

ĐỘ CHÍNH XÁC ĐỊNH VỊ ĐỐI TƯỢNG ĐỊA LÝ TRONG LÒNG ĐẤT BẰNG CÔNG NGHỆ GEORADAR

NGUYỄN PHI SƠN, LÊ VIỆT NAM, NGUYỄN THANH THỦY

Viện Khoa học Đo đạc và Bản đồ

Tóm tắt:

Radars xuyên đất (GPR/GeoRadar) đang được ứng dụng rộng rãi trên thế giới để phát hiện và thành lập bản đồ các đối tượng ngầm, gọi chung là đối tượng địa lý trong lòng đất. Tuy nhiên, Việt Nam chưa có quy định cụ thể về quy trình dò quét và thành lập bản đồ cho các đối tượng này. Bài báo giới thiệu cơ sở khoa học đề xuất độ chính xác mặt phẳng và độ sâu của đối tượng địa lý, dựa trên việc tổng hợp các tiêu chuẩn quốc tế, các quy định về ứng dụng GeoRadar trong dò tìm đối tượng ngầm của các quốc gia, kết quả nghiên cứu thực nghiệm và đặc tính kỹ thuật của thiết bị GeoRadar RIS Himod #4. Đây là nội dung quan trọng trong Tiêu chuẩn cơ sở "Khảo sát, đo đạc, thành lập bản đồ đối tượng địa lý trong lòng đất thuộc phạm vi tầng nông - Phương pháp GeoRadar" do Viện Khoa học Đo đạc và Bản đồ ban hành năm 2023, nhằm đảm bảo tính thống nhất và khoa học khi ứng dụng GPR trong các nhiệm vụ của Viện.

Từ khoá: Đối tượng địa lý trong lòng đất, Độ chính xác định vị, GeoRadar.

1. Đặt vấn đề

Đối tượng địa lý là sự vật, hiện tượng trong thế giới thực hoặc sự mô tả đối tượng, hiện tượng không tồn tại trong thế giới thực tại vị trí địa lý xác định ở mặt đất, lòng đất, mặt nước, lòng nước, đáy nước, khoảng không [4]. Công nghệ Radar xuyên đất đã được ứng dụng rộng rãi trên thế giới trong việc khảo sát và xác định vị trí các đối tượng trong lòng đất. Điều này góp phần quan trọng trong công tác xây dựng và phát triển hạ tầng các đô thị, cũng như lập quy hoạch cho không gian ngầm. Các đối tượng khảo sát chủ yếu là hệ thống công trình ngầm phục vụ lợi ích công cộng, tài sản gắn liền với thửa đất. Việc áp dụng công nghệ này vào Việt Nam là hết sức cấp thiết, bởi hiện tại hầu hết các đô thị ở nước ta đều chưa có cơ

sở dữ liệu về không gian ngầm đô thị.

Hiện nay, các đối tượng trên mặt đất và trong không gian đã được đo đạc và thể hiện đầy đủ trên bản đồ. Tuy nhiên, các đối tượng trong lòng đất vẫn chưa được nghiên cứu và đo đạc một cách hệ thống, dẫn đến thiếu thông tin, gây khó khăn cho việc quy hoạch và quản lý sử dụng không gian trong lòng đất. Đặc biệt khi tích hợp giữa dữ liệu không gian địa lý trên mặt đất và dữ liệu không gian địa lý trong lòng đất vào cùng một cơ sở dữ liệu địa không gian là hết sức cần thiết cho quản lý lãnh thổ và phát triển kinh tế - xã hội.

Một phần hạn chế của xây dựng dữ liệu không gian địa lý trong lòng đất, đó là chưa có các tiêu chuẩn thống nhất về quy trình khảo sát, đo đạc, nội dung và cách thể hiện bản đồ các đối

tượng địa lý trong lòng đất. Do đó, việc xây dựng và ban hành các tiêu chuẩn kỹ thuật về lĩnh vực chuyên môn này phải được ưu tiên trước hết. Trong lộ trình xây dựng văn bản kỹ thuật, cần ưu tiên ban hành tiêu chuẩn cơ sở cho đối tượng địa lý thuộc phạm vi tầng nông có độ sâu đến 6 m. Trong phạm vi tầng nông là nơi phân bố phần lớn các đối tượng, công trình ngầm.

