

# Sử dụng công nghệ radar xuyên đất trong công tác khảo sát địa kỹ thuật.

## Lấy ví dụ cho một số dự án điển hình

Application of ground penetrating radar technology in geotechnical investigation. Taking some typical projects as the examples

> **TS ĐỖ MINH TÍNH**

Khoa Xây dựng – Trường Đại học Kiến trúc Hà Nội;  
Email: dominhtinh32@gmail; Tel: 0988560866

### TÓM TẮT:

Ở Việt Nam, khoan khảo sát là một trong những phương pháp khảo sát địa kỹ thuật được sử dụng phổ biến nhất hiện nay. Tuy nhiên, đối với những khu vực cần khảo sát có diện tích rộng lớn hoặc dạng tuyến kéo dài, việc chỉ sử dụng phương pháp khoan khảo sát thường đem lại kết quả không thật chính xác hoặc làm phát sinh chi phí khảo sát. Radar xuyên đất là một dạng phương pháp thăm dò địa vật lý, nó là sự kết hợp giữa công nghệ radar và kỹ thuật khoa học địa chất. Phương pháp này có ưu điểm là đem lại hiệu quả thăm dò cao, thao tác đơn giản, thăm dò không phá hủy và có độ chính xác cao. Bài báo chủ yếu tập trung vào giới thiệu công nghệ radar xuyên đất và tính ứng dụng của nó trong công tác khảo sát địa kỹ thuật thông qua một số ví dụ thực tế, với mục đích làm tài liệu tham khảo cho những người làm công việc có liên quan.

**Từ khóa:** khảo sát địa kỹ thuật; công nghệ radar xuyên đất; thăm dò địa vật lý

### ABSTRACT:

At present, drilling method is one of the methods widely used in geotechnical engineering investigation works in Vietnam. However, drilling alone often leads to unsatisfactory results or higher costs in areas with large area or linear engineering survey. Ground penetrating radar technology is a geophysical detection technology that combines radar technology and geological science and technology. Its advantage is that it has very high detection efficiency, simple operation, lossless detection, and very high accuracy. This paper mainly introduces the ground penetrating radar technology and its application in geotechnical engineering investigation through some practical projects, and aims to provide reference for staff.

**Keywords:** geotechnical engineering investigation; ground penetrating radar technology; geophysical detection technology.

### 1. Đặt vấn đề

Công nghệ radar xuyên đất là kết quả của sự kết hợp giữa công nghệ radar và khoa học địa chất. Khái niệm radar xuyên đất (Ground Penetrating Radar, GRP) lần đầu tiên được chính thức đưa ra trong một sáng chế của Đức (Letmbach, Lowy, 1910), sau đó các ý tưởng về ứng dụng công nghệ radar xuyên đất (Hulsenbeck, 1926; Melton, BS, 1937) và các nghiên cứu thực nghiệm (Cook, 1960) lần lượt được tiến hành. Đến những năm 70, Công ty thăm dò địa vật lý của Mỹ (GSSI) chính thức đầu tư hệ thống radar xuyên đất đầu tiên vào thị trường (Subsurface Interface Radar System, viết tắt là SIR hay GPR). Về sau, hàng loạt các sản phẩm radar xuyên đất đã lần lượt được một số nước đầu tư nghiên cứu và cung cấp ra thị trường, như sản phẩm EKKO/GPR của Công ty A - Cube (Canada), sản phẩm RAMAC/GPR của Công ty địa chất Thụy Điển, hay sản phẩm của Hãng IDS/GeoRadar (Ý)...

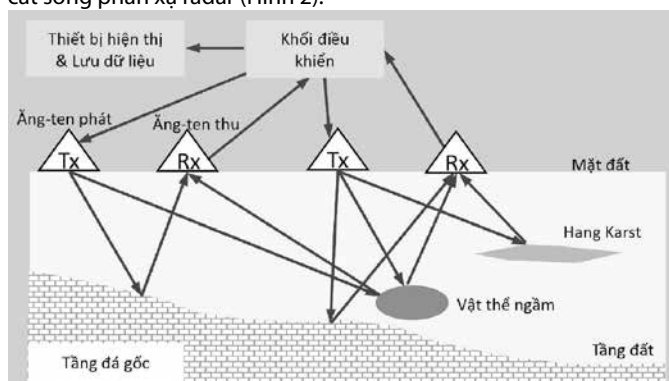
Sự ra đời của một loạt các thiết bị radar xuyên đất đã giúp nó được ứng dụng rộng rãi trong nhiều lĩnh vực khoa học khác nhau như: địa chất công trình, môi trường công trình, công trình ngầm đô thị, công trình thủy lợi, công trình giao thông, công trình xây dựng dân dụng và công nghiệp, khảo cổ học... Ở Việt Nam trong những năm trở lại đây, việc sử dụng công nghệ radar xuyên đất trong các lĩnh vực công trình giao thông đô thị, công trình ngầm đô thị, kết cấu công trình dân dụng và công nghiệp đã và đang trở nên phổ biến. Tuy nhiên tại Việt Nam, việc ứng dụng công nghệ này vào lĩnh vực khảo sát địa kỹ thuật còn rất hạn chế.

