khả năng liên quan đến các vật thể bị vùi lấp. Tuy nhiên dấu hiệu này phản ánh mối quan hệ không tuyến tính với các vật thể trong lòng đất. Nếu hầm ngầm chủ yếu xây bằng gạch thì cho dị thường điện trở suất khá cao do không gian rỗng trong hầm gây ra. Trong trường hợp các hầm ngầm được xây dựng bằng bê tông cốt thép thì giá trị điện trở suất phản ánh thấp hơn khá nhiều so với môi trường xung quanh. Dấu hiệu vừa nêu trên phản ánh khá rõ trong kết quả của cả phép đo cát lớp điện trở và cả phép đo thành phần điện của trường điện từ. Khá nhiều dấu hiệu hầm ngầm tại khu sân trước nhà D67 và khu tập thể quân đội được phản ánh bằng dị thường điện trở suất thấp do chứa kim loại. Trên phần diện tích phía tây sân rộng trong các mặt cắt điện trở suất xuất hiện cả dị thường cao lẫn thấp. Đây được coi là dấu hiệu hai loại hầm tồn tại, một loại khung sắt cho dị thường thấp, loại dị thường cao phản ánh hầm gạch. Nhận định trên còn được phản ánh rõ trên dị thường điện trở theo diện tích đo bằng thiết bị ERA. Kết quả khảo sát hiện trường cũng xác nhận các thông tin vừa nêu trên là chính xác.

Có thể dự đoán rằng, phần lớn các công trình xây dựng trong các giai đoạn lịch sử trước đây được bố trí ở những vùng tương đối cao. Điều này cho thấy việc xác định bề dày tầng nhân sinh hay trong trường hợp này là bề dày tầng trầm tích hệ tầng Thái Bình có ý nghĩa thiết thực. Kết quả khảo sát bằng phương pháp địa chấn như đã nêu ở trên tỏ ra có hiệu quả tốt trong giải quyết công việc này. Ngoài ra, tài liệu đo cát lớp điện trở cũng có thể đóng góp thêm làm chính xác hơn sơ đồ này.

Việc dự báo các đối tượng khảo cổ bị vùi lấp theo kết quả của từng phương pháp như đã phân tích ở các phần trên chủ yếu dựa vào các dấu hiệu như sau:

- Những vùng có dấu hiệu dị thường phản ánh dấu vết tiếp tục của các vật thể khảo cổ bị chôn vùi đã biết. Đối với khu Thành cổ thì di tích được khai quật rõ ràng nhất là đường gạch đi từ khu vực Đoan Môn. Các dị thường điện trở, địa chấn và dị thường thành phần điện của trường điện từ tần số thấp phát hiện được ở phần diện tích tiếp tục về phía nam và phía bắc của đoạn đường gạch khai quật có thể coi là dấu hiệu tiếp tục của nó. Đặc biệt là sự liên tục của dị thường thành phần điện của trường điện từ chạy theo một dải từ Đoan Môn đến Kính Thiên, giống như một con đường khiến ta không thể không dự đoán đây là dấu vết phản ánh chính nó.
- Đối với các dị thường Địa Vật lý phát hiện tại các điểm không gần với điểm phân bố vật thể khảo cổ bị vùi lấp đã biết thì việc suy đoán về sự tồn tại các vật thể này chủ yếu tiến hành bằng phương pháp loại trừ. Để làm công việc này trước hết ta phải xác định được các nguồn có thể gây ra dị thường Địa Vật lý, đánh giá được mối quan hệ giữa các giá trị dị thường với các loại nguồn, từ đó suy đoán các giá trị dị thường có khả năng liên quan đến vật thể khảo cổ bị vùi lấp. Trong phạm vi khu vực khảo sát, như đã nói ở các phần trên, các đối tượng như hầm ngầm, đường ống cấp thoát nước, các vùng ao hồ cổ, các khu vực đất đắp, v.v... đều có khả năng gây dị thường.

Trong số các đối tượng vừa nêu thì đối tượng hầm ngầm có thể phân biệt được khá rõ nhờ các dấu hiệu trong tài liệu địa chấn, tài liệu đo cát lớp điện trở và tài liệu đo điện từ tần số thấp là chủ yếu. Đối tượng là đường ống cấp thoát nước, một mặt gây ra vùng có điện trở suất thấp, mặt khác lại phân bố rất nông nên cũng không thật khó khăn trong việc suy đoán. Kết quả đo cát lớp điện trở thường cho vùng dị thường điện trở suất thấp có kích thước lớn nhiều lần ống nước, nhưng nếu liên quan đến ống nước thường dị thường phân bố rất nông, xuất hiện ngay từ trên bề mặt. Dấu hiệu này cũng cho ta những cơ sở để suy đoán, tuy nhiên nếu sử dụng kết quả đo điện từ tần số thấp thì việc

dự đoán ống nước trở nên dễ dàng hơn nhiều. Do có tính định xứ tốt của phương pháp điện từ tần số thấp nên đối tượng này thường được phản ánh bằng dải dị thường hẹp giá trị thấp, dạng tuyến tính trên bản đồ phân bố điện trở suất vẽ trên diện tích. Điều này giúp ta dễ phân biệt với các đối tượng khác.

Các khu vực là ao, hồ, kênh rạch cổ có khả năng phản ánh bằng vùng trũng trên bản đồ địa hình đáy tầng nhân sinh như trong kết quả đo địa chấn. Mặt khác trong lát cắt điện trở, hoặc phân bố điện trở theo diện tích thì các vùng này thường phản ánh bằng vùng có giá trị thấp so với xung quanh nhưng không thấp đến mức như phản ánh hầm ngầm chứa kim loại và thường diện phân bố của chúng không quá nhỏ.

Những vùng nền là đất đắp cũng tạo nên dị thường, chủ yếu là dị thường điện trở suất. Do lớp đất đắp thường phân bố từ ngay trên bề mặt nên trong lát cắt điện trở suất xây dựng theo tài liệu đo cắt lớp điện trở, thường phát hiện được bất đồng nhất bắt đầu ngay từ bề mặt với độ chênh lệch giá trị điện trở suất thường cũng không lớn so với môi trường nguyên thổ.

Qua phân tích các kết quả như trên có thể thấy, trong số những phương pháp Địa Vật lý vẫn được sử dụng nhiều trong công tác khảo cổ ở nhiều nước có những phương pháp không thật phù hợp cho khu Thành cổ như phương pháp đo từ cho hiệu quả rất thấp. Các phương pháp còn lại cũng không có phương pháp nào cho khả năng giải quyết trọn vẹn nhiệm vụ phát hiện các đối tượng khảo cổ bị vùi lấp ở đây. Tuy nhiên, từng phương pháp cũng cho ta khả năng giải quyết một số khía cạnh liên quan đến nhiệm vụ nghiên cứu phát hiện các đối tượng này. Sử dụng một số phương pháp tạo thành một tổ hợp phương pháp vẫn có khả năng cho phép ta khảo sát phát hiện được các đối tượng khảo cổ bị vùi lấp trong khu Thành cổ. Theo đó, việc kết hợp giữa phương pháp đo điện từ tần số thấp đồng thời với các phương pháp: cắt lớp điện trở, phương pháp địa chấn và một phần phương pháp đo radar xuyên đất là tổ hợp phương pháp hợp lý trong giải quyết nhiệm vụ đặt ra. Trên cơ sở phân tích hiệu quả của từng phương pháp như nêu ở các phần trên, để đảm bảo tính hiệu quả có lẽ quy trình đo đạc cần được tiến hành theo các bước như sau:

- Do việc đo đạc bằng sử dụng thiết bị điện từ tần số thấp có thể thực hiện được trong hầu hết các điều kiện địa hình, địa vật trong khu Thành cổ, phủ được tương đối nhanh diện tích khảo sát lại cho được các thông tin khá khái quát về các đối tượng tồn tại trong môi trường khảo cổ nên khảo sát bằng phương pháp này nên tiến hành trước.

- Dựa trên kết quả khảo sát bằng phương pháp điện từ tần số thấp thiết kế các tuyến đo địa chấn và đo bằng phương pháp cắt lớp điện trở. Đối với phương pháp địa chấn cố gắng thiết kế một mạng lưới điểm đo đủ để cho được bức tranh khái quát về địa hình đáy của tầng nhân sinh trong vùng nghiên cứu. Ngoài ra, phép đo địa chấn và đo cắt lớp điện trở cũng được thiết kế tập trung đo đủ dày tại khu vực được dự đoán theo tài liệu điện từ tần số thấp có đối tượng khảo cổ bị vùi lấp, ao, hồ kênh rạch cổ và một số hầm ngầm. Tuy nhiên hai phương pháp này cũng chỉ tiến hành được ở một số nơi có đủ điều kiện thuận lợi.

- Phương pháp đo radar xuyên đất có lẽ chỉ nên tiến hành một khối lượng hạn chế tại một số khu vực dự đoán có hầm ngầm, các vị trí có khả năng phân bố các đối tượng như móng các tường gạch, giếng cổ bị vùi lấp và phải phân bố tương đối nông.

- Các kết quả khảo sát sau khi được phân tích bằng các phần mềm chuyên dụng cần phải được liên kết tổng hợp nhằm tăng độ tin cậy của các dự đoán về đối tượng nghiên cứu. Nếu một đối tượng được phát hiện đồng thời bằng nhiều phương pháp Địa Vật lý, thường độ tin cậy xác định nó cũng đảm bảo tin cậy hơn. Ngoài ra, nên có kiểm chứng bằng cách đào tại một số điểm hạn chế.

Đáng lưu ý là quy trình đo đạc và lý giải các kết quả khảo sát nghiên cứu đều có sự tham gia của chuyên gia Địa Vật lý trong lĩnh vực khảo cổ của Italy TS. Curcazi. Toàn bộ các loại thiết bị và công nghệ phân tích tài liệu của các phương pháp vừa nêu hiện nay đều có ở Việt Nam.

4.2.2. Về kết quả dự báo một số đối tượng khảo cổ bị vùi lấp trong khu Thành cổ

Theo kết quả khảo sát nghiên cứu của từng phương pháp ta cũng đã có các dự báo về phân bố một số đối tượng khảo cổ bị vùi lấp trên cơ sở phân tích mối quan hệ giữa các tham số Địa Vật lý với đối tượng này trong khu Thành cổ. Cách tiến hành suy đoán như trên tuy có cơ sở nhất định nhưng vẫn có những yếu tố mang màu sắc định tính, việc liên kết các kết quả dự báo của từng phương pháp Địa Vật lý có thể góp phần làm giảm bớt tác động của những yếu điểm nêu trên. Trong khảo sát nghiên cứu Địa Vật lý, nếu một đối tượng được phản ánh đồng thời trong nhiều loại kết quả thì độ tin cậy trong xác định đối tượng ấy được nâng cao. Theo đó, việc dự báo các đối tượng khảo cổ bị vùi lấp trong báo cáo này tập trung ưu tiên cho những đối tượng được phản ánh đồng thời trong 2 hoặc 3 loại tài liệu Địa Vật lý. Một số đối tượng có thể được dự

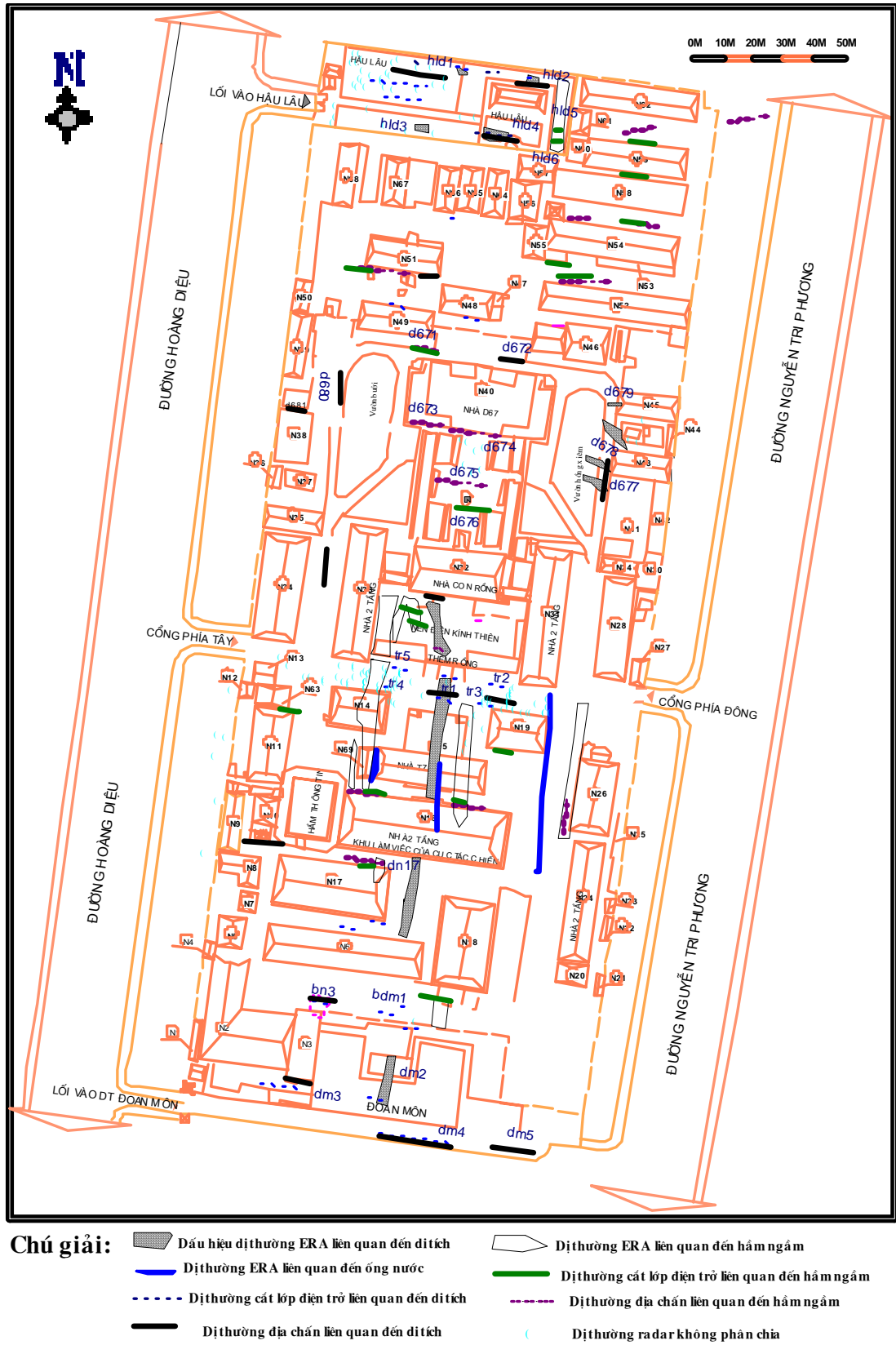
báo với kết quả có một loại tài liệu nhưng có thêm các dấu hiệu khảo sát hiện trường, hoặc có thể suy ra từ các bằng chứng về di tích. Các loại tài liệu sử dụng chủ yếu trong liên kết này là kết quả đo sâu điện cát lớp, kết quả thăm dò địa chấn và kết quả đo, kết quả đo điện từ tần số thấp và có thể một số ít kết quả đo radar xuyên đất (hình 4.5).

- *Khu vực Hậu Lâu:* tại khu vực Hậu Lâu thì khu vực hố khai quật dấu hiệu được phản ánh trên diện tích bằng vùng khoanh bằng liên kết các dị thường trong các mặt cắt các tuyến đo bằng phương pháp radar. Khu vực hố đào cũng được phản ánh trên các tuyến đo địa chấn T12 và các tuyến đo cát lớp điện trở T2hl, T3hl. Trong tài liệu đo điện từ tần số thấp thì vùng dị thường phản ánh hố đào có kích thước nhỏ hơn so với diện tích khoanh theo kết quả đo radar. Tuy hố đào khai quật không phải là đối tượng khảo cổ bị vùi lấp nhưng nó có thể coi là bằng chứng phản ánh sự thống nhất trong các loại tài liệu Địa Vật lý. Ngoài vị trí hố đào, trong khu Hậu Lâu còn đến 6 vị trí có dị thường được phản ánh từ hai loại tài liệu Địa Vật lý trở lên. Điểm hld nằm cách tường rào phía bắc của Hậu Lâu khoảng 2 m, cũng là điểm gần mép phía đông của vườn Hậu Lâu được phản ánh bằng dị thường điện trở suất cao trong phép đo cát lớp điện trở và đo điện từ tần số thấp. Điểm hld2 nằm giữa tường rào phía bắc và ngôi nhà trong khu Hậu Lâu có dấu hiệu dị thường trong tài liệu địa chấn, đo cát lớp điện trở và đo điện từ tần số thấp. Điểm hld3 nằm gần đoạn giữa của tường rào nam Hậu Lâu được phát hiện bằng tài liệu đo cát lớp điện trở, tài liệu điện từ tần số thấp và tài liệu radar. Điểm hld4 nằm đối diện với nửa phía tây ngôi nhà trong Hậu Lâu tại khu vực gần tường rào phía nam được phát hiện trong tài liệu cát lớp điện trở, tài liệu địa chấn và tài liệu điện từ tần số thấp. Theo giá trị các tham số vật lý trong các kết quả đo đạc thì 4 điểm này đều được dự đoán liên quan đến các vật thể khảo cổ bị vùi lấp. Điều này cũng có cơ sở bởi các phương pháp khác nhau đều cho dự báo thống nhất.

Riêng khu vực sát tường rào phía đông Hậu Lâu phát hiện được dải dị thường điện trở đất rất cao trong tài liệu đo điện từ tần số thấp, tuyến đo cát lớp điện trở chạy qua cũng phản ánh dị thường cao ở đoạn này. Tuy nhiên các giá trị dị thường nhiều khả năng liên quan đến hầm ngầm.

- *Khu tập thể quân đội:* trong khu tập thể quân đội chỉ tiến hành được hai phương pháp đo cát lớp điện trở và địa chấn nhưng hầu hết các dị thường phát hiện được trong kết quả của đo đều phản ánh khá rõ tính chất liên quan đến các hầm ngầm. Tại sát góc đông nam của nhà N51 có dị thường trong phép đo địa chấn, tại mép bắc của nhà N49 và cạnh

Hình 4.5: Sơ đồ phân bố dị thường địa vật lý liên quan đến các đối tượng trong Thành cổ



góc tây bắc của nhà N46 có dị thường trong phép đo cát lớp điện trở. Các dị thường này đều nằm trong khoảng giá trị được dự báo liên quan đến các vật liệu xây dựng phi sắt thép. Tuy nhiên chỉ có một loại tài liệu phản ánh, hơn nữa tại khu này không có những bằng chứng về hiện vật khảo cổ nên ta không đưa kết quả vào danh sách các di vật dự báo.