Để xác định được một đối tượng địa lý trong lòng đất cần thiết phải đồng thời xác định được các thuộc tính: vị trí đối tượng (mặt phẳng và độ sâu), chất liệu đối tượng (kim loại, bê tông, nhựa...), công năng của đối tượng (ống dẫn nước thải, đường cấp nước sạch, cáp thông tin...), hình dạng của đối tượng (đường ống tròn, bể nước vuông...). Mỗi thuộc tính đều có một số giải pháp xác định khác nhau hoặc kết hợp nhiều giải pháp và có những hạn chế nhất định trong tính chính xác khi xác định thuộc tính. Trong bài báo này sẽ giới thiệu kết quả nghiên cứu tổng hợp trong đề xuất độ chính xác trong định vị đối tượng địa lý trong lòng đất thuộc phạm vi tầng nông bằng công nghệ GPR. Đây là thuộc tính bắt buộc khi dò quét và thành lập bản đồ cho đối tượng địa lý trong lòng đất.

Độ chính xác định vị đối tượng trong lòng đất khi sử dụng công nghệ Georadar sẽ phụ thuộc vào các yếu tố như: môi trường đất, độ ẩm đất, độ sâu của đối tượng, tần số ăng ten, chất liệu, hình dạng của đối tượng địa lý. Chính vì vậy, cần nghiên cứu để đưa ra được chỉ tiêu để kiểm soát được độ chính xác định vị đối tượng trong lòng đất là mục tiêu chính của bài báo này.

Có rất nhiều loại thiết bị GPR khác nhau tùy thuộc vào mục đích sử dụng và nhà sản xuất. Theo đặc điểm thiết kế, GPR có thể phân loại thành các nhóm: di động, đa kênh, địa chất, công trình và chuyên dụng. Theo tần số hoạt động của

ăng ten, GPR được chia làm ba loại: thấp (100-400 MHz), trung bình (400-900 MHz) và cao (trên 900 MHz). Mỗi loại GPR có ưu nhược điểm và phù hợp với các ứng dụng cụ thể. Hầu hết các nhà sản xuất đều cung cấp nhiều mẫu GPR với các thông số kỹ thuật khác nhau để đáp ứng nhu cầu đa dạng của thị trường, trong đó có quét các tiện ích ngầm. Ứng dụng chính GPR là để dò tìm công trình hạ tầng ngầm (phát hiện ống, cống, cáp ngầm...), khảo sát phân tầng địa chất, dò tìm hang ngầm, mạch nước ngầm, khoáng sản... Trong một số trường hợp này, các đối tượng nằm rất sâu trong lòng đất. Để đạt được độ sâu đó, tần số sóng điện từ phải đủ thấp, tần số thấp nhất của các máy này khoảng 20 MHz, và tần số cao nhất không quá 1.000 MHz. Do hầu hết các thiết bị này rất nặng nên các mẫu GPR này thường được lắp ráp trên xe đẩy và có khả năng kết hợp với GPS để ghi lại vị trí [22].

Trong các năm 2014 và 2018, Viện Khoa học Đo đạc và Bản đồ đã nhận chuyển giao công nghệ hệ thống dò quét và thành lập bản đồ đối tượng ngầm RIS MF Hi-mod#4 của Italia với các ăng ten đơn tần 25, 40 và 80 MHz, ăng ten tần số kép 200 và 600 MHz. Việc trang bị hệ thống thiết bị này đã tạo điều kiện thuận lợi trong quá trình nghiên cứu và xây dựng tiêu chuẩn cơ sở “*Khảo sát, đo đạc, thành lập bản đồ đối tượng địa lý trong lòng đất thuộc phạm vi tầng nông - Phương pháp GeoRada*”. Tiêu chuẩn này đã được hoàn thành tháng 12 năm 2023.



Hình 1: Hệ thống RIS MF Hi-Mod#4 của Viện Khoa học Đo đạc và Bản đồ [7]

2. Phương pháp và dữ liệu nghiên cứu

2.1. Phương pháp nghiên cứu

Các phương pháp sau đây đã được sử dụng để thu thập và phân tích dữ liệu:

- Thu thập dữ liệu: Tổng hợp các tài liệu nghiên cứu về lý thuyết và ứng dụng của công nghệ GPR; tiêu chuẩn, quy định quốc tế liên quan đến dò tìm đối tượng trong lòng đất; Thu thập các thông số kỹ thuật của thiết bị GeoRadar từ tài liệu kỹ thuật của nhà sản xuất đã được sử dụng phổ biến trên thế giới và ở Việt Nam.