### 2. Nguyên lý hoạt động và đặc điểm của công nghệ radar xuyên đất

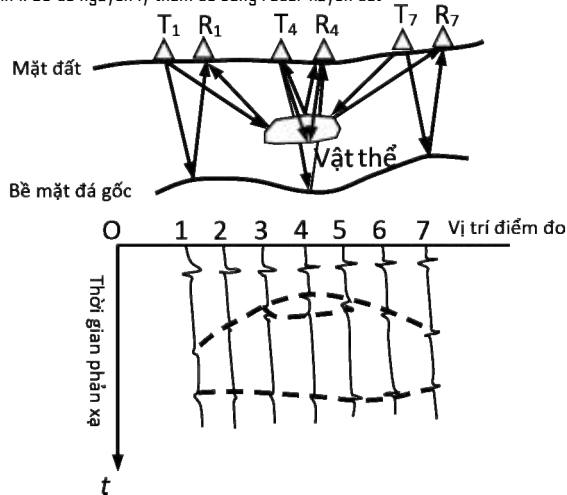
#### a) Nguyên lý hoạt động

Công nghệ radar xuyên đất (GPR) lợi dụng sự truyền của sóng

xung điện từ tần số siêu cao tần (1 MHz ~ 1 GHz) để nghiên cứu đặc trưng của môi trường dưới mặt đất. Hệ thống GPR gồm có các bộ phận chính như: Ăng-ten phát, Ăng-ten thu, khối điều khiển, thiết bị hiển thị, nguồn điện. Nguyên lý hoạt động cơ bản của như sau: Bộ phát xung điện từ sẽ được truyền từ Ăng-ten phát với tần số trung tâm từ 12.5 ~ 1200M và dải rộng của xung là 0.1ns. Khi sóng xung điện từ truyền vào môi trường dưới mặt đất gặp phải các vật thể hoặc bề mặt ranh giới có sự khác biệt về tính điện từ (điện trở suất, hằng số điện môi, độ thấm từ...) sẽ sinh ra sóng phản xạ hoặc truyền qua. Phần các xung điện từ phản xạ sẽ truyền ngược trở lại mặt đất và được Ăng-ten thu tiếp nhận, ghi lại và lưu giữ vào máy tính (Hình 1). Thông qua việc xử lý bằng máy tính và thiết bị hiển thị, các xung phản xạ thu được từ Ăng-ten thu từ dạng sợi quang học được chuyển thành chuỗi tín hiệu thời gian. Loại tín hiệu thời gian này tạo thành ảnh ghi hình dạng sóng radar của mỗi điểm đo. Nó bao gồm các thông tin về biên độ, bước sóng, thời gian truyền... của sóng radar tại điểm đó. Di chuyển (quét) Ăng-ten theo các điểm có cùng khoảng cách nằm dọc theo tuyến (mặt cắt) cần đo, tiến hành đo cho toàn tuyến sẽ giúp ta vẽ được mặt cắt sóng phản xạ radar (Hình 2).



Hình 1. Sơ đồ nguyên lý thăm dò bằng radar xuyên đất



Hình 2. Sơ đồ mặt cắt sóng phản xạ radar xuyên đất

Theo lý thuyết về sự lan truyền của sóng điện từ, khi sóng truyền theo phương vuông góc tới bề mặt ranh giới giữa môi trường 1 và môi trường 2, thì sóng phản xạ tại mặt ranh giới là:

$$R_{\perp} = \frac{\sqrt{(a^2 - b^2)^2 + (2ab \sin \varphi)^2}}{a^2 + b^2 + 2ab \cos \varphi} e^{j\varphi_{\perp}} = Ae^{j\varphi_{\perp}} \quad (1)$$

Trong đó: A - biên độ sóng;

$\varphi_{\perp}$  - góc lệch pha, được tính theo công thức:

$$\varphi_{\perp} = \text{tg}^{-1} \left( \frac{-2ab \sin \varphi}{a^2 - b^2} \right) \quad (2)$$

$$a = \frac{\mu_2}{\mu_1}; \quad b = \sqrt{\frac{\varepsilon_2 \mu_2 \sqrt{1 + (\frac{\sigma_2}{\omega \varepsilon_2})^2}}{\varepsilon_1 \mu_1 \sqrt{1 + (\frac{\sigma_1}{\omega \varepsilon_1})^2}}} \quad (3)$$

$$\varphi_{\perp} = \text{tg}^{-1} \left( -\frac{\sigma_2}{\omega \varepsilon_2} \right) - \text{tg}^{-1} \left( -\frac{\sigma_1}{\omega \varepsilon_1} \right) \quad (4)$$

Trong các công thức trên  $\omega = 2\pi f$  là tần số góc,  $\mu$  là độ từ thẩm,  $\varepsilon$  là hằng số điện và  $\sigma$  là độ dẫn điện.