- *Khu lân cận nhà D67*: khu vực từ sau nhà D67 đến nhà con rồng có 4 phương pháp được sử dụng khảo sát nghiên cứu nhưng không phải tuyến đo nào cũng có 4 phương pháp tham gia. Tại sau nhà D67 dị thường tại điểm d671 được phát hiện bằng cả địa chấn và đo cát lớp điện trở, nhưng khoảng giá trị các dị thường nhiều khả năng phản ánh hầm ngầm. Dị thường tại điểm d672 cũng sau nhà D67 phản ánh trong tài liệu địa chấn nhiều khả năng liên quan đến gạch đá không chứa sắt thép. Do chỉ có tài liệu địa chấn phát hiện nên dị thường này cũng không đưa vào danh sách các vật thể khảo cổ dự đoán.

Tất cả các số liệu đo bằng địa chấn, đo cát lớp điện trở và đo radar tại khu sân giữa nhà D67 và nhà con rồng đều phản ánh dị thường liên quan khá rõ với dấu hiệu hầm ngầm. Các thông tin từ Ban quản lý khu di tích Cổ Loa và Thành cổ Hà Nội cũng xác nhận điều này.

Tại khu vực vườn hồng xiêm phía đông nam nhà D67 đã phát hiện được một số dị thường trong phép đo điện từ tần số thấp và địa chấn tại các điểm d677 - 679. Dấu hiệu các dị thường này và độ sâu phân bố phản ánh nhiều khả năng liên quan đến vật thể khảo cổ bị vùi lấp.

Ở phần diện tích phía tây gần đường Hoàng Diệu điểm d680 sát ngay vườn bưởi và điểm d681 nằm ở mép bắc của nhà N38 trong tài liệu địa chấn cũng phản ánh dấu hiệu có khả năng liên quan đến vật liệu gạch ngói bị vùi lấp, hoặc sự nâng lên của lớp đất hệ tầng Hải Hưng. Do không có số liệu hỗ trợ lại không thật chắc chắn về đối tượng dự báo nên kết quả về các điểm này chỉ mang tính tham khảo.

- *Khu vực sân rồng và đường trước sân rồng*:

Tại khu vực mép phía tây của sân rồng tài liệu điện từ tần số thấp phản ánh rất rõ đường hầm với điện trở suất rất cao. Tiếp theo về phía sân ngay bên cạnh hầm này tài liệu điện trở cát lớp và điện từ tần số thấp phản ánh dị thường điện trở thấp liên quan đến hầm ngầm khung sắt. Các hầm ngầm này còn có cả nắp trong khu vực rìa sân và được xác nhận chính xác bằng khảo sát bằng mắt thường. Khu vực giữa sân có một vệt điện trở cao trong tài liệu điện từ tần số thấp, hai đầu vệt này còn có dị thường cát lớp

điện trở ở phía nam và địa chấn ở phía bắc. Tuy nhiên giá trị của dị thường này không cao trong cả 3 loại tài liệu. Có thể đây là vệ đất đắp được lèn chặt hơn? Ở phần phía đông của sân còn phát hiện hai dị thường nhỏ ở 2 rìa sân trong 2 tuyến điện trở cắt lớp. Giá trị dị thường cũng gần như đất được lèn chặt hơn. Như vậy trên sân rộng đối tượng được xác định chính xác là hầm ngầm và đối tượng dự đoán không thuộc đối tượng quan tâm nên sẽ không xuất hiện trong sơ đồ phân bố đối tượng khảo cổ.

Khu vực đường trước thêm rộng phá hiện được hàng loạt các dị thường radar, dị thường điện từ tần số thấp, dị thường cắt lớp điện trở và địa chấn. Trong đó có một số điểm tồn tại đến 4 loại dị thường như điểm ngay trước thêm rộng tr1. Theo suy đoán có cơ sở thì điểm dị thường này nhiều khả năng phản ánh đoạn cuối của đường gạch đi từ Đoan Môn sang. Tiếp về phía đông khoảng hơn 11 m điểm tr2 cũng được phản ánh bằng cả 4 loại dị thường. Giá trị của các dị thường cũng được dự đoán liên quan đến vật liệu xây dựng không chứa sắt. Với khoảng cách như trên về phía tây tính từ giữa thêm rộng điểm tr1 cũng phát hiện cụm dị thường trong tài liệu đo cắt lớp điện trở, đo điện từ tần số thấp và đo radar với dự báo tương tự. Có thể đây là dấu hiệu của các vật thể khảo cổ bởi độ sâu có thể đến vài ba mét. Nằm sát ngay với dị thường vừa nêu tồn tại dị thường trong điện từ tần số thấp và radar phản ánh rõ nét hầm ngầm chạy từ mép tây sân rộng xuống tiếp phía nam. Tại các phần diện tích còn lại chỉ phát hiện được một số dị thường radar phân bố rải rác và phần lớn có độ sâu xuất hiện nông chỉ từ khoảng dưới nửa mét nên các dị thường này có thể chỉ phản ánh các đối tượng bất đồng nhất trong vật liệu làm đường. Như vậy trên mặt đường dưới thêm rộng có đến 3 vị trí được dự đoán khả năng liên quan đến đối tượng khảo cổ bị vùi lấp.

- *Khu vực từ nhà N15 đến tường rào nam khu Kính Thiên:*

Trong đoạn từ mép nam đường trước sân rộng đến nhà N16 của Cục tác chiến hay hầm thông tin có nắp lộ thiên chủ yếu quan sát được dấu vết của đường gạch từ sân rộng đi về Đoan Môn ở giữa. Dấu hiệu của đường gạch chủ yếu được phản ánh trong tài liệu điện từ tần số thấp. Hai bên phía tây và đông đường gạch này còn có hai dãy hầm ngầm được xác định khá chắc chắn bằng các dị thường cắt lớp điện trở, địa chấn và điện từ tần số thấp tuy vẫn còn thưa. Ngoài các đối tượng trên trong khu này còn có một số ống nước phản ánh các dị thường điện trở suất rất thấp tạo thành dải hẹp tuyến tính. Tiếp theo về phía nam nhà N16 cạnh hai bên hầm thông tin vẫn có dấu hiệu hầm ngầm trong tài liệu cắt lớp điện trở và địa chấn. Về phía đông nhà N17 là dấu tích đường gạch

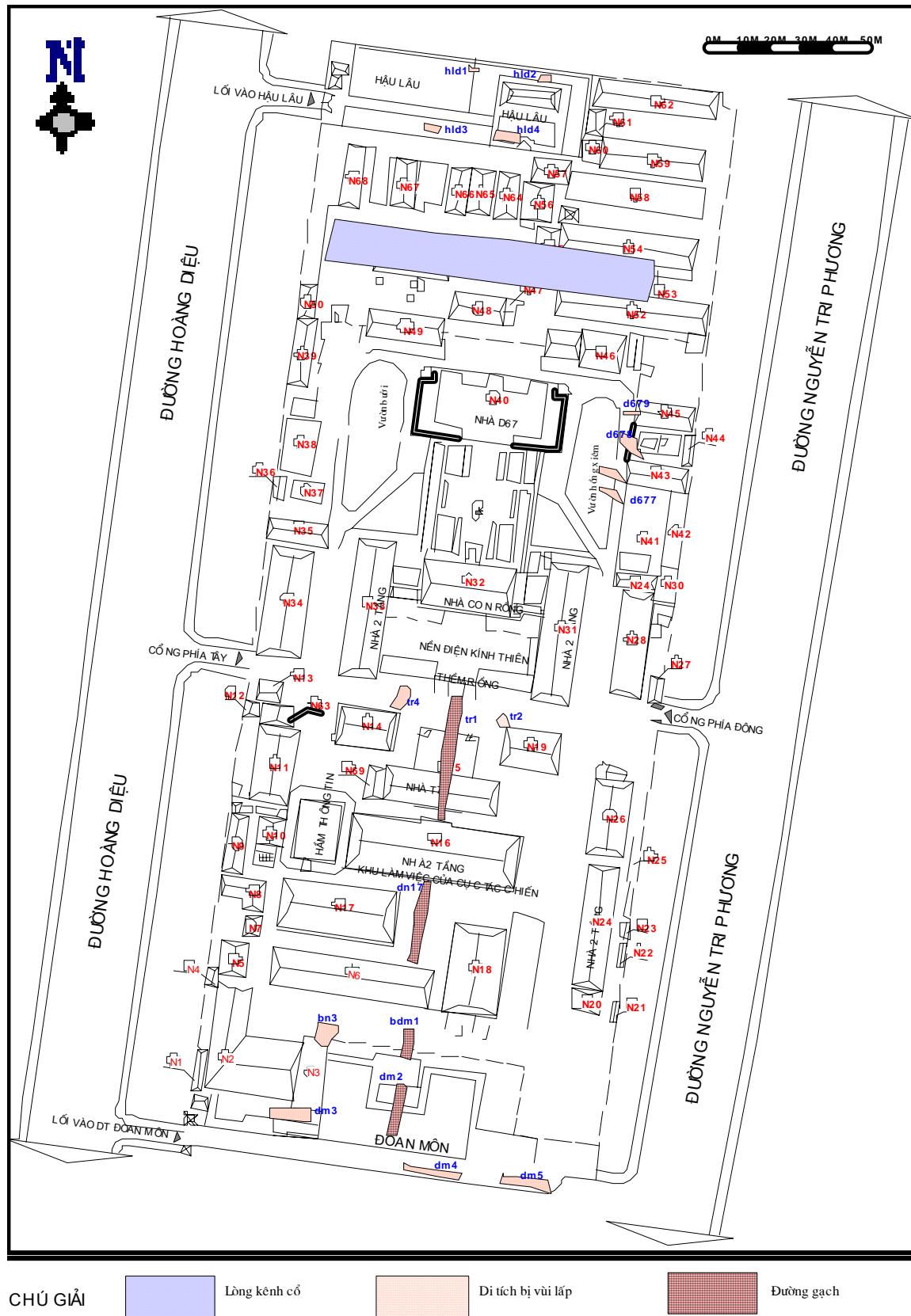
từ Đoan Môn phản ánh trong dị thường điện từ tần số thấp. Dấu tích con đường này còn được phản ánh trong cả tài liệu đo cắt lớp điện trở và điện từ tần số thấp tại đoạn gần với tường rào ngăn với Đoan Môn điểm dị thường dm1. Riêng tại khu vực phía bắc nhà N3 có điểm dị thường bn3 phản ánh trong cả 3 loại tài liệu địa chấn, cắt lớp điện trở và điện từ tần số thấp với tính chất liên quan nhiều hơn đến gạch ngói. Có thể dự đoán đây là vật liệu văn hoá cổ.

- Tại khu vực Đoan Môn:

Tại đây các dị thường điện từ tần số thấp và cắt lớp điện trở cho phép ta kéo dài thêm đường gạch xuống phía nam., điểm dị thường dm2. Tại sát gic tây nam nhà Đoan Môn dị thường cắt lớp điện trở và địa chấn dự đoán tồn tại các vật liệu xây dựng không chứa kim loại dưới lòng đất, điểm dị thường dm3. Hai điểm dm4 và dm5 có tính chất tương tự phát hiện được tại gần tường nam Đoan Môn khu vực gần góc đông nam. Như vậy tại khu vực Đoan Môn có đến 4 cụm dị thường được dự đoán là có nhiều khả năng liên quan đến các đối tượng văn hoá cổ bị vùi lấp.

Ngoài các kết quả nêu trên tại khu tập thể quân đội ở phần diện tích giữa khu Hậu Lâu và nhà D67 do có một dải hạ thấp rất đáng kể mặt đáy tầng trầm tích Thái Bình nên được dự đoán là vùng kênh rạch cổ. Bằng cách loại bỏ các đối tượng có các giá trị dị thường Địa Vật lý được xác nhận khác biệt với iáo so với đối tượng là các di tích khảo cổ đã xây dựng được sơ đồ dự báo về phân bố một số đối tượng khảo cổ trong khu Thành cổ (hình 4.6). Có thể nói, các đối tượng được dự đoán nêu trên đều có cơ sở được suy ra từ mối quan hệ giữa các tham số Địa Vật lý với các vật thể chứa vật liệu xây dựng nhưng không có kim loại. Tính chất vật lý loại đối tượng này cũng gần với đất đắp lên chặt hoặc khu vực nâng của lớp đất rắn chắc hơn từ dưới lên. Đặc điểm này có thể gây nhầm lẫn trong dự đoán, tuy nhiên còn các dấu hiệu khảo sát trực tiếp ngoài hiện trường như dấu vết của đường gạch từ Đoan Môn và các dấu hiệu khác cũng được sử dụng nên cũng hạn chế được yếu điểm nêu trên.

Hình 4.6: Dự báo phân bố một số di tích bị vùi lấp trong khu Thành Cổ



KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

- Khu Thành cổ Hà Nội môi trường khảo cổ bị xáo trộn mạnh bởi các hoạt động xây dựng trong thế kỷ trước nên gây nhiều khó khăn cho phát hiện các đối tượng khảo cổ.
- Trong số các phương pháp Địa Vật lý được sử dụng thì phương pháp điện từ dùng thiết bị ERA cho bức tranh phân bố theo diện tương đối chi tiết, theo đó có thể dự đoán một số đối tượng khảo cổ bị vùi lấp. Kết hợp phương pháp này với phương pháp điện trở ta có thể xác định cả độ sâu phân bố.
- Phương pháp địa chấn cho ta phân chia các tầng cấu trúc, trong đó có tầng văn hoá, phát hiện được các hầm ngầm, một số đối tượng khảo cổ dự đoán cũng đồng thời phản ánh trong tài liệu điện từ như ở Hậu Lâu, khu gần tường Đoan Môn
- Phương pháp điện từ dùng thiết bị Radar bị hạn chế chiều sâu nghiên cứu do mực nước ngầm dâng cao. Một số vị trí có dị thường như trước và sau nhà D67, sau nhà N44, trước thêm rồng cũng được phản ánh trong tài liệu điện và địa chấn
- Phương pháp đo dị thường từ ở đây tỏ ra không mấy hiệu quả do bị nhiễu rất mạnh bởi các công trình hiện đại.
- Các kết quả khoan và xuyên xác định các tham số như mật độ, độ rỗng, độ ngậm nước xác nhận các kết quả phân tầng bằng phương pháp địa chấn và điện thăm dò. Nhiều vị trí cho thấy sự phù hợp giữa các số liệu. Tuy nhiên cũng không có nhiều thông tin hơn địa chấn.
- Hai phương pháp đo từ và phóng xạ không đề xuất sử dụng tiếp.
- Qua các kết quả thử nghiệm cho thấy: ở các vùng ngoài thành phố ít bị nhiễu bởi các công trình, các phương pháp Địa Vật lý thực hiện dễ dàng và hiệu quả hơn. Trong phạm vi thành phố phức tạp như khu Hoàng Thành không một phương pháp Địa Vật lý đơn lẻ nào cho ta kết quả độc lập đủ độ tin cậy để phát hiện các đối tượng bị vùi lấp. Tuy nhiên qua khảo sát thử nghiệm có thể thấy sử dụng một tổ hợp phương pháp: Điện từ tần số thấp, Điện trở, Địa chấn và một số khu vực bổ sung thêm đo radar vẫn có khả năng giải quyết các nhiệm vụ đặt ra.
- Tại những điểm có tài liệu đối sánh, các kết quả khảo sát bằng một số phương pháp tỏ ra phù hợp. Đây là cơ sở cho ta đánh giá độ tin cậy của sơ đồ phân bố các đối tượng khảo cổ bị vùi lấp.

- Quy trình công nghệ khảo sát và thiết bị đã lựa chọn có đủ cơ sở khoa học khẳng định hiệu quả.

- Do các khảo sát thử nghiệm chỉ mới tiến hành được theo mạng lưới các tuyến đo còn khá thưa nên kết quả nghiên cứu chỉ mới dừng lại ở bài toán 2 chiều. Mặc dù trong các lát cắt 2 chiều các đối tượng được cấu thành từ các vật liệu xây dựng bị vùi lấp có thể phát hiện bằng tổ hợp các phương pháp địa vật lý thông qua sự khác biệt về tính chất vật lý của chúng với môi trường xung quanh như nêu trên, nhưng nếu có được hình ảnh 3 chiều của các vật thể thì kết quả dự báo sẽ tin cậy và thuyết phục hơn. Đặc biệt khi có hình ảnh 3 chiều ta có thể xác định được kích thước, hình dạng của đối tượng khá chính xác, theo đó các nhà khảo cổ sẽ dễ dàng hơn trong việc dự đoán các loại đối tượng di tích. Do đặc điểm nêu trên, đề tài xin kiến nghị được tiếp tục công tác khảo sát nghiên cứu theo phương án bài toán 3 chiều. Trong đó các phép đo sẽ tiến hành hạn chế tại một số diện tích đã được dự báo có đối tượng văn hoá cổ bị vùi lấp trong kết quả nghiên cứu vừa qua.

