

# RA ĐA XUYỀN ĐẤT TRONG KHẢO SÁT CÔNG TRÌNH NGẦM TẠI THÀNH PHỐ HỒ CHÍ MINH

ĐẶNG HOÀI TRUNG, NGUYỄN THÀNH VẤN,  
VÕ MINH TRIẾT, NGUYỄN VĂN THUẬN, VÕ NGUYỄN NHƯ LIÊU

Khoa Vật lý – Vật lý Kỹ thuật, Trường ĐH Khoa học Tự nhiên, ĐHQG Tp. HCM

**Tóm tắt:** Xây dựng bản đồ công trình ngầm là việc làm không thể thiếu của các đô thị hiện đại trên thế giới, và Tp. HCM cũng không ngoại lệ. Tuy nhiên, do sự thiếu hụt thông tin về các công trình ngầm trước năm 1975, việc xuất hiện ngày càng dày đặc các công trình mới, cùng với sự thiếu nhất quán trong quản lý đã khiến Tp. HCM phải đối mặt với nhiều khó khăn khi giải quyết bài toán không gian ngầm. Với mục đích góp phần cùng thành phố tìm ra phương pháp thích hợp nhất để giải quyết vấn đề trên, tác giả đã tiến hành khảo sát ra đa xuyên đất để kiểm tra và định vị một số công trình ngầm (hệ thống cấp thoát nước, các loại cáp) ở vài tuyến đường tại Tp. HCM. Kết quả khảo sát cho thấy rất nhiều công trình không có vị trí đúng theo thông tin lưu trữ, thậm chí các công trình mới chưa được cập nhật đầy đủ. Những phát hiện của chúng tôi đã góp phần bảo đảm an toàn cho các công trình dân dụng, xây dựng tuyến tàu điện ngầm Metro 2, thiết kế và thi công hệ thống cấp thoát nước mới, cũng như giúp xác định nguyên nhân xảy ra “hố phun lửa” ở Quận Bình Thạnh, Tp. Hồ Chí Minh.

## I. THÔNG TIN KHU VỰC KHẢO SÁT

Thành phố Hồ Chí Minh là thành phố lớn nhất và đông dân nhất Việt Nam. Tọa lạc ở khu vực đông nam, trên lưu vực sông Sài Gòn với độ cao trung bình khoảng 10 m trên mực nước biển, đây cũng chính là trung tâm thương mại, kinh tế của cả nước.

Thành phố có khoảng 3000 km đường giao thông. Phương tiện di chuyển chính là xe máy, xe buýt, taxi, xe tải và xe đạp. Ở nhiều nơi, nền đường là lớp đất than bùn mềm. Trong quá trình giao thông liên tục, vật liệu làm đường đã bị lún vào nền đất yếu này.

Địa hình khu vực khảo sát tương đối bằng phẳng, nhưng về phía bắc, đông và tây bắc, độ cao trung bình vượt trên 10 m. Vùng cao (> 2,5 m) ứng với khu vực nâng lên của trầm tích phù sa cổ thế Pleistocen, vùng thấp (< 2,5 m) ứng với trầm tích phù sa thế Holocen.

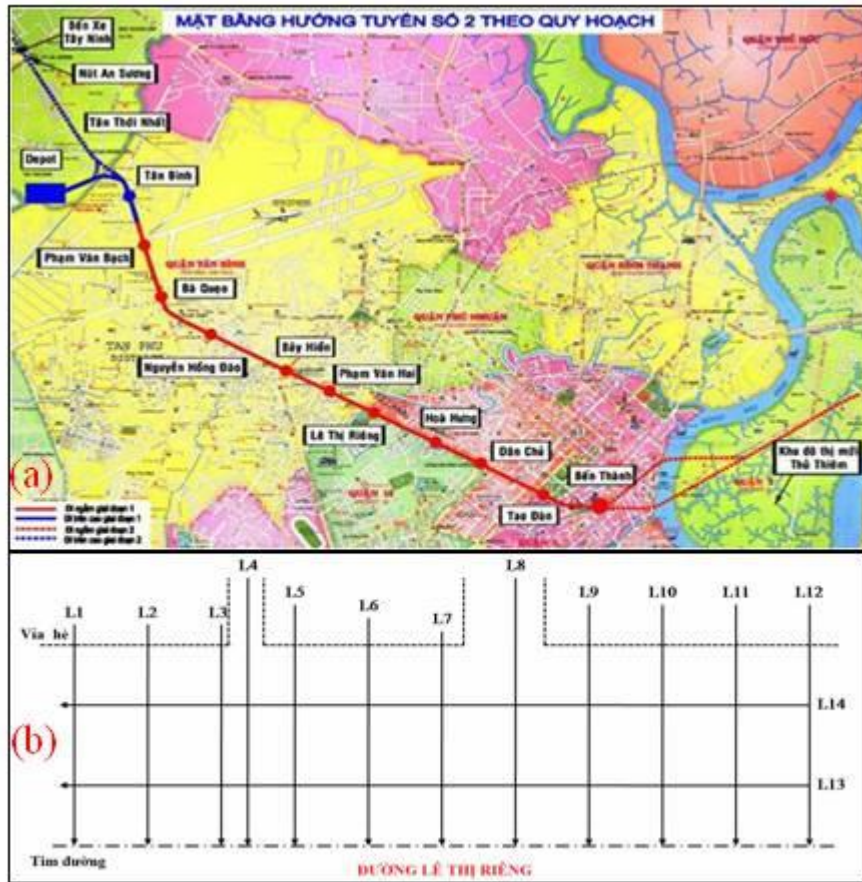
Địa tầng khu vực khảo sát gồm ba lớp được xác định bằng các lỗ khoan sâu 5,6 m. Cấu tạo từ trên xuống: Lớp thứ nhất dày 0,5 m, gồm nhựa đường, cát, sỏi, đá dăm. Lớp thứ hai dày 2,0 m là lớp cát - sét mềm, màu xám hoặc vàng. Lớp cuối cùng dày 3,1 m là đá ong đỏ - xám - vàng, từ mềm đến rắn (Hình 1) [2].