Từ các công thức trên ta thấy, sóng phản xạ ở trên mặt ranh giới là sóng điều hòa đơn giản của biên độ A và góc lệch pha  $\varphi_{\perp}$ . Trường sóng phản xạ phụ thuộc vào tính chất từ (từ tính) của môi trường truyền, từ tính của hai loại môi trường khác nhau càng xa thì biên độ sóng phản xạ chênh nhau càng lớn và ngược lại nếu từ tính của hai môi trường như nhau thì biên độ sóng phản xạ bằng không (tức là không có sóng phản xạ). Ngoài ra, khi từ tính của hai loại môi trường khác nhau càng xa, sẽ dẫn tới sự thay đổi của góc lệch pha càng lớn và ngược lại. Như vậy, thông qua sự phân tích đặc trưng của dạng sóng (biên độ và góc lệch pha của sóng phản xạ...) sẽ giúp chúng ta có được các thông tin về sự thay đổi của môi trường bên dưới mặt đất.

Mặt khác, công suất phản xạ của sóng radar được xác định theo công thức sau:

$$P_r = C \frac{\lambda R^2 S}{64\pi^3 D^4} e^{-4\alpha D} P_t \quad (5)$$

Trong đó:  $P_r$  - là công suất phát xạ; C - hằng số thiết bị;  $\lambda$  - bước sóng; R - hệ số phản xạ; S - diện tích mặt cắt ngang hữu hiệu vùng khuếch tán;  $\alpha$  - hệ số suy giảm; D - chiều sâu bề mặt ranh giới phản xạ.

Từ công thức (5) có thể thấy, năng lượng mà radar thu được phụ thuộc vào rất nhiều yếu tố, trong đó chiều sâu mặt ranh giới phản xạ là một yếu tố hết sức nhạy cảm. Do vậy, chiều sâu thăm dò theo phương pháp GPR thường không lớn. Đồng thời, năng lượng thu của radar cũng có quan hệ chặt chẽ với hệ số phản xạ (R), nên ở ranh giới của các tầng đất đá phân bố nông có tính chất khác biệt rõ nét thì nó sẽ phản ánh rất rõ ràng. Ngoài ra,  $P_r$  còn phụ thuộc vào bước sóng  $\lambda$  (quan hệ tuyến tính), nên trong cùng một điều kiện tiếp thu năng lượng có thể thông qua việc giảm bước sóng  $\lambda$  để làm tăng độ phân giải của kết quả đo.

Từ những vấn đề trình bày ở trên có thể thấy, dưới một điều kiện năng lượng phát xạ nhất định, công nghệ radar xuyên đất rất thích hợp với việc thăm dò xác định ranh giới của các tầng đất đá phân bố nông có từ tính khác biệt rõ rệt. Thực tế đã chứng minh, nếu sử dụng tần số phát trung tâm từ 50 MHz ~ 100 MHz, chiều sâu thăm dò có thể lên tới 20 ~ 50 m. Đây chính là lý do mà chúng ta có thể hoàn toàn ứng dụng công nghệ này trong công tác khảo sát địa kỹ thuật.

### b) Đặc điểm của công nghệ radar xuyên đất

Công nghệ radar xuyên đất có 4 đặc điểm chính như sau:

(1) Có tính thích ứng cao: sử dụng phương pháp thăm dò không phá hủy, do vậy công nghệ này có thể áp dụng một cách an toàn ở khu vực đô thị đông dân cư hoặc các công trường xây dựng với điều kiện làm việc tương đối thoải mái.

(2) Khả năng chống nhiễu tốt: do có khả năng chống nhiễu điện từ tốt nên có thể tác nghiệp ở khu vực đô thị đông dân cư dưới ảnh hưởng của nhiễu tiếng ồn từ môi trường xung quanh.

(4) Khả năng định vị nhanh và chính xác: có kết quả trực quan

và chính xác về chiều sâu phân bố của đối tượng cần thăm dò, được thể hiện trực tiếp trên mặt cắt đo vẽ với độ phân giải cao.

(5) Thiết bị tương đối gọn nhẹ, thao tác đơn giản, có máy tính đi kèm phục vụ cho việc thu thập, ghi chép, xử lý và lưu giữ số liệu ngay trong quá trình thăm dò.