Việc đề xuất triển khai thêm công tác khảo sát nghiên cứu như trên là nhằm hoàn thiện thêm công nghệ đã được lựa chọn, nâng cao hiệu quả thăm dò các đối tượng khảo cổ bị vùi lấp trong các vùng đô thị phức tạp như khu Hoàng thành Thăng Long.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Barker R. D, 1992 - A simple algorithm for electrical imaging of the subsurface. First break, V. 10, No 2, 58-64.
- [2]. Cucarzi M. ,1990. An integrated programme of Geophysical Prospectings at Moenjodaro (1983/1986). Prospezioni Archeologiche QUADERNI 1., 13 - 49.
- [3]. Kampke A., 1997 - Focused imaging of electrical resistivity data in archaeological prospecting. J. of applied geophysics V. 41, 215-227.
- [4] Mauro Cucarzi and P. Conti (2001), 'Geophysical Prospecting for Archaeological Risk Evaluation on the Khmer Monumental Area of Vat Phou (Southern Lao PDR)'. International Conference of European Exploration Geophysical Society, Le Havre.
- [5] Mauro Cucarzi, KM Ermokhin et al (2001), 'Method of volume dipole sources for solving problems of stationary magnetic and electrical prospecting', *Prospezioni archeologiche - Fondazione Lerici Quaderni* 2, p. 183-202.
- [6]. Mauro Cucarzi, Đinh Văn Toàn, Đoàn Văn Tuyển, Trịnh Việt Bắc, Lại Hợp Phòng, 2008 - Geophysical Investigation at Mỹ Sơn Archaeological Site. In the book: Champa and Archaeological site Mỹ Sơn Vietnam). Publication of National Singapore University 2008, 361 - 377.
- [7]. Mauro Cucarzi, Đinh Văn Toàn, Đoàn Văn Tuyển, Trịnh Việt Bắc Lại Hợp Phòng, Nguyễn Thị Hồng Quang, Trần Anh Vũ, 2008 - Khả năng sử dụng thăm dò Địa Vật lý để xác định các đối tượng bị vùi lấp trong khu vực Hoàng Thành Thăng Long. Kỷ yếu HNKH quốc tế: Nhận diện giá trị khu di tích Hoàng Thành Thăng Long sau 5 năm nghiên cứu so sánh 2004 - 2009), 382 - 387.
- [8]. Fifty years of non-invasive investigations for safeguarding of the cultural heritage, 1999 - Publication of University Politechnic Milan, Italy pp.83.
- [9]. Fisher E, Mc Mechan G.A. and annan, 1992 - Acquisition and processing of wide aperture Ground Penetrating Radar data. Geophysics 57, 495-504.
- [10]. Phan Huy Lê, 2008 - Giá trị mang ý nghĩa toàn cầu của khu di tích trung tâm Hoàng Thành Thăng Long. Kỷ yếu HNKH quốc tế: Nhận diện giá trị khu di tích Hoàng Thành Thăng Long sau 5 năm nghiên cứu so sánh (2004 - 2008), 12-27.
- [11]. Le Duy Son, 2003 - Central Vietnam and the archaeological problem. Report of

the Vietnam - Italy joint seminar on " The role of Science and Technology to the conservation and restoration of ancient monuments", Hanoi, 29 - 30 of Oct. 2003.

[12]. Tống Trung Tín, Phạm Văn Triệu, 2008 - Nhận diện mặt bằng các di tích kiến trúc cung điện Hoàng Thành Thăng Long tại 18 Hoàng Diệu (2004 - 2008). Kỷ yếu HNKH quốc tế: Nhận diện giá trị khu di tích Hoàng Thành Thăng Long sau 5 năm nghiên cứu so sánh (2004 - 2008), 28-55.

[13]. Đinh Văn Thuận, Nguyễn Địch Dĩ và nnk., 2008 - đặc điểm môi trường địa chất - cổ địa lý Holocen giữa - muộn khu Hoàng Thành Thăng Long. Kỷ yếu HNKH quốc tế: Nhận diện giá trị khu di tích Hoàng Thành Thăng Long sau 5 năm nghiên cứu so sánh (2004 - 2008), 368-381.

[14]. Đinh Văn Toàn, Trịnh Việt Bắc, Nguyễn Thị Hồng Quang, Lại Hợp Phòng, Bùi Hữu Dân, 2003 - Khảo sát địa chấn trong nghiên cứu hiện tượng nứt đất - nứt nhà khu vực phía nam thị xã Kon Tum. Tuyển tập HNKH toàn quốc lần thứ 2 về Sự cố hư hỏng công trình xây dựng. Hà Nội 16/12/2003, 383 - 390.

[15]. Đinh Văn Toàn, Đoàn Văn Tuyến, Trịnh Việt Bắc, Lại Hợp Phòng, Trần Anh Vũ, Mauro Curcarzi, Paula Conti, Nguyễn Văn Giảng, 2008 - Geophysical surveys at archaeological sites in Việt Nam: Case study on Mỹ Sơn Sanctuary and Thăng Long Imperial Citadel (Old Hà Nội). J. of Geology, Series B No 31-32/ 2008, 204 - 212.

[16]. Doan Van Tuyen, Tran Canh, A. Weller, 2000 - The application of electrical tomography for solving hydro-engineering geological problems in Vietnam. Advance in Natural Sciences, V. 1, No3, Hanoi, 100 - 108.

[17]. Đoàn Văn Tuyến, Đinh Văn Toàn, Trần cánh, Trịnh Việt Bắc, Lại Hợp Phòng, 2005.- Phương pháp Địa Vật lý phục vụ công tác khảo cổ và một số kết quả ứng dụng. Tuyển tập báo cáo HNKH toàn quốc Địa chất công trình và Môi trường, Hà nội 16-17/4/2005, 216-224.

MỤC LỤC

MỞ ĐẦU	1
CHƯƠNG I: VÀI NÉT VỀ ỨNG DỤNG CÁC PHƯƠNG PHÁP ĐỊA VẬT LÝ TRONG KHẢO CỔ VÀ ĐẶC ĐIỂM MÔI TRƯỜNG KHẢO CỔ KHU VỰC HOÀNG THÀNH THĂNG LONG	1
1.1. VÀI NÉT VỀ ỨNG DỤNG PHƯƠNG PHÁP ĐỊA VẬT LÝ TRONG CÔNG TÁC KHẢO CỔ Ở NƯỚC NGOÀI	4
1.2. TÌNH HÌNH ỨNG DỤNG PHƯƠNG PHÁP ĐỊA VẬT LÝ TRONG NƯỚC PHỤC VỤ CÔNG TÁC KHẢO CỔ.....	8
1.3. MỘT SỐ ĐẶC ĐIỂM MÔI TRƯỜNG KHẢO CỔ KHU VỰC HOÀNG THÀNH THĂNG LONG	12
1.3.1. Đặc điểm môi trường địa chất các lớp gần bề mặt	13
1.3.2. Một số yếu tố khác có thể ảnh hưởng đến kết quả đo đạc bằng phương pháp Địa Vật lý	24
CHƯƠNG II: KHẢO SÁT NGHIÊN CỨU THỬ NGHIỆM BẰNG CÁC PHƯƠNG PHÁP ĐIỆN TỬ	26
2.1. PHƯƠNG PHÁP ĐO CẮT LỚP ĐIỆN TRỞ	27
2.1.1. Cơ sở lý thuyết của phương pháp.....	27
2.1.2. Khối lượng khảo sát và kết quả đo đạc	30
2.2. PHƯƠNG PHÁP RADAR XUYỀN ĐẤT	39
2.2.1. Về cơ sở của phương pháp Radar xuyên đất	39
2.2.2. Khối lượng đo đạc và kết quả thử nghiệm	42
2.2.3. Kết quả khảo sát bằng thiết bị điện tử tần số thấp ERA.....	49
CHƯƠNG III: KHẢO SÁT THỬ NGHIỆM BẰNG CÁC PHƯƠNG PHÁP ĐỊA VẬT LÝ KHÁC	58
3.1. KẾT QUẢ KHẢO SÁT THỬ NGHIỆM BẰNG PHƯƠNG PHÁP ĐO TỪ.....	58
3.1.1. Về tiền đề sử dụng phương pháp từ trong khảo cổ và lựa chọn các diện tích khảo sát trong khu Thành cổ.....	58
3.1.2. Kết quả khảo sát.....	60
3.2. PHƯƠNG PHÁP ĐO THĂM DÒ ĐỊA CHẤN	62
3.2.1. Sơ lược về phương pháp địa chấn.....	62

3.2.2. Khối lượng công việc và kết quả khảo sát.....	65
3.3. PHƯƠNG PHÁP ĐO GAMMA VÀ NƠTRON TRONG CÁC LỖ XUYỀN	73
3.3.1. Sơ lược về công nghệ chiếu xạ trong các lỗ khoan xuyên	73
3.3.2. Khối lượng công việc và kết quả khảo sát.....	75
CHƯƠNG IV: KHẢ NĂNG SỬ DỤNG CÁC PHƯƠNG PHÁP ĐỊA VẬT LÝ PHÁT HIỆN CÁC ĐỐI TƯỢNG VĂN HOÁ CỔ BỊ VÙI LẤP TRONG KHU THÀNH CỔ HÀ NỘI.....	82
4.1. VỀ HIỆU QUẢ CỦA CÁC PHƯƠNG PHÁP ĐỊA VẬT LÝ ĐÃ ÁP DỤNG THỬ NGHIỆM	82
4.1.1. Phương pháp cắt lớp điện trở	82
4.1.2. Về hiệu quả của phương pháp Radar xuyên đất	85
4.1.3. Phương pháp điện từ tần số thấp ERA.....	87
4.1.4. Hiệu quả của phương pháp thăm dò địa chấn.....	88
4.1.5. Về hiệu quả của phương pháp đo phóng xạ trong các lỗ xuyên và phương pháp đo từ.....	91
4.2. KHẢ NĂNG SỬ DỤNG CÁC PHƯƠNG PHÁP ĐỊA VẬT LÝ TRONG PHÁT HIỆN CÁC ĐỐI TƯỢNG KHẢO CỔ BỊ VÙI LẤP VÀ DỰ ĐOÁN PHÂN BỐ MỘT SỐ ĐỐI TƯỢNG KHẢO CỔ TRONG KHU THÀNH CỔ.....	93
4.2.1. Về khả năng sử dụng các phương pháp Địa Vật lý phát hiện các đối tượng khảo cổ bị vùi lấp.....	93
4.2.2. Về kết quả dự báo một số đối tượng khảo cổ bị vùi lấp trong khu Thành cổ	96
KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ.....	101
TÀI LIỆU THAM KHẢO.....	103

**BỘ KHOA HỌC VÀ CÔNG NGHỆ
VIỆN ĐỊA CHẤT**

**BÁO CÁO TÓM TẮT
NHIỆM VỤ NGHIÊN CỨU THEO NGHỊ ĐỊNH THƯ VIỆT NAM
– ITALY (2006 – 2008)**

**ÁP DỤNG CÔNG NGHỆ THĂM DÒ KHÔNG PHÁ
HỦY ĐỂ PHÁT HIỆN, ĐÁNH GIÁ HIỆN TRẠNG CÁC
ĐỐI TƯỢNG VĂN HOÁ CỔ BỊ VÙI LẤP TRONG KHU
VỰC HOÀNG THÀNH THĂNG LONG VÀ LÂN CẬN**

HÀ NỘI – 2008

MỞ ĐẦU

Phương pháp địa vật lý đã bắt đầu được sử dụng trong xác định các đối tượng khảo cổ bị vùi lấp từ những năm 50 của thế kỷ trước. Do việc sử dụng các phương pháp địa vật lý ngày càng hiệu quả nên ở nhiều nước hiện nay việc áp dụng công nghệ và kỹ thuật Địa vật lý trong các dự án khảo cổ đã trở thành phổ biến, tuy nhiên ở nước ta việc triển khai các phương pháp này phục vụ khảo cổ còn rất hạn chế. Trong thực tế các nhà địa vật lý ở nước ta tuy nắm bắt được các tiến bộ của công nghệ, kỹ thuật địa vật lý nhưng lại chưa có kinh nghiệm sử dụng chúng trong công tác khảo cổ. Mặt khác ta cũng chưa có nhiều cơ hội để liên kết các nhà nghiên cứu về khảo cổ với các nhà địa vật lý. Ưu điểm của phương pháp địa vật lý là các khảo sát nghiên cứu có thể cho ta được bức tranh khái quát về phân bố các di tích bị vùi lấp mà không cần đào bới, khai quật nhiều. Điều này có thể giúp các nhà khảo cổ có được chiến lược hợp lý hơn trong việc quy hoạch bảo tồn và phát huy các giá trị văn hoá của các di tích.

Italy là một trong những nước có nhiều kinh nghiệm về lĩnh vực này. Hoàng Thành Thăng Long là Thủ đô của nước Đại Việt có lịch sử tồn tại và phát triển nghìn năm nay. Kết quả khai quật và nghiên cứu về khảo cổ cho thấy trong khu Hoàng Thành có nhiều di tích khảo cổ rất có giá trị về văn hoá còn bị vùi lấp trong lòng đất, chưa được biết đến. Các di tích văn hoá và lịch sử ở nhiều địa phương trong cả nước cũng có tình trạng tương tự. Do công tác bảo tồn và phát huy giá trị văn hoá của các di tích ngày càng được quan tâm hơn nên trong khuôn khổ hợp tác khoa học theo Nghị định thư Việt Nam – Italy giai đoạn 2006 – 2008 hai bên đã thống nhất tạo điều kiện để các nhà khoa học hợp tác triển khai nhiệm vụ nghiên cứu: “ *Áp dụng công nghệ thăm dò không phá huỷ phát hiện đánh giá hiện trạng các đối tượng văn hoá cổ bị vùi lấp trong khu vực hoàng thành Thăng Long và lân cận*”.

Theo đó, ngày 1/7/2006 Hợp đồng thực hiện nhiệm vụ hợp tác quốc tế về khoa học và công nghệ theo nghị định thư số 36/2006/HĐ-NĐT được ký kết giữa đại diện Bộ Khoa học và Công nghệ với đại diện của Viện Khoa học và Công nghệ Việt nam, trong đó Viện Địa chất được Bộ giao cho chủ trì nhiệm vụ.

Mục tiêu của công tác nghiên cứu này là: Xây dựng quy trình công nghệ để phát hiện và nhận dạng có hiệu quả các đối tượng khảo cổ bị chôn vùi trong khu Hoàng Thành Thăng Long và lân cận. Theo các kết quả khảo sát nghiên cứu xây dựng sơ đồ phân bố các di tích văn hoá cổ bị vùi lấp .

Nhằm đạt các mục tiêu trên, một loạt các phương pháp địa vật lý đã được triển khai khảo sát thử nghiệm. Đối tác phía Italy cũng nhiều lần tham gia trực tiếp các khảo sát đo vẽ ngoài hiện trường và tư vấn trong khâu xử lý phân tích tài liệu. Trong khoảng thời gian từ giữa năm 2006 đến tháng 7/2008 trong khu Thành cổ Hà Nội và khu vực Cổ Loa đã tiến hành một khối lượng lớn các khảo sát thử nghiệm bằng các phương pháp địa vật lý. Trong đó, đo cắt lớp điện trở đến 236 điểm với 30 tuyến đo; đo địa chấn 66 điểm gồm 23 tuyến; đo từ 1600 điểm, đo radar xuyên đất 5242 m.

Phương pháp đo phóng xạ tia Gamma và Nơtron được thực hiện trong 9 lỗ xuyên, phân bố tương đối đều trong khu khảo sát. Riêng phương pháp điện từ tần số thấp đo bằng thiết bị ERA, mặc dù không có trong kế hoạch nhưng đây là thiết bị mới, có nhiều ưu điểm cho khảo sát khu vực thành phố nên việc thử nghiệm vẫn được tiến hành với 23 tuyến đo. Để hỗ trợ cho việc lý giải các kết quả đo địa vật lý, trong nhiệm vụ này còn tiến hành các nghiên cứu về điều kiện địa chất - kiến tạo, khoan lấy mẫu phân tích tại 4 lỗ khoan với tổng chiều sâu 54 m, xác định địa tầng các lớp gần mặt đất. Nhóm tác giả cũng đã thực hiện nghiên cứu về trầm tích Đệ tứ, đặc biệt là trầm tích Holocen, một đối tượng có nhiều mối quan hệ với các di tích khảo cổ. Cho đến nay cả về khối lượng công việc lẫn các nội dung của nhiệm vụ nghiên cứu đã được thực hiện đầy đủ.

Kết quả khảo sát đã cho phép nghiên cứu tương đối chi tiết về điều kiện địa chất – kiến tạo khu vực Thành cổ. Đối với công tác đo địa vật lý thì môi trường ở đây rất phức tạp bởi các hệ thống hạ tầng hiện đại của thành phố nên việc thi công khó khăn và không phải phương pháp nào cũng đạt hiệu quả tốt. Việc giải quyết nhiệm vụ đặt ra, qua phân tích kết quả khảo sát thử nghiệm cho thấy, không thể sử dụng một phương pháp địa vật lý đơn lẻ nào mà phải sử dụng đến một tổ hợp phương pháp.

Các kết quả chính của nhiệm vụ nghiên cứu được trình bày trong báo cáo tổng kết gồm 4 chương như sau:

- Chương I: *Vài nét về ứng dụng các phương pháp địa vật lý trong khảo cổ và đặc điểm môi trường khảo cổ khu vực hoàng thành Thăng Long.*
- Chương II: *Khảo sát nghiên cứu thử nghiệm bằng các phương pháp điện từ.*
- Chương III: *Khảo sát thử nghiệm bằng các phương pháp địa vật lý khác.*
- Chương IV: *Khả năng sử dụng các phương pháp địa vật lý phát hiện các đối tượng văn hoá cổ bị vùi lấp trong khu thành cổ Hà Nội.*

Các kết quả nghiên cứu cũng đã được công bố trong các tuyển tập của 4 hội thảo khoa học, trong đó có 3 hội thảo quốc tế và 1 hội thảo quốc gia. Ngoài ra, các kết quả liên quan cũng được công bố trong 2 bài báo do Đại học quốc gia Singapore xuất bản năm 2008.

Thông qua hợp tác nghiên cứu các cán bộ tham gia về phía Việt Nam đã học tập và tiếp thu được những kinh nghiệm sử dụng địa vật lý trong khảo cổ của các nhà địa vật lý Italy, về công nghệ, kỹ thuật cả khâu khảo sát lẫn xử lý phân tích số liệu. Trong suốt thời gian thực hiện nhiệm vụ, phía Việt nam chỉ có 2 cán bộ sang trao đổi kinh nghiệm tại Italy là do tính đặc thù của công tác nghiên cứu này. Trong thực tế ta không thiếu thiết bị mà là thiếu kinh nghiệm sử dụng địa vật lý trong khảo cổ. Phía bạn cũng hiểu điều này và thay vì các chuyến đi của cán bộ Việt Nam, phía Italy đã tham gia rất tích cực đến 6 lần, từ khâu khảo sát thực địa đến xử lý phân tích tài liệu tiến hành tại Hà Nội cùng các đồng nghiệp Việt Nam.

Báo cáo được hoàn thành với sự chủ trì của PGS.TS. Đinh Văn Toàn chủ nhiệm Nhiệm vụ và các cán bộ tham gia gồm: TS. Đoàn Văn Tuyền, KS. Trịnh Việt Bắc, TS. Phạm Văn Hùng, PGS.TS. Nguyễn Đình Dĩ, KS. Lại Hợp Phòng, CN. Trần Anh Vũ, CN. Nguyễn Thị Hồng Quang, PGS.TS. Trần Cánh, PGS.TS. Nguyễn Văn Giảng, KS. Vũ Văn Hà, KS. Nguyễn Bá Duẩn, KS. Lại Cao Khiêm, ThS. Nguyễn Trọng Vũ, KS. Trịnh Ngọc, KS. Đỗ Thị Hải.