Khu vực khảo sát là một số đoạn đường tại Tp. HCM, nơi các công trình ngầm tương đối dày đặc. Kết quả sau khi minh giải sẽ được so sánh với thông tin do các công ty quản lý cấp thoát nước, cấp điện ngầm, cấp quang và chiếu sáng cung cấp hoặc những quan sát trên hiện trường.

Trong các khảo sát này, chúng tôi sử dụng thiết bị Detector Duo của hãng IDS (Ý) với hai anten 250 và 700 MHz có màn chắn.

Lớp	Đá sâu (m)	Bề dày (m)	Địa tầng	Thành phần thạch học
1	0,5	0,5		Nhựa đường, cát, sỏi, đá dăm
2	2,5	2,0		Cát - sét mềm, màu xám/vàng
3	5,6	3,1		Đá ong, màu đỏ - xám - vàng

Hình 1. Địa tầng lỗ khoan H5 tại Quận Thủ Đức, Tp. HCM, khảo sát bởi Viện Địa lý Tài nguyên Tp. HCM (tháng 3 năm 2011).



Hình 2. (a) Các ga Metro 2, (b) Sơ đồ tuyến đo ra đa xuyên đất tại ga Lê Thị Riêng.

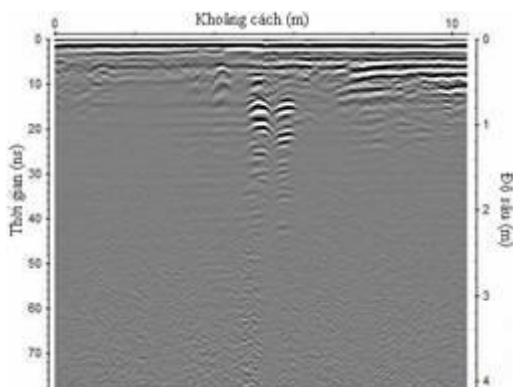
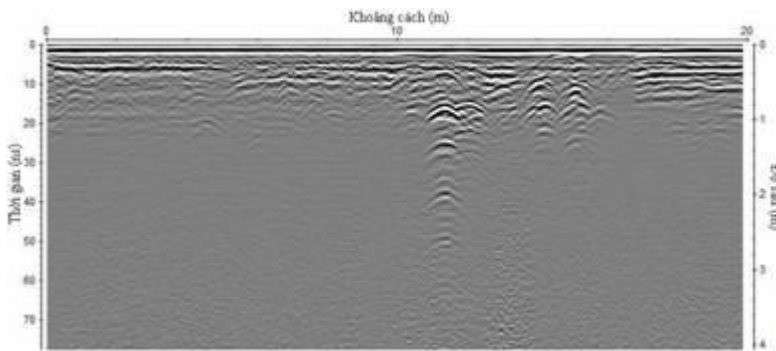
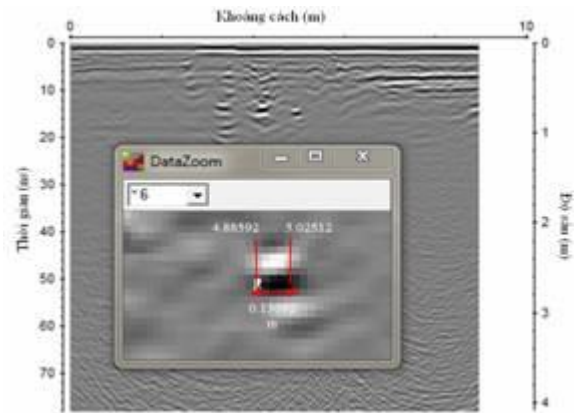
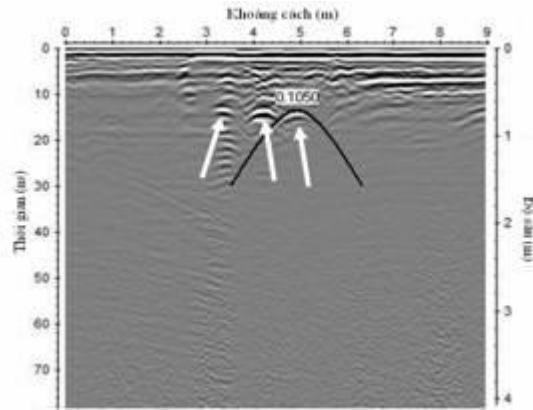
## II. KẾT QUẢ THỰC TẾ TẠI TP. HCM