**3. Ứng dụng công nghệ radar xuyên đất trong khảo sát địa kỹ thuật**

Nhiệm vụ chính của công tác khảo sát địa kỹ thuật là làm sáng tỏ tình trạng phân bố của các lớp đất đá cũng như các tính cơ lý của nó trong phạm vi ảnh hưởng của công trình xây dựng. Ngoài ra, công tác khảo sát địa kỹ thuật còn cần phải làm sáng tỏ được điều kiện mặt bằng phục vụ công tác thi công móng cho công trình. Ví dụ như, phía dưới mặt đất có hay không hệ thống công trình ngầm, hang hốc ngầm, vật thể ngầm...có thể gây ảnh hưởng đến vấn đề an toàn trong quá trình thi công móng công trình. Trong công tác khảo sát địa kỹ thuật hiện nay, phương pháp khoan khảo sát kết hợp một số thí nghiệm hiện trường vẫn là phương pháp được sử dụng nhiều nhất. Tuy nhiên, với những khu xây dựng có diện tích lớn hoặc dạng tuyến kéo dài, nếu chỉ sử dụng phương pháp khoan khảo sát sẽ cần phải bố trí một số lượng lớn các hố khoan. Điều này một mặt làm tăng chi phí và thời gian khảo sát, mặt khác ở những khoảng diện tích giữa các hố khoan chúng ta chỉ có thể nội suy. Do đó, nếu trong công tác khảo sát địa kỹ thuật biết vận dụng công nghệ radar xuyên đất kết hợp với phương pháp khoan khảo sát, sẽ giúp chúng ta giảm chi phí lại có kết quả có độ tin cậy và chính xác cao. Điều này đã được chứng minh là thực sự có hiệu quả trong thực tế công trình.

Trong quá trình thực hiện công tác khảo sát địa kỹ thuật, chúng ta thường bắt gặp tình huống như sau: khu vực xây dựng có số lượng hố khoan rất ít hoặc thậm chí chưa thực hiện công tác khoan, yêu cầu sử dụng công nghệ radar xuyên đất thăm dò để đưa ra tình trạng phân bố của các lớp đất đá trong một phạm vi chiều sâu nhất định. Khi này, vấn đề mấu chốt đó là kỹ năng đọc thông tin trên mặt cắt radar xuyên đất. Kinh nghiệm thực tế cho thấy, nếu chúng ta biết vận dụng kiến thức về địa chất (thu thập tài liệu địa chất khu vực lân cận, quan sát vị trí bề mặt đá gốc xuất lộ...), từ đó đưa ra những lý giải hợp lý về các thông tin có được từ thăm dò radar là có thể giải quyết được vấn đề.

Dưới đây là một số phương pháp phân tích mặt cắt địa chất điển hình từ kết quả thăm dò radar xuyên đất, được đúc kết thông qua kết hợp giữa lý thuyết và thực nghiệm:

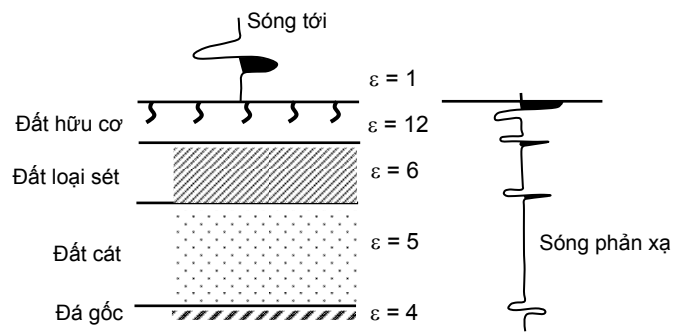
**a) Dạng mặt cắt của các vật liệu trầm tích bờ rời**

Các vật liệu trầm tích bờ rời bao gồm: các trầm tích cát và đất tàn tích hiện đại, đất loại sét, đất hữu cơ...Các lớp hoặc tầng địa chất của các vật liệu này thường có tính chất từ khác nhau, do đó sóng phản xạ của chúng thể hiện trên mặt cắt radar rất rõ. Ví dụ hình 3, sóng tới được truyền từ môi trường có hằng số điện và điện trở suất nhỏ tới lớp đất hữu cơ có thông số tính điện lớn hơn, sau đó lại truyền xuống các lớp đất có thông số tính điện giảm dần, khi đó ở mặt đất thường xuất hiện một chùm tia phản xạ có pha ngược với sóng tới, ở các bề mặt ranh giới phía dưới sẽ đồng pha với sóng phản xạ.