Trong suốt thời gian thực hiện nhiệm vụ nghiên cứu tập thể tác giả luôn nhận được sự hỗ trợ về nhiều mặt của các cơ quan chức năng thuộc Bộ Khoa học và Công nghệ (Vụ quản lý Khoa học Xã hội và Tự nhiên, Vụ Hợp tác Quốc tế), các cơ quan chức năng thuộc Viện Khoa học và Công nghệ Việt Nam (Ban Kế hoạch - Tài Chính, Ban Hợp tác quốc tế) và lãnh đạo Viện Địa chất. Tập thể tác giả cũng được các đồng chí lãnh đạo và cán bộ của Trung tâm bảo tồn khu di tích Cổ Loa - Thành cổ Hà Nội tạo điều kiện thuận lợi cho tiến hành các khảo sát nghiên cứu thử nghiệm. Đáng ghi nhận là rất nhiều lần chủ nhiệm nhiệm vụ về phía Italy TS. Mauro Cucarzi đã tham gia trực tiếp công tác khảo sát trong khu Thành cổ, tham gia xử lý phân tích tài liệu và lý giải kết quả. Nhân dịp này tập thể tác giả xin được bày tỏ lòng biết ơn chân thành đến các cơ quan và cá nhân các đồng chí lãnh đạo và các cán bộ chuyên trách thuộc các cơ quan nói trên đã tạo điều kiện thuận lợi cho tập thể tác giả hoàn thành nhiệm vụ.

Tập thể tác giả

CHƯƠNG I

VÀI NÉT VỀ ỨNG DỤNG CÁC PHƯƠNG PHÁP ĐỊA VẬT LÝ TRONG KHẢO CỔ VÀ ĐẶC ĐIỂM MÔI TRƯỜNG KHẢO CỔ KHU VỰC HOÀNG THÀNH THĂNG LONG

1.1. VÀI NÉT VỀ ỨNG DỤNG PHƯƠNG PHÁP ĐỊA VẬT LÝ TRONG CÔNG TÁC KHẢO CỔ Ở NƯỚC NGOÀI

Kể từ sau khi các phương pháp địa vật lý đạt được hiệu quả trong phát hiện các mỏ dầu và tìm kiếm các khoáng sản có ích khác, các nhà nghiên cứu khảo cổ ở một số nước đã bắt đầu sử dụng chúng thử nghiệm tìm kiếm các di tích khảo cổ bị chôn vùi. Trong số các cơ sở đi đầu trong công tác này phải kể đến Phòng thí nghiệm khảo cổ của đại học Oxford của nước Anh (Oxford Archaeology Laboratory), Trung tâm thăm dò khảo cổ thuộc trường đại học Pennsylvania của Mỹ (Center of Archaeological Prospecting), Trung tâm nghiên cứu địa vật lý Garchy thuộc Trung tâm nghiên cứu khoa học Quốc gia Pháp (CNRS), Viện bảo tàng Hermitage Saint Petersburg và Viện hàn lâm Khoa học Liên Bang Xô Viết trước đây và Liên Bang Nga ngày nay, Viện bảo tàng Rheinisches Landesmuseum tại Bonn của Cộng hòa liên bang Đức. Ngoài ra, các khảo sát bằng phương pháp địa vật lý phục vụ công tác khảo cổ cũng được chú trọng ở Nhật và Trung Quốc. Đáng lưu ý là năm 1947, sau khi Viện Địa vật lý ứng dụng được

thành lập tại Trường đại học Bách khoa Milan - Italy thì các ý tưởng sử dụng phương pháp địa vật lý tìm kiếm các di tích khảo cổ bị chôn vùi được đẩy mạnh lên rất nhiều. Viện nghiên cứu này đã hợp tác chặt chẽ với nhiều cơ sở có uy tín về khảo cổ ở Châu Âu và Mỹ. Tuy nhiên các ứng dụng có kết quả và gần như có ý nghĩa mở ra một trang mới cho ngành Địa vật lý trong lĩnh vực khảo cổ cũng chỉ bắt đầu có được vào khoảng năm 1955 - 1956. Ưu điểm của việc áp dụng phương pháp này là, kết quả khảo sát trong những điều kiện thuận lợi có thể cho ta được bức tranh tổng thể về phân bố của các đối tượng bị vùi lấp mà không làm tổn hại đến đối tượng. Điều này giúp cho ngành khảo cổ có kế hoạch chủ động trong quy hoạch bảo tồn và phát huy giá trị các di tích cổ. Cũng từ đây hình thành một hướng nghiên cứu gọi là phương pháp hoặc công nghệ thăm dò không phá huỷ và được áp dụng ngày càng nhiều trong công tác khảo cổ.

Nguyên lý chung để sử dụng phương pháp địa vật lý trong khảo cổ là tính chất vật lý của những vật liệu sử dụng xây dựng các công trình cổ bị vùi lấp thường khác biệt với môi trường xung quanh. Công tác khảo sát liên quan đến khảo cổ thường chỉ cần thăm dò đến độ sâu khoảng 10 m, tuy nhiên các vật thể cần phát hiện thường có kích thước nhỏ, hơn nữa môi trường địa chất các lớp gần mặt đất thường rất phức tạp, tính bất đồng nhất rất cao nên việc khảo sát bằng phương pháp địa vật lý cũng không phải lúc nào cũng đạt kết quả. Trong những năm đầu các phương pháp địa vật lý được áp dụng phần lớn là phương pháp đo từ và thăm dò điện, một số rất ít là đo địa chấn và trọng lực. Do lúc bấy giờ các thiết bị địa vật lý chưa có độ phân giải cao, công nghệ xử lý phân tích tài liệu cũng chưa thật phát triển nên các khảo sát thường chỉ được tiến hành ở những nơi môi trường tương đối đơn giản như tại các vùng sa mạc, các vùng xa thành phố v.v...

Từ những năm 1980 nhờ các tiến bộ nhảy vọt của công nghệ điện tử và tin học mà các thiết bị địa vật lý có bước phát triển đáng kể về chất lượng. Các thiết bị ghi số có độ phân giải cao ra đời, cho phép ghi được các tín hiệu có ích biên độ nhỏ. Nhiều thiết bị tân số như thiết bị Radar và các dạng tương tự không bị nhiễu bởi hầu hết các dòng điện dân dụng bắt đầu được phổ biến. Đồng thời với tiến bộ về trang thiết bị, nhờ sự phát triển nhanh chóng của công nghệ và kỹ thuật máy tính, ngành Địa Vật lý đã tạo ra được nhiều phần mềm ngày càng cho phép khai thác hiệu quả hơn tài liệu địa vật lý trong nghiên cứu lòng đất. Cũng từ giai đoạn này các loại thiết bị và công nghệ Địa vật lý được sử dụng trong công tác khảo cổ đa dạng hơn nhiều so với giai đoạn trước. Kết quả vừa nêu không chỉ là lý do củng cố được vị trí của công tác Địa vật lý trong khảo cổ mà việc áp dụng phương pháp này cũng bắt đầu có hiệu quả trong khu vực thành phố, nơi môi trường khảo sát có nhiều yếu tố làm phức tạp lên rất nhiều. Kể từ đó đến nay đã có đến hàng nghìn dự án khảo cổ có sự đóng góp rất tích cực của các khảo sát bằng phương pháp Địa vật lý trên khắp các châu lục. Riêng bộ phận nghiên cứu khảo cổ thuộc Trường đại học Bách khoa Milano trong vòng hơn 30 năm qua đã thực hiện đến hơn 500 dự án không chỉ ở nước Italy mà còn nhiều dự án ở nước ngoài như ở: Ma-rốc, Ai Cập, Giooc - Đa - Ni, Pháp, Nga, Hungary, Đan Mạch, Ba Lan, Tây Ban Nha, Iran, Pakistan, Israel,

v.v... Kết quả của nhiều dự án đã giúp nhiều quốc gia bảo tồn và phát huy có hiệu quả các giá trị của các di sản văn hoá cổ. Tại vùng Đông Nam á với danh nghĩa là tổ chức của Liên Hợp Quốc, Trung tâm khảo cổ Lerici của Trường đại học Milano đã và đang thực hiện có hiệu quả dự án Wat Phu ở Lào và dự án Mỹ Sơn ở Việt Nam.

Thông qua các kết quả khảo sát nghiên cứu thì cho đến thời điểm này tổ hợp các phương pháp được sử dụng nhiều nhất và tỏ ra phù hợp với nhiều loại môi trường gồm: phương pháp đo điện trở, phương pháp đo từ và phương pháp điện từ dùng thiết bị Radar. Phương pháp địa chấn và trọng lực vẫn là các phương pháp được sử dụng hạn chế. Các phần mềm xử lý phân tích cả 2 chiều và 3 chiều cũng đạt mức hoàn thiện hơn, cho phép giải bài toán ngược đối với môi trường phức tạp, khả năng thích ứng tốt hơn với môi trường thực tế.

Nhìn chung, với những kết quả đạt được trong nhiều năm qua có thể nói ngành địa vật lý đã có những đóng góp rất tích cực trong phát hiện các di tích khảo cổ bị chôn vùi, góp phần rất đáng kể giúp các nhà khảo cổ hoạch định hiệu quả các phương án bảo tồn và phát huy giá trị các di sản văn hoá cổ ở nhiều quốc gia. Cho đến hiện nay ở nhiều nước gần như dự án khảo cổ nào có liên quan đến các di tích bị vùi lấp cũng đều có sử dụng địa vật lý trong khảo sát. Tuy nhiên kết quả khả quan đạt được nhiều hơn ở những khu vực không có nhiều nguồn nhiễu như khu vực xa thành phố. Trong các dự án tiến hành ở khu vực thành phố tuy cũng đạt nhiều kết quả nhưng vẫn còn nhiều yếu tố làm giảm hiệu quả, thậm chí có thể vô hiệu hoá một số loại thiết bị địa vật lý. Điều đáng lưu ý là cho đến nay các nhà nghiên cứu cũng không thấy phương pháp địa vật lý nào nổi trội hơn hẳn về hiệu quả trong khảo sát phát hiện các đối tượng khảo cổ, bởi vậy trong các phương án khảo sát thường phải sử dụng một tổ hợp các phương pháp đồng thời. Mặc dù các nhà nghiên cứu đã có nhiều công sức hoàn thiện từng bước khâu khảo sát địa vật lý phục vụ công tác khảo cổ nhưng cho đến nay vẫn còn những vấn đề vẫn chưa được giải quyết một cách thoả đáng. Trong thực tế môi trường các lớp gần mặt đất về bản chất tự nhiên đã phân dị mạnh lại chịu tác động của các hoạt động con người nên mức độ phức tạp càng cao. Hơn nữa các đối tượng khảo cổ thường có kích thước nhỏ, hiệu ứng vật lý nhỏ và thường phân tán tản mạn không có quy luật nên gây nhiều khó khăn cho khâu khảo sát.

1.2. TÌNH HÌNH ỨNG DỤNG PHƯƠNG PHÁP ĐỊA VẬT LÝ TRONG NƯỚC PHỤC VỤ CÔNG TÁC KHẢO CỔ

Nước ta có lịch sử và văn hóa phát triển lâu đời và rất phong phú. Do điều kiện tự nhiên khắc nghiệt lại trải qua nhiều cuộc chiến tranh kéo dài nên nhiều di tích bị phá hủy, bị vùi lấp. Cơ sở dữ liệu về di tích ở nhiều nơi cũng không được đầy đủ, gây nhiều khó khăn cho khâu quản lý, khai thác và bảo tồn các di tích văn hóa. Từ sau ngày nước nhà thống nhất nước ta mới thực sự có chiến lược rõ ràng cho công tác bảo tồn và phát huy giá trị các di sản văn hóa cổ. Thời kỳ đầu cũng còn nhiều khó khăn, đặc biệt là khó

khăn về kinh tế, công tác bảo tồn chỉ triển khai tập trung vào một số công trình di sản có ý nghĩa quan trọng, còn quan sát được trên mặt đất và xuống cấp nghiêm trọng như quần thể cung đình Huế, một số công trình trong khu Hoàng Thành Thăng Long, Cổ Loa, di tích Tháp Chăm, v.v... Để làm các công việc này ngoài các đầu tư của Nhà nước, ta cũng đã tranh thủ được sự hỗ trợ của cộng đồng quốc tế, thông qua tổ chức của Liên hợp quốc UNESCO. Khoảng 15 năm trở lại đây công tác bảo tồn ngày càng được quan tâm đầu tư, nhiều di tích khảo cổ bị vùi lấp tại nhiều địa phương đã được phát hiện, khai quật và nghiên cứu. Các kết quả khảo sát nghiên cứu trong lĩnh vực khảo cổ thời gian qua đã làm cho số lượng di sản văn hóa cổ của ta đa dạng và phong phú lên rất nhiều. Tuy nhiên nhiều khu di tích sau khi được khai quật thì công tác bảo tồn gìn giữ chúng lại là một vấn đề nan giải.

Nếu như trước khi tiến hành khai quật ta có được bức tranh khái quát tổng thể về phân bố các đối tượng bị vùi lấp thì việc hoạch định công tác khai quật cũng như chiến lược bảo tồn sẽ hiệu quả hơn nhiều. Muốn thực hiện công việc này ở nước ta cũng không phải dễ, bởi các nhà khảo cổ, bảo tồn cần biết rõ các phương pháp địa vật lý được sử dụng ở Việt Nam sẽ hiệu quả đến đâu. Điều này thì các nhà nghiên cứu địa vật lý cũng chưa thật sẵn sàng, bởi mặc dù các khảo sát nghiên cứu về địa vật lý ở nước ta đã được bắt đầu từ hơn nửa thế kỷ qua. Tuy nhiên hướng nghiên cứu ứng dụng trong khảo cổ một mặt còn rất mới mẻ ta chưa có kinh nghiệm, mặt khác các ứng dụng này vẫn chỉ coi là công việc mang tính nghiệp dư đối với các nhà nghiên cứu Địa Vật lý. Cũng bởi vậy trong nhiều năm qua kết quả đo địa vật lý phục vụ công tác khảo cổ còn quá ít ỏi. Phần lớn các đo đạc được thực hiện bằng phương pháp điện trở. Các kết quả đo thường chỉ được sử dụng như là tài liệu phụ trợ cho các nghiên cứu về tầng văn hóa. Vào năm 2006 một vài kết quả đo thử nghiệm bằng thiết bị Radar tại khu Hậu Lâu của Thành cổ Hà Nội cũng được các nhà chuyên môn địa vật lý của trường ĐHKHTN Hà Nội thực hiện. Qua trao đổi trực tiếp với những người thực hiện cho thấy kết quả sử dụng phương pháp này có thể xác định được một số đối tượng như tường gạch, đá bị vùi lấp ở độ sâu nhỏ, v.v...

Cho đến nay, phép đo địa vật lý với mục đích phát hiện các đối tượng văn hoá cổ bị vùi lấp ở Việt Nam có lẽ được các nhà Địa Vật lý của Viện Địa chất - VKHCNVN tiến hành vẫn là nhiều nhất. Từ năm 1999 - 2001 trong khuôn khổ hợp tác giữa Viện Địa chất với các nhà khoa học của Cộng Hoà Liên Bang Đức, tuy không phải là tham gia dự án khảo cổ nào nhưng hai bên đã tiến hành đo thử nghiệm phương pháp điện trở bằng thiết bị đa cực tại nền điện Cần Chánh ở TP. Huế nhằm đánh giá khả năng phương pháp này trong xác định phân bố các chân cột của Toà Điện này. Kết quả cho thấy, dấu vết các chân cột phản ánh khá rõ trên cả mô hình phân bố điện trở suất 2 chiều và 3 chiều. Sau khi có kết quả này các tác giả đã có kiểm chứng tại hiện trường bằng cách đào bới các khu vực được dự đoán phân bố chân cột và cho các kết quả rất tốt.

Trong khoảng thời gian 2003-2005 dưới danh nghĩa chủ trì dự án khảo cổ được Liên Hợp Quốc tài trợ, dự án bảo tồn khu di tích Chăm, Mỹ Sơn GS.TS. Mauro Curcazi đã tạo điều kiện cho các cán bộ của Viện Địa chất tham gia thực hiện khảo sát bằng phương pháp địa vật lý tại 1 số vị trí trong quần thể di tích khảo cổ ở Mỹ Sơn. Theo đó, các khảo sát được thực hiện bằng phương pháp đo dị thường từ bằng thiết bị G856 của hãng Geometrics - Mỹ, đo thăm dò điện bằng phương pháp điện trở sử dụng thiết bị đa cực của Đức như ở Huế và đo độ từ thẩm bằng thiết bị JH8 do Thụy Điển chế tạo. Đây là cơ hội để các tác giả có thể học được một phần kinh nghiệm sử dụng phương pháp địa vật lý trong khảo cổ của các nhà khoa học Italy. Công việc đo đạc ở đây được tiến hành bằng cả 3 phương pháp cho nhóm di tích G trong quần thể Mỹ Sơn. Kết quả đo từ cho thấy các khu vực có vật liệu xây dựng phát tán vào lòng đất đều cho giá trị dị thường cao hơn. Kết quả này cũng đã được kiểm tra bằng khai quật cho thấy sự phù hợp khá tốt, và đã hỗ trợ tích cực cho các khảo cổ hoạch định phương án khai quật. Các kết quả đo thăm dò điện và từ thẩm cũng cho các bức tranh tương tự.

Nhìn chung, các kết quả khảo sát bằng phương pháp địa vật lý tại quần thể di tích Mỹ Sơn đã có kết quả khả quan. Tuy nhiên cũng phải thấy rằng, môi trường khảo cổ tại đây khá thuận lợi không bị ảnh hưởng nhiều của nguồn nhiễu nhân tạo. Việc tiến hành khảo sát trong khu vực thành phố như khu Hoàng Thành Thăng Long sẽ khó khăn hơn rất nhiều, bởi môi trường khảo sát ở đây rất phức tạp cả về mặt địa chất lẫn các công trình hiện đại.