### 1. Vẽ bản đồ công trình ngầm cho tuyến ga điện ngầm Metro

Tuyến ga điện ngầm Metro là một dự án nhằm phục vụ mạng lưới vận chuyển tại Tp. HCM. Dự án này lần đầu tiên được đề xuất vào năm 2001, là một phần trong kế hoạch xây dựng mạng lưới giao thông công cộng toàn diện, nhằm khắc phục vấn đề tắc nghẽn giao thông vốn rất nghiêm trọng ở Tp. HCM nói riêng cũng như các đô thị lớn ở châu Á nói chung. Dự án ga Metro gồm 6 tuyến, trong đó có một số tuyến ngầm và một số tuyến trên cao. Nhằm đảm bảo an toàn cho việc thực hiện dự án này, chính quyền thành phố đã yêu cầu xây dựng bản đồ công trình ngầm cho các tuyến bằng phương pháp ra đa xuyên đất. Số liệu thực địa trong bài báo này được thu thập tại ga Lê Thị Riêng thuộc dự án tuyến Metro số 2 (Hình 2).

Khu vực khảo sát có 14 tuyến đo, bao gồm 12 tuyến ngang và 2 tuyến dọc. Hai tuyến ngang liên tiếp cách nhau 15 m, hai tuyến dọc dài khoảng 150 m, vị trí các dị thường được đánh dấu trực tiếp trên tuyến đo. Để thuận tiện cho quá trình khảo sát, hai tuyến dọc được đo theo hai chiều ngược nhau.

Hình 3a, 3c và 3d là mặt cắt của ba tuyến ngang sau khi xử lý. Mặt cắt hình 3a cho thấy ba hyperbol liên tiếp nhau trong phạm vi 3,5-5 m (ba mũi tên màu trắng). Các dị thường tương tự cũng xuất hiện tại vị trí 14-16 m ở Hình 3c, vị trí 5-6,5 m ở Hình 3d. Điều này giúp khẳng định có ba đường ống kéo dài (theo thứ tự là DV3, DV4, DV5) dọc khu vực khảo sát. Tuy nhiên, kết quả này không cho phép xác định đây là loại ống gì. Ngoài ra, độ sâu và vị trí của các đường ống trong ba mặt cắt không đồng nhất, có thể do địa hình không bằng phẳng và sự dao động của các anten khi di chuyển.

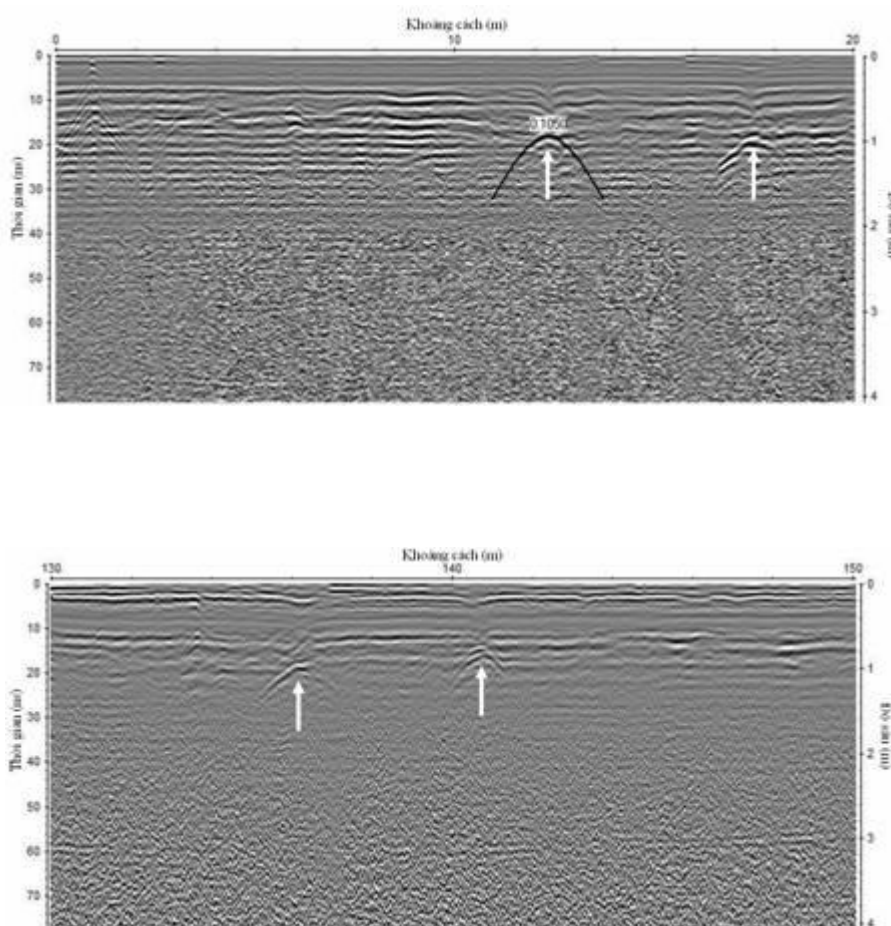


Hình 3. Mặt cắt GPR: (a) Tuyến 5; (b) Tuyến 5 sau khi dịch chuyển Kirchhoff; (c) Tuyến 8 và (d) Tuyến 10.