**b) Dạng mặt cắt của đá gốc, đá magam đồng nhất**

Khi đá gốc là đá magma đồng nhất (ví dụ đá granite), thường mặt cắt địa chất điển hình như hình 4. Tức là, phía trên cùng là đất tàn tích, sau đó theo thứ tự từ trên xuống dưới sẽ là đá phong hóa hoàn toàn → đá phong hóa mạnh → đá phong hóa vừa → đá phong hóa nhẹ → đá gốc chưa bị phong hóa. Đối với trường hợp này, thành phần vật chất của lớp đất tàn tích và lớp đá phong hóa hoàn toàn khá tương đồng nên tính chất điện của chúng thay đổi

không thật rõ rệt, do đó trong đới này xuất hiện ít sóng phản xạ mạnh. Khi vào đới phong hóa mạnh, trong thành phần của nó vẫn còn tồn tại các khối đá tảng chưa bị phong hóa nên tính chất vật lý có sự khác biệt tương đối lớn so với môi trường xung quanh, do vậy xuất hiện khá nhiều sóng phản xạ. Trong đới phong hóa vừa có sự tồn tại của rất nhiều các khe nứt phong hóa và khe nứt kiến tạo, do đó sóng phản xạ tương đối ít và tập trung. Đến đới phong hóa nhẹ và đá gốc chưa bị phong hóa, tính chất điện của đá cơ bản đồng nhất, trong nó chỉ tồn tại số lượng rất ít các khe nứt kiến tạo, nên sóng phản xạ ít và tập trung; hơn nữa càng vào sâu năng lượng sóng phản xạ giảm làm cho biên độ sóng nhỏ. Như vậy, tổng hợp các phân tích trên ta thấy, sau khi tiến hành lọc sóng một cách hợp lý, mặt cắt sóng phản xạ radar trong đá magma đồng nhất sẽ có một đới tập trung, tương ứng với nó là đới phong hóa vừa và mạnh, trong đó sóng tới và sóng phản xạ là khá tương đồng.



Hình 3. Hình dạng sóng radar trên mặt cắt vật liệu trầm tích

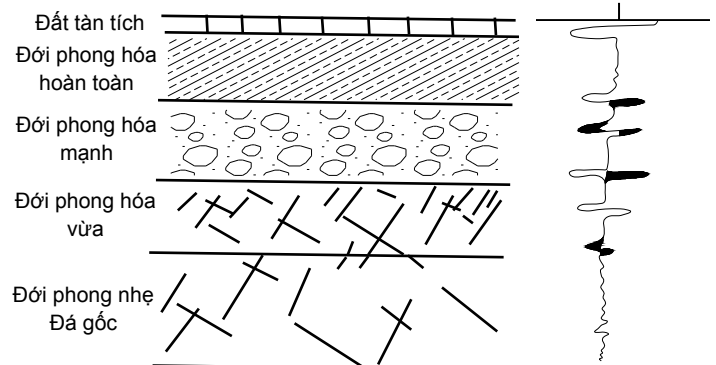
**c) Dạng mặt cắt trong vùng có hang Karst**

Trong trường hợp cần khảo sát khu vực có hang Karst có thể xảy ra hai tình huống như sau:

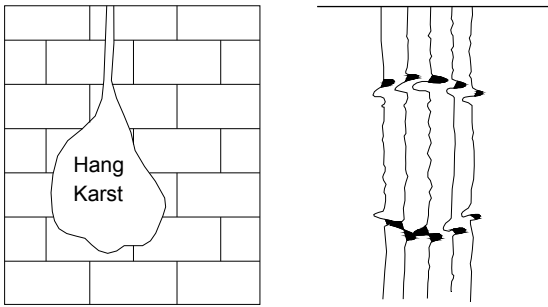
(1) Hang Karst được lấp đầy bởi vật chất lấp nhét: vật chất lấp nhét có thể bùn cát, bùn sét pha...Khi đó môi trường trong hang thường có hằng số điện môi cao, do đó ở xung quanh khu vực nóc hang sóng phản xạ theo hướng ngược lại, còn phía đáy hang có sóng phản xạ tương đồng, trên mặt cắt sóng radar có dạng vòm cung.

(2) Hang Karst không có chất lấp nhét: do không khí trong hang có hằng số điện môi thấp, khi đó hình dạng sóng phản xạ trái ngược với trường hợp hang bị lấp nhét.

Một điều cần hết sức lưu ý là cho dù trong trường hợp nào thì vị trí tương đối của hai chùm sóng phản xạ là trái ngược nhau. Nếu chúng ta không chú ý đến đặc điểm này, sẽ rất dễ bị nhầm lẫn với một số loại đá phong hóa thành đá tảng có hình dạng gần tròn.