1.3. MỘT SỐ ĐẶC ĐIỂM MÔI TRƯỜNG KHẢO CỔ KHU VỰC HOÀNG THÀNH THĂNG LONG

Trước khi triển khai đo đạc bằng các phương pháp địa vật lý thường bao giờ cũng có bước xem xét đánh giá sơ bộ khả năng ảnh hưởng đến kết quả đo đạc của các yếu tố tồn tại trong môi trường khảo sát. Các thông tin này giúp ta có thể thiết kế mạng lưới điểm đo cũng như lựa chọn các thiết bị sao cho tránh được tối đa những ảnh hưởng tiêu cực của các yếu tố trong môi trường. Phạm vi thử nghiệm khảo sát là khu vực được dự đoán là Cấm Thành xưa kia của khu Hoàng Thành Thăng Long. Các nhóm di tích tại đây bao gồm di tích Đoan Môn ở phía nam, khu vực Kính Thiên ở trung tâm, phần phía bắc là khu di tích Hậu Lâu. Như vậy khu vực khảo sát có hình dạng gần như hình chữ nhật được giới hạn ở phía tây là đường Hoàng Diệu, phía đông là đường Nguyễn Tri Phương, phía nam là khu thể thao quân đội, phía bắc là đường Phan Đình Phùng (hình 1). Khu vực này cũng là nơi rất phức tạp về môi trường khảo sát, bởi hệ thống hạ tầng của thành phố khá dày đặc.

1.3.1. Đặc điểm môi trường khảo sát khu vực Thành cổ

- Đặc điểm địa hình, địa chất:

Về mặt địa hình, khu vực Hoàng Thành Thăng Long và lân cận nằm trên dải địa hình đồng bằng tích tụ có độ cao tuyệt đối khoảng >5 m. Cấu tạo nên đồng bằng này bao gồm chủ yếu là trầm tích bờ rời có nguồn gốc sông, biển hỗn hợp. Trên bề mặt địa hình phát triển nhiều các dạng vi địa hình có nguồn gốc tự nhiên và nhân tạo như: gò cao, ao, hồ, đầm lầy và các dải địa hình trũng thấp, v.v... Khu Hoàng Thành Thăng Long hiện nay nằm trong khu vực lân cận lòng sông Hồng cổ ở thời kỳ Pleistocen, còn Hồ Tây chính là dấu tích của lòng sông Hồng cổ có tuổi Pleistocen muộn. Những đặc điểm vừa nêu cho thấy lớp đất gần ngay bề mặt khu vực thành phố Hà Nội thuộc loại lớp đất yếu, các công trình xây dựng trên nó dễ bị huỷ hoại, dễ bị chôn vùi, thậm chí dễ di chuyển khi có những tác động của ngoại lực. Hầu hết các di tích bị vùi lấp đều nằm trong trầm tích tuổi Holocen. Về đặc điểm của loại trầm tích này được tập thể tác giả tổng hợp một số các nghiên cứu ở vùng lân cận trong phạm vi Hà Nội và kết quả khảo sát, khoan và những kết quả phân tích mẫu trong nghiên cứu này. Theo đó, phần trầm tích lót đáy của các trầm tích Holocen là các thành tạo thuộc hệ tầng Vĩnh Phúc có tuổi Pleistocen muộn (Q_1^{3vp}), phân bố ở độ sâu lớn hơn 6,8m, đôi chỗ khoan ở độ sâu 8m (tại lỗ khoan 4) mới gặp trầm tích của hệ tầng Vĩnh Phúc. Thành phần trầm tích bao gồm cát, bột, sét có màu vàng, trắng, nâu loang lổ có nguồn gốc sông bị phong hóa tạo nên màu sắc loang lổ.

Trầm tích Holocen tại khu Thành cổ Hà Nội gồm các trầm tích có nguồn gốc sông, hồ -đầm lầy thuộc hệ tầng Hải Hưng (Q_2^{1-2hh}) và hệ tầng Thái Bình (Q_2^{3tb}). Các thành tạo thuộc hệ tầng Hải Hưng (Q_2^{1-2hh}) phân bố ở độ sâu từ 3m đến 6,8-8m. Thành phần trầm tích gồm sét màu xám xanh, xám ghi, xám trắng; bùn sét màu đen lẫn cát. Trầm tích có nguồn gốc hồ, đầm lầy.

Các thành tạo thuộc hệ tầng Thái Bình phân bố ở độ sâu từ 0 đến 3 - 4m. Trầm tích thuộc hệ tầng Thái Bình tại khu thành cổ Hà Nội chủ yếu là đất lấp (trầm tích nhân sinh) ít chỗ còn nguyên vẹn các lớp trầm tích tự nhiên được thành tạo trong Holocen muộn thuộc hệ tầng Thái Bình. Các trầm tích tự nhiên thuộc hệ tầng Thái Bình bao gồm cát, bột, sét màu nâu có nguồn gốc sông.

Kết quả khảo sát nghiên cứu địa tầng cho thấy các thành tạo địa chất ngay gần bề mặt thuộc loại trầm tích bờ rời, khá đồng nhất về thành phần thạch học, có tính phân lớp khá rõ. Đặc điểm môi trường địa chất như vậy là điểm thuận lợi cho triển khai công tác địa vật lý. Tuy nhiên lớp trầm tích Holocen chứa nước làm cho mực nước ngầm dâng rất cao. Đây là dấu hiệu không thuận lợi cho triển khai đo đạc bằng phương pháp Radar xuyên đất.

Ngoài các yếu tố môi trường địa chất như trên, môi trường nhân sinh cũng chứa đựng nhiều yếu tố có thể ảnh hưởng lớn đến kết quả đo đạc bằng các phương pháp địa vật lý.

- Về các di tích khảo cổ bị vùi lấp trong khu Hoàng Thành Thăng Long: Khu vực được lựa chọn để tiến hành khảo sát bằng các phương pháp địa vật lý được nhiều

nhà sử học cho rằng, đây là trung tâm của Cẩm thành, có vị trí hầu như không thay đổi trong nghìn năm lịch sử. Có thể thấy các di vật cổ tìm được trong khu khai quật của Cẩm thành rất phong phú. Có thể thấy nền các ngôi nhà trải qua nhiều giai đoạn lịch sử được đào đi, xây lại nên thường có nhiều lớp gạch sỏi chồng xếp lên nhau, tạo thành lớp vật liệu khá dày. Bao quanh các nền cung điện đã phát hiện nhiều móng chân tường bằng gạch nung còn khá nguyên vẹn. Kích thước các tường bao có khi dày đến 30 - 40 cm. Một số giếng nước được xây bằng gạch vẫn còn giữ được hình dáng buổi sơ khai, trong đó có cả giếng cổ hơn nghìn năm trước vào thời Đại La. Nhiều chân tảng bằng đá hoa văn in đậm nét văn hoá của từng thời kỳ lịch sử cũng đã tìm thấy. Trong khu khai quật còn tìm thấy một số hệ thống cống thoát nước được xây bằng gạch, kích thước cũng không nhỏ. Hầu hết các di tích đều phân bố trong khoảng độ sâu từ khoảng 1,5 m đến 4 m. Tại khu vực Đoan Môn khai quật cũng đã phát hiện được con đường lát gạch hoa chân từ độ sâu gần 1,5 m. Đường rộng đến gần 2 m và đáng lưu ý là nó có nhiều lớp. Theo các nhà sử học thì đây là đường dành cho nhà vua đi (ngự đạo), nó nối liền Đoan Môn với thềm Rồng trước Điện Kính Thiên. Các thông tin vừa nêu trên cần được quan tâm trong thực hiện các nhiệm vụ thử nghiệm tại khu vực đã lựa chọn khảo sát.

Theo tính toán lý thuyết và kinh nghiệm tích lũy được thông qua thực hiện các dự án khảo cổ thì nhiều tính chất vật lý của vật liệu xây dựng với môi trường đất xung quanh có sự khác biệt đáng kể. Đặc điểm trên xem ra có thể coi là tiền đề tốt cho sử dụng các phương pháp địa vật lý. Tuy nhiên khu dự kiến khảo sát như đã nêu ở trên có mật độ nhà cửa rất cao, nhiều khoảng không gian giữa các nhà là đường nhựa hoặc sân bê tông gây khó khăn cho các phương pháp địa vật lý cần phải tiếp đất khi đo. Ngoài ra, hiệu ứng vật lý gây ra do kích thước và vật liệu xây dựng nên các công trình, hệ thống đường dây tải điện, cấp thoát nước v.v... nhiều khi lấn át cả tín hiệu từ các đối tượng cần quan tâm, làm cho việc tách tín hiệu có ích rất khó khăn. Đáng lưu ý là trong phạm vi khảo sát, ngoài các hệ thống công trình đô thị nêu trên còn có cả một hệ thống hầm ngầm được xây dựng trong thời gian kháng chiến. Hệ thống này một mặt gây tín hiệu nhiễu cho các phép đo địa vật lý, mặt khác có thể nhiều di tích khảo cổ có khả năng đã bị đào mất, bị huỷ hoại phát tán trong quá trình xây dựng các hệ thống công trình.

Nhìn chung các yếu tố liên quan đến môi trường tại đó sẽ tiến hành các phép đo địa vật lý trong khu Thành cổ là không đơn giản. Tuy nhiên, ở nhiều nước công tác địa vật lý sử dụng cho các dự án khảo cổ trong khu vực thành phố cũng đã được thực hiện có hiệu quả. Qua thảo luận trao đổi và xem xét hiện trường cùng các nhà khoa học Italy, thì việc khảo sát thử nghiệm bằng một tổ hợp các phương pháp địa vật lý thường dùng trong khảo cổ là một việc làm cần thiết.

CHƯƠNG II

KHẢO SÁT NGHIÊN CỨU THỬ NGHIỆM BẰNG CÁC PHƯƠNG PHÁP ĐIỆN TỬ

Như đã nêu ở phần trên, các phương pháp điện tử được sử dụng khá phổ biến trong xác định phân bố các di tích khảo cổ bị vùi lấp ở nhiều nước trên thế giới. Trong số các phương pháp điện tử thì phương pháp điện trở và phương pháp điện từ tần số cao dùng thiết bị Radar được sử dụng nhiều hơn cả. Trong những năm gần đây các thiết bị điện tử ở các dải tần số thấp hơn cũng đã được sử dụng, tuy không phổ biến như thiết bị tần số Radar. Các phương pháp sử dụng dòng một chiều thì việc phát dòng và thu tín hiệu sau khi đã thấm vào lòng đất đều phải sử dụng các điện cực tiếp đất. Trong khi các phương pháp tần số việc phát và thu tín hiệu trường điện từ lại không cần tiếp địa mà chỉ cần dùng các ăng ten phát và thu đặt gần mặt đất. Do việc thu và phát tín hiệu điện thông qua điện cực tiếp địa nên phương pháp điện trở cho ta thông tin trực tiếp phản ánh đặc điểm phân bố nguồn của trường điện từ trong môi trường. Cũng bởi vậy nên số liệu thu được bằng sử dụng phương pháp điện trở thường cho độ phân giải cao, tuy nhiên do phải tiếp địa bằng các điện cực nên phép đo này thường không thực hiện được trên nền gạch, nền bê tông, asphal v.v...

Đối với các phương pháp điện từ tần số thì các tín hiệu đo được có thể là sóng phản xạ từ các ranh giới phân chia các vùng có tính chất điện từ khác nhau, hoặc là thành phần thứ cấp của trường điện từ cảm ứng nên thường độ phân giải không cao như số liệu thu được từ phép đo theo phương pháp điện trở. Đối lại các phương pháp này dễ thực hiện trên các đối tượng như nền gạch, sân xi măng, mặt đường nhựa v.v... vốn rất khó thực hiện nếu ta sử dụng phương pháp đo điện trở.

Cho dù sử dụng các phương pháp dùng dòng một chiều hay xoay chiều thì tiền đề để ứng dụng các phương pháp điện tử vẫn có điểm chung là dựa vào sự khác biệt về điện trở (tính chất dẫn điện) của các thực thể địa chất khác nhau trong môi trường. Các di tích khảo cổ bị chôn vùi thường được xây dựng bằng các loại gạch nung hoặc không nung, đôi khi bằng đá khai thác từ các nơi khác mang về. Do nguồn gốc các vật liệu như vừa nêu trên nên thường chúng cũng có tính chất vật lý khác biệt so với đất đá tự nhiên, nơi có các công trình cổ bị vùi lấp. Dấu hiệu như vừa nêu là cơ sở để ta nghĩ đến sử dụng phương pháp điện tử trong tìm kiếm phát hiện các di tích khảo cổ bị chôn vùi. Các phương pháp điện tử đã sử dụng khảo sát thử nghiệm nhằm phát hiện các đối tượng khảo cổ bị vùi lấp lần này gồm: phương pháp đo cắt lớp điện trở, phương pháp điện từ dùng thiết bị tần số Radar và phương pháp điện từ tần số thấp dùng thiết bị ERA-MAX.

2.1. PHƯƠNG PHÁP ĐO CẮT LỚP ĐIỆN TRỞ

2.1.1. Về phương pháp đo cắt lớp điện trở:

Cắt lớp điện trở là phương pháp được phát triển trên cơ sở phương pháp đo sâu điện và gần đây được ứng dụng rộng rãi trong nhiều ứng dụng bởi tính hiệu quả của nó.

Từ cắt lớp được sử dụng cũng khá đồng nghĩa với các công nghệ cắt lớp trong y học. Theo đó, môi trường địa chất trong mặt cắt thẳng đứng được chia ra các ô lưới nhỏ tùy ý và phép mô hình hoá được tiến hành trên cơ sở tính toán phân bố điện trở suất tại các ô lưới nêu trên. Mô hình được lựa chọn là mô hình có độ lệch nhỏ đến mức có thể chấp nhận được giữa phân bố điện trở suất lý thuyết và giá trị quan sát. Cách làm như trên cho phép ta mô hình hoá được cả những môi trường có tính phân lớp phức tạp. Đây cũng chính là mấu chốt làm cho phương pháp cắt lớp điện trở có hiệu quả hơn trong giải quyết các vấn đề nghiên cứu về môi trường địa chất. Song song với công nghệ phân tích tài liệu như trên cũng đã phát triển thêm các thiết bị như thiết bị đa cực, cho phép thu thập số liệu phù hợp hơn với công nghệ phân tích.

Quy trình ứng dụng phương pháp này gồm hai công đoạn: 1)Đo thực địa và 2)Xử lý phân tích số liệu.

- Thu thập số liệu :

Để thu số liệu nhờ một hệ thiết bị chuyên dụng gồm bộ phận phát dòng (từ máy nổ hay acqui) và một bộ đo hiệu điện thế từ các cặp điện cực tiếp xúc với môi trường. Từ đó xác định được giá trị điện trở suất biểu kiến. Khâu đo đạc thực địa trong đề tài này được tiến hành song song với phương pháp địa chấn, nhờ thiết bị điện đa cực do Cộng hoà liên bang Đức chế tạo GEOSYS -150. Thiết bị số cho phép ghi tự động các số liệu đo đạc vào bộ nhớ của máy và sau đó được tự động chuyển vào máy tính qua cổng truyền tín hiệu RS-232 nhờ một phần mềm chuyên dụng.

Hệ cực đo được chọn là Wenner - Schlumberger phù hợp với các đối tượng cần quan tâm có kích thước nhỏ, phòng nhiễu lớn bởi các công trình hiện tại: đường bê tông, nhà cửa, hầm ngầm, cống ngầm, đường ống nước,... và cho khả năng định xứ cao hơn.

Để có thông tin về sự phân bố điện trở suất phản ánh cấu trúc của môi trường và các bất đồng nhất bị vùi lấp trong lòng đất cần thiết phải bố trí mạng lưới điểm đo phủ kín diện tích khảo sát.

- Phân tích tài liệu:

Số liệu đo thực địa là giá trị điện trở suất biểu kiến nhận được bằng phép đo trên mặt đất bao gồm các hiệu ứng tổng cộng của nhiều yếu tố cấu trúc khác nhau kể cả các di tích bị vùi lấp trong môi trường. Để xác định được phân bố điện trở suất thực của môi trường cần thiết phải thực hiện một quy trình phân tích tài liệu, thực chất là tìm lời giải (bài toán ngược) phương trình cơ bản nêu trên bằng cách so sánh, lựa chọn tham số mô hình lý thuyết phù hợp với số liệu quan sát thực tế. Việc thực hiện quy trình phân tích này cần một khối lượng tính toán lớn trên máy tính điện tử. Phần mềm xử lý phân tích như trên được phát triển ở các nước Châu Âu và Mỹ: RES2D và DC2DSIRT được phổ biến rộng rãi và cũng được sử dụng phân tích tài liệu trong đề tài này.

2.1.2. Khối lượng công việc và kết quả khảo sát:

- Khối lượng khảo sát:

Theo các dữ liệu lịch sử các công trình cổ bố trí trên chiều dài theo phương Bắc - Nam, vì thế các tuyến đo theo phương đông tây sẽ có khả năng gặp các cấu trúc vùi lấp tốt hơn; điều kiện thực tế hiện nay cũng khó thực hiện các tuyến đo theo phương bắc nam vì vướng các công trình nhà cửa xây dựng từ thời Pháp thuộc. Khoảng cách các tuyến đo không đều vì chỉ thực hiện được ở dọc các đường đi và vườn trồng giữa các ngôi nhà (hình 2). Đa số các tuyến đo có độ dài để bố trí khoảng cách điện cực là 2m cho phép khảo sát tới độ sâu 9 - 10 m. Khu thành cổ được chia thành các khu vực nhỏ, hiện tại có tường rào phân chia ranh giới, gồm: 1- Đuan Môn; 2- khu Kính Thiên; 3- Khu tập thể Quân đội K75; 4- Hậu Lâu; 3 - dọc phố Hoàng Diệu; 6- Dọc phố Nguyễn Tri Phương. Số tuyến đo tại Đuan Môn: 4 tuyến; Kính Thiên: 14 tuyến; Tập thể K75: 6 tuyến; Hậu Lâu: 4 tuyến; Dọc phố Hoàng Diệu: 1 tuyến; Dọc phố Nguyễn Tri Phương: 1 tuyến. Tổng cộng 29 tuyến đo trên diện tích khu di tích thành cổ Hà Nội, với tổng chiều dài đạt 2.641 m.