- Phân tích dữ liệu: Phân tích so sánh nội dung các tiêu chuẩn quốc tế thu thập được để tìm ra những điểm tương đồng và khác biệt; Phân tích các thông số kỹ thuật của thiết bị GeoRadar để đánh giá khả năng đáp ứng yêu cầu đo đạc; Phân tích kết quả đo đạc thực nghiệm bằng phương pháp GeoRadar để đánh giá độ chính xác và độ tin cậy; Tổng hợp kết quả các phân tích trên để đề xuất tiêu chí đánh giá độ chính xác trong đo đạc bằng GeoRadar.

2.2. Dữ liệu nghiên cứu

Các tiêu chuẩn kỹ thuật quốc tế: Tiêu chuẩn của Malaysia [20] do Cục Đo đạc và Bản đồ Malaysia (JUPEM) công bố; Tiêu chuẩn PAS 128:2014 của Anh [12]; Tiêu

chuẩn ASCE 38-02 do hiệp hội kỹ sư xây dựng Hoa Kỳ công bố; Trong tiêu chuẩn CJJ 61-2017 của Trung Quốc; Các tiêu chuẩn AS 5488 của Úc (AS 5488-2013, AS 5488.1:2019 và AS 5488.2:2019, AS 5488.1:2022 và AS 5488.2:2022; Tiêu chuẩn của Mỹ ASTM D6432-11 [14], [15], [16], [17], [21].

Các kết quả nghiên cứu, các công trình, dự án ở một số quốc gia: Trên thế giới, độ chính xác định vị các đối tượng trong lòng đất cũng đã được nghiên cứu và công bố trong nhiều bài báo cũng như các website của hãng sản xuất thiết bị GeoRadar. Matt Peace [19] đã xác định các yếu tố ảnh hưởng đến độ chính xác của các đối tượng ngầm được xác định bởi công nghệ GPR phụ thuộc vào tần số, điều kiện môi trường và kinh nghiệm người vận hành. Krzysztof Ryszard Karsznia và cộng sự [18] tập trung vào việc đánh giá độ chính xác và độ chụm của việc sử dụng radar xuyên đất (GPR) để phát hiện công trình ngầm sử dụng các phương pháp (1) lưới ô vuông thẳng hàng, (2) sử dụng mô đun GNSS tích hợp bên trong thiết bị GPR và (3) sử dụng máy thu GNSS độc lập bên ngoài.

Độ chính xác của phép đo độ sâu thường được ảnh hưởng bởi nhiều yếu tố bên cạnh tần số ăng ten, bao gồm công nghệ xử lý tín hiệu của thiết bị, điều kiện môi trường (loại đất, độ ẩm, v.v.), và kỹ năng của người vận hành. Trong số các thiết bị được liệt kê, độ chính xác dao động từ vài mm đến vài cm, và một số thiết bị không rõ ràng chỉ ra độ chính xác. Cụ thể, thiết bị sử dụng tần số cao như 1 GHz (GPRover, Quantum Imager) có độ chính xác cao (4-5 cm), phản ánh khả năng phát hiện chi tiết tốt ở độ sâu tương đối nông (khoảng 9,14 m). Thiết bị với tần số thấp hơn (ví dụ, GroundVue 6 với 20 MHz) có thể đạt độ sâu lớn hơn (lên đến 180 m) nhưng với độ chính

xác giảm (2 m). Đối với các thiết bị có độ chính xác đo bằng phần trăm (ví dụ 0,344% với UtilityScan), độ chính xác này thường phụ thuộc vào độ sâu cụ thể và kích thước mục tiêu. Các sai số này tương đương với 10% độ sâu quét [22].

