

Nghiên cứu ứng dụng công nghệ radar xuyên đất dò tìm đối tượng ngầm phục vụ công tác thành lập bản đồ công trình ngầm

■ TS. TRẦN QUANG HỌC

Trường Đại học Giao thông vận tải

Email: hoctq@utc.edu.vn

TÓM TẮT: Công nghệ radar xuyên đất (Ground Penetrating Radar - GPR) là phương pháp địa vật lý sử dụng sóng điện từ tần số cao (từ 10 MHz đến 3.000 MHz), nhằm phát hiện các đối tượng ngầm dưới mặt đất như kim loại, phi kim... mà không cần đào hay phá hủy. Nghiên cứu ứng dụng công nghệ GPR đã được thực hiện trong những năm gần đây trong việc dò tìm các đối tượng công trình ngầm. Tuy nhiên, ứng dụng trong công tác thành lập bản đồ công trình ngầm vẫn còn hạn chế. Vì vậy, trong bài báo này, nhóm tác giả trình bày sâu cơ sở lý thuyết và kiểm chứng thực nghiệm để khẳng định khả năng ứng dụng của phương pháp GPR trong thành lập bản đồ công trình ngầm. Từ đó, nhóm tác giả cũng đề xuất quy trình thành lập bản đồ công trình ngầm bằng phương pháp GPR tại Việt Nam.

TỪ KHÓA: Công nghệ radar xuyên đất - GPR, bản đồ công trình ngầm.

ABSTRACT: Ground Penetrating Radar (GPR) technology is a geophysical method that uses high-frequency electromagnetic waves (from 10 MHz to 3,000 MHz) to detect underground objects such as metals, non-metals, etc., without the need for excavation or destruction. Research on the application of GPR technology has been conducted in recent years for locating underground construction objects. However, its application in creating underground construction maps is still limited. Therefore, in this paper, the authors present the theoretical basis and experimental verification to confirm the applicability of the GPR method in creating underground construction maps. From this, the authors also propose a process for creating underground construction maps using the GPR method in Vietnam.

KEYWORDS: Ground Penetrating Radar - GPR, underground construction map.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Hiện nay ở Việt Nam, nhu cầu thành lập bản đồ công trình ngầm ở các khu vực đô thị là rất cấp thiết, nhằm phục

vụ cho công tác thiết kế, thi công và quản lý các công trình cơ sở hạ tầng cũng như ngầm hóa các tuyến cáp trên cao. Trong khi đó, hồ sơ tài liệu về công trình ngầm ở nước ta từ trước đến nay chưa được quản lý thống nhất và đặc biệt là chưa hề có bản đồ công trình ngầm đúng với ý nghĩa của nó. Đây cũng chính là khó khăn rất lớn cho các đơn vị thiết kế và thi công các công trình quan trọng trong khu vực đô thị. Tất cả các yếu tố đã nêu trên đặt ra một yêu cầu mang tính cấp bách, đó là cần phải thành lập bản đồ công trình ngầm ở khu vực đô thị với mục đích quản lý, khai thác và quy hoạch phát triển không gian ngầm ở các khu vực đô thị tại Việt Nam.

Ở nước ngoài, theo các nghiên cứu [1, 2], việc ứng dụng công nghệ GPR để phát hiện và khoanh vùng nhiều hang karst trên cả một dải núi dài và đã đánh giá được mức độ chứa nước trong các hang hốc làm cơ sở cho việc khai thác nguồn nước ngầm. Hoặc tại Trung Quốc [1], công nghệ georada đã được sử dụng có hiệu quả trong việc khảo sát nền móng đập Tam Hiệp và đã tìm ra nhiều vị trí hang hốc trong đá, đánh giá được độ nứt nẻ và mức độ chứa nước trong các khối đá gốc. Tại Mỹ [2] đã sử dụng phương pháp GPR để xác định các ranh giới nước mặn, nước nhạt cũng như ranh giới nước sạch và nước bị ô nhiễm đối với các tầng chứa nước gần mặt đất, ngoài ra còn phát hiện ra nhiều thấu kính chứa nước ngay trên đỉnh các mỏ đang khai thác hầm lò hoặc đã tìm ra vị trí các đường hầm lò cổ, các giếng lò cổ đã bị lấp đầy bằng các vật liệu trầm tích. Sử dụng công nghệ GPR để tìm kiếm hang hốc, đường hầm, công trình ngầm trong các thành phố, xác định vị trí khảo cổ học.