- Kết quả khảo sát bằng phương pháp điện trở:

Mặt cắt điện trở suất biểu kiến dưới mỗi tuyến đo thể hiện tính chất bất đồng nhất của môi trường nói chung, bao gồm: nền đường bê tông, nền móng nhà hiện đại, đường cống ngầm, các loại đất, tầng đất khác nhau, các vật liệu của các công trình cổ bị phá huỷ và cấu trúc bị vùi lấp. Nghĩa là, thông tin về các đối tượng cần quan tâm là các vật liệu và công trình cổ khác bị vùi lấp thể hiện cùng với hàng loạt thông tin về các đối tượng khác. Vì vậy, để nhận biết đối tượng khảo cổ cần phải hiểu biết và phân loại tính chất của các đối tượng khác nhau để từ đó đưa ra các giải pháp xử lý phân tích cho khả năng thể hiện rõ thông tin về đối tượng khảo cổ.

Trên cơ sở liên kết tài liệu đo điện trở với hiện trạng môi trường khu vực di tích Thành cổ có thể đánh giá được mối quan hệ mang tính quy luật giữa tham số điện trở suất với các đối tượng ngoài hiện trường. Theo đó, giá trị điện trở suất phổ biến đặc trưng cho môi trường ở đây tới độ sâu khảo sát $H = 10\text{m}$ có giá trị thay đổi từ 5-10 Ωm đến 80 - 100 Ωm . Những nơi có nhiều kim loại mạnh (khung mái đường hầm, ống dẫn nước) sẽ có giá trị điện trở suất giảm xuống <5 Ωm . Những cấu trúc xây dựng bằng bê tông và asphalt có giá trị điện trở suất tăng cao > 100 Ωm . Trong đó: Mặt cắt điện trở suất thể hiện màu xanh cho cấu trúc điện trở có giá trị < 25 Ωm . Vùng điện trở suất này chủ yếu liên quan đến các lớp đất sét ẩm, cát pha chứa nước, nơi có giá trị điện trở suất thấp hơn liên quan đến bùn sét và kim loại.

Mặt cắt điện trở suất thể hiện màu đỏ cho cấu trúc điện trở có giá trị > 25 Ωm . Vùng điện trở suất này ở gần bề mặt là nền đường bê tông, nền móng nhà, cống hiện tại. Còn ở sâu > 1 m liên quan đến đất chứa nước kém (sét pha cát) hay đất có chứa các vật liệu khô xốp, rắn như đá, gạch nung,...

Đất tạo thành do quá trình tự nhiên thường có ranh giới phân lớp khá phẳng, các lớp đất có tính đồng nhất cao. Ngược lại, đất và vật liệu do quá trình nhân tạo: san lấp, đào, xây cất thường có ranh giới cấu trúc không ổn định, tính đồng nhất kém. Đó chính là những dấu

hiệu quan trọng để nhận biết và giải đoán các thông tin về môi trường (địa chất) và các vị trí có khả năng liên quan đến công trình ngầm và đối tượng khảo cổ cần quan tâm.

Theo kết quả phép đo cát lớp điện trở trong khu vực Thành Cổ có thể tiến hành phân lớp các tầng đất gần bề mặt, có thể phân biệt được đất Tự nhiên và đất lấp theo khoảng giá trị điện trở suất và đặc điểm cấu trúc của mặt cát điện trở. Kết quả xử lý phân tích cũng đã cho những thông tin rất đáng quan tâm tại nhiều vị trí, trong đó có những vị trí có được tài liệu đối sánh chắc chắn như phần tiếp tục của đường gạch từ Đuan Môn sang Kính Thiên, khu vực hố đào ở Hậu Lâu. Từ kết quả đối sánh này có thể thấy, các dị thường điện trở suất cao ở phần phía đông khu Đuan Môn, phần diện tích nam Kính Thiên, phần đông nam của khu Hậu Lâu và một số vị trí khác cũng nhiều khả năng phản ánh đối tượng khảo cổ, bởi các dị thường này có kích thước hợp lý, xuất hiện cục bộ trong các lát cắt điện trở suất với giá trị dị thường tương tự như khu vực đã phát hiện được các đối tượng khảo cổ bị vùi lấp (hình 3a – 3b). Ngoài ra, các dị thường điện trở suất thấp 5 - 10 Ωm , với hình dạng đẳng thước nhiều khả năng phản ánh các hệ thống hầm ngầm chứa sắt thép được xây dựng trong thời gian chiến tranh cũng phản ánh trong lát cắt điện trở suất ở nhiều nơi (hình 3c).

2.2. PHƯƠNG PHÁP RADAR XUYỀN ĐẤT

Ở các nước có chiều dày và nhiều kinh nghiệm trong công tác khảo, bảo tồn di tích như Italy, Pháp, Nhật v.v... thì thiết bị Radar xuyên đất được sử dụng khá phổ biến trong công tác xác định phân bố các đối tượng văn hoá cổ bị vùi lấp ở cả các khu di tích ngoài và trong các thành phố hiện đại.

2.2.1. Về phương pháp Radar xuyên đất

Phương pháp Radar xuyên đất (GPR) dựa trên nguyên lý thu sóng điện từ phản xạ trực tiếp từ các ranh giới phân chia các miền khác nhau về tính chất điện từ trong lòng đất. Lý thuyết của phương pháp Radar đã được trình bày đầy đủ và chi tiết trong nhiều công trình nghiên cứu.

Thiết bị GPR sử dụng các sóng vô tuyến tần số cao để thu thông tin từ dưới lòng đất. Năng lượng phát ra từ ăngten, lan truyền vào trong lòng đất, khi gặp dị thường sẽ tạo ra các sóng phản xạ và được ăngten thu ghi lại các tín hiệu phản xạ này một cách liên tục. Nếu chúng ta tiến hành khảo sát theo một tuyến thì sẽ tạo được một mặt cắt thẳng đứng phản ánh hiện trạng cấu trúc, trong đó có hiển thị các thông tin cơ bản như: Thời gian truyền sóng, được biểu thị bằng nanô giây, độ sâu thẩm thấu được biểu thị bằng mét, vận tốc truyền sóng được biểu thị bằng m/ns.

Do các sóng phản xạ này được tạo ra từ những mặt ranh giới trung gian trong môi trường địa chất nên các sóng phản xạ thường liên quan đến những điều kiện thành tạo tự nhiên trong cấu trúc địa chất như: Ranh giới đá móng, các lớp vật liệu trầm tích có tính chất vật lý khác nhau, những khuyết tật, các khe nứt nẻ, các khối

xâm thực cũng như các vật thể bị chôn vùi do nhân tạo hoặc các khối bê tông, các lỗ rỗng liên quan đến vị trí hang hốc... Độ sâu thẩm thấu của phương pháp phụ thuộc vào tần số của anten phát-thu tín hiệu, vào một số đại lượng vật lý khác, trong đó có độ dẫn điện, độ từ thẩm của đất đá v.v... các yếu tố cuối cùng lại phụ thuộc vào thành phần vật chất và trạng thái của đất đá trong mỗi môi trường địa chất. Khi thiết bị đo độ dài phát tín hiệu điều khiển thì ăngten phát-thu và máy tính sẽ cùng làm việc phát-nhận- hiển thị tín hiệu trên màn hình. Các phản xạ dạng điểm được ghi nhận dưới dạng hypebol là do sự phân tán hình cầu của tín hiệu tạo ra. Trong khi đó, các phản xạ phẳng vẫn giữ nguyên hình dạng của nó. Độ phân giải nằm trong khoảng 0.01 - 1m tùy thuộc vào ăngten sử dụng. Tần số càng cao, độ phân giải càng cao và độ xuyên sâu càng giảm. Môi trường có độ dẫn càng cao thì độ xuyên sâu của tín hiệu càng giảm. Điều này cho thấy môi trường chứa nước là yếu tố làm suy giảm nhanh biên độ tín hiệu của sóng điện từ, đồng nghĩa với giảm độ sâu nghiên cứu.

Việc thử nghiệm phương pháp GPR trong khu Hoàng Thành Thăng Long được thực hiện bằng sử dụng thiết bị Ramac có thiết bị chống nhiễu kèm theo, do Thụy Điển chế tạo, ăngten phát sóng có tần số 500 MHz.

Các số liệu đo đạc phục vụ cho báo này được xử lý phân tích bằng phần mềm Groundvision là sản phẩm của Hãng MALÅ Geoscience - Thụy Điển.

2.2.2. Khối lượng đo đạc và kết quả thử nghiệm

- Khối lượng công việc đo đạc

Các tuyến đo được thiết kế tập trung vào các khu vực: Hậu Lâu, khu vực đường nhựa trước thềm rồng Điện Kính Thiên, khu vực nam Kính Thiên nơi tiếp giáp với Đoan Môn và Đoan Môn. Tại 3 địa điểm vừa nêu trên thì khu vực vườn Hậu Lâu tính từ đường gạch giữa vườn về chân tường phía bắc là một diện tích hình chữ nhật, dài xấp xỉ 40 m, rộng đạt 17 m. Mạng lưới điểm đo thiết kế cho khu vườn này là 1m x 1 m (hình 4). Trong phần diện tích phía nam còn lại của Hậu Lâu cũng đã tiến hành đo 5 tuyến với chiều dài đều lớn hơn 50 m.

Tại khu vực đường nhựa trước thềm rồng có đến 23 tuyến đo, phân bố rất dày theo phương tây - đông hoặc đông - tây. Chiều dài các tuyến theo phương tây - đông nhỏ nhất đạt 34 m còn tuyến dài nhất đến 120 m. Ngoài ra còn có 10 tuyến cắt vuông góc với các tuyến vừa nêu trên.

Phần diện tích trong khu Kính Thiên gần với khu Đoan Môn đã tiến hành đo 10 tuyến phương đông - tây, phần lớn các tuyến phương này dài hơn 50 m, tuyến dài nhất đạt 95 m. Ngoài các diện tích có số lượng các tuyến đo nhiều như trên còn thực hiện ở các khu vực khác như khu Đoan Môn có 5 tuyến đo, khu vực sân giữa nhà con rồng và nhà D67 có 6 tuyến đo, khu vực quanh nhà số N44 gồm một số tuyến ngắn. Phía ngoài hàng rào của khu Kính Thiên cũng có hai tuyến chạy dọc theo vỉa hè của đường Hoàng

Diện, chiều dài mỗi tuyến 70m. Dọc vỉa hè đường Nguyễn Tri Phương cũng có 2 tuyến, với chiều dài mỗi tuyến 60m, bắt đầu từ giữa nhà số N42 đi về phía bắc.

Tổng chiều dài các tuyến đo đã thực hiện trong khu Kính Thiên lên đến 5242 m.

- Kết quả khảo sát nghiên cứu bằng phương pháp radar:

Theo kết quả phân tích tài liệu thì trên các mặt cắt radar phát hiện được khá nhiều dị thường, tuy nhiên nhiều dị thường chỉ liên quan đến các bất đồng nhất ngay dưới bề mặt như ống nước, đường cống nội bộ, vật liệu xây dựng vương vãi v.v... Một số vị trí dị thường xuất hiện sâu hơn phản ánh các đối tượng như thành hố khai quật ở Hậu Lâu, hầm ngầm ở sân trước nhà D67, móng tường dự đoán dưới đường trước thềm rồng (hình 5a – 5c).

Nhìn chung các khảo sát thử nghiệm bằng phương pháp radar xuyên đất chỉ cho phép ta xem xét ở phần trên của lát cắt môi trường đất. Do mực nước ngầm trong khu Thành cổ rất cao nên độ sâu mà phương pháp georadar cho được thông tin đảm bảo tin cậy chỉ khoảng xấp xỉ 1.5 m. Tại những vị trí có tài liệu đối chứng như vị trí hố khai quật tại Hậu Lâu, hầm ngầm trong khu nằm giữa nhà con rồng và nhà D67 trên các lát cắt radar phản ánh khá tốt. Tại Hậu Lâu theo phân bố các dị thường đo theo diện có thể nhận dạng được hình dạng của hố khai quật. Riêng tại khu vực Đoan Môn và nam Kính Thiên thì phần tiếp tục của đường gạch đã được khai quật thể hiện không rõ trong kết quả georadar. Có lẽ độ sâu phân bố của đường nằm dưới mực nước ngầm nên bị mờ nhạt đi trong kết quả khảo sát nghiên cứu bằng phương pháp này. Tại nhiều vị trí khác cũng tồn tại nhiều dị thường georadar, một số vị trí liên quan đến ống nước nhưng cũng nhiều vị trí vẫn có khả năng phản ánh các vật liệu xây dựng bị vùi lấp, trong đó có những dị thường có đặc điểm như phản ánh như móng tường hoặc các bờ của đường lát gạch v.v... Do không đủ tài liệu đối chứng nên các kết quả như vừa nêu chỉ có thể sử dụng liên kết với các tài liệu địa vật lý khác để có thêm một số nhận định. Chẳng hạn dị thường georadar dọc tuyến men theo tường phía nam Hậu Lâu cũng được xác nhận rất rõ trong mặt cắt cắt lớp điện trở, rất có thể phản ánh đối tượng văn hoá bị vùi lấp v.v...

2.3. Kết quả khảo sát bằng thiết bị điện từ tần số thấp ERA

Phương pháp điện từ dùng thiết bị ERA do Cộng hoà liên bang Nga chế tạo, cho phép đo riêng rẽ thành phần điện Ex và thành phần từ Bz của trường cảm ứng gây ra bởi trường điện từ ban đầu phát vào lòng đất bằng các ăngten tần số khác nhau, trong đó có tần số 50, 125 và 625 Hz. Do thiết bị gọn nhẹ và việc thu tín hiệu không cần phải tiếp địa nên có thể thực hiện được ở cả trên nền đường nhựa, sân gạch, đường bê tông và có thể đo cả trong nhà v.v... Với ưu điểm trên thiết bị cho phép đo nhanh, phủ kín được các vùng cần quan tâm, có thể theo dõi được sự thay đổi tính chất điện từ trong lòng đất trên diện tích khảo sát. Công tác khảo sát thử nghiệm bằng thiết bị này ở khu di tích Cổ Loa và Thành cổ Hà Nội đã sử dụng ăngten tần số thu phát 625 Hz và 2 điện cực phát tiếp địa

với khoảng cách giữa chúng 130 m - 150 m. Với ăngten tần số 625 Hz thì trường điện từ đo được ít nhiều gây ra bởi các hệ thống điện dân dụng nhưng kết quả cũng chỉ phản ánh được tính chất điện từ trong môi trường đến độ sâu khoảng 3 - 4 m. Độ sâu này cũng phù hợp với công việc khảo sát nhằm vào các đối tượng văn hoá cổ bị vùi lấp trong khu Hoàng Thành, bởi phần lớn chúng chỉ phân bố đến độ sâu nêu trên. Tuy nhiên việc đánh giá độ sâu phân bố các đối tượng gây dị thường theo số liệu đo đạc chỉ thực hiện được ở mức định tính, bởi vậy việc kết hợp với những phương pháp khác nâng cao tính định lượng là cần thiết. Việc sử dụng thử nghiệm thiết bị này đã đo được một khối lượng không nhỏ, phủ kín một số diện tích trong khu Thành cổ Hà nội và khu đền thờ An Dương Vương ở di tích Cổ Loa. Trong đó gồm các diện tích tại khu vực gần hồ đào Đuan Môn để đối sánh với các đối tượng vùi lấp đã lộ là đường gạch nung thời Lý dẫn đến Kính Thiên (độ sâu >2m), lớp đá lát thời Lê (?) ở trên (độ sâu khoảng 1m). Các khu vực nối tiếp sang khu Kính Thiên đến nhà con rồng. Hai khu khác phân bố cách biệt là khu cạnh vườn hồng xiêm ở phía đông nam nhà D67 và khu Hậu Lâu (hình 6).

Việc đo đạc được thực hiện theo mạng lưới đo vẫn còn khá thưa với khoảng cách tuyến đo 5 - 7m và khoảng cách giữa các điểm đo trên tuyến là 1m. Tài liệu thu được cho phép vẽ bản đồ dị thường điện ở tất cả các khu vực và dị thường từ thử nghiệm cho khu vực Cổ Loa.

- Kết quả khảo sát :

Tuy mới tiến hành được trong mạng lưới đo còn khá thưa nhưng tài liệu khảo sát bằng thiết bị ERA cho ta được bức tranh khái quát về phân bố điện trở trên các diện tích đã khảo sát. Có thể thấy phần tiếp tục cả về phía nam lẫn phía bắc của con đường lát gạch ở Đuan Môn được phản ánh khá rõ bằng dải dị thường điện trở cao theo kết quả đo (hình 7a). Các đoạn hầm ngầm trong khu Kính Thiên cũng được phát hiện khá tốt bằng các dị thường. Trong đó các hầm ngầm chứa khung kim loại phản ánh bằng dải dị thường điện trở thấp, các hầm ngầm khác phản ánh bằng dải dị thường điện trở cao (hình 7 b). Khu vực hố khai quật tại Hậu Lâu cũng phản ánh khá tốt bằng dị thường điện trở giá trị thấp (hình 7c). Sự phù hợp giữa kết quả khảo sát và các đối tượng tồn tại ngoài hiện trường cho thấy phép đo điện từ tần số thấp như trên cho ta khả năng phát hiện các đối tượng khá hiệu quả. Kết quả này là cơ sở để ta suy đoán các vật thể bị vùi lấp theo những dấu hiệu tương tự. Theo đó, tại khu vực dọc tường phía nam Hậu Lâu một số dị thường nhiều khả năng phản ánh vật thể khảo cổ bị vùi lấp. Tại phần diện tích đông Đuan Môn cũng có dấu hiệu tương tự. Tại khu Kính Thiên theo kết quả đo điện từ ERA có thể dự đoán được con đường gạch từ Đuan Môn sang đến thềm rồng theo một dải dị thường giá trị cao hơn xung quanh. Kết quả đo theo phương pháp này còn cho phép phát hiện các vị trí phân bố các hầm ngầm. Do phương pháp này không cho được độ sâu phân bố các vật thể, nên việc khảo sát cần được tiến hành kết hợp với các phương pháp địa vật lý khác.

Nhận xét sơ bộ

Các phương pháp điện từ tương tự như vừa nêu trên đã được sử dụng có hiệu quả ở nhiều nước trong phát hiện các di tích văn hoá cổ bị vùi lấp. Trong nhiều trường hợp người ta chỉ sử dụng một hai phương pháp, thậm chí 1 phương pháp trong số 3 phương pháp là đo từ, đo georadar hoặc đo điện trở suất cũng đủ để giải quyết vấn đề đặt ra. Tuy nhiên qua việc đo thử nghiệm 3 phương pháp này trong khu Thành cổ Hà Nội đã bộc lộ một số hạn chế khi sử dụng chúng để phát hiện các đối tượng văn hoá cổ bị vùi lấp ở đây. Lý do chính là do môi trường khảo cổ ở đây phức tạp cả về điều kiện tự nhiên lẫn hậu quả tác động của con người lên nền đất.