Các kết quả nghiên cứu, các công trình, dự án trong nước: Từ 2016 đến nay, Viện Khoa học Đo đạc và Bản đồ đã thực hiện một số nhiệm vụ liên quan đến dò tìm đối tượng ngầm như: dò tìm khu vực nhà máy Công ty TNHH Gang Thép Hưng Nghiệp Formosa Hà Tĩnh, Nhà máy Giấy Lee & Man Hậu Giang, Nhà máy AB Mauri (Đồng Nai), các công trình dò quét hạ tầng đô thị công cộng ngầm... Trong những năm qua ở Việt Nam đã có nhiều nghiên cứu tập trung vào việc ứng dụng GPR trong việc khảo sát, đo đạc, lập bản đồ đối tượng địa lý ngầm trong lòng đất ở phạm vi tầng nông như hệ thống đường ống cấp nước, thoát nước, cáp điện; khảo sát phân tầng địa chất, đứt gãy địa chất, khoang rỗng, tổ mối thân đê, khảo sát chất lượng đường giao thông, kết cấu sắt thép, chất lượng bê tông trong các công trình xây dựng... cũng như dò tìm hệ thống đường ống ngầm xả thải phục vụ công tác quản lý môi trường [2], [5], [6], [7], [8], [9], [10], [11]... Một số nghiên cứu này đã tập trung vào đánh giá độ chính xác xác định các đối tượng ngầm từ độ sâu 0,2 đến 15 m với nhiều chủng loại GPR, nhiều tần số khác nhau. Trong đó, Trần Viết Tuấn [9] đã sử dụng GPR để khảo sát các đối tượng địa lý ngầm như ống dẫn nước, cáp ngầm với độ chính xác cao, sai số vị trí trung bình khoảng $\pm 6,2$ cm và sai số độ sâu trung bình ± 10 cm. Nguyễn Việt Hà [3] ứng dụng GPR dò tìm đường ống cấp nước bằng kim loại, kết quả ghi nhận độ chính xác về vị trí đạt sai số 5 cm, độ sâu đạt 10 cm.

Các nghiên cứu thực nghiệm ở mục 2.2 ở

trên đều đưa ra những đánh giá về kết quả dò tìm đối tượng trong lòng đất trong các môi trường đất khác nhau, loại đối tượng địa lý khác nhau, tuy nhiên chưa đề xuất nguyên tắc chung khi lựa chọn tần số ăng ten cho việc dò tìm đối với một khu vực cụ thể, phần lớn đánh giá theo khuyến cáo của nhà sản xuất thiết bị GeoRadar.

3. Kết quả nghiên cứu

3.1. Độ chính xác định vị độ sâu đối tượng cần dò tìm

Trong GPR, áp dụng quy tắc chung của bốn phương trình Maxwell trong không gian tự do và có tính đến các đặc tính điện từ của vật liệu, bao gồm hằng số điện môi (ϵ), độ dẫn điện (σ) và độ từ thẩm (μ). Ba đặc tính này làm nảy sinh bốn hạn chế chính của công nghệ GPR, đó là các vấn đề suy giảm, độ phân giải, tán xạ và trường gần do mất năng lượng do sự giãn điện môi và giãn từ. Vấn đề chính của phép đo định vị đối tượng địa lý trong lòng đất chính là lựa chọn tần số ăng ten. Tuy nhiên, việc lựa chọn tần số hoạt động tối ưu cho việc khảo sát radar không hề đơn giản. Có sự đánh đổi giữa độ phân giải không gian, độ sâu thâm nhập và tính di động của hệ thống. Theo quy định, tốt hơn là nên đánh đổi độ phân giải để lấy sự thâm nhập. Chủ đề này đã được Annan & Cosway đưa ra năm 1994 [13].

Việc lựa chọn tần số trung tâm để xác định độ sâu, nhằm đảm bảo yêu cầu tiết diện đối tượng phải chiếm một phần lớn chùm tia radar để có đủ năng lượng được trả về cho việc phát hiện. Hơn nữa, kích thước đối tượng phải càng gần vùng “Fresnel” (vùng phản xạ và truyền bức xạ điện từ khi tới bề mặt giữa các phương tiện quang học khác nhau) càng tốt để tín hiệu trả về một cách rõ nét. Tần số tối ưu theo công thức [13]:

$$f_C^D < \frac{v\beta\sqrt{\varepsilon'-1}}{D} \quad (\text{MHz}) \quad (1)$$

Giả định $\beta = 4$ là hợp lý cho các ứng dụng GPR và chúng ta nhận được:

$$f_C^D < \frac{1200\sqrt{\varepsilon'-1}}{D} \quad (\text{MHz}) \quad (2)$$

Trong công thức (1) và (2): f_C^D là tần số tối ưu xác định theo các yếu tố độ sâu; v là vận tốc sóng; β là tỷ lệ giữa vùng phủ chùm tia radar và tỷ lệ kích thước đối tượng; ε' là hằng số điện môi của môi trường đất và D là độ sâu (tính bằng m).