Tại Việt Nam, năm 2002 - 2005, PGS. TS. Phan Văn Hiến (Trường Đại học Mỏ - Địa chất) thực hiện Đề tài "Nghiên cứu ứng dụng phương pháp hiện đại điều tra, lập bản đồ công trình ngầm khu vực thành phố Hà Nội" [3], đây là nghiên cứu đầu tiên ở Việt Nam ứng dụng công nghệ GeoRadar để điều tra, dò tìm công trình ngầm, lập bản đồ công trình ngầm ở nước ta. Năm 2008, Đề tài nghiên cứu khoa học cấp Bộ: "Ứng dụng phương pháp GeoRada trong điều tra tại biến địa chất tìm kiếm nước dưới đất và khoáng sản kim loại" [4], do Liên đoàn vật lý địa chất đã thực hiện với sản phẩm của đề tài là: Quy trình công nghệ trong điều tra tại biến địa chất và tìm kiếm nước ngầm trong các đới phá hủy, dập vỡ và hang karst.

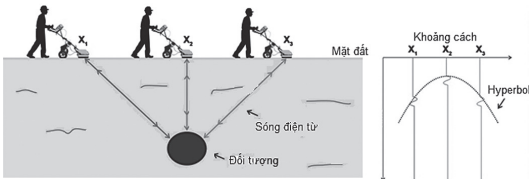
Như vậy, việc nghiên cứu ứng dụng công nghệ GPR trong khảo sát thăm dò địa chất nhằm phát hiện các hang động, hố các-tơ, trên thế giới và Việt Nam đã được nghiên cứu và ứng dụng nhiều. Tuy nhiên, công tác nghiên cứu và

triển khai thành lập bản đồ công trình ngầm tại các khu đô thị, dân cư, khu công nghiệp còn hạn chế; chưa xây dựng được quy định pháp lý, tiêu chuẩn về công tác thành lập bản đồ công trình ngầm với ứng dụng công nghệ GPR. Vì vậy, cần thêm các nghiên cứu, với ứng dụng công nghệ mới để từ đó góp phần hoàn thiện cơ sở lý thuyết và khoa học trong công tác thành lập bản đồ công trình ngầm tại Việt Nam.

2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Tổng quan về công nghệ GPR

Radar xuyên đất GPR là một phương pháp địa vật lý thăm dò, sử dụng sóng điện từ ở dải tần từ 10 - 3.000 MHz. Sóng điện từ sẽ được phát từ ăng-ten phát và lan truyền vào môi trường đất đá. Khi gặp bề mặt phân cách giữa các lớp vật liệu, sóng điện từ sẽ phản xạ lại và được thu nhận bằng ăng-ten thu. Dựa vào thời gian từ lúc phát sóng đến lúc thu, sẽ xác định được vị trí và độ sâu đối tượng [5].



Hình 2.1: Minh họa nguyên lý hoạt động của phương pháp GPR

Công nghệ radar xuyên đất (GPR) là công nghệ tiên tiến nhất hiện nay, công nghệ ứng dụng với mục đích định vị các công trình ngầm tiện ích và kiểm tra các kết cấu bê tông. Sử dụng công nghệ radar xuyên đất để xuyên vào các lớp dưới mặt đất và bên trong các lớp bê tông để khảo sát và xác định vị trí tất cả các công trình ngầm.

Các đối tượng như đường ống, dây cáp, công trình ngầm, rễ cây và đất đá sẽ phản xạ theo dạng hình Hyperbol trên màn hình của thiết bị GPR. Hình Hyperbol xuất hiện là khi sóng GPR không xuyên vào lòng đất theo dạng chùm tia bức xạ trông giống như hình nón dưới dạng 3D. Tín hiệu phản xạ có thể xuất hiện mặc dù những đối tượng không trực tiếp ở ngay dưới thiết bị cảm biến của GPR.