Vận tốc truyền sóng điện từ tại ba vị trí trên không thay đổi nhiều và được xác định bằng 0,105 m/ns nhờ vào phân tích các hyperbol tán xạ có sẵn trong chương trình Reflexw (Hình 3a). Sau khi nhập vận tốc truyền sóng vào chương trình, ta biết được độ sâu của các dị vật, còn kích thước được tính bằng phương pháp dịch chuyển Kirchhoff (Hình 3b) [3, 4]. Kết quả được thể hiện trong Bảng 1.

Trên Hình 3c, chúng ta cũng thấy xuất hiện hai hyperbol tại vị trí 11 và 12 m (DV1 và DV2). Những tín hiệu này cũng thấy được trên các tuyến còn lại nhưng không rõ ràng. Tuy nhiên, kích thước của DV2 được xác định sau khi thực hiện dịch chuyển Kirchhoff lại nhỏ hơn nhiều so với thông tin tiên nghiệm (600 mm so với 1000 mm).

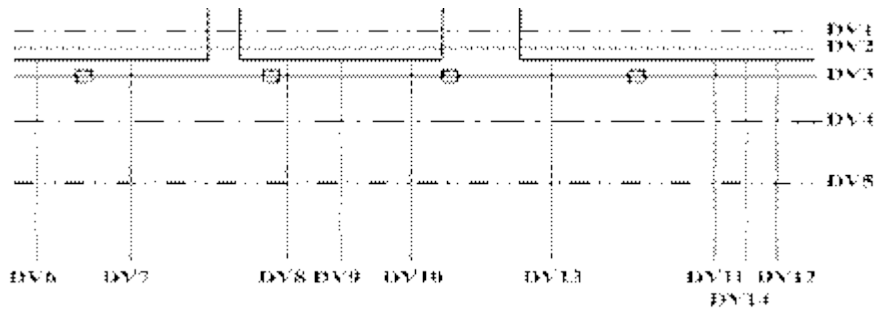
Hình 4a và 4b là kết quả được cắt ra từ hai tuyến dọc có chiều dài khá lớn. Độ sâu và kích thước của những dị vật này được tính tương tự như các tuyến ngang. Trong phạm vi khảo sát, nhóm thực hiện đã phát hiện được chín vị trí dự đoán là ống thoát nước cắt ngang đường.



Hình 4. Mặt cắt ra đa xuyên đất (a) Tuyến 13 và (b) Tuyến 14.

Bảng 1. Kết quả minh giải số liệu ra đa xuyên đất

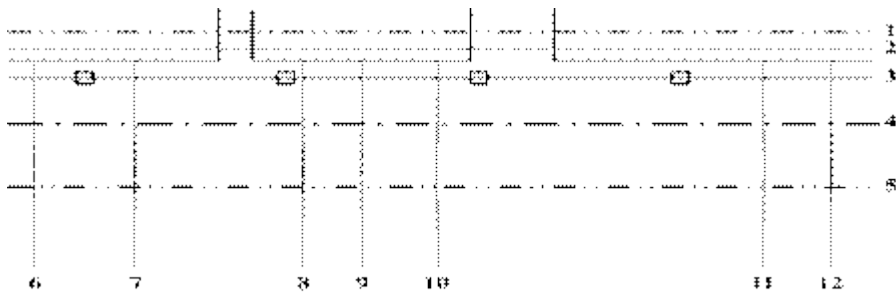
Kí hiệu	Công trình ngầm	Độ sâu tới đỉnh (m)	$\Phi$ (mm)
DV1	Cấp nước	0,8	400
DV2	Thoát nước	0,8	600
DV3	Cáp viễn thông	0,6	100
DV4	Cấp nước	0,85	400
DV5	Cáp ngầm	0,9	150
DV6 → DV14	Thoát nước	0,8	500



Hình 5. Sơ đồ minh giải hệ thống công trình ngầm.

Bảng 2. Thông tin về hệ thống công trình ngầm được cung cấp trước

Kí hiệu	Công trình ngầm	Độ sâu tới đỉnh (m)	Φ (mm)
1	Cấp nước	1-1,2	
2	Thoát nước	≤ 1,8	1000
3	Cấp viễn thông	1-1,2	
4	Cấp nước	1,5-2,5	400
5	Cấp ngầm	1,5-2,2	
6, 9	Thoát nước		600
7, 10, 11, 12	Thoát nước		500
8	Thoát nước		400



Hình 6. Sơ đồ hệ thống công trình ngầm được cung cấp trước.

**Nhận xét:**

Kết quả giải đoán khá tương đồng với các thông tin tiên nghiệm. Hệ thống cống, cấp được cung cấp trước đều xuất hiện hầu hết trên các mặt cắt ra đa xuyên đất.