Việc lựa chọn tần số trung tâm để xác định kích thước đối tượng dựa trên việc giải quyết hai nhiệm vụ yêu cầu khoảng thời gian đường bao xung radar ngắn hơn hai lần thời gian trễ phân tách giữa hai đối tượng cần phân biệt. Giả sử tỷ lệ tần số trung tâm trên băng thông là 1, ràng buộc về tần số trung tâm f_C , có dạng

$$f_C^R > \frac{75}{\Delta s\sqrt{\varepsilon'}} \quad (\text{MHz}) \quad (3)$$

Trong đó: f_C^R là tần số tối ưu theo kích thước đối tượng; Δs là kích thước nhỏ nhất ước tính của các đối tượng địa lý cần dò quét (được tính bằng m) và ε' là hằng số điện môi của môi trường quét. Nói cách khác, độ phân giải không gian đặt giới hạn dưới của tần số trung tâm.

Việc lựa chọn tần số trung tâm phải phù hợp với tính chất không đồng nhất của lớp đất đá. Tần số radar càng cao, khả năng phân biệt các đặc điểm này càng tốt. Tuy nhiên, một tần số quá cao có thể làm tăng độ nhiễu, làm giảm khả năng nhận diện mục tiêu cần khảo sát. Để giảm thiểu sự nhiễu này và tăng khả năng nhận diện, bước sóng của tín hiệu radar cần phải dài hơn đáng kể so với kích thước của các đặc điểm gây nhiễu. Việc xác định tần số tối ưu theo mức độ không đồng nhất về kích thước của lớp đất đá được thực hiện theo công thức (4) với giả định bước sóng của tín hiệu radar

dài hơn 10 lần kích thước trung bình của đặc điểm gây nhiễu (ΔL).

$$f_C^C < \frac{30}{\Delta L\sqrt{\varepsilon'}} \quad (\text{MHz}) \quad (4)$$

Trong đó: f_C^C là tần số tối ưu xác định theo tính chất không đồng nhất của lớp đất đá; ΔL là mức độ không đồng nhất về kích thước của lớp đất đá; ε' là hằng số điện môi của môi trường quét.

Như vậy, để lựa chọn được tần số ăng ten khi tiến hành dò quét một khu vực cần tính đến ba yếu tố từ kết quả của bước khảo sát sơ bộ: (i) Độ sâu ước tính của đối tượng địa lý có thể phân bố (có thể tham khảo các quy hoạch hoặc các tài liệu hoàn công đã có); (ii) Kích thước ước tính của các đối tượng địa lý cần dò quét (tham khảo tài liệu hoặc các điểm lộ đầu mối); (iii) Sự không đồng nhất về đất, đá trong tầng nông (tham khảo tài liệu lỗ khoan - nếu có).

Các công thức (2), (3), (4) được sử dụng để xác định tần số tối ưu theo các yếu tố ảnh hưởng và lựa chọn tần số trung tâm để thỏa mãn các tiêu chí được mô tả trong công thức (5). Tiêu chí lựa chọn tần số trung tâm:

$$f_C^R < f_C < \min(f_C^D, f_C^C) \quad (5)$$

Trong đó, $\min(f_C^D, f_C^C)$ là giá trị nhỏ nhất của f_C^D, f_C^C .

Thông qua các công trình, dự án thực nghiệm trên thiết bị RIS Hi-mod#4 và phương pháp lựa chọn tần số ăng ten như trên, từ đó đề xuất độ chính xác độ sâu theo các mức: 1) Mức $(0,15 \times D)$ cho khu vực yêu cầu độ chi tiết cao; Mức $(0,4 \times D)$ cho khu vực có độ chính trung bình; Mức thấp hơn $(0,4 \times D)$ cho khu vực có độ tin cậy kém hoặc không xác định.

3.2. Độ chính xác định vị mặt phẳng đối tượng cần dò tìm

Quy trình định vị vị trí mặt phẳng bao gồm các bước: 1) Đánh dấu trên mặt đất các vị trí phát

hiện đối tượng bằng GPR bằng sơn, cọc gỗ và ghi mô tả nhật ký; 2) Sử dụng các thiết bị đo đạc khác (GNSS, Total station) hoặc sử dụng bộ đếm (khoảng cách bằng số vòng xoay của bánh xe đẩy/kéo) để xác định tọa độ trên mặt đất tại vị trí phát hiện đối tượng.