Nguyên lý đo độ sâu: Radar xuyên đất ghi lại thời gian sóng vô tuyến truyền đến mục tiêu và quay lại; nó không đo độ sâu tới mục tiêu đó một cách trực tiếp. Độ sâu tới mục tiêu được tính toán dựa trên vận tốc mà sóng truyền đến mục tiêu và quay lại.

Nguyên lý xác định độ sâu của đối tượng ngầm được xác định như sau:

$$D = \frac{V \cdot T}{2}$$

Trong đó: D - Độ sâu; V - Vận tốc sóng; T - Thời gian sóng truyền sóng 2 chiều.

Độ chính xác xác định độ sâu phụ thuộc vào tần số radar, công suất phát, hằng số điện môi của đất, cũng như hình dạng và đặc tính của đối tượng.

2.2. Bản đồ công trình ngầm

Bản đồ công trình ngầm [6], là một công cụ quan trọng giúp thể hiện đầy đủ thông tin về quy hoạch, phân vùng và tình trạng hiện tại của các công trình ẩn sau lớp đất hoặc dưới lòng nước. Được thiết kế để cung cấp cái nhìn toàn diện về cơ sở hạ tầng ngầm, bản đồ này không chỉ giúp

quản lý môi trường mà còn đóng vai trò quan trọng trong quá trình quy hoạch đô thị và phát triển hạ tầng.

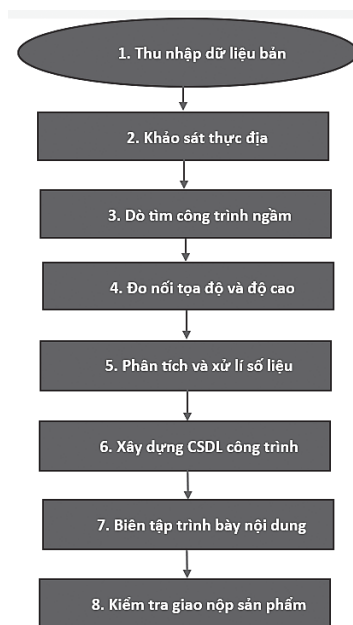
Các yếu tố quyết định trên bản đồ công trình ngầm bao gồm quy hoạch, tổ chức không gian và hiện trạng của hệ thống dưới mặt đất hoặc nước. Điều này mang lại lợi ích lớn trong việc đảm bảo an toàn và hiệu quả trong quản lý tài nguyên, ngăn chặn xung đột giữa các dự án và tạo ra một kế hoạch bền vững cho sự phát triển. Ngoài ra, bản đồ công trình ngầm không chỉ hỗ trợ các cơ quan quản lý mà còn là công cụ quan trọng cho các nhà đầu tư và nhà phát triển, giúp họ hiểu rõ hơn về tiềm năng và rủi ro của khu vực đang quan tâm. Việc sử dụng thông tin chính xác và đầy đủ từ bản đồ này đồng thời giúp tăng cường khả năng dự đoán và quản lý rủi ro trong quá trình triển khai dự án.

Bản đồ công trình ngầm là bản đồ chuyên đề thể hiện các đối tượng công trình ngầm trong một hệ tọa độ và hệ thống ký hiệu quy ước thống nhất. Các đối tượng được thể hiện rõ về vị trí, kích thước, chất liệu. Bản đồ công trình ngầm được thành lập ở tỷ lệ từ 1:500 đến 1:2000 theo mục đích sử dụng. Căn cứ vào bảng phân loại công trình ngầm và các quy tắc quản lý công trình ngầm, nhóm tác giả đề xuất nội dung bản đồ công trình ngầm với 4 nhóm lớp đối tượng:

1. Nhóm lớp cơ sở toán học: Khung bản đồ, lưới kilomet hoặc lưới kinh vĩ tuyến, chú dẫn trình bày ngoài khung và các nội dung có liên quan.
2. Nhóm cơ sở địa lý: Thủy hệ, hệ thống giao thông công trình trên mặt đất.
3. Nhóm hạ tầng kỹ thuật: Bao gồm các hệ thống nước (cấp nước, thoát nước thải, thoát nước mưa), hệ thống điện, hệ thống viễn thông.
4. Nhóm công trình ngầm khác: Bao gồm các hệ thống công trình ngầm như bãi đỗ xe ngầm, công trình giao thông ngầm...