Hình 4. Hình dạng sóng radar trên mặt cắt đá granite phong hóa



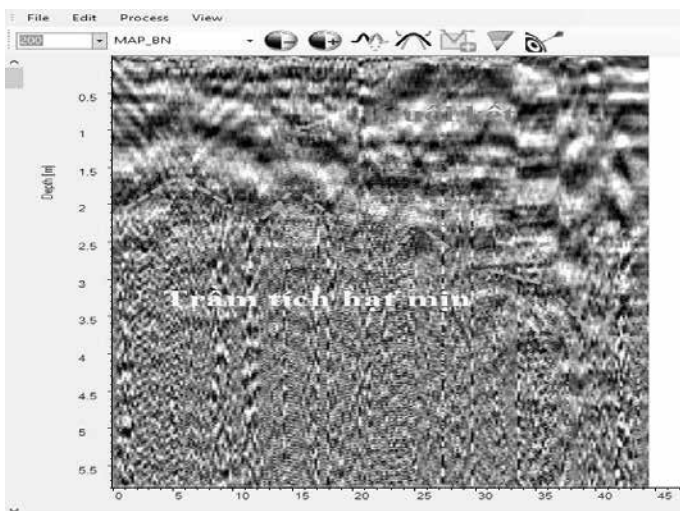
Hình 5. Đặc trưng sóng radar trong vùng có hang

Thực tế đã chứng minh, mặc dù khoan khảo sát vẫn là một dạng công tác khảo sát địa kỹ thuật được áp dụng phổ biến nhất, nó có thể đồng thời thực hiện được nhiều thí nghiệm hiện trường. Tuy nhiên, đối với những khu vực mà môi trường bên dưới mặt đất có cấu tạo phức tạp, thì rõ ràng phương pháp khoan khảo sát còn có những hạn chế nhất định. Trong trường hợp như vậy, việc kết hợp giữa khoan khảo sát và thăm dò bằng công nghệ radar xuyên đất, lấy số liệu hồ khoan thực tế làm cơ sở, sau đó kết hợp với kết quả từ thăm dò GPR sẽ giúp chúng ta đánh giá được một cách toàn diện hơn điều kiện địa chất của khu vực xây dựng.

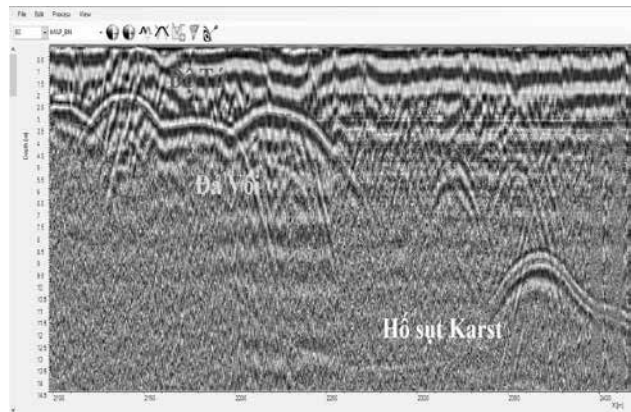
#### 4. Ví dụ thực tế

##### a) Khảo sát địa chất phục vụ phân chia địa tầng và dò tìm hang Karst vùng đệm đô thị thành phố Tuyên Quang

Dự án được thực hiện bởi Viện Khoa học Địa chất & Khoáng sản và đại diện của Hãng IDS GeoRadar tại Việt Nam. Dự án nằm trong khuôn khổ kết hợp giữa chuyển giao công nghệ GPR và khảo sát thực tế phục vụ phân chia địa tầng và dò tìm hang Karst khu vực vùng đệm sinh thái phía Đông thành phố Tuyên Quang. Tổng diện tích khảo sát khoảng 2,1ha. Toàn bộ khu vực khảo sát được chia nhỏ thành các lưới ô vuông kích thước 50 x 50m. Với mỗi lưới ô vuông đã thực hiện thăm dò GPR theo các tuyến xung quanh lưới (2 tuyến bên ngoài và 2 tuyến bên trong mỗi cạnh ô vuông). Kết quả ngoài việc xác định được bề dày tầng phủ (lớp đất trầm tích Đệ tứ) còn phát hiện trong khu vực có một số vị trí có hang Karst. Cụ thể hình ảnh mặt cắt sóng phản xạ radar như tại Hình 6 và Hình 7.



Hình 6. Mặt cắt sóng phản xạ radar phân chia lớp trầm tích đến độ sâu 5,5m

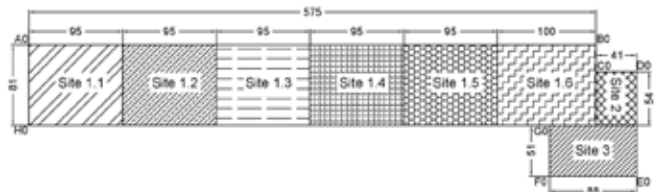


Hình 7. Mặt cắt sóng phản xạ radar phân chia địa tầng và vị trí phát hiện hang Karst

##### b) Thăm dò GPR tại dự án Công trình xây lắp mới hệ thống Lò đáy quay bộ phận luyện gang, Công ty TNHH Gang thép Hưng Nghiệp Formosa Hà Tĩnh phục vụ công tác thi công móng cho công trình

Dự án có tổng diện tích xây dựng khoảng 5.3 ha. Công tác thăm dò GPR được thực hiện trước khi tiến hành công tác khoan khảo sát và thí nghiệm hiện trường. Mục đích của công tác khảo sát GPR là tìm kiếm, phát hiện những đối tượng ngầm có thể có trong phạm vi diện tích khu đất xây dựng. Kết quả được sử dụng để thiết kế vị trí hố khoan cũng như lập biện pháp an toàn trong thi công móng cho công trình sau này.