Như vậy, độ chính xác định vị về mặt phẳng của đối tượng địa lý trong lòng đất phụ thuộc vào độ chính xác khi đánh dấu đối tượng được phát hiện và độ chính xác định vị trí trên mặt đất. Với quan điểm vị trí được đánh dấu là một “điểm đo chi tiết” trong thành lập bản đồ vì vậy yêu cầu độ chính xác phải cao hơn 0,5mm trong tỷ lệ bản đồ (đối với điểm địa vật không rõ ràng) [1]. Như vậy độ chính xác xác định vị trí về mặt phẳng ở các tỷ lệ 1:200, 1:500, 1:1.000, 1:2.000 lần lượt là 10 cm, 25 cm, 50 cm, 100 cm.

3.3. Đề xuất các mức chất lượng trong định vị đối tượng địa lý trong lòng đất bằng công nghệ GPR

Độ chính xác về mặt phẳng và độ sâu dò quét đối tượng địa lý trong lòng đất thuộc phạm vi tầng nông được đề xuất và quy định dựa trên cơ sở phân tích, tổng hợp các nghiên cứu, các đặc tính kỹ thuật của môi trường, của

thiết bị và các tiêu chuẩn đã có ở Việt Nam và trên thế giới đã được đề cập ở phần trên theo các mức chất lượng như sau:

1) Mức chất lượng QLB1: Độ chính xác vị trí về mặt phẳng $m_{xy} \leq \pm 10$ cm, về độ sâu $m_h \leq \pm 15\%$ độ sâu được phát hiện so với điểm không chế gần nhất.

2) Mức chất lượng QLB2: Độ chính xác vị trí về mặt phẳng $m_{xy} \leq \pm 25$ cm so với điểm không chế gần nhất, về độ sâu $m_h \leq \pm 40\%$, độ sâu được phát hiện so với điểm không chế gần nhất.

3) Mức chất lượng QLB3: Độ chính xác vị trí về mặt phẳng $m_{xy} \leq \pm 50$ cm so với điểm không chế gần nhất, độ chính xác vị trí về độ sâu không xác định.

4) Mức chất lượng QLB4: Độ chính xác vị trí về mặt phẳng và độ sâu không xác định.

Tùy theo môi trường đất khác nhau, độ sâu khác nhau, vật liệu khác nhau, dẫn đến trên cùng một loại tỷ lệ bản đồ thành lập sẽ có các mức chất lượng khác nhau, bao gồm QLB1, QLB2, QLB3, QLB4. Kết quả này phải được ghi nhãn cho đối tượng sau khi xử lý và biên tập bản đồ.

Bảng 1: Mức chất lượng của công tác dò quét

Mức chất lượng	Độ chính xác vị trí		Đề xuất giải pháp hỗ trợ
	Mặt phẳng	Độ sâu	
QLB1	$\leq \pm 10$ cm	$\leq \pm 15\%$ độ sâu được phát hiện	Vị trí mặt phẳng và độ sâu của đối tượng được phát hiện bằng nhiều kỹ thuật khác như kết hợp kỹ thuật GPR và EML
QLB2	$\leq \pm 25$ cm	$\leq \pm 40\%$ độ sâu được phát hiện	Vị trí mặt phẳng và độ sâu của đối tượng được phát hiện bằng kỹ thuật GPR có kết hợp với một kỹ thuật địa vật lý khác.
QLB3	$\leq \pm 50$ cm	Không xác định (hoặc độ	Chỉ vị trí mặt phẳng của đối tượng được

Mức chất lượng	Độ chính xác vị trí		Đề xuất giải pháp hỗ trợ
	Mặt phẳng	Độ sâu	
		tin cậy kém hơn 40% độ sâu được phát hiện)	phát hiện bằng kỹ thuật GPR có kết hợp với một kỹ thuật địa vật lý khác.
QLB4	$\leq \pm 100$ cm (hoặc không xác định)	Không xác định (hoặc độ tin cậy kém hơn 40% độ sâu được phát hiện)	Một đối tượng hoặc một phần của đối tượng được nghi ngờ là tồn tại nhưng chưa xác định hoặc giải đoán được, do đó được biểu thị dưới dạng ước đoán.