Có hai trường hợp ngoại lệ trong kết quả minh giải: thứ nhất, dị vật DV1 và DV2 chỉ xuất hiện rõ trên tuyến 8, còn trên các tuyến khác rất mờ, nguyên nhân có thể do sự tương đồng về tính chất điện của vật liệu làm vỉa hè và ống, khiến sóng điện từ gần như không phản xạ lại; thứ hai, phát hiện thêm hai cống thoát cắt ngang đường (phát hiện được chín dị vật thay vì bảy như thông tin ban đầu).

Độ sâu và kích thước của một số cống, cấp ngầm có sự sai lệch so với thông tin được cung cấp. Những khác biệt này có thể do quá trình tu bổ đường sá hoặc buộc phải thay đổi so với thiết kế nhưng không hiệu chỉnh khi hoàn công. Ngoài ra, phương pháp dịch chuyển Kirchhoff chỉ cho ra kết quả tốt nhất nếu sử dụng đúng vận tốc truyền sóng trung bình tới đỉnh dị vật [5]. Tuy nhiên, sai số 0,1 m đối với độ sâu và 0,05 m đối với kích thước là có thể chấp nhận được.

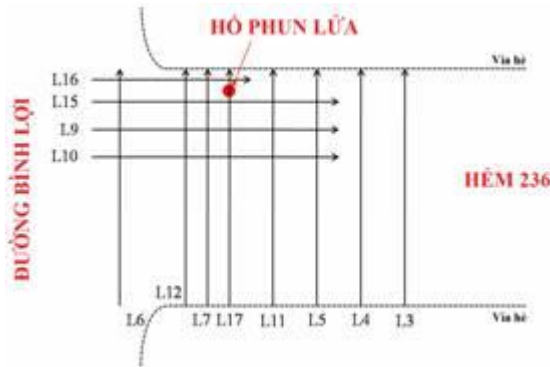
Độ phân giải của anten 250 và 700 MHz không cho phép phân biệt các đường cáp trong cùng một bó hoặc các đường ống quá gần nhau.

**2. Khảo sát “hồ phun lửa” tại Tp. HCM**



Ngày 28 tháng 10 năm 2013, trên đường Bình Lợi, Tp. HCM đã xuất hiện một “hố phun lửa” và gây ra một vụ nổ nhỏ. Ngày 29 tháng 10, khi “hố” đã ngừng phun lửa, chính quyền thành phố đã yêu cầu thu thập mẫu đất, nước, không khí cũng như tiến hành khảo sát bằng radar xuyên đất khu vực xung quanh để tìm hiểu nguyên nhân.

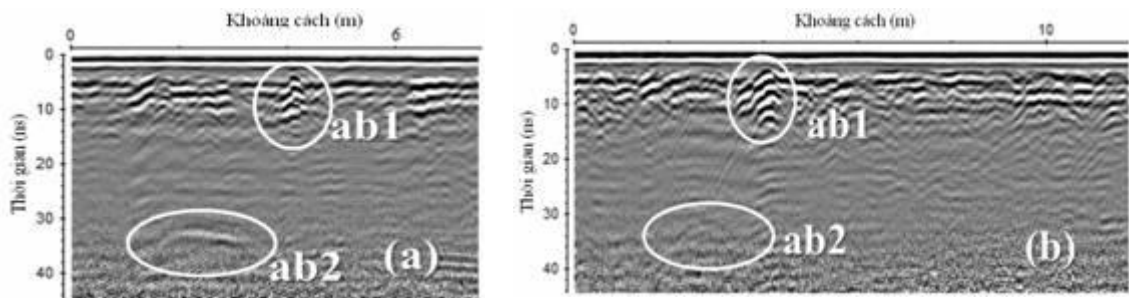
Tác giả đã tiến hành 12 tuyến đo nhằm xác định kích thước hố sụt và tìm kiếm các dị thường xung quanh (Hình 7). Theo Công ty cung cấp điện và nước cho khu vực, có hệ thống các dây cáp điện cũng như các cống cấp nước bên dưới hố sụt, tuy nhiên công ty lại không thể xác định vị trí chính xác.



Hình 7. Sơ đồ các tuyến khảo sát bằng radar xuyên đất.

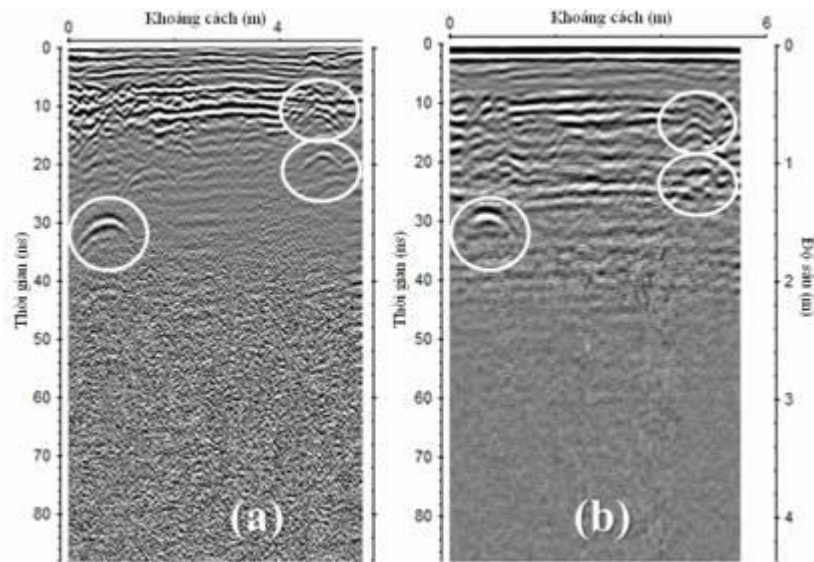
Các mặt cắt GPR sau khi xử lý không cho thấy bất kỳ hố sụt nào trong khu vực khảo sát. Tuy nhiên, mặt cắt trên các tuyến 9, 10, 15 và 16 phát hiện thấy hai dị thường gần “hố phun lửa” (Hình 8).