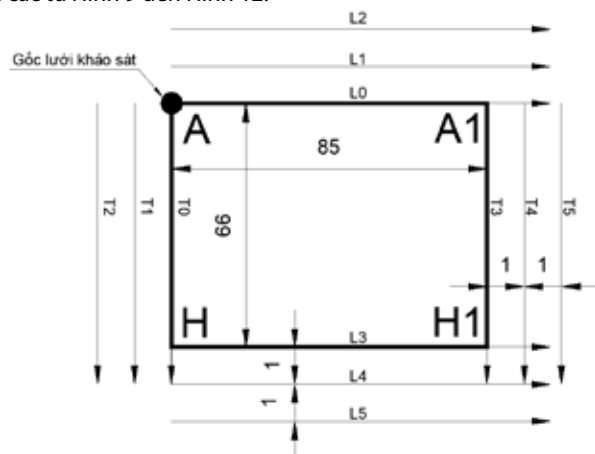
Phương án thăm dò GPR được thực hiện theo sơ đồ chia ô khu vực xây dựng như sau (Hình 8):



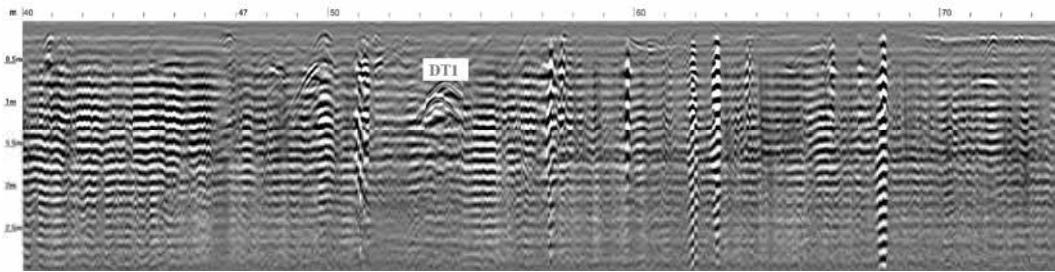
Hình 8. Sơ đồ phân chia khu vực khảo sát phục vụ công tác thăm dò bằng GPR

Nguyên tắc đo như sau: đối với mỗi ô, tiến hành đo GPR dọc theo các cạnh của ô thành 2 tuyến, mỗi tuyến cách nhau 1.0 m (Hình 9).

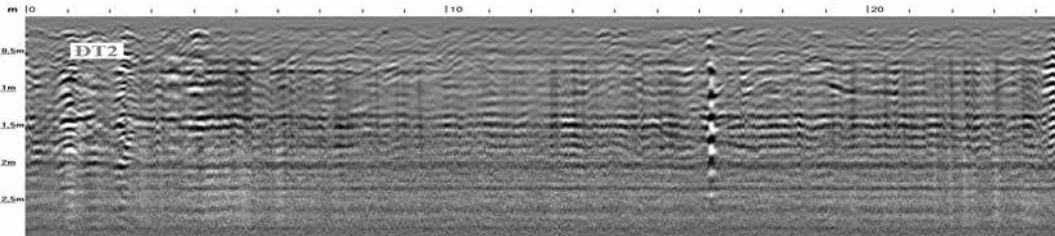
Kết quả tại các khu vực bao gồm: Site 1.1; Site 1.2; Site 1.3 và Site 1.4 đã phát hiện thấy có các vật thể ngầm có thể gây ảnh hưởng tới quá trình khoan khảo sát và thi công móng cho công trình. Vị trí và hình ảnh mặt cắt các đối tượng ngầm được thể hiện tại các từ Hình 9 đến Hình 12.