4. Thảo luận

Như vậy, từ các nghiên cứu, các công trình dự án và các tiêu chuẩn, các quy định của Việt Nam và các nước trên thế giới có thể thấy:

- Các yếu tố có ảnh hưởng đáng kể đến độ chính xác trong việc xác định vị trí các đối tượng địa lý trong lòng đất bằng phương pháp GPR bao gồm tần số hoạt động của ăng ten, độ sâu phân bố của đối tượng, đặc điểm của môi trường xung quanh như độ ẩm, điện trở suất,... và đặc điểm vật lý của chính đối tượng ngầm cần tìm kiếm. Chính vì vậy công tác khảo sát sơ bộ khu đo là rất cần thiết, từ đó quyết định phương án kỹ thuật, như độ chính xác của bản đồ đối tượng địa lý tầng nông có thể đạt được, thậm chí trong một khu vực sẽ có nhiều mức chính xác khác nhau.

- Kết quả dò quét đối tượng nên đánh đổi giữa độ phân giải không gian và khả năng thâm nhập/xuyên sâu (độ sâu phát hiện đối tượng). Tùy theo từng đối tượng hay mục đích cụ thể để xác định tần số trung tâm của ăng ten cần chọn.

- Việc quy định độ chính xác (mặt phẳng, độ sâu) theo các mức phụ thuộc vào môi trường đất, độ sâu đối tượng, kích thước đối tượng, có nghĩa là trong một khu vực thành lập bản đồ có thể khác nhau về độ chính xác định

vị, vì vậy, trong biểu thị đối tượng địa lý trên bản đồ cần có “nhãn đối tượng” trong đó có thông tin về “Mức chất lượng”, tỷ lệ bản đồ in ra tùy theo yêu cầu sử dụng.

5. Kết luận

Công nghệ GPR cho phép phát hiện hiệu quả các đối tượng địa lý trong lòng đất ở độ trong phạm vi tầng nông, đã được ứng dụng nhiều trên thế giới và bắt đầu được nghiên cứu và ứng dụng ở Việt Nam trong những năm gần đây cho khảo sát công trình ngầm đô thị. Đối với thành lập bản đồ đối tượng địa lý trong lòng đất, chưa có quy định kỹ thuật hay tiêu chuẩn nào được áp dụng, vì vậy Viện Khoa học Đo đạc và Bản đồ đã đúc rút từ các nghiên cứu và sản xuất trong nhiều năm qua để xây dựng Tiêu chuẩn cơ sở “Khảo sát, đo đạc, thành lập bản đồ đối tượng địa lý trong lòng đất thuộc phạm vi tầng nông - Phương pháp GeoRadar” để áp dụng trong các nhiệm vụ do Viện thực hiện.

Trong nhiều chỉ tiêu kỹ thuật của một tiêu chuẩn cơ sở, chúng tôi lựa chọn chỉ tiêu về độ chính xác định vị đối tượng địa lý trong lòng đất để giới thiệu. Đây là một chỉ tiêu quan trọng trong quy trình dò quét và thành lập bản đồ.

Bài báo được công bố dựa trên kết quả nghiên cứu của đề tài cấp cơ sở “Nghiên cứu cơ sở khoa học phục vụ xây dựng quy định kỹ thuật

trong khảo sát, đo đạc, thành lập bản đồ các đối tượng địa lý trong lòng đất thuộc phạm vi tầng nông bằng phương pháp GeoRadar”, mã số CS.2023.20 của Bộ Tài nguyên và Môi trường. ○

Tài liệu tham khảo

[1]. Bộ Tài nguyên và Môi trường (2015), Thông tư số 68/2015/TT-BTNMT quy định kỹ thuật đo đạc trực tiếp địa hình phục vụ thành lập bản đồ địa hình và cơ sở dữ liệu nền địa lý tỷ lệ 1:500, 1:1.000, 1:2.000 và 1:5.000, chủ biên, Hà Nội.

[2]. Nguyễn Văn Giảng và các cộng sự (2023), "Áp dụng phương pháp Georadar để nghiên cứu trên các mẫu vật và mô hình ở Việt Nam", *Tạp san Khoa học và kỹ thuật trường Đại học Bình Dương*. 6.

[3]. Nguyễn Việt Hà (2016), "Khảo sát độ chính xác máy dò công trình ngầm hoạt động theo phương pháp cảm ứng điện từ", *Tạp chí Khoa học Đo đạc và Bản đồ* (27), tr. 46-49.

[4]. Quốc hội Nước Cộng hoà Xã hội chủ nghĩa Việt Nam (2018), Luật Đo đạc và Bản đồ, chủ biên, Quốc hội Nước Cộng hoà Xã hội chủ nghĩa Việt Nam, Hà Nội.

[5]. Nguyễn Thị Thảo (2013), *Nghiên cứu thành lập bản đồ công trình ngầm phục vụ qui hoạch sử dụng đất*, Viện Khoa học Đo đạc và Bản đồ.