Dị thường thứ nhất sâu 1,5 m là ống cấp nước, bên dưới vỉa hè, chạy dọc theo đường Bình Lợi. Dị thường thứ hai ở độ sâu 0,4 m là cáp viễn thông, chạy ngang qua nắp cáp gần tuyến khảo sát. Cả hai đường ống này đều không thể gây cháy.



Hình 8. Mặt cắt radar xuyên đất: (a) tuyến 9; (b) tuyến 15.

Trên các tuyến từ 3 đến 7, 11, 12 và 17, có ba dị thường rất rõ ràng (Hình 9). Hyperpol đầu tiên có biên độ lớn và phân cực ngược, chứng tỏ đây là dị vật làm bằng kim loại. Do đó, có thể xác định đây là ống cấp nước, nằm ở độ sâu 1,5 m, đối diện với nơi xảy ra “hố phun lửa”.



Hình 9. Mặt cắt ra đa xuyên đất: (a) tuyến 11; (b) tuyến 5.

Hai dị thường tại độ sâu 0,6 m và 1 m gần cuối mặt cắt ra đa xuyên đất khá gần vị trí hồ sụt. Công ty cấp điện tin rằng cả hai dị vật này là cáp điện và đã bị dập trong quá trình thi công các công trình ngầm lân cận. Vị trí và độ sâu của những dị thường này đã được đánh dấu cẩn thận trên mặt đường để tiến hành đào kiểm tra.



Hình 10. Kết quả khảo sát trên tuyến đường Bình Lợi.

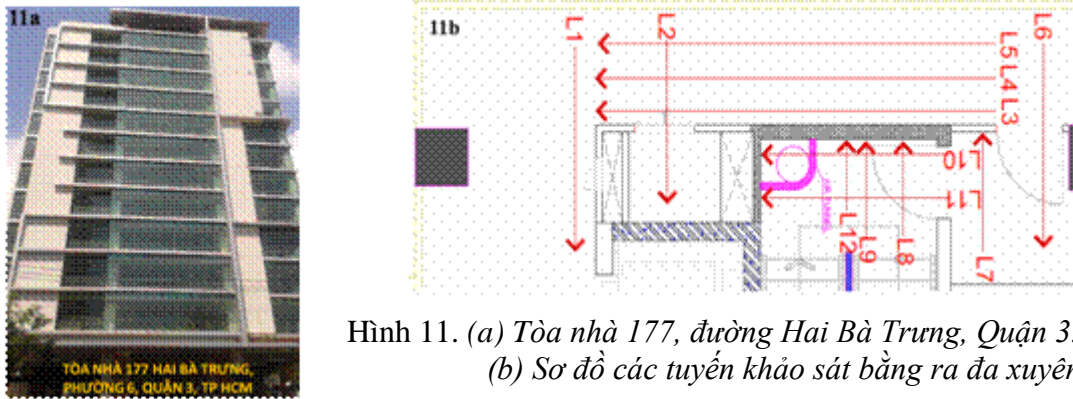
Dựa vào kết quả thu nhận từ ra đa xuyên đất, Sở Khoa học và Công nghệ, Sở Cảnh sát Phòng cháy chữa cháy Tp. HCM đã quyết định khai quật xung quanh “hồ phun lửa”. Thông tin từ việc phân tích mẫu không khí cũng như khảo sát bằng ra đa xuyên đất đã góp phần xác định nguyên nhân vụ cháy trên đường Bình Lợi. Đội điều tra phát hiện bên dưới mặt đường có nhiều dây cáp bị cháy, bị đứt, chứng tỏ đây là tai nạn liên quan đến sự cố điện. Sở Khoa học và Công nghệ cho biết các dây cáp này có thể đã bị dập trong quá trình đào đường lắp đặt ống cấp nước. Sau đó dưới ảnh hưởng của triều cường làm phát sinh hiện tượng phóng hồ quang điện, cung cấp một nguồn nhiệt lớn gây cháy và nổ cục bộ. Bên cạnh đó, thông qua kết quả phân tích mẫu khí trong hồ phát hiện khí metan với nồng độ cao bất thường (0,2-2,0 %). Do đó không loại trừ khả năng đây chính là nguyên nhân gây ra hiện tượng phun lửa sau vụ nổ.