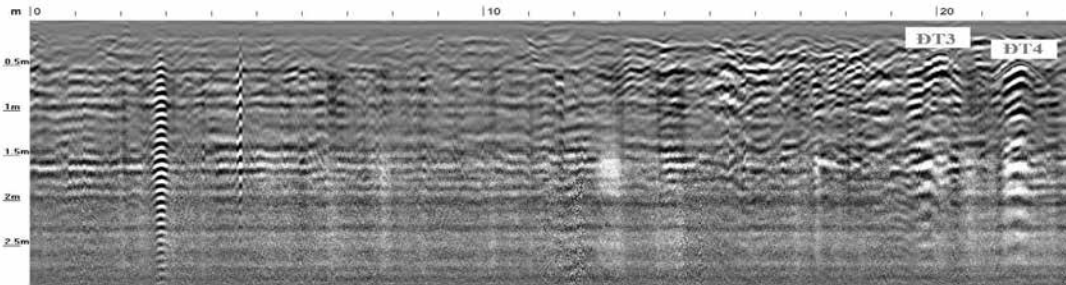
Hình 9. Sơ đồ nguyên tắc đo



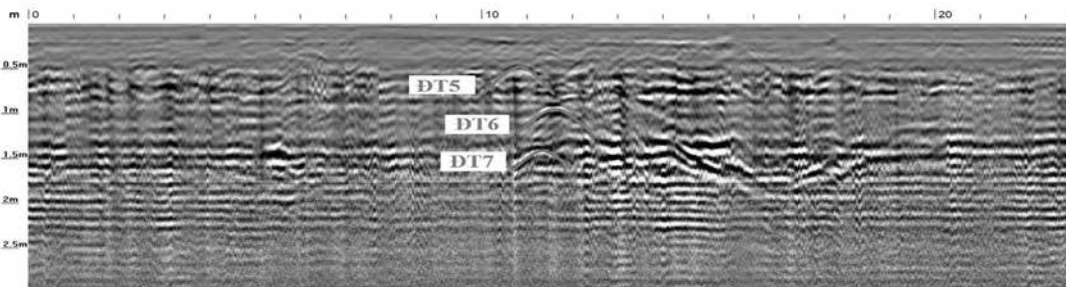
Hình 9. Vị trí phát hiện đối tượng tại Site 1.1 ở độ 0.9 m và cách điểm HI 54.0 m



Hình 10. Vị trí phát hiện đối tượng tại Site 1.2 ở độ 0.65 m và cách điểm A2 1.0 m



Hình 11. Vị trí phát hiện các đối tượng tại Site 1.3 lần lượt ở độ 0.3 m, 0.4 m và cách điểm A2 20.2 m, 21.8 m



Hình 12. Vị trí phát hiện các đối tượng tại Site 1.4 lần lượt ở độ 0.5 m, 0.95 m, 1.43 m và cách điểm A3 từ 10.85 đến 12.0 m

#### 4. Kết luận

Từ các phân tích về mặt lý thuyết và thông qua một số ví dụ thực tế nêu trên có thể nhận thấy:

- Công nghệ radar xuyên đất hoàn toàn có thể được kết hợp sử dụng với các dạng công tác khác trong khảo sát địa kỹ thuật. Nó không chỉ giúp giảm chi phí khảo sát mà còn cho kết quả nhanh, không cần phá hủy môi trường hiện trạng và có độ chính xác cao.

- Đối với những khu vực mà môi trường dưới đất có cấu tạo phức tạp, thiếu bản đồ (hoặc sơ đồ) hệ thống công trình hạ tầng kỹ thuật ngầm thì GPR là một giải pháp thích hợp để thăm dò, đánh giá và thiết lập lại bản đồ công trình ngầm.

- Chiều sâu thăm dò bằng GPR phụ thuộc vào tần số của Anten, tần số Anten càng thấp, chiều sâu thăm dò càng lớn nhưng độ chính xác càng thấp và ngược lại. Do vậy, khi thực hiện công tác thăm dò GPR cần căn cứ vào yêu cầu của công tác khảo sát và điều kiện môi trường dưới đất để lựa chọn tần số phù hợp.

#### TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. TS. Đỗ Quang Thiên, NGND.GS.TSKH. Nguyễn Thanh. Các phương pháp nghiên cứu và khảo sát địa chất công trình phục vụ xây dựng (sách Giáo trình). Nhà xuất bản Đại học Huế. Huế, 2010.
- [2]. Báo cáo kết quả thăm dò radar xuyên đất và cảm ứng điện từ Công trình xây lắp mới hệ thống Lò đáy quay bộ phận luyện gang, Công ty TNHH Gang thép Hưng Nghiệp Formosa Hà Tĩnh. Công ty TNHH Tư vấn, Chuyển giao công nghệ và Xây dựng Mô - Địa chất (CODECO). Hà Tĩnh, 2020.
- [3]. M. Beres, et al. Intergration of ground penetrating radar and micro - gravimetric method to map shallow cave. Journal of Applied Geophysics [J], 2001, 48(4): 249 - 262.
- [4]. G. Grandjean, et al. Evaluation of GPR techniques for Civil Engineering applications: study on a test site. Journal of Applied Geophysics [J], 2000, 45(3): 141 - 156.
- [5]. L. Orlando, E. Marchesi. GeoRadar as a tool to identify and characterize solid waste dump deposits. Journal of Applied Geophysics [J], 2001, 48(3): 163 - 174