2.3. Đề xuất quy trình thành lập bản đồ công trình ngầm

Căn cứ vào nội dung của bản đồ công trình ngầm, nhóm tác giả đề xuất quy trình thành lập bản đồ công trình ngầm ứng dụng công nghệ GPR như sau:



1. Thu nhập dữ liệu bản đồ: Trước tiên cần thu thập dữ liệu bản đồ tỷ lệ lớn nhất của khu vực cần dò quét, các bản đồ hoàn công trong quá trình thi công các công trình ngầm.

2. Khảo sát thực địa: Tiến hành khảo sát hiện trường để lên kế hoạch thực hiện.

3. Dò tìm công trình ngầm: Tiến hành dò quét tìm công trình ngầm theo phương án đã lên kế hoạch.

4. Đo nối tọa độ và độ cao: Sau khi xác định được vị trí của đối tượng, cần thiết phải đo nối tọa độ, độ cao của đối tượng để cập nhật lên bản đồ. Sử dụng công nghệ GNSS RTK hoặc đo nối bằng máy toàn đạc điện tử.

5. Phân tích và xử lý số liệu: Dữ liệu dò quét được đưa vào phần mềm để xử lý nâng cao chất lượng hình ảnh để phục vụ cho công tác phân tích dữ liệu.

6. Xây dựng cơ sở dữ liệu công trình ngầm: Sử dụng các thông tin khi thiết kế và hoàn công công trình ngầm, xây dựng cơ sở dữ liệu bản đồ công trình ngầm theo các đối tượng để phục vụ cho công tác lưu trữ quản lý thông tin công trình ngầm.

7. Biên tập trình bày nội dung bản đồ: Kết hợp bản đồ hiện trạng trên mặt đất, các đối tượng dò tìm được dưới mặt đất, sử dụng các ký hiệu, màu sắc để biên tập thành lập bản đồ công trình ngầm.

8. Kiểm tra giao nộp sản phẩm: Tiến hành kiểm tra tất cả các bước trong quá trình thực hiện; hoàn thiện báo cáo thuyết minh, các biên bản nghiệm thu hiện trường, trong phòng, đóng gói và giao nộp sản phẩm cho chủ đầu tư.

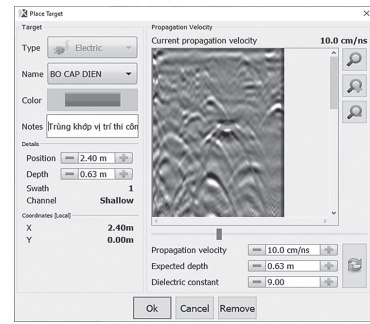
2.4. Thực nghiệm dò tìm đối tượng công trình ngầm

Khu vực thực nghiệm là một tuyến hẻm tại TP. Hồ Chí Minh, đây là tuyến hẻm do đơn vị quản lý nhà nước đang tiến hành số hóa lại dữ liệu tuyến cáp điện ngầm hiện hữu để đưa vào phần mềm GIS phục vụ công tác quản lý vận hành lưới điện [7]. Trong tuyến này, cũng có một số vị trí đang sửa chữa, có mương đào để có điều kiện kiểm tra đối chứng độ chính xác của thiết bị. Thiết bị sử dụng là máy GPR DS2000 của hãng Leica Geosystems, máy có 2 tần số 250 Hz và 700 Hz, tần số lấy mẫu 400 Hz [8].