### 3. Xác định cấp ứng lực tại tòa nhà 177, đường Hai Bà Trưng, quận 3, Tp. HCM (Hình 11a)

Dữ liệu được thu thập tại tòa nhà 177, đường Hai Bà Trưng, quận 3, Tp. HCM. Tòa nhà gồm 1 tầng trệt và 12 tầng lầu với diện tích mặt sàn 300 m<sup>2</sup>. Do thiếu sót trong quá trình thi công, nhà thầu muốn khoan tất cả các tầng để lắp một ống thông gió mới từ tầng trệt đến sân thượng. Tuy

nhiên, họ lại không chắc chắn vị trí của các cáp ứng lực, vốn là thành phần rất quan trọng giúp chịu tải toàn bộ công trình, mặc dù vị trí của chúng đã được đánh dấu rõ ràng trên mặt sàn. Sàn bê tông của mỗi tầng gồm có một tấm lưới thép nằm cách mặt sàn 220 mm, và các bó cáp ứng lực ( $\phi = 16$  mm, khả năng chịu tải 35 tấn) cách mặt sàn khoảng 150 mm.

Trong bài báo này, tác giả chỉ trình bày kết quả khảo sát bằng ra đa xuyên đất trên tầng 3, bao gồm 12 tuyến đo: 7 tuyến dọc và 5 tuyến ngang, sơ đồ tuyến khảo sát được thể hiện trong Hình 11b.

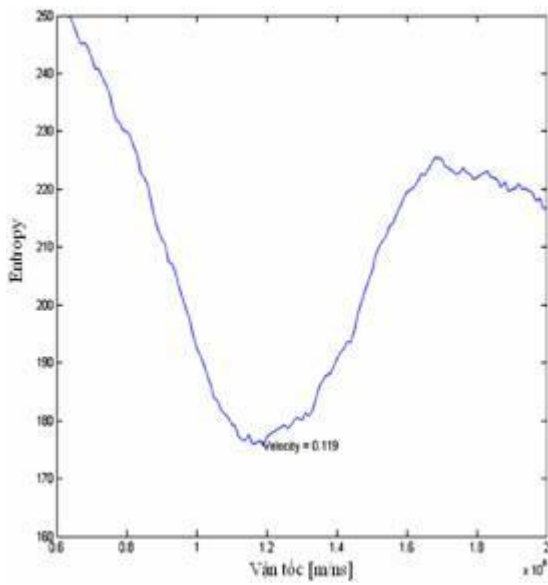


Hình 11. (a) Tòa nhà 177, đường Hai Bà Trưng, Quận 3.  
(b) Sơ đồ các tuyến khảo sát bằng ra đa xuyên đất.

Hình 13. Mặt cắt ra đa xuyên đất của các tuyến 1, 2, 4 và 12, thu nhận bởi máy Detector Duo (hãng IDS – Ý) với anten có màn chắn, tần số 700 MHz. Trong mặt cắt tuyến 1 (Hình 13a), các thanh thép và cáp ứng lực có thể được phân biệt khá dễ dàng nhờ vào sự khác biệt về độ sâu. Các hyperbol xuất hiện đều đặn dọc theo tuyến khảo sát tại vị trí 3,7 ns là tín hiệu phản xạ từ các thanh thép bên trong sàn bê tông. Hai hyperbol tại  $(x = 1$  m;  $t = 2,7$  ns) và  $(x = 1,4$  m;  $t = 1,7$  ns) trùng với vết đánh dấu vị trí cáp trên mặt sàn là vị trí các cáp ứng lực. Để xác định vận tốc truyền sóng điện từ trong bê tông, tác giả sử dụng thuật toán dịch chuyển Stolt kết hợp với entropy cực tiểu. Hình 12 thể hiện giản đồ entropy của mặt cắt dịch chuyển với vận tốc thay đổi từ 0,06 m/ns đến 0,20 m/ns. Dễ dàng nhận thấy mặt cắt dịch chuyển với vận tốc 0,119 m/ns đạt giá trị entropy cực tiểu. Đây cũng chính là vận tốc  $v_{RMS}$  đến đỉnh của các cáp ứng lực [5, 6].

Do sàn bê tông khá đồng nhất nên vận tốc trên được áp dụng chung cho tất cả các mặt cắt. Độ sâu của các thanh thép, cáp ứng lực A1 và A2 lần lượt là 220 mm, 160 mm và 100 mm. Độ sâu của các thanh thép và cáp ứng lực A1 khá hợp lý, tuy nhiên độ sâu A2 lại khác nhiều so với thông tin tiên nghiệm. Kết quả tương tự cũng được ghi nhận trên tuyến 2, 12 (Hình 13b, d), 6 và 7. Các tín hiệu cáp ứng lực A3, A4 và A5 xuất hiện trên tuyến 3, 4 (Hình 13c) và 5 có cùng độ sâu 160 mm.