Việc kết hợp cả ba phương pháp trên đã tạo được những cơ hội bổ sung các điểm khuyết của nhau, giúp cho công tác khảo sát nghiên cứu đạt kết quả. Tuy nhiên khi nghiên cứu các đối tượng khảo cổ bị vùi lấp người ta cũng cần nghiên cứu cả đặc tính của môi trường địa chất ở các lớp đất gần ngay bề mặt, tách biệt tầng văn hoá khỏi lớp đất hoàn toàn tự nhiên. Điều này thì ngay cả kết hợp ba phương pháp trên vẫn khó khẳng định. Hơn nữa trong khu Thành cổ có hệ thống hầm ngầm được xây dựng trong thời gian chiến tranh, các kết quả đo sâu điện trở suất cũng có chỗ phân biệt được hầm ngầm bằng giá trị điện trở suất cao do rỗng, nhưng nếu công trình chứa nhiều sắt thép thì bức tranh lại ngược lại nên nhiều khi cũng khó phân biệt. Các khảo sát nghiên cứu bằng một số phương pháp địa vật lý khác và địa chất trình bày trong chương 3 vừa nhằm mục đích thử nghiệm vừa tìm khả năng bổ sung những điểm khuyết của các phương pháp nêu trên trong công tác khảo sát nghiên cứu này.

CHƯƠNG III

KHẢO SÁT THỬ NGHIỆM BẰNG CÁC PHƯƠNG PHÁP ĐỊA VẬT LÝ KHÁC

Nhóm các phương pháp điện từ được trình bày trong chương II đã được sử dụng có hiệu quả trong nhiều phương án khảo cổ ở nhiều nước, tuy nhiên các kết quả thử nghiệm trong khu Thành cổ Hà Nội trong nghiên cứu các đối tượng cần quan tâm vẫn còn những khía cạnh chưa đủ khẳng định độ tin cậy trong các kết quả. Chẳng hạn ranh giới của tầng văn hoá, phân biệt các đối tượng văn hoá cổ bị vùi lấp với đối tượng khác trong môi trường cũng gặp khó khăn v.v... Các khảo sát nghiên cứu bằng các phương pháp địa vật lý khác trình bày trong chương này cũng với mục tiêu thử nghiệm, nhằm tìm kiếm các ưu điểm có thể bổ sung cho những điểm khuyết bộc lộ trong các phương pháp thuộc nhóm điện từ đã thử nghiệm. Các phương pháp được tiếp tục thử nghiệm ở đây bao gồm: phương pháp đo dị thường từ, phương pháp thăm dò địa chấn và phương pháp đo phản xạ tia gamma và neutron trong các lỗ khoan xuyên.

3.1. KẾT QUẢ KHẢO SÁT THỬ NGHIỆM BẰNG PHƯƠNG PHÁP ĐO TỪ

3.1.1. Về phương pháp từ

Phương pháp từ là phương pháp được sử dụng rất phổ biến trong nhiều dự án khảo cổ và đã cho kết quả khả quan. Cơ sở để sử dụng phương pháp từ trong các nghiên cứu địa chất dựa trên khả năng nhiễm từ khác nhau của các loại đất đá với những điều kiện thành tạo khác nhau. Từ trường Trái Đất luôn biến đổi theo thời gian gây ra hiện tượng cảm ứng từ, còn đất đá thành phần thạch học khác nhau có khả năng nhiễm từ không giống nhau, chính là do độ dẫn điện của chúng khác nhau. Yếu tố cuối cùng lại phụ thuộc vào thành phần vật chất, cấu trúc tinh thể v.v... Do từ trường Trái Đất thuộc loại trường thế, nghĩa là cường độ trường từ đo được trên mặt đất là trường tổng cộng của tất cả các đối tượng nhiễm từ khác nhau phân bố trong lòng đất tại khu vực khảo sát. Độ suy giảm cường độ từ trường tỉ lệ nghịch với bình phương khoảng cách tương tự như trường trọng lực. Tính chất này phản ánh các đối tượng phân bố tại gần các điểm đo thể hiện biên độ trội hơn so với các đối tượng ở xa hơn. Đương nhiên biên độ các dị thường còn phụ thuộc vào các tham số khác như: độ nhiễm từ, phân bố của vectơ từ hoá v.v... Các đối tượng khảo cổ được cấu thành từ các vật liệu do con người tạo ra như gạch, đồ gốm, sứ, đồ đồng, hoặc các vật liệu tự nhiên do con người khai thác từ nơi khác đưa về xây dựng các công trình cổ thường có tính chất từ khác với đất đá trong môi trường địa chất vây quanh. Đây chính là dấu hiệu cho ta khả năng sử dụng phương pháp thăm dò từ phát hiện các vùng có đối tượng khảo cổ bị chôn vùi. Tuy nhiên việc sử dụng phương pháp từ trong khu Thành cổ Hà Nội có thể sẽ không đạt kết quả như mong muốn, bởi các công trình hiện đại chứa sắt thép và hệ thống hạ tầng khác như mạng lưới điện, viễn thông v.v... có thể gây ra các dị thường lẫn át cả hiệu ứng do các đối tượng cần quan tâm gây ra.

3.1.2. Khối lượng công việc và kết quả khảo sát

Trước khi tiến hành đo từ chúng tôi đã tham khảo các tài liệu đo thăm dò điện bằng thiết bị đa cực và đã lựa chọn được một số vị trí có khả năng có nhiều đối tượng bị vùi lấp. Bằng cách làm như trên tại 4 diện tích trong khu Kính Thiên và Hậu Lâu đã được tiến hành đo theo mạng lưới 2 m x 2m và mạng lưới 2m x 1 m (hình 8). Trong số đó có 3 diện tích trong khu Kính Thiên, gồm sân điện Kính Thiên và hai diện tích trong khu vườn hồng xiêm và vườn bưởi phân bố về hai phía đông và tây của sân trước nhà D67. Tổng số điểm đo lên đến 1600 điểm. Công việc đo đặc trường từ tại khu vực này được tiến hành với 2 máy đo từ GMP-23 được sản xuất tại Canada.

Kết quả đo đặc cho thấy giá trị từ trường trong khu vực khảo sát thay đổi trong khoảng từ - 120 nT đến hơn 130 nT. Chúng tạo thành một số dị thường, tuy nhiên liên kết với các tài liệu khác và hiện trạng khu vực nghiên cứu rất khó xác định nguồn gốc của các dị thường.

- Tại khu Hậu Lâu: Trường từ có giá trị dao động trong khoảng từ - 100 đến + 120, với các vùng có giá trị âm dương xen kẽ. Tại khu vực khoảng 20 đến 25 mét tính từ mép sân nhà bảo vệ Hậu Lâu trường từ thể hiện khoảng giá trị âm cực đại nằm xen kẽ với giá trị trường dương (hình 9). Nếu lấy đường đồng mức 20 nT thì vùng dị thường

này chiếm chỗ rộng đến hơn 20 m, chiếm một phần khu vực hố đào ở Hậu Lâu. Tuy nhiên đây cũng là suy đoán theo hiện trạng hiện trường, trong khi đó hố đào có diện tích lớn hơn vùng dị thường chiếm chỗ. Trong khu Hậu Lâu cũng còn một số dị thường khác, nhìn chung là khó xác định nguồn gốc của chúng. Tình trạng cũng tương tự đối với bức tranh phân bố các dị thường tại các vị trí khác trong phạm vi khảo sát. Có lẽ các yếu tố hạ tầng hiện đại có hiệu ứng từ lẫn át các đối tượng khảo cổ bị vùi lấp, nên hiệu quả sử dụng phương pháp này trong khu Thành cổ phản ánh không rõ.

3.2. PHƯƠNG PHÁP ĐO THĂM DÒ ĐỊA CHẤN

3.2.1. Về phương pháp địa chấn

Phương pháp địa chấn là phương pháp được dùng ít hơn trong công tác khảo cổ do tính đặc thù của nó là dựa trên việc thu sóng khúc xạ hoặc phản xạ từ ranh giới các lớp đất đá, các sóng này ít khi được sinh ra trực tiếp từ các đối tượng khảo cổ, thường là do chiều dày của chúng quá nhỏ. Tuy nhiên, tùy theo đối tượng và mục đích nghiên cứu, phương pháp địa chấn thăm dò có thể cung cấp thông tin bổ sung vào nghiên cứu khảo cổ, đó là:

- Nghiên cứu chi tiết môi trường địa chất nơi có đối tượng khảo cổ
- Phát hiện một số đối tượng ngầm dưới lòng đất có kích thước đủ lớn và có độ phân dị về vận tốc truyền sóng.

Phương pháp địa chấn thăm dò gồm hai nhóm phương pháp chính là phương pháp địa chấn phản xạ và phương pháp địa chấn khúc xạ. Phương pháp địa chấn phản xạ thường cho độ phân giải cao hơn trong phát hiện các đối tượng kích thước nhỏ và phân tầng các lớp đất gần bề mặt. Tuy nhiên do khu Thành cổ là nơi môi trường có nhiều nguồn nhiễu làm ta khó phân biệt được đâu là sóng phản xạ. Sóng khúc xạ và sóng truyền thẳng kể từ một khoảng cách nhất định kể từ điểm gây dao động bao giờ cũng đến sớm nhất. Điều đó làm đơn giản hóa việc xác định sóng và thời gian truyền sóng, quá trình phân tích và xử lý số liệu cũng đơn giản hơn, do vậy cũng dễ hiện thực hơn trong khâu xử lý phân tích. Đáng lưu ý là qua khảo sát thử nghiệm ở một vài vị trí trong thành phố có điều kiện tương tự như khu Thành cổ, độ phân dị về vận tốc của lớp đất ngay gần bề mặt với lớp dưới nó là khá rõ. Đây cũng là điều kiện thuận lợi để thực hiện phép đo bằng phương pháp khúc xạ. Với ý nghĩa như vậy, chúng tôi đã thử áp dụng phương pháp địa chấn khúc xạ vào việc nghiên cứu khu Di tích Thành cổ Hà Nội, tại đây ngoài các đối tượng khảo cổ còn có hệ thống hầm ngầm được xây dựng trong thời gian chiến tranh. Do độ sâu nghiên cứu thường không lớn nên để tạo ra nguồn sóng trong khảo sát này đã sử dụng cách đập búa.

- Xử lý và phân tích số liệu

Việc xử lý phân tích tài liệu được tiến hành bằng sử dụng đồng thời phần mềm PLOTREFA và phần mềm SIP. Trong khi phần mềm PLOTREFA của hãng OYO thích

hợp cho môi trường có nhiều bất đồng nhất ngang có trong bộ phần mềm xử lý tài liệu đo địa chấn SEISMAGER của hãng OYO (Mỹ – Nhật), cho phép theo dõi các bất đồng nhất theo chiều ngang tốt hơn nhờ giải bài toán theo lý thuyết tia thì phần mềm SIP do hãng RIMROCK của Mỹ sản xuất theo phương pháp bóc lớp lại cho khả năng phân tầng theo vận tốc tốt hơn. Khi xử lý số liệu khảo sát ở Thành cổ Hà Nội, cả 2 phần mềm trên được sử dụng bổ sung cho nhau để có thể đưa ra kết quả khảo sát một cách đáng tin cậy nhất.

3.2.2. Khối lượng công việc và kết quả khảo sát

Trên cơ sở khảo sát địa hình, địa vật trong khu Thành cổ đã tiến hành thiết kế 23 tuyến đo, đảm bảo thu nhận được thông tin về môi trường lòng đất khái quát cho cả phạm vi nghiên cứu. Trong đó, tại các vị trí có tài liệu đối chứng như hố khai quật đường gạch ở Đoan Môn, hố khai quật ở Hậu Lâu, vị trí xung quanh các hầm ngầm đã có chỉ thị nhận biết đều được thiết kế tuyến đo. Ngoài ra, một số tuyến đo khác cũng được thiết kế trùng vào vị trí các tuyến đã đo bằng phương pháp điện trở cắt lớp và phương pháp khác, nhằm có thông tin đa chiều để giải thích kết quả. Trong số đó, tại khu Hậu Lâu có 4 tuyến đo, khu tập thể K75 cũng có 4 tuyến, khu Đoan Môn có 5 tuyến và nhiều nhất trong khu Kính Thiên gồm 10 tuyến. Tổng chiều dài các tuyến đo trong khu vực nghiên cứu là 1908 m, tương ứng với 70 điểm đo thăm dò địa chấn (hình 10).

Khoảng cách giữa các cực thu trên phần lớn các tuyến đo là 2 đến 2.5 m, riêng các máy thu dọc theo tuyến T21 tăng lên đến 5 m. Tuyến đo này dài với mục đích xem xét các tầng đất sâu hơn. Tại mỗi trạm máy đặt bố trí 4 điểm nổ về 2 phía của trạm máy, hai điểm nổ xa cách 2 máy thu đầu và cuối một khoảng cách như nhau 27,5 đối xứng về 2 phía so với máy thứ nhất và máy cuối cùng ở 2 đầu dây tương ứng. Hai điểm gây dao động khác được thực hiện tại vị trí của máy thu thứ nhất và máy thu cuối cùng trong một trạm máy. Riêng trên tuyến T21 ngoài 4 điểm nổ như trên còn bổ sung thêm 1 điểm nổ ở giữa trạm máy. Việc thu sóng đã được thực hiện bằng sử dụng máy địa chấn thăm dò ghi kỹ thuật số BISON - 5000 do hãng **Bison Instruments** (Mỹ) chế tạo.

- *Kết quả xử lý phân tích tài liệu:*

Qua phân tích liên kết đặc điểm các băng sóng thu được với hiện trạng một số đối tượng như tính phân lớp trong môi trường địa chất gần bề mặt, khu vực có các hầm ngầm, các đường lát gạch bị vùi lấp có thể thấy, giá trị vận tốc trong lớp thứ nhất thường thay đổi trong khoảng 350 đến hơn 700 m/s, lớp thứ 2 khoảng hơn 1000 đến khoảng hơn 1300 m/s, còn lớp thứ 3 thường thay đổi trong khoảng 1700 đến hơn 2000m/s. Như vậy các giá trị vận tốc thay đổi bất thường ở các độ khác nhau có thể liên quan đến các đối tượng nhân tạo, đặc biệt là thay đổi ở khoảng độ sâu từ 4 m trở lại. Trong thực tế khảo sát đã bắt gặp giá trị vận tốc trên 3000 m/s ở độ sâu còn nhỏ hơn 2 m, như một cấu trúc vòng lên trong mặt cắt. Dấu hiệu này phản ánh các hầm ngầm có nắp kim loại hoặc bê tông. Giá trị vận tốc v nhỏ hơn cỡ 2000 m/s ở các độ sâu nhỏ hơn 4 m, nhiều khả năng

liên quan đến cấu trúc chứa các vật liệu như đất nung có thể là đường đi lát gạch bị vùi lấp. Đáng chú ý là ở những nơi có các cấu trúc đó thường là chúng nằm ở độ sâu không lớn nên trên băng địa chấn có sự dịch chuyển về thời gian sóng tới rất đột ngột hoặc không tồn tại sóng khúc xạ từ các lớp đất nằm dưới chúng. Các phân tích như trên cũng có thể coi là cơ sở để ta lý giải các kết quả khảo sát nghiên cứu bằng phương pháp địa chấn đã thực hiện trong vùng nghiên cứu. Theo đó, bề mặt đáy lớp thứ nhất được xây dựng khái quát cho khu vực khảo sát (hình 11). Liên kết tài liệu này với kết quả khoan và các kết quả nghiên cứu về địa chất Đệ tứ, cho thấy bề mặt này phản ánh tương ứng với tầng đất hệ tầng Thái Bình trong Holocen. Đây chính là lớp đất được gọi là tầng nhân sinh có nhiều mối quan hệ với các di tích khảo cổ bị vùi lấp. đáng lưu ý là hầu hết vị trí các công trình cổ đều nằm trên khu vực có địa hình bề mặt này tương đối cao. Dấu hiệu này có ý nghĩa định hướng cho việc lựa chọn các vị trí tìm kiếm. Ngoài ra tài liệu địa chấn cũng cho phép phát hiện các hầm ngầm khá chính xác (hình 12) và tại một vài nơi như khu vực gần tường nam Hậu Lâu v.v. ... có dấu hiệu liên quan đến di tích bị vùi lấp (hình 13). Dấu hiệu liên quan này cũng được phản ánh trong một số tài liệu khác.

3.3. PHƯƠNG PHÁP ĐO GAMMA VÀ NƠTRON TRONG CÁC LỖ XUYỀN

Việc tiến hành đo phản xạ tia Gamma và Notron trong một số lỗ khoan xuyên trong khu Thành cổ nhằm cung cấp thêm số liệu về tính phân tầng của các lớp đất theo mật độ của chúng. Ngoài ra, độ ngậm nước xác định được cũng cho ta những thông tin về trạng thái tự nhiên liên quan đến các đối tượng ngậm nhiều nước như đất ở khu vực ao hồ cổ.

3.3.1. về phương pháp đo Gamma và Notron

Phương pháp đo phóng xạ xác định mật độ, độ rỗng và độ ngậm nước của đất đá dựa trên hiện tượng suy giảm cường độ của các bức xạ gamma và notron khi tương tác với môi trường vật chất mà chúng truyền qua. Khi chiếu chùm tia gamma (γ) vào môi trường gồm các lớp đất có thành phần thạch học, trạng thái cơ lý khác nhau, thì quá trình tương tác của chúng với nguyên tử vật chất sẽ làm giảm cường độ của chúng với mức độ khác nhau. Đó là do sự hấp thụ tia phóng xạ của vật chất. Sự hấp thụ tia γ của chất hấp thụ (môi trường đất đá) phụ thuộc chủ yếu hai đại lượng: năng lượng của lượng tử gamma và số thứ tự của nguyên tử chất hấp thụ.

Quá trình tương tác của tia phóng xạ notron (n) đã được sử dụng để xác định hàm lượng nước chứa trong lỗ hổng của đất đá ở thể nằm tự nhiên. Vì các tia Notron không mang điện tích nên chúng tương tác trực tiếp với hạt nhân của các phân tử nước chứa trong lỗ hổng của đất đá. Bởi vậy, dòng lượng tử Notron thu được sau quá trình tương tác sẽ phản ánh mật độ chất lỏng chứa trong lỗ hổng ở đất đá, thông qua đó có thể xác định được hàm lượng nước.