Hình 2.2: Khu vực thực nghiệm dò tìm các đối tượng ngầm

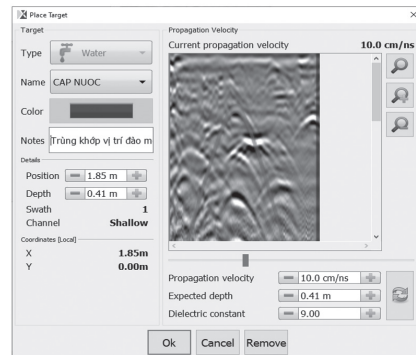
* Thực nghiệm tại vị trí 1: Dò tìm đường cáp điện trung thế.



Hình 2.3: Kết quả thực nghiệm tại khu vực số 1

Dựa trên kết quả xử lý dữ liệu GPR, tín hiệu điển hình của bó cáp điện với các Hyperbol nằm gần sát nhau như Hình 2.3. Độ sâu bó cáp điện dò được là 0,63 m, kết quả đo kiểm tra khi thi công là 0,62 m.

* Thực nghiệm tại vị trí 2: Dò tìm đường ống cấp nước.

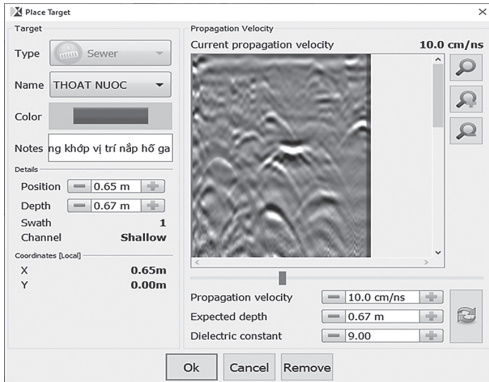


Hình 2.4: Hình ảnh dò tìm đường ống cấp nước

Kết quả phân tích hình ảnh từ dữ liệu GPR cho thấy tín hiệu "vòng" điển hình của đường ống dẫn nước (phi kim) với các Hyperbol đồng trục thẳng đứng như Hình 2.4. Độ sâu đường cấp nước trên phần mềm là 0,41 m, kết quả đo kiểm tra khi thi công là 0,42 m.

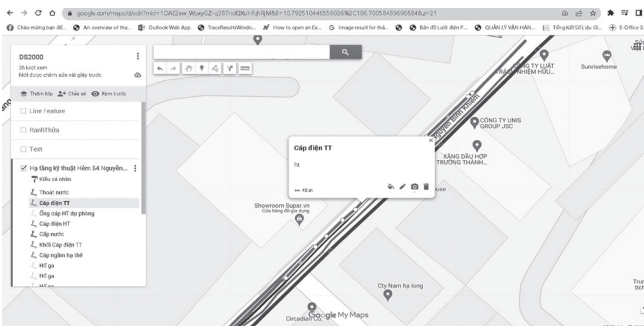
* *Thực nghiệm tại vị trí 3: Dò tìm đường cống thoát nước.*

Kết quả phân tích hình ảnh từ dữ liệu GPR cho thấy có đỉnh parabol nằm ở độ sâu 0,67 m như Hình 2.5, kiểm tra theo tuyến đường cống thoát nước tới vị trí hố ga, đo kiểm tra độ cao đỉnh ống cống nhận được là 0,65 m.



Hình 2.5: Hình ảnh dò tìm đường ống cấp nước

Để cập nhật dữ liệu các đối tượng công trình ngầm lên bản đồ, có thể sử dụng máy toàn đạc điện tử, công nghệ GNSS RTK để đo xác định tọa độ các đối tượng công trình ngầm đã được xác định và đánh dấu trên thực địa. Trong thực nghiệm này sử dụng thiết bị định vị vệ tinh Meridian M5 tiến hành đo xác định tọa độ các vị trí đã đánh dấu trên thực địa, tọa độ các điểm này được xác định trong hệ tọa độ VN-2000. Sau khi có dữ liệu tọa độ các điểm, có thể sử dụng các phần mềm để vẽ đối tượng ngầm, đồng bộ với bản đồ hiện trạng trên mặt đất sẽ cho bản đồ công trình ngầm. Trên Hình 2.6 thể hiện các đối tượng công trình ngầm là đường cấp điện trung thế trên nền bản đồ Google Map để tiện cho việc theo dõi và quản lý.