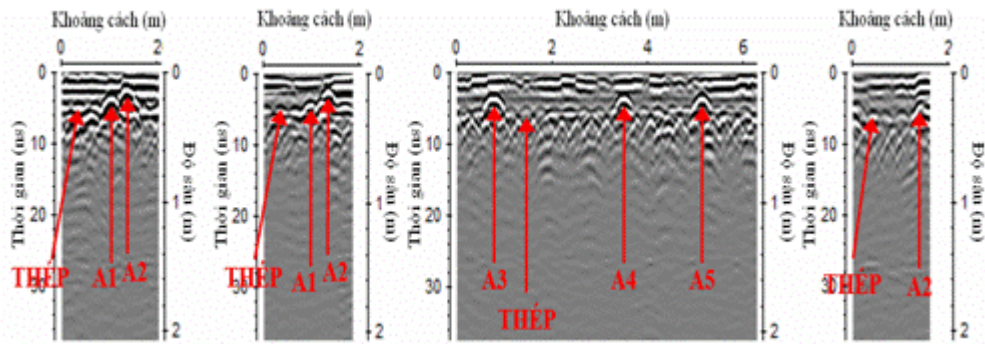




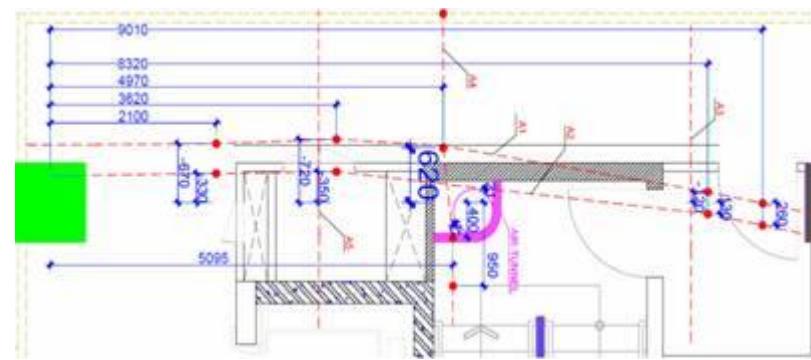
Tóm lại, trong khu vực này, tác giả tìm thấy tất cả năm cặp ứng lực đều không đi qua vị trí dự kiến của ống thông khí (Hình 14). Kết quả này đã được kiểm tra cẩn thận bằng cách khoan sàn bê tông.

Các tầng khác cũng được tiến hành khảo sát, khoan kiểm tra và sau đó nhà thầu đã lắp đặt một ống thông khí mới từ tầng trệt đến sân thượng.

Hình 12. Giảm đồ entropy.



Hình 13. Mặt cắt ra đa xuyên đất: (a) tuyến 1; (b) tuyến 2; (c) tuyến 4; (d) tuyến 12.



Hình 14. Sơ đồ vị trí cáp ứng lực tầng 3.

**III. KẾT LUẬN**

Các kết quả đạt được trong việc định vị công trình ngầm cũng như cáp ứng lực tại Tp. HCM cho thấy ra đa xuyên đất là một trong những phương pháp địa vật lý tối ưu trong khảo sát tầng nông. Tuy nhiên, việc xác định chính xác độ sâu và kích thước của dị vật dưới mặt đất là một vấn đề hết sức khó khăn, tùy thuộc vào độ chính xác của mô hình vận tốc. Để xác định chính xác vận tốc truyền sóng điện từ, cần phải kết hợp các phương pháp truyền thống với giảm đồ entropy, phép hiệu chỉnh động hay các phương pháp dịch chuyển như Kirchhoff, F-K, FD, PSPI. Kết quả sau khi mình giải phải được so sánh với thông tin tiên nghiệm hoặc thông tin từ các lỗ khoan để hiệu chỉnh, nhằm giảm bớt rủi ro khi xây dựng công trình.

Thành công quan trọng nhất mà tác giả đạt được là các cơ quan chức năng Tp. HCM đã thấy được sự cần thiết phải kiểm tra và cải thiện bản đồ công trình ngầm bằng phương pháp ra đa xuyên đất.

## VĂN LIỆU

- 1. Flores-Tapia D., Pistorius S., 2010.** An Entropy-Based Propagation Speed Estimation Method for Near-Field Subsurface Radar Imaging. *EURASIP Journal on Advances in Signal Processing*, volume 2010, Article ID 636458, 13 pages.
- 2. Giang N.V., Van N.T., Trung D.H., Jarzyna J., Zietek J., Sylwia-Suchon T., 2012.** Investigation of sinkholes on the roads by GPR: Application to HCM City, Vietnam. *International conference on Ground Penetrating Radar (GPR)*, pp. 443-447, Shanghai, China.
- 3. Van N.T., Giang N.V., Cuong L.V.A., Trung D.H., Triet V.M, 2012.** Kirchhoff migration for specifying velocity model in ground penetrating radar method. *International conference on Ground Penetrating Radar (GPR)*, pp. 419-424, Shanghai, China.
- 4. Van N.T., Giang N.V., 2013.** Ground Penetrating Radar - Fundamentals and Applications. *VNU Press*, 222 pages.
- 5. Ylmatz O., 1987.** Seismic Data Processing, chapter 3. *Society of Exploration Geophysics*.
- 6. [Zhou H.](#), [Wan X.](#), [Li W.](#), [Jiang Y.](#), 2011.** Combining F-K Filter with Minimum Entropy Stolt Migration Algorithm for Subsurface Object Imaging and Background Permittivity Estimation. *Procedia Engineering*, Volume 23, pp. 636-641.