[6]. Nguyễn Thị Thảo và Bùi Thị Cẩm Ngọc (2014), "Thành lập cơ sở dữ liệu và bản đồ công trình ngầm khu vực đô thị", *Tạp chí Khoa học Đo đạc và Bản đồ* (20), tr. 52-57.

[7]. Nguyễn Thanh Thủy và các cộng sự (2015), *Nghiên cứu thử nghiệm máy dò công trình ngầm RIS MF Hi-Mod, đề xuất quy trình công nghệ và bộ khoá giải đoán phục vụ dò*

tìm đối tượng ngầm dưới mặt đất, Viện Khoa học Đo đạc và Bản đồ, Hà Nội.

[8]. Đỗ Minh Tính (2021), "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.", *Tạp chí Xây dựng* (06.2021), tr. 52-56.

[9]. Trần Viết Tuấn (2011), "Ứng dụng Radar xuyên đất (GPR) để dò tìm và đo vẽ bản đồ công trình ngầm đô thị", *Tạp chí Khoa học Đo đạc và Bản đồ* (8), tr. 12-15.

[10]. Trần Viết Tuấn (2012), "Nghiên cứu một số giải pháp nâng cao hiệu quả dò tìm công trình ngầm bằng thiết bị radar xuyên đất ramax/x3 m", *Tạp chí Khoa học Đo đạc và Bản đồ* (13), tr. 8-12.

[11]. Nguyễn Thành Ván và các cộng sự (2013), "Xác định vận tốc truyền sóng điện từ trong Radar xuyên đất bằng phép hiệu chỉnh động", *Tạp chí Các Khoa học về Trái đất*. 35 (2), tr. 137-145.

[12]. Institution of Civil Engineers (ICE) (2014), Specification for underground utility detection, verification and location, The Bistish Standards Institution, UK, p 33.

[13]. A.P. Annan (2003), *Ground Penetrating Radar: Principles, Procedures & Applications*, Sensors & Software Incorporated.

[14]. AS (2013), Australian Standard: Classification of Subsurface Utility Information (SUI), SAI Global Limited, Australia.

[15]. ASTM (2011), Standard Guide for Using the Surface Ground Penetrating Radar Method for Subsurface Investigation, ASTM, USA, p 18.

- [16]. Bennett Bennett, "Subsurface Utilities Part 2: The Capture & Recording".
- [17]. Australia Engineering Education, "Upgraded subsurface utility standard comes into affect".
- [18]. K. R. Karsznia, K. Onyszko và S. Borkowska (2021), "Accuracy Tests and Precision Assessment of Localizing Underground Utilities Using GPR Detection", *Sensors (Basel)*. 21(20).
- [19]. Matt Peace (2021), *How Accurate Is Ground Penetrating Radar?*, accessed 14/8-2023, tại trang web <https://usradar.com/blog/how-accurate-is-ground-penetrating-radar/>.
- [20]. AM/FM Technical Sub-Committee (2006), Standard Guidelines for Underground Utility Mapping, National Mapping and Spatial Data Committee, Malaysia, p 26.
- [21]. Magazine Utility, "What lies beneath: updating AS 5488".
- [22]. Zhongming Xiang, Abbas Rashidi và Ge Ou (2019), "States of Practice and Research on Applying GPR Technology for Labeling and Scanning Constructed Facilities", *Journal of Performance of Constructed Facilities*. 33.○

Summary

Accuracy of underground geographic feature positioning using georadar technology

Nguyen Phi Son, Le Viet Nam, Nguyen Thanh Thuy

The Viet Nam Institute of Surveying and Mapping

GeoRadar (GPR) technology is being widely applied worldwide to detect and map underground geographic features. However, Vietnam lacks specific regulations on the scanning process and mapping of these features. This paper introduces a scientific basis for proposing the horizontal and depth accuracy of geographic features, based on the synthesis of international standards, regulations on the application of GeoRadar in detecting underground objects in various countries, experimental research results, and technical specifications of the GPR RIS Himod #4 device. This is an important content in the Basic standard "Survey, measurement, and mapping of underground geographic features within the shallow subsurface - GeoRadar Method" issued by the Institute of Geodesy and Cartography in 2023, aiming to ensure consistency and scientific approach when applying GPR in Vietnam.

Keywords: Underground geographic features, Positioning accuracy, GeoRadar.○