Hình 2.6: Các đối tượng công trình ngầm được thể hiện trên nền bản đồ Google map

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

Công nghệ GPR có nhiều ưu điểm cho phép xác định chính xác vị trí, độ sâu các đối tượng ngầm cấu tạo bằng chất liệu kim loại hay phi kim loại, hoặc xác định các dị thường trong cấu trúc ngầm mà không cần phá hủy. Sử dụng công nghệ này rất thuận tiện trong các khu đô thị, khu vực kiến trúc hoặc văn hóa.

Ngược lại, công nghệ này không tự phân loại đối tượng như vật liệu, kích thước, chủng loại của các công trình ngầm. Độ chính xác của kết quả dò tìm đối tượng công trình ngầm phụ thuộc vào kinh nghiệm của người xử lý dữ

liệu, phân tích hình ảnh nhận được. Để nâng cao độ chính xác cần phải sử dụng kết hợp các bản vẽ hoàn công (nếu có), khảo sát các dấu hiệu tại hiện trường, sử dụng kết hợp với các thiết bị khác... để thu được thông tin đầy đủ hơn về các đối tượng công trình ngầm.

4. KẾT LUẬN

Quá trình nghiên cứu lý thuyết về công nghệ GPR và thực nghiệm để xác định vị trí các đối tượng công trình ngầm có thể rút ra một số kết luận như sau:

- Phương pháp GPR là phương pháp khảo sát không phá hủy, dữ liệu khảo sát được thu thập ngay tại hiện trường; phát hiện được nhiều loại vật liệu khác nhau như các vật thể kim loại và phi kim cũng như các khoảng trống bất thường dưới lòng đất;
- Hoàn toàn có thể ứng dụng công nghệ GPR trong khảo sát dò tìm đối tượng công trình ngầm phục vụ các công tác thiết kế, quy hoạch xây dựng và quản lý công trình ngầm tại Việt Nam;
- Cần có cơ sở pháp lý của Nhà nước về quy trình thực hiện thành lập bản đồ bằng công nghệ GPR, cũng như định mức đơn giá cho công tác này để làm cơ sở thực hiện.

Lời cảm ơn: Nghiên cứu này được tài trợ bởi Trường Đại học GTVT trong Đề tài mã số T2024-CT-010. Nhóm tác giả xin cảm ơn Công ty TNHH Chuyển giao Công nghệ cao Quốc tế (ILTech Co., Ltd) đã hỗ trợ nhóm phần thực nghiệm.

Tài liệu tham khảo

- [1]. *The applications of GPR to civil engineering in China*, <https://ieeexplore.ieee.org/document/615848>.
- [2]. *Ground penetrating radar imaging of the freshwater/saltwater interface on a carbonate island, Key Largo, Florida*, https://www.researchgate.net/publication/253867768_Ground_penetrating_radar_imaging_of_the_freshwatersaltwater_interface_on_a_carbonate_island_Key_Largo_Florida.
- [3]. Phan Văn Hiến (2002 - 2005), *Đề tài "Nghiên cứu ứng dụng phương pháp hiện đại điều tra, lập bản đồ công trình ngầm khu vực thành phố Hà Nội"*.
- [4]. Liên đoàn Địa vật lý (2008), *Đề tài "Ứng dụng phương pháp GeoRada trong điều tra tại biển địa chất tìm kiếm nước dưới đất và khoáng sản kim loại"*.
- [5]. <https://iltech.com.vn/vn/cong-nghe-radar-xuyen-dat-la-gi-loi-the-cua-cong-nghe-ung-dung.html>.
- [6]. Quốc hội Việt Nam, *Luật Đo đạc và Bản đồ số 27/2018/QH14 ngày 14/6/2018*.
- [7]. <https://iltech.com.vn/vn/iltech-nhanh-chong-chuyen-giao-xong-thiet-bi-radar-xuyen-dat-va-thiet-bi-dinh-vi-ve-tinh-gnss.html>.
- [8]. *Leica DS2000 User Manual*.

Ngày nhận bài: 03/5/2024
Ngày nhận bài sửa: 13/5/2024
Ngày chấp nhận đăng: 28/5/2024