3.3.2. Khối lượng công việc và kết quả

Trong phạm vi vùng nghiên cứu đã lựa chọn vị trí và tiến hành xuyên được 9 lỗ xuyên (hình 14). Độ sâu các hố xuyên từ 8 m đến 14 m.

Việc đo các tham số được tiến hành dọc theo các lỗ xuyên bằng cách thả các máy thu dọc theo chiều sâu lỗ xuyên với khoảng cách điểm đo theo chiều sâu là 0,1 m. Trung bình mỗi vị trí xuyên nhận được 60 đến 90 giá trị các tham số như đo mật độ độ rỗng các lớp đất.

Thiết bị đo chiếu xạ sử dụng trong khảo sát này gồm các bộ phận như sau:

- Nguồn phát tia γ và n là Am-241/Be, 3,2 GBq và Cs-137, 788 MBq;
- Hai cực đo đường kính $\phi = 22\text{mm}$ ký hiệu S23 và S24 để thu tín hiệu;
- Máy ghi số DZ-5 để ghi tín hiệu và lưu giữ số liệu;
- Các thiết bị phụ trợ gồm: máy xuyên thủy lực để đưa ống thép $\phi = 28\text{mm}$ xuống độ sâu cần khảo sát và thiết bị chuẩn máy đo;
- Phần mềm phân tích tài liệu chuyên dụng do các nhà khoa học của Cộng hoà liên bang Đức phát triển.

Theo đặc điểm phân bố mật độ, độ chứa nước và độ rỗng theo chiều sâu từ 0,6 m đến độ sâu hơn 10 m, mặt cắt môi trường trong khu vực nghiên cứu phần lớn bao gồm 3 lớp đất có mật độ khác nhau (hình 15a, 15b). Trong lớp thứ nhất và phần trên một số vị trí quan sát thấy mật độ tăng theo chiều sâu, điều này có thể liên quan đến vật liệu xây dựng cổ bị phát tán trong quá trình lịch sử. Tại những vị trí mật độ giảm đáng kể theo chiều sâu trong lớp thứ nhất và phần trên lớp thứ 2 thường liên quan đến hiện tượng tăng lên của hàm lượng bùn sét.

- Nhìn chung các số đo phóng xạ phản ánh được đặc điểm phân lớp của môi trường đất khá phù hợp với tài liệu khoan.

Nhận xét

- Kết quả thử nghiệm 3 phương pháp địa vật lý trong chương này cho thấy phương pháp thăm dò từ gần như không phản ánh được các đối tượng cần quan tâm. Trong thực tế môi trường ở đây có nhiều yếu tố có thể gây dị thường lẫn át hiệu ứng có thể gây ra bởi các đối tượng cần khảo sát.
- Phương pháp địa chấn tỏ ra có hiệu quả trong nghiên cứu phân tầng các lớp đất gần bề mặt và xác định các khu vực hầm ngầm. Ngoài ra, tại một số vị trí cũng cho khả năng dự báo tồn tại các di tích khảo cổ bị vùi lấp nhưng không nhiều.

CHƯƠNG IV

KHẢ NĂNG SỬ DỤNG CÁC PHƯƠNG PHÁP ĐỊA VẬT LÝ PHÁT HIỆN CÁC ĐỐI TƯỢNG VĂN HOÁ CỔ BỊ VÙI LẤP TRONG KHU THÀNH CỔ HÀ NỘI

4.1. VỀ HIỆU QUẢ CỦA CÁC PHƯƠNG PHÁP ĐỊA VẬT LÝ ĐÃ ÁP DỤNG THỬ NGHIỆM

Do môi trường khảo cổ trong khu Thành cổ Hà Nội rất phức tạp nên việc tiến hành các khảo sát địa vật lý trong nghiên cứu này chủ yếu mang tính thử nghiệm. Có thể nói, một khối lượng lớn cả về khối lượng và chủng loại các khảo sát địa vật lý đã được thực hiện. Như đã nêu ở phần trên, trong khu Thành cổ ngoài các đối tượng văn hoá cổ bị vùi lấp còn có hệ thống các công trình hiện đại bao gồm: nhà cửa khá dày, các hệ thống điện, viễn thông, hệ thống cấp thoát nước và đặc biệt là hệ thống hầm ngầm được xây dựng trong thời gian chiến tranh. Các đối tượng nêu trên có khả năng gây hiệu ứng vật lý nhiều khi lấn át hiệu ứng do các đối tượng cần quan tâm gây ra, làm cho việc phát hiện chúng khó khăn phức tạp. Điều này cũng thể hiện khá rõ trong khi phân tích kết quả của từng phương pháp khảo sát đã thực hiện. Tuy nhiên cũng không phải là việc áp dụng các phương pháp địa vật lý không mang lại hiệu quả. Đối sánh các kết quả khảo sát của từng phương pháp với một số đối tượng đã biết ngoài hiện trường như: Đường gạch đã khai quật trong khu Đuan Môn, dấu tích của hố đào tại khu Hậu Lâu, một số dấu hiệu hầm ngầm trong khu Kính Thiên và khu tập thể quân đội cũng đã được phản ánh trong kết quả khảo sát của một số phương pháp. Ngoài ra, các kết quả khoan xác định địa tầng các lớp đất gần bề mặt tại nhiều điểm cũng phù hợp với kết quả khảo sát địa vật lý. Để hiểu rõ hơn về khả năng áp dụng các phương pháp địa vật lý trong phát hiện các đối tượng văn hoá cổ bị vùi lấp trước hết ta cần xem xét lại chi tiết hiệu quả, những ưu điểm và những hạn chế của từng phương pháp đã thử nghiệm. Ngoài ra, để phân biệt được các dị thường liên quan đến đối tượng văn hoá cổ ta cũng cần phải biết đặc điểm của các dị thường liên quan đến các đối tượng khác như hầm ngầm, môi trường địa chất các lớp gần mặt đất, các đối tượng liên quan đến hệ thống hạ tầng đô thị v.v...

Các kết quả khảo sát bằng phương pháp điện trở vẫn cho ta khả năng phân biệt các đối tượng như hầm ngầm, khu vực ống nước, tính phân tầng theo giá trị điện trở và đặc điểm gián đoạn các tầng trong lát cắt cho ta khả năng dự đoán các đối tượng khảo cổ bị vùi lấp. Tuy nhiên tính định xứ của phương pháp này cũng chưa thật tốt, chỉ gặp một ống nước kim loại nhiều thế gây vùng dị thường lớn gấp nhiều lần. Hơn nữa phép đo này không thực hiện được trên sân và đường nhựa, đường bê tông là đối tượng phổ biến trong khu khảo sát.

Các khảo sát bằng phương pháp radar chỉ cho chiều sâu nghiên cứu không quá 1.5 m. Tuy vậy một số kết quả cũng cho các dấu hiệu về hầm ngầm, về các móng tường dự báo. Sự hạn chế về chiều sâu của phương pháp này trong khu Thành cổ là do lớp đất gần bề mặt có hàm lượng nước cao.

Phương pháp đo điện từ tần số thấp tránh được nhiễu của hệ thống điện dân dụng lại thi công phủ kín được theo diện nên phản ánh khá tốt phân bố của các đối tượng bị vùi lấp trên bình đồ. Nhiều vị trí dị thường phản ánh tính liên kết tốt với các đối tượng khảo cổ đã biết và đối tượng khác như hầm ngầm v.v... Tuy nhiên phương pháp này không cho ta xác định được chiều sâu phân bố của các đối tượng.

Phương pháp địa chấn có hiệu quả trong phân tầng các lớp đất gần mặt đất và xác định vị trí các hầm ngầm. Ngoài ra trong kết quả cũng phản ánh một vài vị trí có nhiều khả năng liên quan đến đối tượng văn hoá cổ, như tại khu vực tường nam Hậu Lâu, khu vực cạnh vườn hồng xem trong khu Kính Thiên v.v...

Tuy việc sử dụng phương pháp đo phóng xạ cung cấp thêm được thông tin về tính phân tầng nhưng cũng không chi tiết hơn tài liệu địa chấn và đo cắt lớp điện trở. Còn phép đo dị thường từ thì cho ta bức tranh dị thường rất khó liên kết. Có lẽ nhiều đối tượng tại đây có khả năng gây dị thường lẫn át giá trị của hiệu ứng từ gây ra bởi các đối tượng khảo cổ. Như vậy việc sử dụng phương pháp đo từ và phương pháp đo phóng xạ trong khu Thành cổ có thể coi là có hiệu quả không đáng kể.

4.2. KHẢ NĂNG SỬ DỤNG CÁC PHƯƠNG PHÁP ĐỊA VẬT LÝ TRONG PHÁT HIỆN CÁC ĐỐI TƯỢNG KHẢO CỔ BỊ VÙI LẤP VÀ DỰ ĐOÁN PHÂN BỐ MỘT SỐ ĐỐI TƯỢNG KHẢO CỔ TRONG KHU THÀNH CỔ

4.2.1. Về khả năng sử dụng các phương pháp địa vật lý và quy trình công nghệ khảo sát phát hiện các đối tượng khảo cổ bị vùi lấp

Qua phân tích các kết quả như trên có thể thấy, trong số những phương pháp địa vật lý vẫn được sử dụng nhiều trong công tác khảo cổ ở nhiều nước có những phương pháp không thật phù hợp cho khu Thành cổ như phương pháp đo từ cho hiệu quả rất thấp. Các phương pháp còn lại cũng không có phương pháp nào cho khả năng giải quyết trọn vẹn nhiệm vụ phát hiện các đối tượng khảo cổ bị vùi lấp ở đây. Tuy nhiên, từng phương pháp cũng cho ta khả năng giải quyết một số khía cạnh liên quan đến nhiệm vụ nghiên cứu phát hiện các đối tượng này. Sử dụng một số phương pháp tạo thành một tổ hợp phương pháp vẫn có khả năng cho phép ta khảo sát phát hiện được các đối tượng khảo cổ bị vùi lấp trong khu Thành cổ. Theo đó, việc kết hợp giữa phương pháp đo điện từ tần số thấp đồng thời với các phương pháp: cắt lớp điện trở, phương pháp địa chấn và một phần phương pháp đo radar xuyên đất là tổ hợp phương pháp hợp lý trong giải quyết nhiệm vụ đặt ra. Trên cơ sở phân tích hiệu quả của từng phương pháp như nêu ở các phần trên, để đảm bảo tính hiệu quả có lẽ việc đo đạc cần được tiến hành theo quy trình các bước như sau:

- Do việc đo đạc bằng sử dụng thiết bị điện từ tần số thấp có thể thực hiện được trong hầu hết các điều kiện địa hình, địa vật trong khu Thành cổ, phủ được tương đối nhanh diện tích khảo sát lại cho được các thông tin khá khái quát về các đối tượng tồn tại trong môi trường khảo cổ nên khảo sát bằng phương pháp này nên tiến hành trước.
- Dựa trên kết quả khảo sát bằng phương pháp điện từ tần số thấp thiết kế các tuyến đo địa chấn và đo bằng phương pháp cắt lớp điện trở. Đối với phương pháp địa chấn cố gắng thiết kế một mạng lưới điểm đo đủ để cho được bức tranh khái quát về địa hình đáy của tầng nhân sinh trong vùng nghiên cứu. Ngoài ra, phép đo địa chấn và đo cắt lớp điện trở

cũng được thiết kế tập trung đo đủ dày tại khu vực được dự đoán theo tài liệu điện từ tần số thấp có đối tượng khảo cổ bị vùi lấp, ao, hồ kênh rạch cổ và một số hầm ngầm. Tuy nhiên hai phương pháp này cũng chỉ tiến hành được ở một số nơi có đủ điều kiện thuận lợi.

- Phương pháp đo radar xuyên đất có lẽ chỉ nên tiến hành một khối lượng hạn chế tại một số khu vực dự đoán có hầm ngầm, các vị trí có khả năng phân bố các đối tượng như móng các tường gạch, giếng cổ bị vùi lấp và phải phân bố tương đối nông.

- Các kết quả khảo sát sau khi được phân tích bằng các phần mềm chuyên dụng cần phải được liên kết tổng hợp nhằm tăng độ tin cậy của các dự đoán về đối tượng nghiên cứu. Nếu một đối tượng được phát hiện đồng thời bằng nhiều phương pháp địa vật lý, thường độ tin cậy xác định nó cũng đảm bảo tin cậy hơn.

Đáng lưu ý là quy trình đo đạc và lý giải các kết quả khảo sát nghiên cứu đều có sự tham gia của chuyên gia địa vật lý trong lĩnh vực khảo cổ của Italy TS. Curcazi. Toàn bộ các loại thiết bị và công nghệ phân tích tài liệu của các phương pháp vừa nêu hiện nay đều có ở Việt Nam.

4.2.2. Về kết quả dự báo một số đối tượng khảo cổ bị vùi lấp trong khu Thành cổ

Theo kết quả khảo sát nghiên cứu của từng phương pháp ta cũng đã có các dự báo về phân bố một số đối tượng khảo cổ bị vùi lấp trên cơ sở phân tích mối quan hệ giữa các tham số địa vật lý với đối tượng này trong khu Thành cổ. Cách tiến hành suy đoán như trên tuy có cơ sở nhất định nhưng vẫn có những yếu tố mang màu sắc định tính, việc liên kết các kết quả dự báo của từng phương pháp địa vật lý có thể góp phần làm giảm bớt tác động của những yếu điểm nêu trên. Trong khảo sát nghiên cứu địa vật lý, nếu một đối tượng được phản ánh đồng thời trong nhiều loại kết quả thì độ tin cậy trong xác định đối tượng ấy được nâng cao. Theo đó, việc dự báo các đối tượng khảo cổ bị vùi lấp trong báo cáo này tập trung ưu tiên cho những đối tượng được phản ánh đồng thời trong 2 hoặc 3 loại tài liệu địa vật lý. Một số đối tượng có thể được dự báo với kết quả có một loại tài liệu nhưng có thêm các dấu hiệu khảo sát hiện trường, hoặc có thể suy ra từ các bằng chứng về di tích.

Kết quả liên kết các loại tài liệu nêu trên, sau khi loại bỏ các đối tượng không có dấu hiệu liên quan đến di tích khảo cổ, hoặc có dấu hiệu không đáng tin cậy đã dự báo và xây dựng được sơ đồ phân bố một số đối tượng khảo cổ bị vùi lấp trong khu khảo sát (hình 16). Theo đó đường gành chạy từ Đoan Môn sang thêm rộng ở khu Kính Thiên được phản ánh tương đối rõ và liên tục. Một số khu vực như phần diện tích đông Đoan Môn, diện tích cạnh khu vườn hồng xiêm, khu vực nam Hậu Lâu đều có nhiều dấu hiệu liên quan đến di tích bị vùi lấp. Ngoài ra, khu vực nằm giữa Hậu Lâu và D67 có khả năng tồn tại một lòng kênh cổ.

KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

- Khu Thành cổ Hà Nội môi trường khảo cổ bị xáo trộn mạnh bởi các hoạt động xây dựng trong thế kỷ trước nên gây nhiều khó khăn cho phát hiện các đối tượng khảo cổ.
- Trong số các phương pháp địa vật lý được sử dụng thì phương pháp điện từ dùng thiết bị ERA cho bức tranh phân bố theo diện tương đối chi tiết, theo đó có thể dự đoán một số đối tượng khảo cổ bị vùi lấp. Kết hợp phương pháp này với phương pháp điện trở ta có thể xác định cả độ sâu phân bố.
- Phương pháp địa chấn cho ta phân chia các tầng cấu trúc, trong đó có tầng văn hoá, phát hiện được các hầm ngầm, một số đối tượng khảo cổ dự đoán cũng đồng thời phản ánh trong tài liệu điện từ như ở Hậu Lâu, khu gần tường Đoan Môn
- Phương pháp điện từ dùng thiết bị Radar bị hạn chế chiều sâu nghiên cứu do mực nước ngầm dâng cao. Một số vị trí có dị thường như trước và sau nhà D67, sau nhà N44, trước thêm rồng cũng được phản ánh trong tài liệu điện và địa chấn
- Phương pháp đo dị thường từ ở đây tỏ ra không mấy hiệu quả do bị nhiễu rất mạnh bởi các công trình hiện đại.
- Các kết quả khoan và xuyên xác định các tham số như mật độ, độ rỗng, độ ngậm nước xác nhận các kết quả phân tầng bằng phương pháp địa chấn và điện thăm dò. Nhiều vị trí cho thấy sự phù hợp giữa các số liệu. Tuy nhiên cũng không có nhiều thông tin hơn địa chấn.
- Hai phương pháp đo từ và phóng xạ không đề xuất sử dụng tiếp.
- Qua các kết quả thử nghiệm cho thấy: ở các vùng ngoài thành phố ít bị nhiễu bởi các công trình, các phương pháp địa vật lý thực hiện dễ dàng và hiệu quả hơn. Trong phạm vi thành phố phức tạp như khu Hoàng Thành không một phương pháp địa vật lý đơn lẻ nào cho ta kết quả độc lập đủ độ tin cậy để phát hiện các đối tượng bị vùi lấp. Tuy nhiên qua khảo sát thử nghiệm có thể thấy sử dụng một tổ hợp phương pháp: Điện từ tần số thấp, Điện trở, Địa chấn và một số khu vực bổ sung thêm đo radar vẫn có khả năng giải quyết các nhiệm vụ đặt ra.
- Tại những điểm có tài liệu đối sánh, các kết quả khảo sát bằng một số phương pháp tỏ ra phù hợp. Đây là cơ sở cho ta đánh giá độ tin cậy của sơ đồ phân bố các đối tượng khảo cổ bị vùi lấp.
- Quy trình công nghệ khảo sát và thiết bị đã lựa chọn có đủ cơ sở khoa học khẳng định hiệu quả.
- Các tuyến khảo sát vừa qua còn thưa nên kết quả nghiên cứu mới phản ánh được hình ảnh 2 chiều của các đối tượng. Nếu có hình ảnh 3 chiều ta có thể xác định tin cậy hơn kích thước, hình dạng của đối tượng, cung cấp được thông tin giúp các nhà khảo cổ có thể phân loại đối tượng dễ dàng hơn. Với lý do trên đề tài xin kiến nghị được tiếp tục khảo sát theo phương án bài toán 3 chiều tại một số diện tích hạn chế đã được dự báo có đối tượng bị vùi lấp trong khu Hoàng Thành Thăng Long.